

**Universidade de Brasília  
Faculdade UnB Gama – FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**ESTUDO DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE  
UMA CENTRAL DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PARA  
ALIMENTAÇÃO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA.**

**Autor: Vanessa de Oliveira Ribeiro**

**Orientador: Prof. Dr. Rudi Henri Van Els**

**Brasília  
2015**



**VANESSA DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE UMA CENTRAL DE  
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PARA ALIMENTAÇÃO DE UMA BOMBA  
HIDRÁULICA.**

Monografia submetida ao curso de Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.  
Orientador: Prof. Dr. Rudi Henri Van Els

**Brasília**

**2015**

R484

Ribeiro, Vanessa de Oliveira.

Estudo de viabilidade na implantação de uma central de geração hidrelétrica para alimentação de uma bomba hidráulica / Vanessa de Oliveira Ribeiro – Brasília, 2015.

83 f. : il. ; 29,5 cm

Orientador: Professor Doutor. Rudi Henri Van Els

Monografia (Curso de graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Faculdade do Gama, 2015.

1. Central de Geração Hidrelétrica. 2. Bomba Hidráulica. 3. Recurso renovável

I. Título. II. ELS, Rudi Henri Van.

CDU 621



**ESTUDO DE VIABILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE UMA CENTRAL DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PARA ALIMENTAÇÃO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA.**

**Aluna:** Vanessa de Oliveira Ribeiro

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 07/ 12/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dr: Rudi Henri Van Els, UnB/ FGA**

Orientador

---

**Prof. Doutor: Luciano Gonçalves Noletto, UnB/ FGA**

Membro Convidado

---

**Prof. Doutor: Augusto César de Mendonça Brasil, UnB/ FGA**

Membro Convidado

Brasília

2015

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que com sua misericórdia e amor me sustentou até aqui.

Aos meus pais, Andrea de Oliveira e Galdino Hilário, pela infinita compreensão diante dos meus sentimentos aflorados quando passava por alguns desafios durante a graduação, eu os amo e os admiro. Obrigada por toda palavra de incentivo, pela paciência e amor, por sempre me darem a liberdade de ser e fazer aquilo que o meu coração mandava, a vocês o meu amor e gratidão para sempre.

Aos meus familiares e amigos de longa data que estiveram do meu lado durante toda a minha graduação sempre acreditando em meu potencial. Em especial minha amiga Mariana Vasconcelos de Castro, que sempre me deu apoio desde o Ensino Médio e o meu amigo Paulo Henrique Castro dos Santos que durante grande parte da graduação esteve ao meu lado me apoiando, sendo um grande amigo e companheiro.

Ao meu amigo de graduação Diego Cardoso de Souza por me motivar a não desistir em nenhum momento e com sua fé em Deus me inspirar a acreditar em minha capacidade.

Ao meus amigos de trabalho Rodrigo e Zenildo que me ajudaram muito e com muita paciência me deram apoio técnico de excelência .

Aos Professores Doutores da UnB do Gama, Augusto Brasil e Luciano Noletto pelos auxílios e conhecimentos repassados para este trabalho.

Ao meu orientador Professor Doutor Rudi Henri Van Els que com toda paciência e solidez me orientou na realização desse trabalho.

A todos os que estiveram comigo direta ou indiretamente durante os anos de graduação, obrigada.

## RESUMO

Com o aumento da utilização de Energia Elétrica no Brasil as pequenas centrais de geração hidrelétrica vêm ganhando força na matriz energética brasileira, se tornando assim, um recurso renovável para ser usado como fonte de energia alternativa. Este trabalho teve com objetivo analisar a viabilidade na implantação de uma pequena central hidrelétrica como alternativa para alimentação de uma bomba hidráulica que captará a água de uma fonte e a bombeará a uma vazão constante de 10 m<sup>3</sup>/h até um tanque de aço inox com 12 m<sup>3</sup> de capacidade, que será instalado em uma futura fábrica de água mineral. O aproveitamento em estudo é a fazenda Mineração Bom Jesus, localizada no município de Luziânia, no estado de Goiás. O desenvolvimento deste trabalho foi fundamentado em estudos teóricos para a estimativa do potencial hidrelétrico produzido por uma queda d'água, por meio de dados de vazão do curso d'água existente no local de 0,3032 m<sup>3</sup>/s e altura de queda de 8,4 metros. Após levantamento de todos os dados necessários, constatou-se que a o potencial hidrelétrico gerado é de no máximo 25 kW, o que classifica a pequena central hidrelétrica como sendo do tipo micro e de baixa queda, porque a potência encontrada é menor que 100 kW. A turbina escolhida foi a Indalma e têm uma potência máxima de 4,04 kW, a partir dessa informação definiu-se o diâmetro da tubulação de recalque com 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" (duas polegadas e meia) e de sucção com 3" (três polegadas), pois teve uma menor perda de carga para o sistema o que influenciou na escolha de uma bomba do modelo ME 2350 do fabricante da empresa Schneider, com potência de 3,7 kW, dentro do limite de potência gerada pela turbina Indalma, indicando a viabilidade da instalação da microcentral para alimentação da bomba hidráulica. O custo total do projeto é de R\$ 140.297,11. O payback é de aproximadamente 9 anos. A instalação da microcentral proporcionará melhorias financeiras, pois a geração de energia elétrica suprirá o consumo da bomba e também trará benefícios ambientais e de marketing à futura fábrica.

**Palavras-chave:** Microcentral Hidrelétrica. Bomba hidráulica. Potencial hidrelétrico

## ABSTRACT

With the increased use of Electricity in Brazil small hydroelectric power generation facilities have been gaining strength in the Brazilian energy matrix, becoming thus a renewable resource to be used as an alternative energy source. This study was to analyze the viability of implantation of a small hydro plant as an alternative to power a hydraulic pump that will capture water from a spring and will pump at a constant flow rate of 10 m<sup>3</sup>/h to a stainless steel tank with 12 m<sup>3</sup> capacity, which will be installed in a future factory of mineral water. The use study is the farm Mineração Bom Jesus, in the municipality of Luziânia, state of Goiás. The development of this work was based on theoretical studies to estimate the hydropower produced by a waterfall, through data flow of the course existing water in place of 0.3032 m<sup>3</sup>/s and drop height of 8.4 meters. After lifting all the necessary data, it was found that the hydropower generated is a maximum of 25 kW, which ranks the small hydropower plant as the micro type and low head, because the power found is less than 100 kW. The turbine was chosen to Indalma and have a maximum power of 4.04 kW, from that information set up the diameter of the discharge piping with 2 1/2 "(two and a half inches) and suction with 3" (three inches), it had a lower pressure drop for the system which influence the choice of a pump of the ME 2350 model Schneider manufacturing company, with an output of 3.7 kW, within the power limit Indalma generated by the turbine, indicating feasibility of installation of the micro to the hydraulic pump power. The total project cost is R\$ 140,297.11. The payback is about 9 years. The installation of the micro provide financial improvements, for the generation of electric energy supply the consumption of the pump and will also bring environmental and marketing benefits to future plant.

**Keywords:** Hydroelectric micro-station. Hydraulic pump. Hydroelectric potential.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Turbina Francis e seus principais componentes.....	21
Figura 2 - Turbina Kaplan e seus principais componentes.....	22
Figura 3 - Turbina Pelton e seus principais componentes.....	23
Figura 4 - Turbina Indalma.....	24
Figura 5 - Roda hidráulica instalada no local de estudo.....	24
Figura 6 - Partes principais de um sistema de bombeamento.....	26
Figura 7 - Esquema típico de microusina hidrelétrica fio d'água.....	28
Figura 8 - Localização da Mineração Bom Jesus Ltda no contexto estadual.....	29
Figura 9 - Bacias hidrográficas do estado do Goiás.....	30
Figura 10 - Vista geral da captação da mina d'água, Fontes de água Gênese 1 e 2.....	31
Figura 11 - Distância entre as fontes e o vertedouro (V).....	31
Figura 12 - Diagrama de blocos do processo de captação da água até o vertedouro onde deságua o fluxo de água.....	32
Figura 13 - Tubulão instalado na captação.....	32
Figura 14 - Caixa de passagem no interior da área cercada da captação.....	33
Figura 15 - Caixa de saída, das fontes até o vertedouro.....	33
Figura 16 - Vertedouro na margem do córrego Santo Antônio da Boa Vista.....	34
Figura 17 - Vista superior do vertedouro situado na margem do Córrego Santo Antônio da Boa Vista.....	34
Figura 18 - Visão lateral simplificada da queda d'água.....	35
Figura 19 - Distância entre as fontes e a futura fábrica de água.....	36
Figura 20 - Instalação típica de bomba centrífuga.....	42
Figura 21 - Escolha da bomba pela altura manométrica e vazão - caso 1.....	46
Figura 22 - Curva de pressão da bomba VME-9875 da marca Schneider - caso 1.....	47
Figura 23 - Gráfico da Potência de eixo da bomba VME-9875 - caso 1.....	47
Figura 24 - Gráfico do rendimento da bomba VME-9875 - caso 1.....	47
Figura 25 - Escolha da bomba pela altura manométrica e vazão - caso 2.....	48
Figura 26 - Curva de pressão da bomba VME-2350 da marca Schneider - caso 2.....	49
Figura 27 - Gráfico da Potência de eixo da bomba ME-2350 - caso 2.....	49



Figura 28 - Gráfico do rendimento da bomba ME-2350 - caso 2.....	49
Figura 29 - Visão geral do sistema de bombeamento.....	55
Figura 30 - Detalhe do desenho do sistema de bombeamento.....	56
Figura 31 - Detalhe do percurso da tubulação com os suportes.....	56
Figura 32 - Visão isométrica do local de instalação da bomba.....	57
Figura 33 - Vista da parte de trás de onde sairá a tubulação de recalque.....	58
Figura 34 - Diagrama de blocos com o esquemático da proposta deste trabalho.....	59
Figura 35 - Ábaco de seleção de turbinas para microcentrais hidrelétricas.....	61
Figura 36 - Vista lateral da instalação da turbina Francis.....	62
Figura 37 - Vista lateral da instalação da turbina Indalma.....	63
Figura 38 - Turbina Francis em detalhe.....	63
Figura 39 - Casa de máquinas da microcentral com a turbina Francis.....	64
Figura 40 - Turbina Indalma em detalhe dentro da casa de máquinas.....	65
Figura 41 - Casa de máquinas da microcentral de geração hidrelétrica com a turbina Indalma.....	65
Figura 42 - Gráfico de Rotação versus potência a rendimento da turbina Indalma.....	67
Figura 43 - Diagrama elétrico de acionamento da bomba hidráulica.....	68
Figura 44 - Caso em que a bomba não funcionará.....	69
Figura 45 - Casos em que a bomba funcionará.....	69
Figura 46 - Casos em que a bomba funcionará.....	70
Figura 47 - Payback do valor investido.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Centrais de Geração Hidrelétrica no Estado do Goiás.....	17
Tabela 2 - Classificação das PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto.....	18
Tabela 3 - Velocidades de escoamento para diferentes diâmetros de tubulação.....	41
Tabela 4 - Comprimento equivalente da tubulação de recalque de 2”.....	42
Tabela 5 - Comprimento equivalente da tubulação de recalque de 2 1/2”.....	42
Tabela 6 - Comprimento equivalente da tubulação de sucção de 2 1/2”.....	43
Tabela 7 - Comprimento equivalente da tubulação de sucção de 3”.....	43
Tabela 8 - Bomba selecionada para 98,84 mca (caso 1).....	47
Tabela 9 - Bomba selecionada para 56,7 mca (caso 2).....	49
Tabela 10 - Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com aço inox (2” no recalque e de 2 1/2” na sucção).....	50
Tabela 11 - Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com o PVC (2” no recalque e de 2 1/2” na sucção).....	51
Tabela 12 - Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com aço inox (2 1/2” no recalque e de 3” na sucção).....	52
Tabela 13 - Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com o PVC (2 1/2” no recalque e de 3” na sucção).....	53
Tabela 14 - Tabela comparativa dos custos para tubo de PVC e aço inox para os casos 1 e 2.....	54
Tabela 15 - Custo de instalação da turbina Indalma.....	61
Tabela 16 - Custo total de instalação de uma turbina Francis.....	61
Tabela 17 - Tabela dos componentes do circuito elétrico.....	43
Tabela 18 - Custo total do projeto proposto.....	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CGH - Central de Geração Hidrelétrica

LTDA - Limitada

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o meio ambiente

G1 - Fonte Gênesis 1

G2 - Fonte Gênesis 2

TCC2 - Trabalho de Conclusão de Curso 2

NBR – Norma Brasileira

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\eta$  - Eficiência

P - Potência

Q - Vazão

l - Litro

ha - hectares

cv - cavalo

m - metros

$m^3.s^{-1}$  - metros cúbicos por segundo

$l.s^{-1}$  - litros por segundo

km - Quilômetros \

$km^2$  - Quilômetros ao quadrado

kW - kilowatt

kWh - kilowatt hora

rpm - Rotações por minuto

“ - Polegada

mca – Metros de coluna d'água

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2 MOTIVAÇÃO .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	18
1.4.1 Objetivos específicos.....	18
1.5 METODOLOGIA .....	19
1.6 ORGANIZAÇÃO.....	19
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS .....	20
2.1.1 Máquinas motrizes.....	20
2.1.1.1 Turbinas hidráulicas .....	20
2.1.1.1.1 Francis.....	21
2.1.1.1.2 Kaplan.....	22
2.1.1.1.3 Pelton.....	22
2.1.1.1.4 Indalma.....	23
2.1.1.1.5 Rodas hidráulicas .....	23
2.1.2 Máquinas geratrizes.....	24
2.1.3 Máquinas mistas.....	25
2.2 BOMBEAMENTO HIDRÁULICO .....	25
2.3 CENTRAL HIDRELÉTRICA.....	27
<b>CAPITULO 3 - O SÍTIO .....</b>	<b>28</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO .....	28
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA .....	28
3.3 AQUÍFERO EXPLORADO.....	29
3.4 DADOS HIDROENERGÉTICOS.....	33
<b>CAPÍTULO 4 SISTEMA DE BOMBEAMENTO .....</b>	<b>35</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA .....	35
4.1.1 Memorial de cálculo.....	36
4.1.2 Vazão de bombeamento.....	36
4.1.3 Diâmetro da tubulação.....	37

4.1.4 Velocidades de recalque e Sucção .....	38
4.1.4.1 Velocidade de recalque.....	38
4.1.4.2 Velocidade de Sucção .....	39
4.1.5 Conexões e acessórios.....	40
4.1.5.1 Recalque.....	41
4.1.5.2 Sucção.....	42
4.1.6 Perda de Carga.....	42
4.1.6.1 Perda de carga no recalque .....	42
4.1.6.2 Perda de carga na Sucção .....	43
4.1.7 Altura manométrica.....	44
4.1.8 Definição da bomba.....	45
4.2 CUSTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO .....	50
4.3 DESENHO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO PROPOSTO .....	55
<b>CAPÍTULO 5 - CENTRAL DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA.....</b>	<b>59</b>
5.1 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HIDRÁULICO DA QUEDA D'ÁGUA .....	59
5.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DE TURBINA A SER UTILIZADA .....	60
5.3 ALIMENTAÇÃO DA BOMBA HIDRÁULICA .....	68
<b>CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>80</b>

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

Neste capítulo é apresentada a contextualização para o presente estudo, considerando aspectos relativos à demanda de energética no Brasil, cenário das hidrelétricas no Brasil, seguido da motivação e justificativa do trabalho, logo após é descrita a metodologia utilizada e em sequência a organização do conteúdo do trabalho, finalizando com os objetivos, geral e específicos.

### **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

Ao longo dos anos o consumo de Energia Elétrica vem aumentando proporcionalmente ao desenvolvimento econômico do Brasil, fato que acontece devido o crescimento da industrialização juntamente com o aumento populacional. Em estudos realizados pela EPE, nos próximos 25 anos, haverá um significativo aumento na demanda por energia, o que corresponde a 5% ao ano no período de 2005 à 2010 e que nos outros anos será de 3,6% e 3,4% nos anos 2010 à 2020 e 2020 à 2030, oferta e demanda apresentará uma maior eficiência energética (TOLMASQUIM, 2007).

As hidrelétricas tem um papel muito importante na matriz energética brasileira e na eficiência na geração de energia elétrica, sendo parte fundamental no suprimento da demanda em energia elétrica no país, apesar desses fatores, os recursos hídricos disponíveis são imensos e ainda pouco explorados, representando apenas 14,4 % de nossa matriz energética no ano de 2009 (BANCO MUNDIAL, 2009).

Apesar de o Brasil ter grande capacidade hidrelétrica a ser instalada são encontrados diversos impasses, principalmente o fato de que os principais recursos hídricos do país estarem localizados na região Norte, onde existem diversas biodiversidades raras de vegetação e população indígena, então os novos projetos de hidrelétricas (BERMANN, 2007).

Dados esses fatores, as centrais de geração hidrelétrica (CGH) vêm adquirindo significativo papel no país, o que atrelado ao fato deste tipo de empreendimento contribuir para a geração de energia elétrica de maneira significativa na matriz energética brasileira, mostrando ser uma boa alternativa para redução do consumo de energia elétrica nos empreendimentos (ROSA, 2010).

## 1.2 MOTIVAÇÃO

A Fazenda Mineração Bom Jesus, objeto de estudo deste trabalho, será futuramente uma fábrica de água mineral, fato que demonstra a importância de se analisar de viabilidade na instalação de uma CGH para que toda a energia elétrica gerada alimente uma bomba hidráulica que mandará água para o processo industrial, esse bombeamento será de fundamental importância para a boa eficiência da fábrica.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os aproveitamentos hidrelétricos de médio e pequeno porte estiveram em operação até as primeiras décadas do século, mas no período depois da guerra mundial fez com que esses empreendimentos aumentassem sua capacidade de produção de energia elétrica, aumentando assim o porte, porém, ao passar dos anos percebeu-se que os altos custos de construção e os impactos ambientais gerados pelas hidrelétricas de grande porte, foram fatores que fizeram com que as atenções fossem voltadas novamente para as centrais de geração hidrelétrica, pois são vantajosas tanto para uso da energia em produção isolada como para abastecer o consumo do sistema energético brasileiro, além de sua construção ser a metade do tempo da construção de uma hidrelétrica de grande porte. (BELUCO, 1994).

Segundo dados da ANEEL (2015), no Brasil existem hoje aproximadamente 500 centrais de geração hidrelétrica (CGH), totalizando uma potência de 330.019,05 kW , essas são miniusinas com potência de até 1 MW, representando 0,24 % da matriz energética, dado esse que em 2011 representava apenas 0,11% . Dessas 500 CGH's, 12 são do Estado de Goiás, estado onde esse estudo está sendo realizado, com os dados presentes na Tabela 1 observa-se que essas CGH's geram juntas 6.454,52 kW de potência instalada somente no estado de Goiás, o que corresponde a 1,95 % da potência total instalada no Brasil pelas CGH's (ANEEL, 2015).



**Tabela 1:** Centrais de Geração Hidrelétrica no Estado do Goiás.

<b>Usina</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Município</b>
<b>Agropecuária Rio Paraíso</b>	302	Jataí - GO
<b>Cachoeira do Ronca (Antiga Mosquito)</b>	900	Campos Belos - GO
<b>do Candeeiro</b>	270	Doverlândia - GO
<b>Eletrocéu</b>	296	Chapadão do Céu - GO
<b>Fazenda Rancho Alegre e Fazenda Caraibinha</b>	79,12	Alto Paraíso de Goiás - GO
<b>Gameleira</b>	990	Gameleira de Goiás - GO
<b>Mãe Benta</b>	750	Niquelândia - GO
<b>PG2</b>	288	Ipameri - GO
<b>Rio Bonito II</b>	600	Caiaipônia - GO
<b>Saia Velha</b>	360	Valparaíso de Goiás - GO
<b>São Bento</b>	622,4	Catalão - GO
<b>Usina do Rio Bonito I</b>	997	Caiaipônia - GO

Fonte: ANEEL, 2015.

Nem todas as microcentrais hidrelétricas estão registradas devido a dificuldade da Aneel em mapear todos esses empreendimentos, pois a maioria delas estão em propriedades privadas ou têm difícil acesso (ALVES, 2007).

A viabilidade na instalação de uma central hidrelétrica pode ser de rápida aprovação pois está embasada em alguns incentivos por parte do governo, como é o caso do Decreto nº. 2003/1996, onde diz que os aproveitamentos de potenciais hidráulicos de até 1 MW independem de concessão ou autorização, porém devem ser comunicados ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente para fins de registro que podem ser destinados para fins de uso exclusivo e outro para comercializar no mercado a energia elétrica produzida na central hidrelétrica, para isso os empreendedores devem apresentar diversos documentos, e se dispõe a aproveitar um potencial hidráulico para aproveitar a energia gerada, descontos que podem chegar até 50% nas tarifas que incidirem sobre o estabelecimento (ANEEL, 2011).

A Eletrobrás (2013) classifica as Centrais de Geração Hidrelétrica como micro, mini ou pequenas, e a altura de queda de projeto como baixa, média ou alta. Na Tabela 2 é possível, com os dados de potência hidráulica e altura da queda de projeto, do local em que está sendo realizado o estudo, pode-se classificar o empreendimento.

**Tabela 2:** Classificação das PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto.

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (kW)	QUEDA DE PROJETO - $H_d$ (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
<b>MICRO</b>	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
<b>MINI</b>	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
<b>PEQUENAS</b>	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: Eletrobrás, 2013.

## 1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo o estudo da viabilidade na implantação de uma central de geração hidrelétrica, na fazenda Mineração Bom Jesus localizada no município de Luziânia no Estado do Goiás, a fim de alimentar uma bomba hidráulica para o bombeamento de água para uma futura fábrica de água mineral que será instalada no local.

### 1.4.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse estudo são:

- Dimensionamento hidráulico do sistema de bombeamento;
- Cálculo das perdas de cargas relacionadas as conexões e acessórios do bombeamento;
- Identificar o potencial hidráulico gerado no local de estudo;
- Identificar o tipo de central de geração hidrelétrica que poderá ser instalada.
- Dimensionar a turbina a ser utilizada;
- Custo total do projeto

## 1.5 METODOLOGIA

Para o dimensionamento do sistema de bombeamento parte-se dos conceitos do autor Macintyre para tratar do dimensionamento da central hidrelétrica, tipo de turbina e bombas, bem como conceitos acerca do sistema de bombeamento.

Com o intuito de analisar a pré-viabilidade para a implantação de uma CGH como alternativa para alimentação de uma bomba hidráulica que captará a água de uma fonte e bombeará até um tanque reservatório, bem como colocar em seus processos a questão da energia renovável, que está inserida a metodologia desenvolvida neste trabalho.

## 1.6 ORGANIZAÇÃO

No que tange à organização, este trabalho está dividido em capítulos, na qual o Cap. 1 apresenta o contexto, motivação, justificativa, os objetivos gerais e específicos e por fim, a metodologia utilizada. No Cap.2 são trazidos os conceitos básicos necessários para entendimento das questões discutidas no estudo na forma de revisão bibliográfica. O Cap.3 consiste na descrição do local onde é feito o presente estudo acerca da viabilidade de se instalar um central de geração hidrelétrica e o sistema de bombeamento. No Cap. 4 fala-se sobre os principais componentes de um sistema de bombeamento e seus conceitos, calcula-se também as velocidades de recalque e sucção, perda de carga para dois casos de diâmetro de tubulação. O Cap. 5 apresenta os principais conceitos acerca de central de geração hidrelétrica. Os resultados e discussão são apresentados no Cap.6, já no Cap. 7 estão as considerações finais do trabalho de conclusão de curso.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo são apresentados os principais conceitos acerca do tema deste trabalho de conclusão de curso, primeiramente, explica-se a classificação das máquinas hidráulicas e suas aplicações, em segundo está a explicação de bombeamento hidráulico e seus principais componentes por fim uma abordagem de como é uma Central de Geração Hidrelétrica.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

As máquinas hidráulicas, segundo MACINTYRE 1987, são classificadas em três principais grupos:

- Máquinas motrizes: que transformam energia hidráulica em energia mecânica (turbinas);
- Máquinas geratrizes ou operatrizes: que convertem energia mecânica em energia hidráulica (bombas);
- Máquinas mistas: que convertem a forma da energia hidráulica disponível (carneiro hidráulico, ejetores etc).

#### 2.1.1 Máquinas motrizes

São máquinas que transformam a energia hidráulica fornecida por meio de um fluxo de água em trabalho mecânico, de um modo geral se destinam a acionar outras máquinas elétricas, como geradores de energia elétrica. Dois tipos principais de máquinas motrizes serão descritos abaixo:

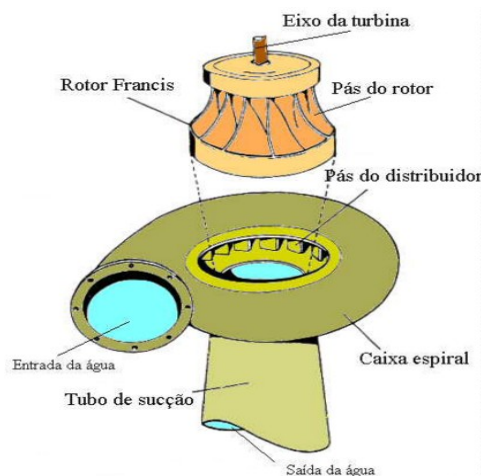
##### 2.1.1.1 Turbinas hidráulicas

Nesse tipo de máquina o escoamento da água se dá em canais formados por pás curvas, dispostas simetricamente em torno de um eixo móvel, e que constituem o rotor ou o receptor e um eixo fixo chamado de distribuidor que exerce sobre o líquido motor uma ação diretriz, e o conduz ao eixo móvel, conseguem que a ocorrência de algumas formas advindas da velocidade de escoamento, determine um conjunto de rotação que

se dá no eixo, o movimento e a potência desejados. São máquinas em a água que entra atua de acordo com a velocidade. Quando o líquido entra em contato com as pás a uma determinada velocidade devido á algumas forças darão origem ao movimento do rotor, os tipos de turbina hidráulica são classificadas de acordo com as formas do distribuidor e do receptor. (MACINTYRE, 1983).

#### 2.1.1.1.1 Francis

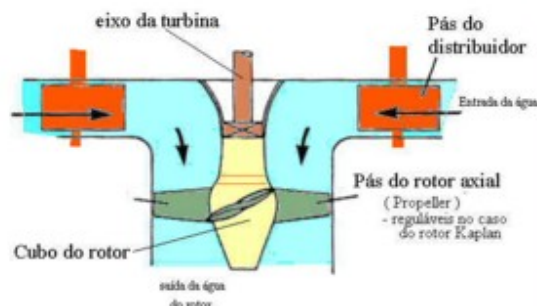
As turbinas hidráulicas de reação tipo Francis são radiais e helicoidais, possuem um receptor que fica internamente ao distribuidor, quando a água (com fluxo radial) passa pelo rotor de pás fixas aproxima-se constantemente do eixo (que pode ser vertical ou horizontal) e o orienta na direção axial para um tubo de sucção cuja função é manter a continuidade da massa líquida em escoamento, que vai desde a saída do receptor até o nível da água no poço de escapamento impedindo que caia livremente do receptor (MACINTAYRE, 1983). Há a transformação da energia hidráulica disponível em energia mecânica, traduzida pelo torque no eixo, o motor será lento se a queda for maior e a vazão menor caso contrário mais rápido será o motor (OLIVEIRA, 2014).



**Figura 1.** Turbina Francis e seus principais componentes, (MACKENZIE, 2005).

### 2.1.1.1.2 Kaplan

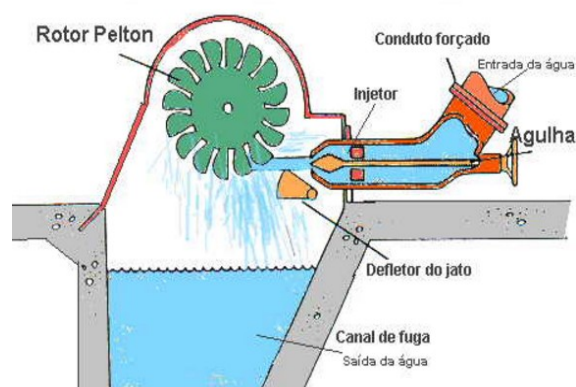
As turbinas hidráulicas tipo Kaplan são axiais a hélice, de reação, suas pás são variáveis os seus passos, possuem um mecanismo que permite variar o ângulo de inclinação das pás a fim de deixá-las no ponto de operação do grupo gerador recomendável para quedas pequenas e médias e grandes descargas (MACINTAYRE, 1983).



**Figura 2.** Turbina Kaplan e seus principais componentes, (MACKENZIE, 2005).

### 2.1.1.1.3 Pelton

As turbinas hidráulicas de ação ou impulsão tipo Pelton, possuem um jato, possui um receptor e um distribuidor. O distribuidor é um bocal que guia a água o que proporciona um jato cilíndrico sobre a pá do receptor, o que se consegue por meio de uma agulha (agulha de regularização). O receptor é constituído de diversas pás com forma de concha que são presas a um eixo (MACINTAYRE, 1983).



**Figura 3.** Turbina Pelton e seus principais componentes, (MACKENZIE, 2005).

#### 2.1.1.1.4 Indalma

É uma máquina hidráulica inventada, de reação centrípeta axial, desenvolvida e patenteada, tendo como base o funcionamento da turbina Francis, pela empresa Indalma, situada em Santarém do estado do Pará, para que atendesse a demanda de pequenas centrais hidrelétricas por máquinas hidráulicas. Em sua composição possui uma caixa espiral de seção triangular onde não estão inclusas pás diretrizes porque não possui o distribuidor, por isso não é dotada de um sistema em que haja o controle de vazão e potência. Seu rotor possui duas seções, a primeira a seção das pás está disposta na direção radial e no centro do rotor, a seção muda para uma disposição longitudinal (OLIVEIRA, 2014).

A Universidade de Brasília adquiriu, em um projeto de pesquisa, em parceria com empresa que Inalma que a fabrica, situada no Pará, para realizar ensaios no laboratório de termofluidos na Faculdade do Gama e também para conhecer melhor esta máquina e seus parâmetros. A Figura 4 mostra uma visão isométrica da turbina indalma.



**Figura 4.** Turbina Indalma, (OLIVEIRA, 2014).

#### 2.1.1.1.5 Rodas hidráulicas

Nesse tipo de máquina, a água, que escoar em canais especiais, atua com força e com velocidade com o predomínio de uma delas em cada tipo (rodas de cima, de lado e

de baixo) para produzir o conjugado motor assim a energia obtida será maior (MACINTAYRE, 1983).



**Figura 5.** Roda hidráulica instalada no local de estudo. Fonte própria.

### 2.1.2 Máquinas geratrizes

São máquinas que recebem trabalho mecânico que é fornecido por uma máquina motriz, e faz a transformação em energia hidráulica, dessa forma o líquido sofre um acréscimo de energia sob forma de energia potencial de pressão e cinética. As bombas hidráulicas se encaixam nessa categoria de máquina geratriz (MACINTAYRE, 1983).

As bombas hidráulicas podem ser classificadas em dois grupos distintos:

- i) Bombas de deslocamento positivo (bombas de êmbolo ou pistão, bombas de diafragma etc);
- ii) Bombas Rododinâmicas ou Turbobombas (bombas que apresentam um rotor giratório que transmite ao líquido um acréscimo na sua energia cinética e um difusor onde a maior parte da energia cinética adquirida é transformada em energia de pressão).



Quando se trata de bombeamento de água potável, o tipo de bomba mais indicado é a bomba centrífuga que é uma turbobomba, que basicamente precisa ser preenchida pelo líquido que vai ser bombeado que movimenta o rotor (pode ser aberto ou fechado, a função dele é comunicar à massa líquida aceleração, para adquirir energia cinética e transformar a energia mecânica de seu movimento) que fornece energia em forma de pressão para sucção do líquido e sobrepressão para recalca-lo (MACINTYRE, 1987). Outro componente importante é o difusor que recebe o fluido vindo do rotor e o encaminha para a tubulação de recalque;

### 2.1.3 Máquinas mistas

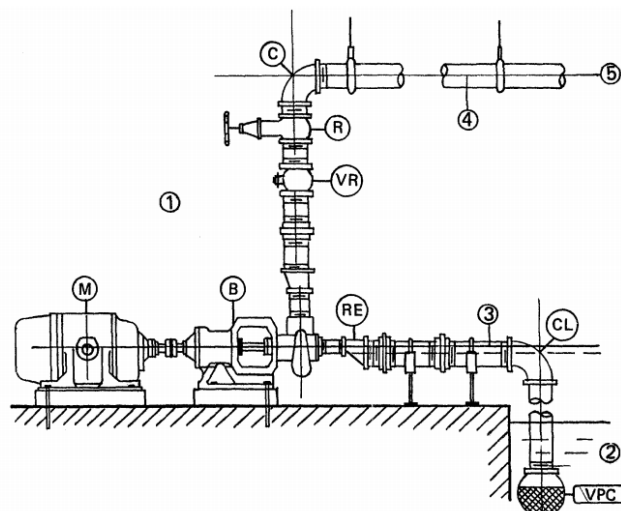
As máquinas mistas transformam o estado de energia que o líquido possui, ou seja, transformam a energia hidráulica sob uma forma na outra, modificam o estado de Energia, são exemplos dessas máquinas, os ejetores ou edutores, os pulsômetros e as chamadas bombas de emulsão de ar, estes funcionam como transformadores hidráulicos. (MACINTYRE, 1987).

## 2.2 BOMBEAMENTO HIDRÁULICO

O principal componente de um sistema de bombeamento hidráulico são as bombas hidráulicas que recebem energia potencial de um motor ou turbina, e transformam parte desta potência em energia cinética (de movimento) e energia de pressão (força), cedendo estas duas energias para a água (ou outro fluido a ser bombeado), de forma bombeá-lo de um ponto a outro. Portanto, o uso de bombas hidráulicas ocorre sempre que há a necessidade de aumentar-se a pressão de trabalho de uma substância líquida, contida em um sistema, a velocidade de escoamento, ou ambas. (RODRIGUES, 2014).

Segundo Carvalho (2008), para o dimensionamento de uma bomba e a tubulação a ser utilizada, é de extrema importância o conhecimento sobre as propriedades do fluido, e a perda de carga nas tubulações, pois a altura manométrica fornece energia ao líquido para que sejam vencidos os desníveis e as perdas de carga no decorrer do caminho do bombeamento.

Na Figura 6 é possível ter uma visão geral do que é um sistema de bombeamento hidráulico.



Legenda:

1 - Casa de Bombas  
M - Motor de acionamento  
B - Bomba  
2 - Poço (fonte)  
3 - Linha de Sucção  
VPC - Válvula de pé com crivo

RE - Redução Excêntrica  
CL - Curva de 90°  
4 - Linha de Recalque  
VR - Válvula de retenção  
R - Registro  
C - Joelhos  
5 - Reservatório

**Figura 6.** Partes principais de um sistema de bombeamento, (MELLO; YANAGI, 1999).

A relação de acessórios e conexões em um sistema de bombeamento, pode ser melhor explicado a seguir:

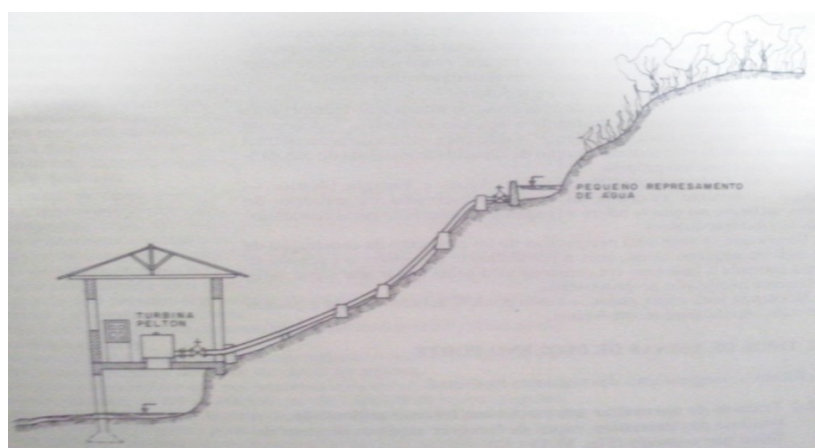
- i) Casa de Bombas: É um local, geralmente fechado, onde será instalada a bomba hidráulica;
- ii) Motor de acionamento: Gira o eixo da bomba e assim gera energia elétrica;
- iii) Bomba: Máquina hidráulica que transforma trabalho mecânico em energia cinética (de movimento) e energia de pressão (força);
- iv) Poço (fonte): Local de onde é retirada a água a ser bombeada;
- v) Linha de Sucção: Tubulação que vai da tubulação de sucção da fonte até o bocal de entrada da bomba;
- vi) VPC: Válvula de pé com crivo serve para filtrar qualquer tipo de impureza que venha junto com o líquido no momento de sua sucção;
- vii) Redução Excêntrica: Serve para reduzir o tamanho do diâmetro de um tubo;

- viii) Curvas: são desvios colocados ao longo da tubulação, podem ser de 45 ou 90 graus;
- ix) Registro: Serve para abrir ou fechar o fluxo de passagem do líquido no tubo;
- x) Joelhos: Mudança de direção da tubulação, podem ser de 45 ou 90 graus;
- xi) Reservatório: Local onde há um grande volume do líquido a ser bombeado.

### 2.3 CENTRAL HIDRELÉTRICA

As centrais hidrelétricas são empreendimentos que possibilitam a conversão da energia hidráulica (a energia de pressão e a energia cinética) de um fluido em energia elétrica, essa conversão acontece utilizando o conjunto turbina/gerador. As turbinas hidráulicas são máquinas motrizes, que realizam a conversão da energia hidráulica de um fluido em energia mecânica na forma de torque e velocidade de rotação (OLIVEIRA, 2014). Os principais tipos de turbinas hidráulicas a serem consideradas no estudo são as Francis, as Axiais, Pelton e Indalma, como expostas no referencial teórico.

Pela configuração atual do local de estudo e a busca por não modificar o cenário já existente, opta-se pela construção de uma microusina a fio d'água que captação de água de um pequeno reservatório de dá por meio de um conduto forçado acoplado ao bocal de entrada da turbina e na saída a adução feita por tubulação (MACINTYRE, 1983).



**Figura 7.** Esquema típico de microusina hidrelétrica fio d'água, (MACINTYRE, 1983)

## CAPITULO 3 - O SÍTIO

### 3.1 LOCALIZAÇÃO

O local do estudo de viabilidade na implantação de uma central de geração hidrelétrica é a fazenda Mineração Bom Jesus Ltda, com área de 49,70 hectares. A fazenda está localizada 11 km após a rodovia GO-010 sentido Maniratuba no município de Luziânia, no Estado de Goiás. Está distante 158 km da capital do estado de Goiás, Goiânia. A Figura 8 mostra o mapa da localização no contexto estadual.



**Figura 8.** Localização da Mineração Bom Jesus Ltda no contexto estadual, (GOOGLE MAPS, 2015).

### 3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

O aproveitamento em estudo tem como principal recurso hídrico a Bacia hidrográfica Paranaíba, possui extensão de 149.488 km<sup>2</sup>, na parte centro-sul do Estado de Goiás, abrigando 125 municípios goianos, entre eles, Luziânia. A bacia nasce na Serra da Mata da Corda no Estado de Minas Gerais a uma altitude de 1.140 m e percorre uma extensão de 1.120 km até sua desembocadura no rio Paraná. Sua bacia de captação e drenagem totaliza 220.195 km<sup>2</sup>. O rio Corumbá passa nas proximidades da fazenda e é um de seus efluentes. (SEPLAN-GO, 2015).

A área é cortada em seu terço leste pelo Córrego Santo Antônio da Boa Vista, Afluente do Rio Piracanjuba, que deságua no Rio Corumbá e está na bacia Paranaíba.

Na Figura 9, encontra-se um mapa com a bacia e seus respectivos efluentes que passam por grande parte do estado de Goiás.



**Figura 9.** Bacias hidrográficas do estado do Goiás, (VIVO, 2015).

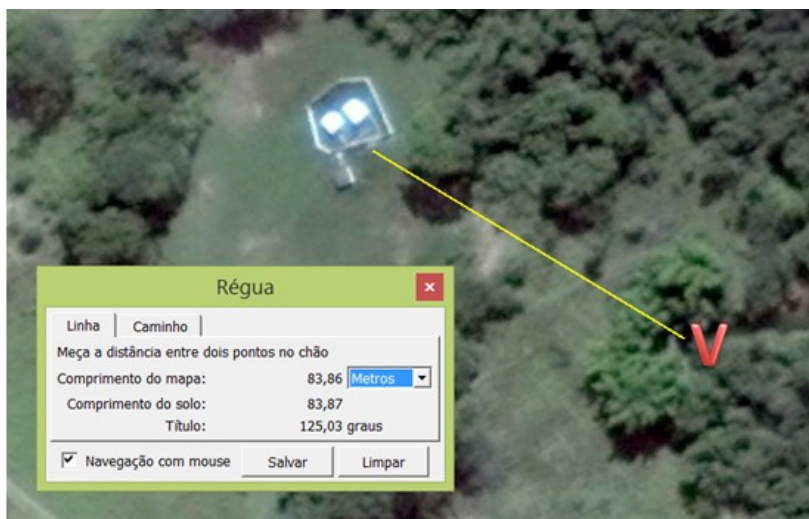
### 3.3 AQUÍFERO EXPLORADO

Na fazenda Bom Jesus existem duas fontes, Gênesis 1 e 2, que são duas captações construídas sobre o mesmo aquífero fraturado de água para maior volume a ser captado. Na Figura 10 é possível ter uma visão clara da disposição das fontes G1 e G2, o local tem duas casas de proteção e ao redor é cercado, e o piso é de concreto. Nenhuma das casas de proteção é dotada de antecâmara ou está preparada para receber instalação de equipamentos elétricos, uma readequação se faz necessária.



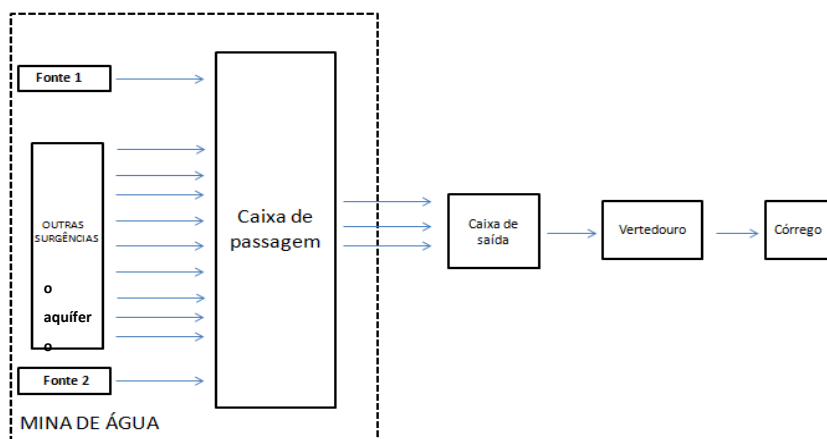
**Figura 10.** Vista geral da captação da mina d'água, Fontes de água Gênesis 1 e 2. Fonte própria.

Uma parcela da captação de água das fontes deságua a aproximadamente 84 metros de distância em um vertedouro (V da figura abaixo) de descarga, do fluxo de água captado pelos tubos de PVC localizados na instalação de alvenaria, no Córrego Santo Antônio da Boa Vista.



**Figura 11.** Distância entre as fontes e o vertedouro (V), (GOOGLE MAPS, 2015).

Para um melhor entendimento do esquema de captação atual de água até a sua queda para o vertedouro no córrego Santo Antônio da Boa Vista. Na Figura 12 está esquematizado, em forma de um diagrama de blocos, o sistema como um todo.



**Figura 12.** Diagrama de blocos do processo de captação da água até o vertedouro onde deságua o fluxo de água. Fonte: própria.



O acesso à água mineral, em ambas as captações, se dá por meio de tubulão, foto na Figura 13, (tanque de tamanho pequeno) de aço inoxidável com 0,6m de diâmetro e 1,40 m de extensão total, é dotado de tubo de saída de 3 polegadas que deságua direto na caixa de descida da água. Existe uma torneira amostradora que serve para aferir se está tendo passagem.



**Figura 13.** Tubulão instalado na captação. Fonte: própria.

Dois canos que saem diretamente dos tubulões, nas casas de proteção, conduzem a água captada para a caixa de passagem, existe uma grande quantidade de tubos de PVC (Figura 14) para a condução da água entre os pontos de captação existentes para os pontos de saída.



**Figura 14.** Caixa de passagem no interior da área cercada da captação. Fonte: própria.

Da caixa de passagem situada fora do perímetro cercado de captação, o fluxo de água se divide em 3 outros canos na caixa de saída, que está localizada fora da demarcação das fontes G1 e G2, estes canos da Figura 15 mandam água para o vertedouro que deságua no córrego.



**Figura 15.** Caixa de saída, das fontes até o vertedouro. Fonte: própria.

Toda a água que foi jogada na caixa de saída desce por uma tubulação de 8 polegadas fabricada em concreto, na Figura 16 pode ser visualizado, este é o ponto onde o sistema turbina/gerador poderá ser montado .



**Figura 16.** Vertedouro na margem do córrego Santo Antônio da Boa Vista. Fonte: própria.





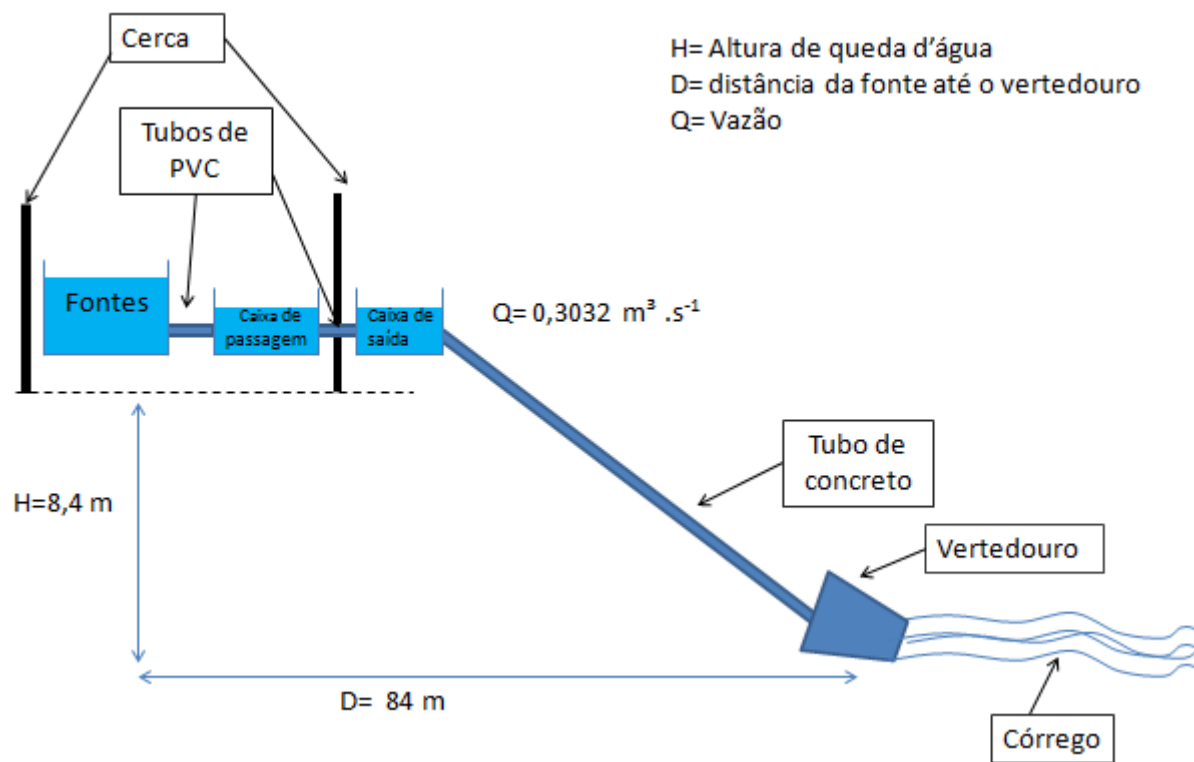
**Figura 17.** Vista superior do vertedouro situado na margem do Córrego Santo Antônio da Boa Vista.

Fonte: própria.

### 3.4 DADOS HIDROENERGÉTICOS

Os principais dados hidroenergéticos disponíveis da Fazenda foram fornecidos pela empresa dona do terreno, em uma medição realizada por terceiros, as vazões espontâneas medidas para as captações, fontes Gênesis 1 e 2, permitem o fluxo de  $152,27\text{m}^3/\text{h}$  ou  $3654,48\text{m}^3/\text{dia}$ . Este fluxo conjugado representa 27,90% da vazão total, então a vazão total mínima das captações existentes será aproximadamente  $1091,54\text{m}^3/\text{h}$  ou  $26196,98\text{m}^3/\text{dia}$ , tendo uma vazão intermediária de (Q) de  $0,3032\text{m}^3/\text{s}$  que será a considerada neste estudo, a vazão máxima pode chegar a  $0,555\text{m}^3/\text{s}$  ou  $2000\text{m}^3/\text{h}$  nos períodos de seca, de Maio a Setembro.

A queda bruta (H) das fontes Gênesis 1 e 2 até o vertedouro é de 8,4 m com um tubo de concreto de 8 polegadas que deságua direto no córrego. Na Figura 18 está um esquemático da configuração da queda d'água da fazenda.



**Figura 18.** Visão lateral simplificada da queda d'água. Fonte: própria.

## CAPÍTULO 4 SISTEMA DE BOMBEAMENTO

O sistema de bombeamento de água sairá de onde estão as fontes G1 e G2 até o tanque na nova fábrica, a uma distância de aproximadamente 804 metros. Portanto a bomba hidráulica a ser dimensionada deverá ser capaz de enviar água para um reservatório a essa distância como pode ser visto na Figura 19.



**Figura 19.** Distância entre as fontes e a futura fábrica de água, (GOOGLE MAPS, 2015).

O sistema de bombeamento de água proposto consiste em instalar uma bomba hidráulica para o transporte de água para abastecer um tanque com as características abaixo:

- 10 metros cúbicos (dez mil litros) de água por hora de capacidade;
- Segundo a NBR 5626/98, o reservatório superior não pode ser inferior ao consumo diário;
- Recomenda-se que não ultrapasse três vezes o mesmo, costuma ser igual ao volume diário acrescido de 20% como reserva de água para o primeiro combate a incêndio;
- Material de aço inox;
- 12 metros cúbicos de volume (doze mil litros).

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA

Para um bom sistema de bombeamento de água faz-se necessário a obtenção de diversos parâmetros e variáveis para a construção de uma instalação hidráulica bem feita, dada a vazão requerida, o comprimento, diâmetro e material da tubulação de recalque e de sucção, bem como a quantidade de conexões e acessórios, o rendimento e tipo de bomba hidráulica, além de outros de menor relevância. Abaixo estão as principais informações acerca do sistema de bombeamento.

#### 4.1.1 Memorial de cálculo

Para o início do projeto de bombeamento hidráulico são necessários o levantamento de alguns dados, ou já fornecidos ou que serão calculados, em virtude da disposição física das instalações, seguem abaixo:

- Vazão do bombeamento =  $10 \text{ m}^3/\text{h} = 2,77 \text{ l/s} = 0,00277 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- Diâmetro da tubulação de recalque;
- Diâmetro da tubulação de sucção;
- A velocidade média de escoamento;
- Área do tubo;
- Altura de sucção (desnível entre a bomba e a lâmina d'água) = 0,5 m;
- Altura de recalque = 40,0 m;
- Comprimento linear de tubulação de sucção = 6,0 m;
- Comprimento linear de tubulação de recalque = 1400 m;
- Comprimento equivalente dos acessórios;
- Material da tubulação: Aço inox ou PVC;
- Líquido a ser bombeado: Água potável à temperatura ambiente;
- Altitude do local = nível do mar (pressão atmosférica = 10,33 mca);
- Temperatura máxima da água = 30 °C;

#### 4.1.2 Vazão de bombeamento

O sistema de bombeamento terá que abastecer um tanque de 10.000 litros de água por hora. Para o cálculo da vazão considera-se que a bomba irá trabalhar quase 24

horas por dia. O tanque tem 12.000 litros de capacidade. A vazão de bombeamento ( $Q_b$ ) pode ser calculada pela fórmula abaixo:

$$Q_b = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} * \frac{10.000 \text{ L}}{1 \text{ hora}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ l}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \quad (1)$$

$$Q_b = 0,00277 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_b = 2,77 \text{ l.s}^{-1}$$

$$Q_b = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.1.3 Diâmetro da tubulação

O diâmetro da tubulação está relacionada à vazão que deve ser bombeada, quanto maior a vazão, maior será o diâmetro da tubulação. Segundo Porto (1998), o diâmetro interno ou área livre de escoamento, precisa ser dimensionado de modo que esteja relacionado às condições hidráulicas para garantir o transporte do fluido a uma vazão constante. No entanto, para efeito de cálculos, segundo Macintyre (1987), a fórmula mais utilizada para chegar-se aos diâmetros de recalque e sucção do tubo é a Fórmula de Bresse, expressa por:

$$Dr = K \sqrt{Q_b} \quad (2)$$

Onde,

$Dr$  = Diâmetro do tubo de recalque em metros (m);

$K$  = Coeficiente dos custos de investimento e de operação. Usualmente aplica-se um valor entre 0,8 e 1,0. Para este estudo considera-se  $K$  igual a 0,9.

$Q_b$  = Vazão de bombeamento ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Essa fórmula calcula o diâmetro de recalque econômico, o diâmetro de sucção será o diâmetro comercial imediatamente superior.

$$Dr = 0,9 \sqrt{0,00277}$$

$$Dr = 0,04737 \text{ m ou } 47,37 \text{ mm}$$

O diâmetro econômico mais indicado da tubulação de recalque ( $Dr$ ) será de 2'' (duas polegadas) ou 50 mm, para o diâmetro da tubulação de sucção ( $Ds$ ) adota-se um diâmetro comercial imediatamente superior, então será de  $2\frac{1}{2}$ " (duas polegadas e meia) ou 63 mm. Esses valores encontrados de diâmetro de sucção e recalque estão dentro do previsto pela tabela do ANEXO I, que indica os diâmetros de tubulação mínimos a utilizar no projeto pelo volume a ser bombeado.

Porém neste estudo será feita a comparação de dois tubos diferentes para o recalque e para a sucção a fim de analisar suas perdas de carga, custos e seleção da bomba mais adequada. São eles :

- **Caso 1:** Tubo de recalque com 2'' e tubo de sucção com  $2\frac{1}{2}$ ''
- **Caso 2:** Tubo de recalque com  $2\frac{1}{2}$ '' e tubo de sucção com 3''

Observação importante: Todos os cálculos a seguir que estiverem com índice 1 em suas fórmulas se referem ao caso 1, com índice 2 ao caso 2 .

#### 4.1.4 Velocidades de recalque e Sucção

##### 4.1.4.1 Velocidade de recalque

A velocidade média de escoamento aplicada em condutos circulares de diâmetro de 2'' ( $Dr_1 = 50$  mm) no recalque é dado por:

$$Vr_1 = \frac{Qb}{Ar_1} \quad (3)$$

$$Vr_1 = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/s)}{(\pi Dr_1^2/4)m^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/s)}{(\pi(0,05)^2/4)m^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/s)}{(0,0019635)m^2} \right]$$

$$Vr_1 = 1,41 \text{ m/s}$$

A velocidade média de escoamento aplicada em condutos circulares de diâmetro de 2 1/2" (Dr<sub>2</sub> = 63 mm) é dado por:

$$V_{r_2} = \frac{Q_b}{A_{r_2}} \quad (4)$$

$$V_{r_2} = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi D r_2^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi (0,063)^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,0031172) \text{ m}^2} \right]$$

$$V_{r_2} = 0,88 \text{ m/s}$$

#### 4.1.4.2 Velocidade de Sucção

A velocidade média de escoamento aplicada em condutos circulares de diâmetro de 2 1/2" é dado por:

$$V_{s_1} = \frac{Q_b}{A_{s_1}} \quad (5)$$

$$V_{s_1} = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi D s_1^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi (0,063)^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,0031172) \text{ m}^2} \right]$$

$$V_{s_1} = 0,88 \text{ m/s}$$

A velocidade média de escoamento aplicada em condutos circulares de diâmetro de 3" (75 mm) é dado por:

$$V_{s_2} = \frac{Q_b}{A_{s_2}} \quad (6)$$

$$V_{S_2} = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi D_s^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi(0,075)^2/4) \text{ m}^2} \right] = \left[ \frac{(0,00277 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,005625) \text{ m}^2} \right]$$

$$V_{S_2} = 0,492 \text{ m/s}$$

**Tabela 3.** Velocidades de escoamento para diferentes diâmetros de tubulação.

	<b>Velocidade</b>
<b>Recalque - 2"</b>	1,41 m/s
<b>Sucção - 2 1/2"</b>	0,88 m/s
<b>Recalque - 2 1/2"</b>	0,88 m/s
<b>Sucção - 3"</b>	0,492 m/s

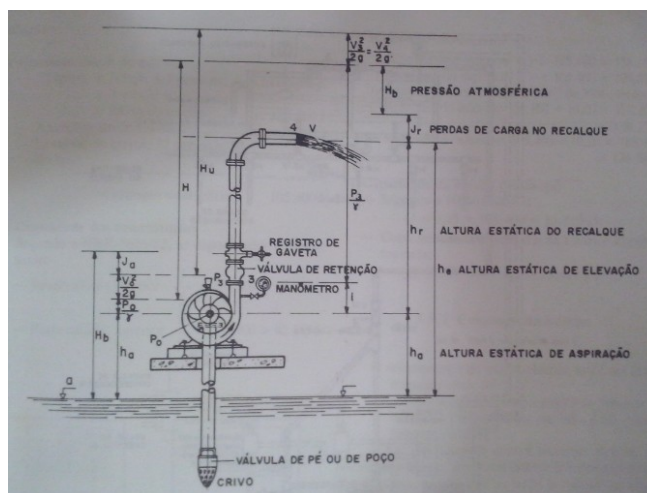
Fonte: própria

Com os valores de velocidade obtidos é possível perceber pela Tabela 3 que quanto maior o diâmetro da tubulação, menor será a velocidade de escoamento da água no sistema de bombeamento, tanto para o recalque como para sucção. Essa afirmação é de real importância em um projeto de bombeamento, pois se deseja bombear a vazão necessária em um menor espaço de tempo.

#### 4.1.5 Conexões e acessórios

No bombeamento hidráulico são necessários diversas conexões e acessórios para um bom controle do sistema até a chegada da água ao reservatório superior, na Figura 20 é possível identificar os principais componentes na instalação de uma bomba hidráulica. A correta escolha destes acessórios exige um estudo detalhado e bem mapeado, pois a quantidade de conexões e acessórios influenciará diretamente nas perdas de carga.





**Figura 20.** Instalação típica de bomba centrífuga (MACINTYRE, 1990).

#### 4.1.5.1 Recalque

Abaixo na encontram-se os comprimentos equivalentes de cada acessório e conexão escolhidos para o sistema de recalque do bombeamento, tais valores foram retirados da tabela do Anexo II que mostra a equivalência em metros de cada componente, tanto para o material PVC quanto para o aço inox considera-se os valores de comprimento equivalente do PVC nos dois casos em estudo. Na Tabela 4 estão descritos todos os acessórios e conexões e suas equivalências em comprimento na tubulação de recalque para o diâmetro de 2" e na Tabela 5 para o diâmetro de 2 1/2". Onde  $Leqr_1$  significa comprimento equivalente em metros na sucção para o caso 1 e  $Leqr_2$  para o caso 2.

**Tabela 4.** Comprimento equivalente da tubulação de recalque de 2"

Acessórios/Conexões	Quantidade	$Leqr_1$ por unidade	$Leqr_1$ total
Válvula de retenção de 2"	8	4,2	33,6
Curva de 45 de 2"	14	0,7	9,8
Curva de 90 de 2"	3	1,3	3,9
Registro gaveta de 2" horizontal	1	0,8	0,4
<b><math>Leqr_1</math> TOTAL</b>			<b>47,7 m</b>

Fonte: própria

**Tabela 5.** Comprimento equivalente da tubulação de recalque de 2 1/2''

Acessórios/Conexões	Quantidade	Leqr <sub>2</sub> por unidade	Leqr <sub>2</sub> total
Válvula de retenção de 2 1/2 ''	8	5,2	41,6
Curva de 45 de 2 1/2''	14	0,8	11,2
Curva de 90 de 2 1/2''	3	1,4	4,2
Registro gaveta de 2 1/2'' horizontal	1	0,9	0,9
<b>Leqr<sub>2</sub> TOTAL</b>			<b>57,9 m</b>

Fonte: própria

#### 4.1.5.2 Sucção

Abaixo na encontram-se os comprimentos equivalentes de cada acessório e conexão escolhidos para o sistema de sucção do bombeamento, tais valores foram retirados da tabela do Anexo II que mostra a equivalência em metros de cada componente, tanto para o material PVC quanto para o aço inox consideram-se os valores de comprimento equivalente do PVC nos dois casos em estudo. Na Tabela 6 estão descritos todos os acessórios e conexões e suas equivalências em comprimento na tubulação de sucção para o diâmetro de 2 1/2'' e na Tabela 7 para o diâmetro de 3'' . Onde Leqs<sub>1</sub> significa comprimento equivalente em metros na sucção para o caso 1 e Leqs<sub>2</sub> para o caso 2.

**Tabela 6.** Comprimento equivalente da tubulação de sucção de 2 1/2''

Acessórios/conexões	Quantidade	Leqs <sub>1</sub> por unid.	Leqs <sub>1</sub> total
Curva de 90 de 2 1/2''	1	1,4	1,4
Válvula de pé com crivo 2 1/2''	1	25	25
<b>Leqs<sub>1</sub> TOTAL</b>			<b>26,4</b>

Fonte: própria

**Tabela 7.** Comprimento equivalente da tubulação de sucção de 3''.

Acessórios/conexões	Quantidade	Leqs <sub>2</sub> por unid.	Leqs <sub>2</sub> total
Curva de 90 de 3''	1	1,5	1,5
Válvula de pé com crivo 3''	1	26,8	26,8
<b>Leqs<sub>2</sub> TOTAL</b>			<b>28,3</b>

Fonte: própria

#### 4.1.6 Perda de Carga

##### 4.1.6.1 Perda de carga no recalque

Para o cálculo da perda de carga no recalque (  $PCr_1$  para o caso 1 e  $PCr_2$  para o caso 2 ), considera-se que cada metro encontrado no cálculo de comprimento equivalente (  $Leqr_1$  para o caso 1 e  $Leqr_2$  para o caso 2 ) equivale a um mca (metro por coluna d'água) por ser a unidade adotada para dimensionar bombas hidráulicas. Utiliza-se a fórmula abaixo, retirada do método utilizado em um catálogo de bombas centrífugas da marca Schneider:

$$PCr_1 = ( Lr + Leqr_1 ) \cdot fpc \quad (7)$$

$PCr_1 =$  (Comprimento linear da tubulação de recalque + Comprimento equivalente para o caso 1) x Fator de perda de carga para tubo de 2" (Anexo I – Perda de carga em tubulações)

$$PCr_1 = (1.400 \text{ m} + 47,7 \text{ m}) \times 4\%$$

$$PCr_1 = 57,908 \text{ mca}$$

Para a perda de carga em um tubo de 2 1/2" no recalque (caso 2) :

$$PCr_2 = ( Lr + Leqr_2 ) \cdot fpc \quad (8)$$

$$PCr_2 = (1.400 \text{ m} + 57,9 \text{ m}) \times 1,1\%$$

$$PCr_2 = 16,04 \text{ mca}$$

#### 4.1.6.2 Perda de carga na Sucção

Para o cálculo da perda de carga na sucção (  $PCs1$  para o caso 1 e  $PCs2$  para o caso 2), considera-se que cada metro encontrado no cálculo de comprimento equivalente (  $Leqs1$  para o caso 1 e  $Leqs2$  para o caso 2 ) equivale a um mca (metro por coluna d'água) por ser a unidade adotada para dimensionar bombas hidráulicas. Utiliza-se a fórmula abaixo, retirada do método utilizado em um catálogo de bombas centrífugas da marca Schneider:

Para a perda de carga em um tubo de 2 1/2" na sucção (caso 1) :

$$PC_{S1} = (L_s + Leq_{S1}) \cdot f_{pc} \quad (9)$$

$PC_{S1}$  = (Comprimento linear da tubulação de sucção + Comprimento equivalente para o caso 1 na sucção) x Fator de perda de carga (Anexo I - Perda de carga em tubulações)

$$PC_{S1} = (6 \text{ m} + 26,4 \text{ m}) \times 1,1\%$$

$$PC_{S1} = \mathbf{0,3564 \text{ mca}}$$

Para a perda de carga em um tubo de 3" na sucção (caso 2) :

$$PC_{S2} = (L_s + Leq_{S2}) \cdot f_{pc} \quad (10)$$

$$PC_{S2} = (6 \text{ m} + 28,3 \text{ m}) \times 0,5\%$$

$$PC_{S2} = \mathbf{0,1715 \text{ mca}}$$

#### 4.1.7 Altura manométrica

A escolha do tipo de bomba parta da informação de altura manométrica total ( $AMT_1$  para o caso 1 e  $AMT_2$  para o caso 2), que soma a altura de sucção e a de recalque mais as perdas por conexões e acessórios. Abaixo estão os cálculos para altura manométrica total para os dois casos em estudo, também retiradas do catálogo de bombas da marca Schneider.

**Para o caso 1 :** Tubo de recalque com 2" e tubo de sucção com 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>"

$$AMT_1 = A_s + A_r + PC_{S1} + PC_{R1} \quad (11)$$

$$AMT_1 = 0,5 + 40 + 0,3564 + 57,908$$

$$AMT_1 = \mathbf{98,84 \text{ mca}}$$

**Para o caso 2 :** Tubo de recalque com 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" e tubo de sucção com 3"

$$AMT_2 = A_s + A_r + PC_{S2} + PC_{R2} \quad (12)$$

$$AM_2 = 0,5 + 40 + 0,1715 + 16,04$$

$$AMT_2 = \mathbf{56,71 \text{ mca}}$$

Com os principais dados de projeto conhecidos pode-se agora partir para a escolha da bomba adequada para os dois casos de diâmetro de tubulação, como as fórmulas e métodos de calcular as variáveis foram retiradas do manual de seleção da marca Schneider, as bombas também serão escolhidas pelo catálogo do mesmo fabricante.

#### 4.1.8 Definição da bomba

Para o bombeamento hidráulico as bombas que são mais aplicadas para este tipo de aplicação são as centrífugas (MACINTAYRE, 1990).

As bombas centrífugas são constituídas principalmente por um rotor, que fornece aceleração ao fluido para que adquira energia cinética e de pressão para transformar em energia mecânica, possuem também um distribuidor que recebe o líquido que sai do rotor e transforma uma parte bem considerável em Energia cinética (MACINTAYRE, 1990).

Para a correta escolha da bomba hidráulica é necessário ter bem definido os tipos de acessórios e conexões que irão compor todo o sistema de bombeamento, pois está diretamente relacionada à perda de carga total.

- **Caso 1:** Com os dados da altura manométrica total ( $AMT_1$ ) é de 98,84 mca e a vazão de projeto de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , é possível fazer a escolha da bomba no catálogo da marca Schneider.

Na Figura 21 é possível procurar pelo valor da altura manométrica total o modelo de bomba que se adéqua dentro das variáveis de projeto.

MODELO	Potência (cv)	Estágios	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	Altura máxima de sucção (m.c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																										
									Altura Manométrica Total (m.c.a.)																										
									Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.																										
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250					
(*) VME-3415	1,5	4	x	1	1	65	8	98,5	*	5,9	5,5	5,1	4,7	4,2	3,6	3,0	2,2	1,0																	
(*) VME-3620	2	6	x	1	1	95	8	98,5	*	*	6,0	5,7	5,5	5,2	4,9	4,6	4,3	3,9	3,5	3,1	2,0														
(*) VME-3830	3	8	x	1	1	129	8	98,5	*	*	*	5,9	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,2	3,6	3,0	2,2	1,1												
(*) VME-31140	4	11	x	1	1	173	8	98,5	*	*	*	*	*	*	5,9	5,8	5,6	5,5	5,2	4,9	4,5	4,2	3,8	3,3	2,8	2,3	1,5								
(*) VME-31350	5	13	x	1	1	210	8	98,5	*	*	*	*	*	*	5,9	5,7	5,4	5,2	4,9	4,5	4,2	4,0	3,7	3,3	2,9	2,4	1,8	1,0							
VME-5630	3	6	x	1 1/4	1 1/4	100	8	97	*	*	*	*	*	*	8,8	8,4	7,9	7,4	6,8	5,3	3,1														
VME-5840	4	8	x	1 1/4	1 1/4	133	8	97	*	*	*	*	*	*	8,9	8,6	7,9	7,1	6,1	4,8	3,0														
VME-51050	5	10	x	1 1/4	1 1/4	168	8	97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8,6	8,0	7,4	6,7	5,8	4,8	3,5	1,8										
VME-51275	7,5	12	x	1 1/4	1 1/4	203	8	97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8,6	8,1	7,6	7,1	6,4	5,7	4,8	3,7	2,3							
VME-51475	7,5	14	x	1 1/4	1 1/4	235	8	97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8,9	8,5	8,1	7,7	7,2	6,6	6,0	5,3	4,5	3,5	2,4	1,1				
VME-515100	10	15	x	1 1/4	1 1/4	254	8	97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8,9	8,6	8,2	7,8	7,4	6,9	6,4	5,8	5,1	4,3	3,4	2,3	1,1		
VME-9330	3	3	x	1 1/2	1 1/2	51	8	101	17,7	16,8	15,8	14,5	13,0	11,0	7,7																				
VME-9540	4	5	x	1 1/2	1 1/2	87	8	101	*	18,1	17,6	17,0	16,5	15,8	15,1	14,4	13,5	12,5	11,2	9,6	2,5														
VME-9650	5	6	x	1 1/2	1 1/2	104	8	101	*	*	17,8	17,3	16,9	16,4	15,9	15,3	14,6	13,9	13,2	11,2	8,0														
VME-9875	7,5	8	x	1 1/2	1 1/2	138	8	101	*	*	*	17,9	17,5	17,2	16,8	16,5	16,1	15,6	14,7	13,1	12,4	10,7	8,2	3,3											
VME-910100	10	10	x	1 1/2	1 1/2	174	8	101	*	*	*	*	*	18,0	17,7	17,4	17,2	16,9	16,3	15,6	14,9	14,1	13,1	12,0	10,6	8,6	5,4								
VME-912100	10	12	x	1 1/2	1 1/2	208	8	101	*	*	*	*	*	*	17,9	17,7	17,5	17,0	16,5	16,0	15,4	14,8	14,1	13,4	12,5	11,4	10,2	8,5	5,8						
VME-914150	15	14	x	1 1/2	1 1/2	244	8	101	*	*	*	*	*	*	18,0	17,6	17,2	16,8	16,4	15,9	15,4	14,9	14,3	13,7	13,0	12,2	11,3	10,2	8,7	6,7	3,4				

Figura 21. Escolha da bomba pela altura manométrica e vazão – caso 1. (SCHNEIDER, 2015).

O modelo que se enquadrou dentro dos valores de projeto para o primeiro caso, analisado de tubulação foi a bomba de modelo VME-9875 da marca Schneider, bombeia até uma vazão de 12,4 m³/h. No catálogo de curvas do fabricante é possível obter as curvas da bomba que estão na cor azul.

Na Figura 22 pode-se observar que o gráfico na cor azul são os dados da altura manométrica em função da vazão.

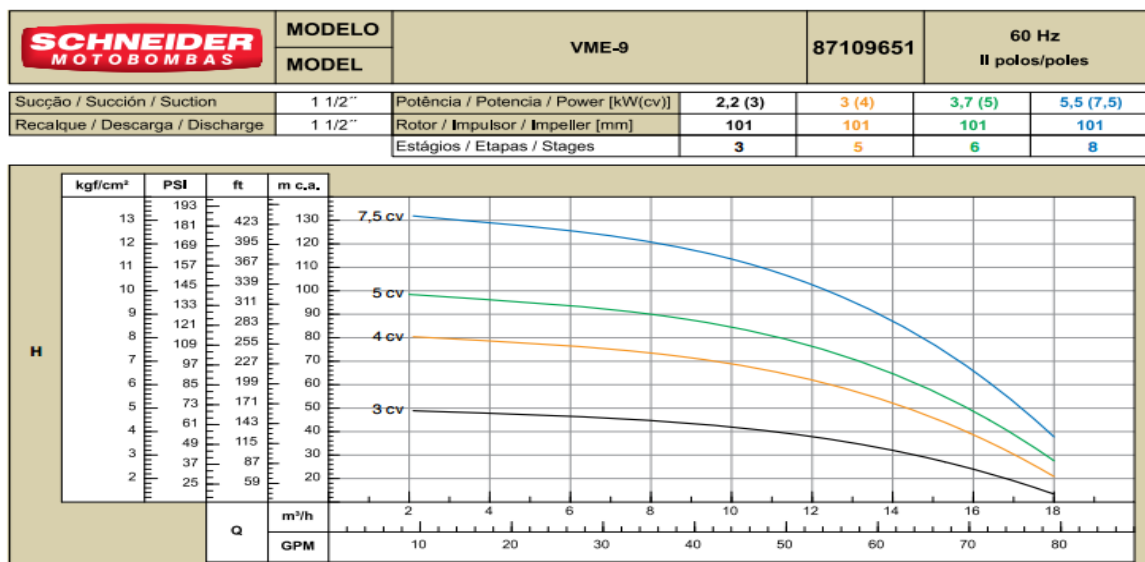
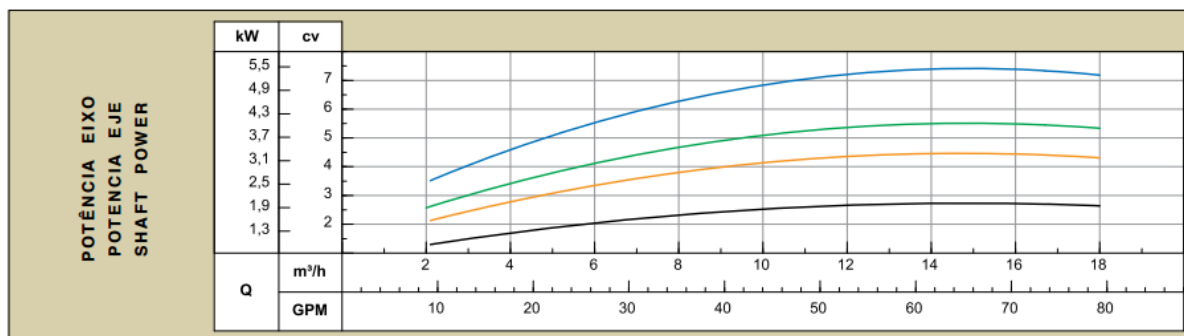


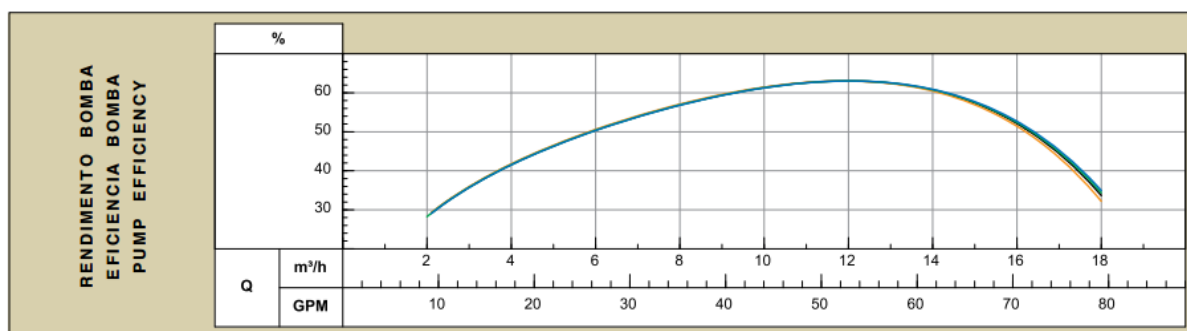
Figura 22. Curva de pressão da bomba VME-9875 da marca Schneider - caso 1 (SCHNEIDER, 2015).

Na Figura 23 está o gráfico de potência máxima de eixo da bomba em função da vazão, pode-se perceber que para a vazão de bombeamento a potência máxima é de 5,5 kW.



**Figura 23.** Gráfico da Potência de eixo da bomba VME-9875 caso 1 (SCHNEIDER, 2015).

A Figura 24 que traz o rendimento da máquina pela vazão bombeada, para esse projeto é aproximadamente 64%.



**Figura 24.** Gráfico do rendimento da bomba VME-9875 - caso 1 (SCHNEIDER, 2015).

Na Tabela 8 estão as principais informações da bomba VME-9875.

**Tabela 8.** Bomba selecionada para 98,84 mca (caso 1).

<b>Bomba VME 9875</b>	
<b>Potência</b>	Máx 7,5 cv / 5,5kW
<b>Eficiência</b>	Máx 64%
<b>Estágios</b>	8
<b>Tamanho do Rotor</b>	101 mm
<b>Pressão Max sem vazão</b>	138 mca
<b>Altura máxima de sucção</b>	8 mca

Fonte: Própria

**Caso 2:** Com os dados da altura manométrica total ( $AMT_2$ ) de 56,71 mca e a vazão de projeto de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , é possível fazer a escolha do modelo da bomba no catálogo da marca Schneider para este caso.





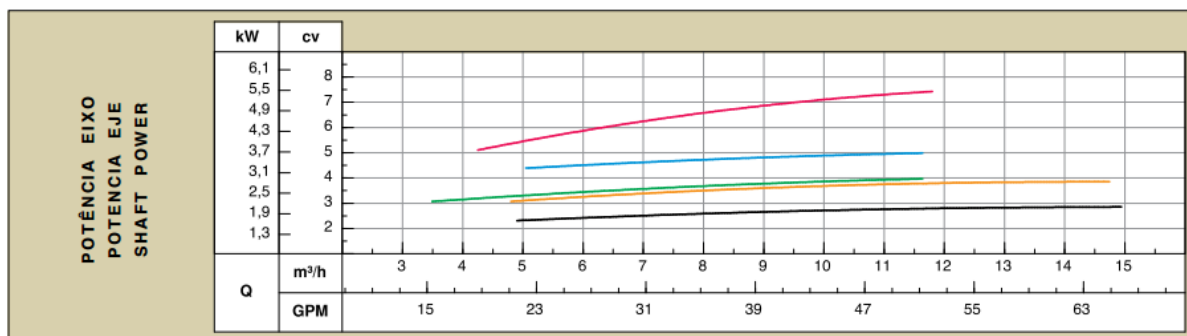


Figura 27. Gráfico da Potência de eixo da bomba ME-2350 - caso 2 (SCHNEIDER, 2015).

A Figura 28 que traz o rendimento da máquina pela vazão bombeada, para esse projeto é aproximadamente 56 %.

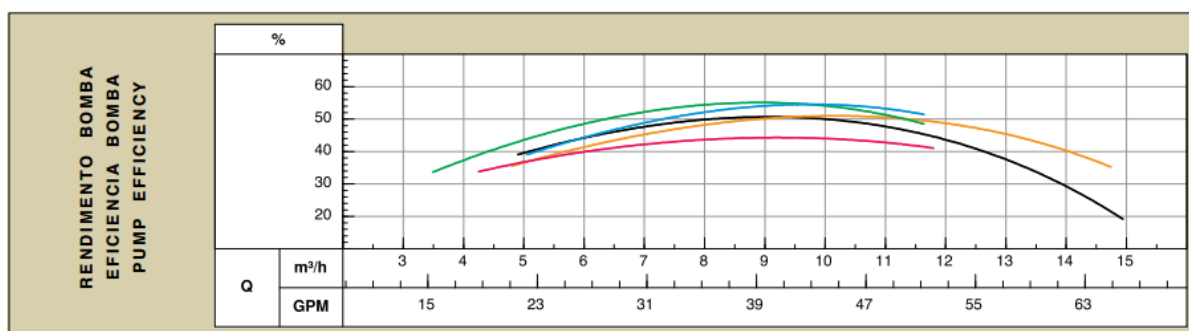


Figura 28. Gráfico do rendimento da bomba ME-2350 - caso 2 (SCHNEIDER, 2015).

Na Tabela 9 estão as principais informações da bomba ME-2350.

Tabela 9. Bomba selecionada para 56,7 mca (caso 2).

Bomba ME 2350	
Potência	Máx 5 cv / 3,7 kW
Eficiência	Max 56 %
Estágios	3
Tamanho do Rotor	146 e 129 mm
Pressão Max sem vazão	100 mca

Fonte: Própria

#### 4.2 CUSTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO

Neste capítulo são apresentados os custos relativos ao sistema de bombeamento para o uso da tubulação em aço inox ou PVC para os dois casos de diâmetro de tubulação utilizado. Consideração: cada tubo de inox tem 6 metros de comprimento.

**Caso 1:** Tubulação 2” no recalque e de 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>” na sucção

- Para o material aço inox :

**Tabela 10.** Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com aço inox (2” no recalque e de 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>” na sucção)

Acessório/Conexão	Quantidade	Valor Unitário	Valor total
<b>RECALQUE</b>			
<b>Tubo de aço inox 2”</b>	234 tubos	R\$ 42,91	R\$ 10.040,94
<b>Válvula de retenção de 2”</b>	8 unid	R\$ 250,00	R\$ 2.000,00
<b>Curva de 45 de 2”</b>	14 unid	R\$ 16,50	R\$ 231,00
<b>Curva de 90 de 2”</b>	3 unid	R\$ 23,61	R\$ 70,83

<b>Registro gaveta de 2"</b>	1 unid	R\$ 301,89	R\$ 301,89
<b>SUCÇÃO</b>			
<b>Tubo de aço inox 2 1/2"</b>	1 tubo	R\$ 56,01	R\$ 56,01
<b>Curva de 90 de 2 1/2"</b>	1 unid	R\$ 43,68	R\$ 43,68
<b>Válvula de pé com crivo</b>	1 unid	R\$ 176,79	R\$ 176,79
<b>SUPORTE DA TUBULAÇÃO</b>			
<b>Tubo inox quadrado</b>	738 tubos	R\$ 22,67	R\$ 16.730,46
<b>Cabo de aço de sustentação</b>	730 m	R\$ 8,62	R\$ 6.292,60
<b>Braçadeira</b>	240 unid	R\$ 5,00	R\$ 1.200,00
<b>BOMBA E MOTOR</b>			
<b>Bomba hidráulica 7,5 cv (5,5 kW)</b>	1 unid	R\$ 4.730,05	R\$ 4.730,05
<b>Motor IP 55 blindado 7,5 cv</b>	1 unid	R\$ 1.530,60	R\$ 1.530,60
<b>TANQUE</b>			
<b>Tanque de aço inox 12 m<sup>3</sup></b>	1 unid	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50
<b>INSTALAÇÃO</b>			
<b>Instalação de todo o sistema</b>			R\$ 35.654,67
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 97.490,02</b>

Fonte: Própria

- Para o material PVC:

**Tabela 11.** Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com o PVC ( 2" no recalque e de 2 1/2" na sucção).

<b>Acessório/Conexão</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor total</b>
<b>RECALQUE</b>			
<b>Tubo de PVC de 2"</b>	234 tubos	R\$ 32,00	R\$ 7.488,00
<b>Válvula de retenção de 2"</b>	8 unid	R\$ 133,25	R\$ 1.066,00
<b>Curva de 45 de 2"</b>	14 unid	R\$ 10,13	R\$ 141,82
<b>Curva de 90 de 2"</b>	3 unid	R\$ 13,51	R\$ 40,53
<b>Registro gaveta de 2"</b>	1 unid	R\$ 90,18	R\$ 90,18
<b>Luva PVC rosca de 2"</b>	234 unid	R\$ 5,26	R\$ 1.230,84
<b>SUCÇÃO</b>			
<b>Tubo de PVC 2 1/2"</b>	1 tubo	R\$ 52,22	R\$ 52,22
<b>Curva de 90 de 2 1/2"</b>	1 unid	R\$ 16,89	R\$ 16,89
<b>Válvula de pé com crivo</b>	1 unid	R\$ 64,87	R\$ 64,87

<b>SUPORTE DA TUBULAÇÃO</b>			
<b>Tubo inox quadrado</b>	738 tubos	R\$ 22,67	R\$ 16.730,46
<b>Cabo de aço de sustentação</b>	730 m	R\$ 8,62	R\$ 6.292,60
<b>Braçadeira</b>	240 unid	R\$ 5,00	R\$ 1.200,00
<b>BOMBA E MOTOR</b>			
<b>Bomba hidráulica 7,5 cv (5,5 kW)</b>	1 unid	R\$ 4.730,05	R\$ 4.730,00
<b>Motor IP 55 blindado 5 cv</b>	1 unid	R\$ 1.530,60	R\$ 1.530,60
<b>TANQUE</b>			
<b>Tanque de aço inox 12 m<sup>3</sup></b>	1 unid	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50
<b>INSTALAÇÃO</b>			
<b>Instalação de todo o sistema</b>			R\$ 35.654,67
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 94.730,30</b>

Fonte: Própria

**Caso 2:** Tubulação 2<sup>1/2</sup>” no recalque e de 3” na sucção

- Para o material aço inox:

**Tabela 12.** Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com aço inox ( 2<sup>1/2</sup> no recalque e de 3” na sucção).

<b>Acessório/Conexão</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor total</b>
<b>RECALQUE</b>			
<b>Tubo de aço inox 2 1/2”</b>	234 tubos	R\$ 56,01	R\$ 13.106,34
<b>Válvula de retenção de 2 1/2”</b>	8 unid	R\$ 311,00	R\$ 2.488,00
<b>Curva de 45 de 2 1/2”</b>	14 unid	R\$ 31,30	R\$ 438,2
<b>Curva de 90 de 2 1/2”</b>	3 unid	R\$ 43,68	R\$ 131,04
<b>Registro gaveta de 2 1/2”</b>	1 unid	R\$ 507,77	R\$ 507,77
<b>SUCÇÃO</b>			
<b>Tubo de aço inox 3”</b>	1 tubo	R\$ 67,21	R\$ 67,21
<b>Curva de 90 de 3”</b>	1 unid	R\$ 60,80	R\$ 60,80

Válvula de pé com crivo de 3"	1 unid	R\$ 212,15	R\$ 212,15
<b>SUPORTE DA TUBULAÇÃO</b>			
Tubo inox quadrado	738 tubos	R\$ 22,67	R\$ 16.730,46
Cabo de aço de sustentação	730 m	R\$ 8,62	R\$ 6.292,60
Braçadeira	240 unid	R\$ 5,00	R\$ 1.200,00
<b>BOMBA E MOTOR</b>			
Bomba hidráulica 5 cv /3,7 kW	1 unid	R\$ 1.974,77	R\$ 1.974,77
Motor IP 55 blindado 5cv	1 unid	R\$ 1.021,78	R\$ 1.021,78
<b>TANQUE</b>			
Tanque de aço inox 12 m <sup>3</sup>	1 unid	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50
<b>INSTALAÇÃO</b>			
Instalação de todo o sistema			R\$ 35.654,67
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 94.316,29</b>

- Para o material PVC:

**Tabela 13.** Tabela com o custo do material do sistema de bombeamento com o PVC ( 2<sup>1/2</sup>" no recalque e de 3" na sucção).

Acessório/Conexão	Quantidade	Valor Unitário	Valor total
<b>RECALQUE</b>			
Tubo de PVC de 2 1/2"	234 tubos	R\$ 52,22	R\$ 12.219,22
Válvula de retenção de 2 1/2"	8 unid	R\$ 166,56	R\$ 1.332,5
Curva de 45 de 2 1/2"	14 unid	R\$ 12,66	R\$ 177,24
Curva de 90 de 2 1/2"	3 unid	R\$ 16,89	R\$ 50,67
Registro gaveta de 2 1/2"	1 unid	R\$ 112,72	R\$ 112,72
Luva PVC rosca de 2 1/2"	234 unid	R\$ 6,57	R\$ 1.538,55
<b>SUCÇÃO</b>			
Tubo PVC de 3"	1 tubo	R\$ 62,66	R\$ 62,66
Curva de 90 de 3"	1 unid	R\$ 20,27	R\$ 20,27
Válvula de pé com crivo de 3"	1 unid	R\$ 81,08	R\$ 81,08
<b>SUPORTE DA TUBULAÇÃO</b>			
Tubo inox quadrado	738 tubos	R\$ 22,67	R\$ 16.730,46
Cabo de aço de sustentação	730 m	R\$ 8,62	R\$ 6.292,60
Braçadeira	240 unid	R\$ 5,00	R\$ 1.200,00

<b>BOMBA E MOTOR</b>			
<b>Bomba hidráulica</b> 5 cv (3,7 kW)	1 unid	R\$ 1.974,77	R\$ 1.974,77
<b>Motor IP 55 blindado 5 cv</b>	1 unid	R\$ 1.021,78	R\$ 1.021,78
<b>TANQUE</b>			
<b>Tanque de aço inox 12 m<sup>3</sup></b>	1 unid	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50
<b>INSTALAÇÃO</b>			
<b>Instalação de todo o sistema</b>			R\$ 35.654,67
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 96.899,95</b>

A Tabela 14 contém os custos comparativos para os casos 1 e 2 de diâmetro de tubulação para dois materiais diferentes, PVC e aço inox.

**Tabela 14.** Tabela comparativa dos custos para tubo de PVC e aço inox para os casos 1 e 2.

	<b>AÇO INOX</b>		<b>PVC</b>	
	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
	Recalque - 2"	Recalque - 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	Recalque - 2"	Recalque - 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
	Sucção - 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	Sucção - 3"	Sucção - 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	Sucção - 3"
<b>Material tubulação</b>	R\$ 37.144,2	R\$ 41.234,57	R\$ 34.384,41	R\$39.818,23
<b>Tanque de aço inox de 12 m<sup>3</sup></b>	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50	R\$ 18.430,50
<b>Bomba (5,5/3,7) kW</b>	R\$ 4.730,05 5,5 kW	R\$ 1.974,77 3,7 kW	R\$ 4.730,05 5,5 kW	R\$ 1.974,77 3,7 kW
<b>Motor (5,5/3,7) kW</b>	R\$ 1.530,60 5,5 kW	R\$1.021,78 3,7 kW	R\$ 1.530,60 5,5 kW	R\$1.021,78 3,7 kW
<b>Instalação</b>	R\$ 35.654,67	R\$ 35.654,67	R\$ 35.654,67	R\$ 35.654,67
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 97.490,02</b>	<b>R\$ 94.316,29</b>	<b>R\$ 94.730,30</b>	<b>R\$96.899,95</b>

Comparando os resultados dos custos para cada caso com cada material, pode-se observar que no caso 1 o PVC apresentou o valor total de 2,8% menor que para o projeto feito em material de aço inox. No caso 2 o aço inox ficou 2,7 % menor que comparado com o PVC. Levando a crer que o aço inox é mais barato e mais resistente para esse estudo.

#### 4.3 DESENHO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO PROPOSTO

Com todas as conexões e acessórios definidos é possível ter uma visão geral do sistema de bombeamento proposto por meio da Figura 29. Na Figura 30 são apresentados os detalhes da bomba, do tanque e dos suportes que serão colocados ao longo do percurso da tubulação devido aos desníveis no terreno que não é terraplanado, por isso projeta-se que de 6 em 6 metros haverá um tubo quadrado cuja base será instalada com base de cimento e cabo de aço do solo até as extremidade para diminuir as vibrações causadas por ventos muito fortes, como é mostrado na Figura 31.

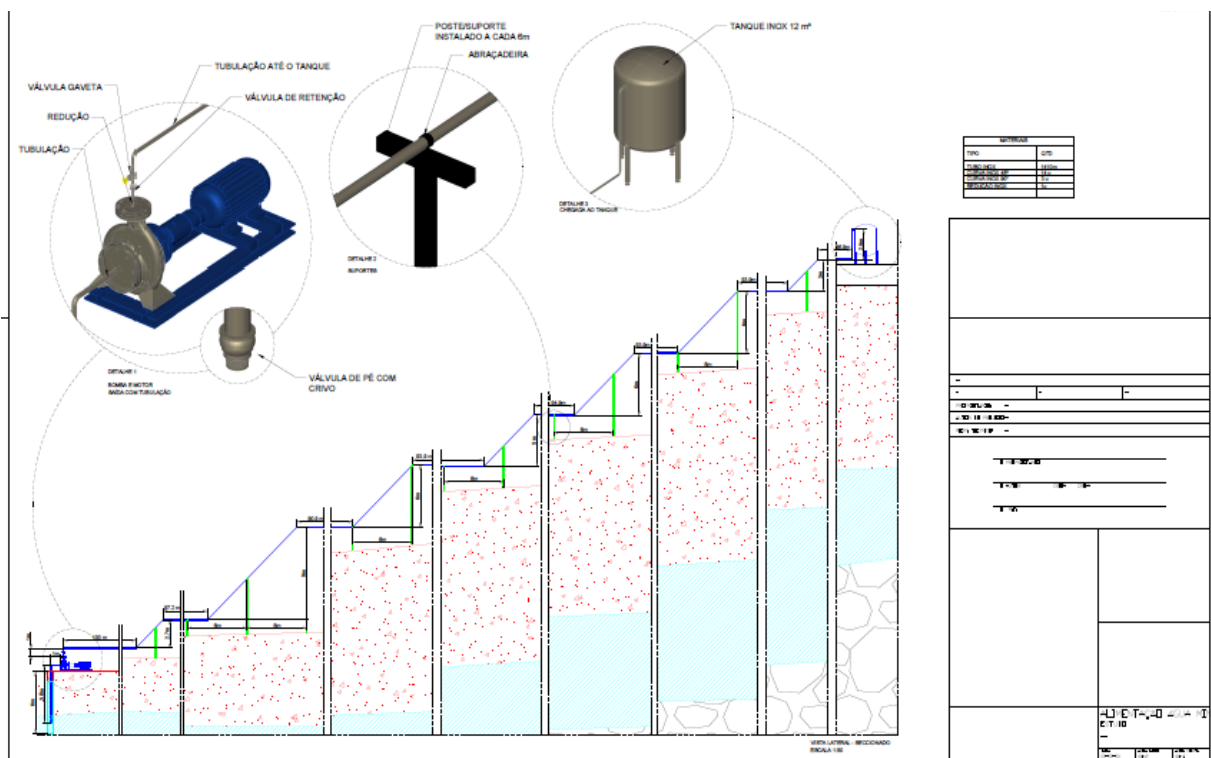
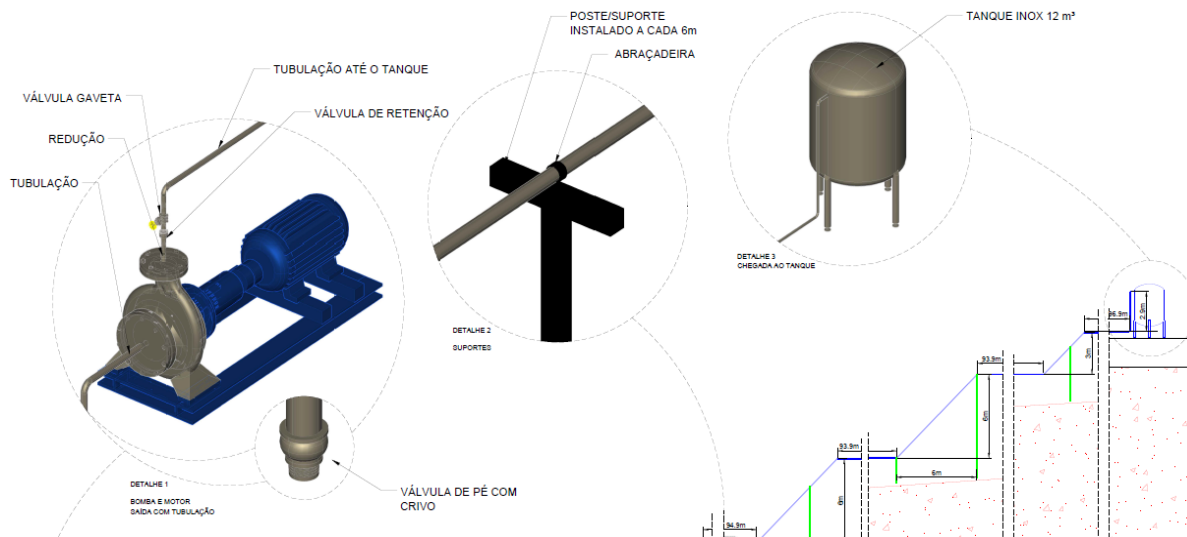
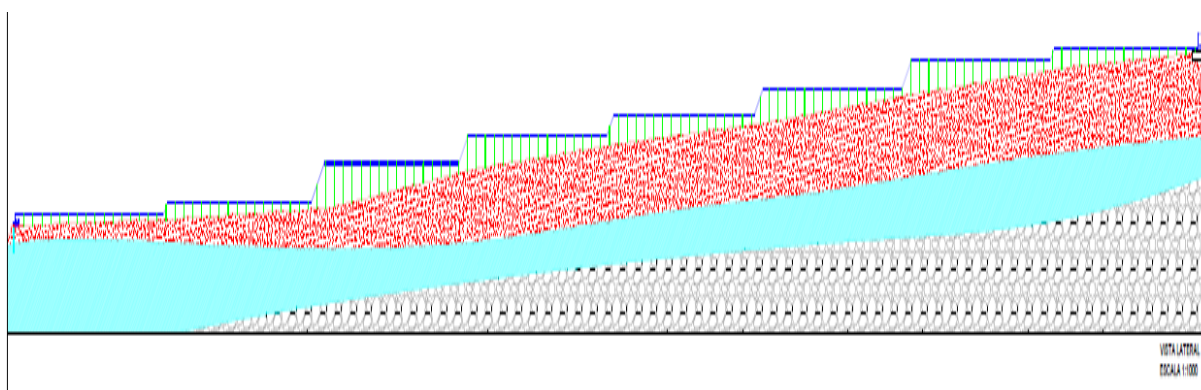


Figura 29. Visão geral do sistema de bombeamento. Fonte: própria.



**Figura 30.** Detalhe do desenho do sistema de bombeamento. Fonte: própria.



**Figura 31.** Detalhe do percurso da tubulação com os suportes. Fonte: própria.

Todos os componentes estão listados abaixo, independente da escolha do diâmetro e do material da tubulação:

- 1 Bomba centrífuga trifásica;
- 1 Motor IP 55 blindado;
- 1 Tanque de aço inox com capacidade de 12 m<sup>3</sup>;
- 1400 metros de tubulação para o recalque;
- 6 metros de tubulação para a sucção;
- 8 Válvulas de retenção para o recalque ;
- 14 Curvas de 45 graus para o recalque;



- 3 Curvas de 90 graus para o recalque;
- 1 Registro gaveta para o recalque ;
- 1 Curva de 90 graus para a sucção;
- 1 Válvula de pé com crivo para a sucção;
- 730 metros de tubos quadrados para suporte;
- 730 metros de cabo de aço de sustentação;
- 240 Braçadeiras.

Na Figura 32 está uma visão isométrica de onde a bomba será instalada no lugar onde hoje está instalado o tubulão de aço inox , que será retirado, em uma das casa localizadas nas fontes , como pode ser observado pela Figura 33.



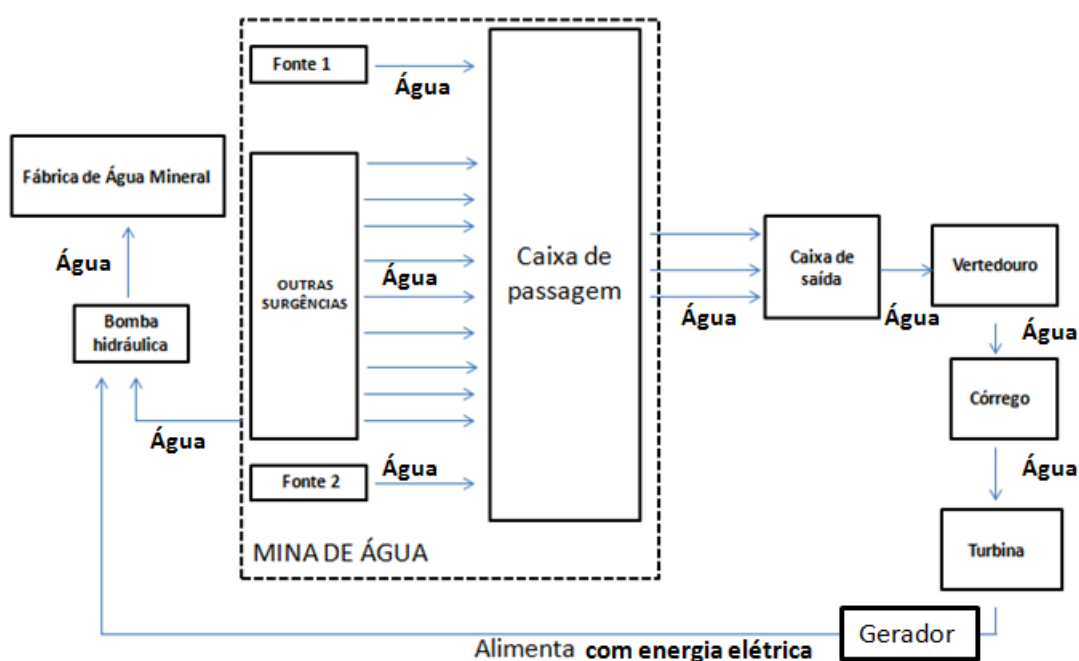
**Figura 32.** Visão isométrica do local de instalação da bomba. Fonte: própria.



**Figura 33.** Vista da parte de trás de onde sairá a tubulação de recalque. Fonte:própria.

## CAPÍTULO 5 - CENTRAL DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

A configuração da central é do tipo microusina a fio d'água, pois em um ponto acima da turbina existe um aquífero subterrâneo onde a água é captada por uma tubulação de 8 polegadas de concreto e desce até o local mais baixo que é a entrada da turbina. Abaixo, na Figura 34, está um esquemático em diagrama de blocos de como o sistema será composto para o aproveitamento da energia produzida pela microcentral a fim de alimentar a bomba hidráulica para o bombeamento da água de um tanque na futura fábrica de água mineral.



**Figura 34.** Diagrama de blocos com o esquemático da proposta deste trabalho. Fonte própria.

### 5.1 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HIDRÁULICO DA QUEDA D'ÁGUA

Sabe-se que para o cálculo da potência máxima disponível gerada na microusina por meio de sua vazão ( $Q$ ) disponível de  $0,3032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e queda disponível ( $Hn$ ) é de  $8,4 \text{ m}$ .

A potência disponível, ou também chamada de hidráulica pode ser é determinada, segundo Macintyre (1983), por meio da Equação 13.

$$Pd = 9,8 \times Q \times Hn \quad (13)$$

*Pd* – Potência disponível [kW]

*Q* – Descarga em [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]

*Hn* – Queda disponível nominal [m]

$$Pd = 9,8 \times 0,3032 \times 8,4$$

$$Pd = 25 \text{ kW}$$

Pela equação 14, a potência é calculada em cv:

$$Pd = 13,33 \times Q \times H \quad (14)$$

$$Pd = 13,33 \times 0,3032 \times 8,4$$

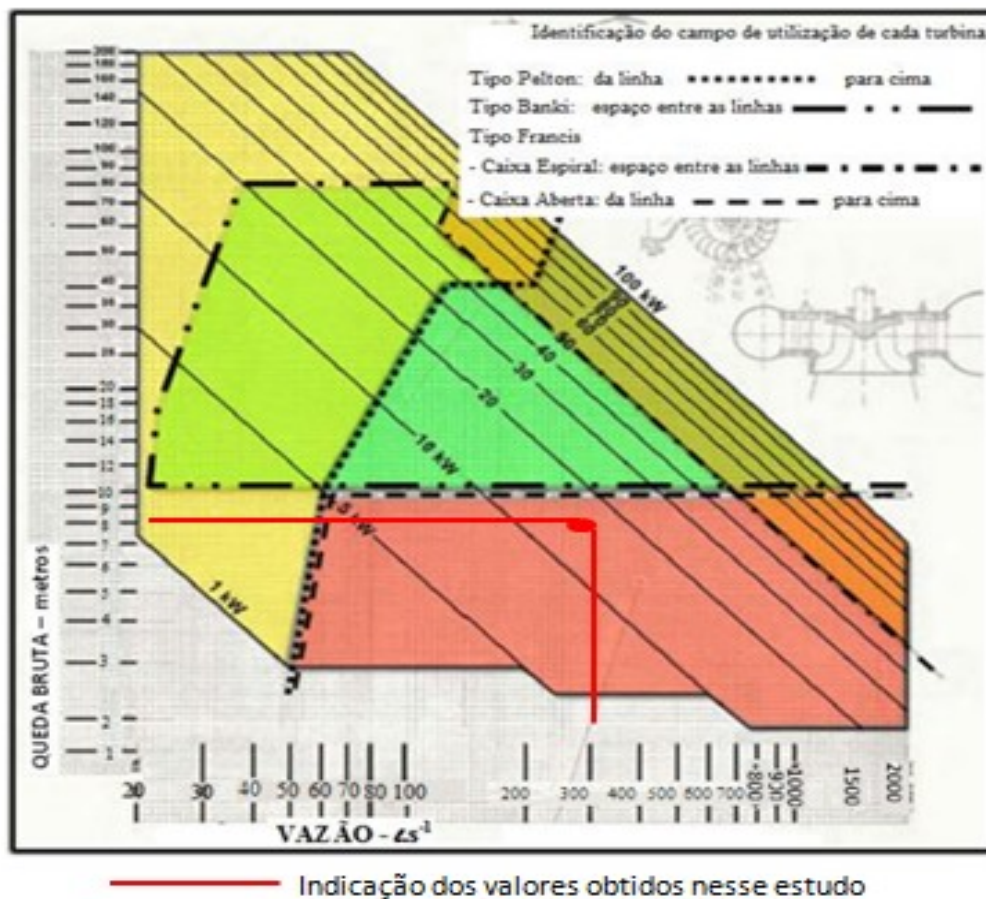
$$Pd = 34 \text{ cv}$$

Com essas variáveis de vazão e queda no local de estudo, sem nenhuma alteração na estrutura existente, a microusina pode fornecer uma potência de até 25 kW ou 34 cv. Os dados de eficiência da turbina não foram considerados nesse primeiro momento por justamente se analisar o quanto pode ser gerado em potência.

A classificação das centrais hidrelétricas é definida no manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, (ELETROBRÁS, 2013). Neste trabalho é adotada uma sugestão de classificação que inclui as microcentrais hidrelétricas de baixa queda, esta classificação é exposta na Tabela 2 .

## 5.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DE TURBINA A SER UTILIZADA

Segundo De Souza (1999), para o detalhamento do tipo de turbina hidráulica a ser utilizada dependerá da potência hidráulica fornecida no local, da altura da queda d'água, e a vazão em m<sup>3</sup>/s ou l.s<sup>-1</sup>. Na Figura 35 abaixo encontra-se um ábaco, que nada mais é que um gráfico que auxilia na escolha do tipo de turbina utilizar



**Figura 35.** Ábaco de seleção de turbinas para microcentrais hidrelétricas, (ELETROBRÁS, 1999).

Analisando a Figura 35, para os dados do local de estudo, tais como de vazão ( $Q$ ) igual a  $303,2 \text{ l.s}^{-1}$  ( ou  $0,3032 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ) e de altura de queda d'água bruta ( $H$ ) de 8,4 metros, a turbina que mais se adequa à realidade apresentada, de acordo com o ábaco acima, é uma tipo Francis com caixa espiral, com potência de 25 kW. Por características semelhantes de geometria e funcionalidade à turbina Francis pode-se analisar também a viabilidade de instalação da turbina Indalma.

Para uma boa escolha da turbina uma das primeiras análises é de seu custo de instalação, com isso depois de pesquisa de preços , tanto com a turbina Indalma quanto com a turbina Francis, pode-se chegar aos valores descritos na Tabela 15 e na Tabela 16.

**Tabela 15.** Custo de instalação da turbina Indalma.

<b>Material</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Turbina Indalma	R\$ 10.000,00
Gerador turbina Indalma	R\$ 2.500,00
Mão de obra da instalação	R\$ 3.500,00
Frete	R\$ 1.000,00
Construção casa de máquinas	R\$ 23.450,32
Painel elétrico	R\$ 1.240,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 42.190,32</b>

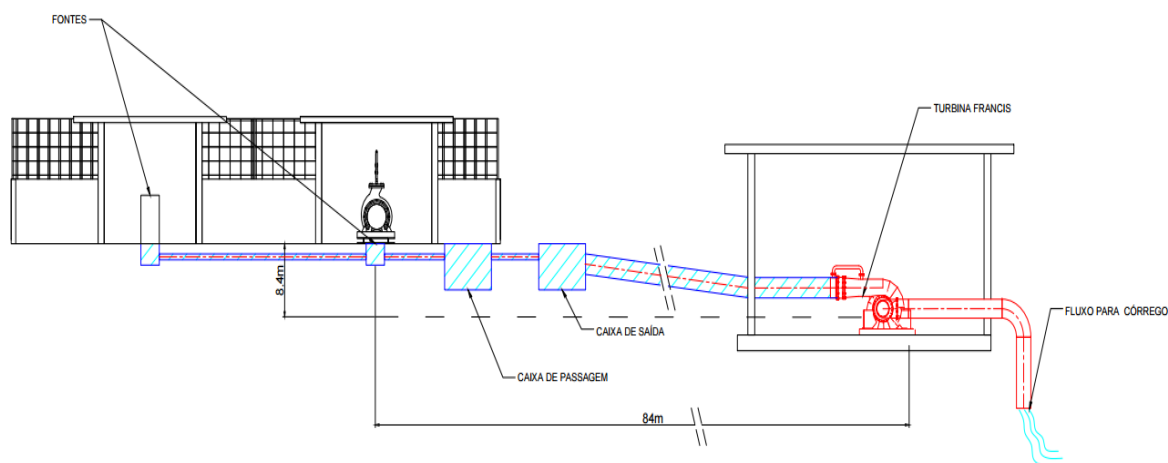
Para a turbina Francis os custos envolvidos estão descritos na Tabela 16.

**Tabela 16.** Custo total de instalação de uma turbina Francis.

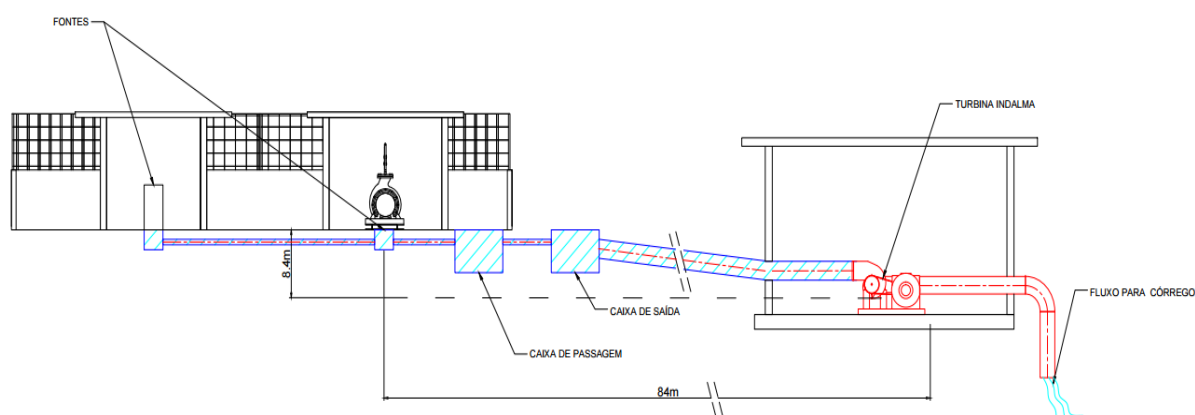
<b>Material</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Turbina Francis	R\$ 25.645,54
Gerador turbina Francis	R\$ 3.530,00
Mão da obra da instalação	R\$ 3.500,00
Frete	R\$ 2.000,00
Construção da casa de máquinas	R\$ 23.450,32
Painel elétrico	R\$ 1.240,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 59.365,86</b>

Fonte: Própria

Com as duas opções de turbinas definidas para a microcentral hidrelétrica, na Figura 36 está um desenho da vista lateral da turbina Francis instalada e na Figura 37 da turbina Indalma, da fonte até a queda d'água, ambos com tubo de sucção na saída das turbinas,.



**Figura 36.** Vista lateral da instalação da turbina Francis. Fonte:própria.



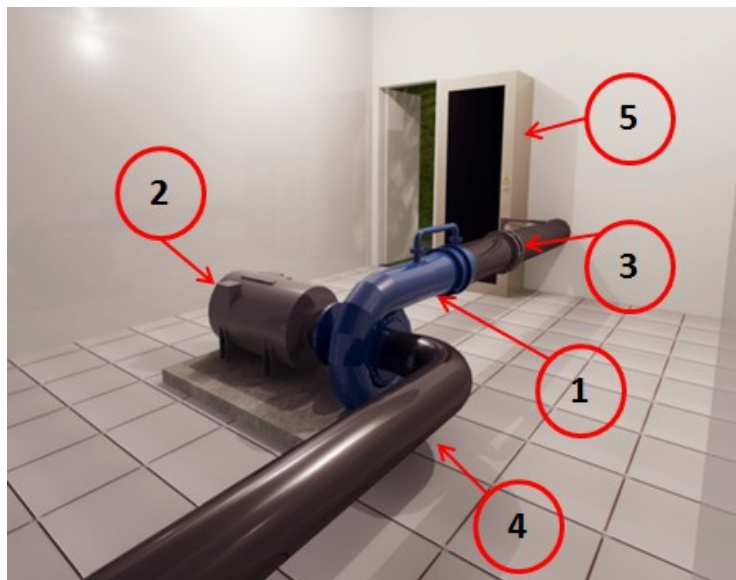
**Figura 37.** Vista lateral da instalação da turbina Indalma. Fonte: própria.

Na Figura 38 está a disposição da turbina Francis e o gerador dentro da casa de máquinas e na Figura 39 uma vista externa da microcentral. Os principais componentes instalados são:

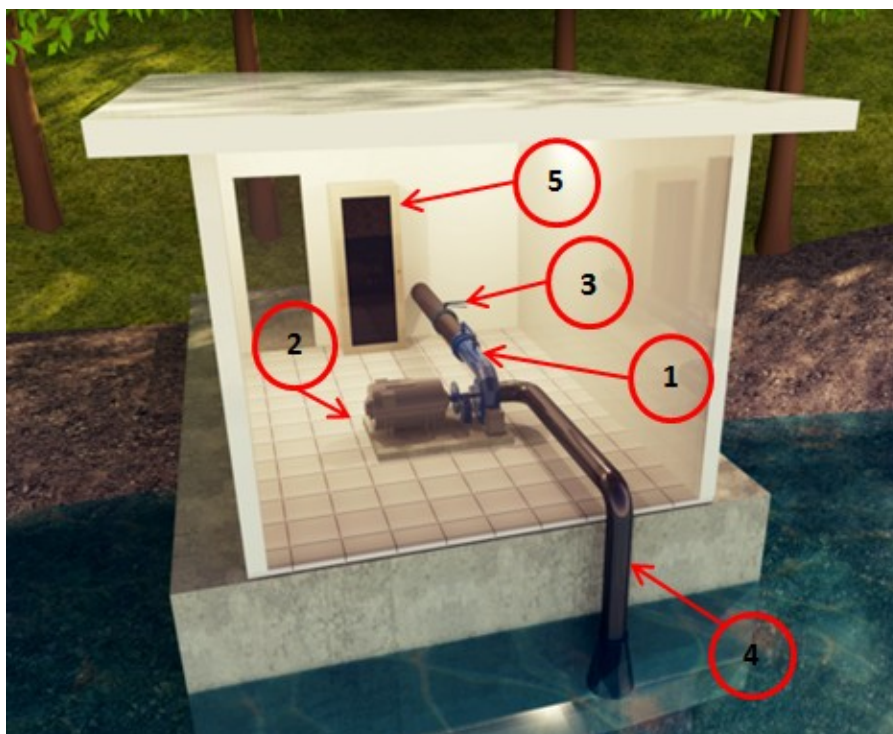
- 1- Turbina Francis;
- 2- Gerador;
- 3- Tubo de sucção;



- 4- Válvula borboleta;
- 5- Quadro de chave.



**Figura 38.** Turbina Francis em detalhe. Fonte: própria.

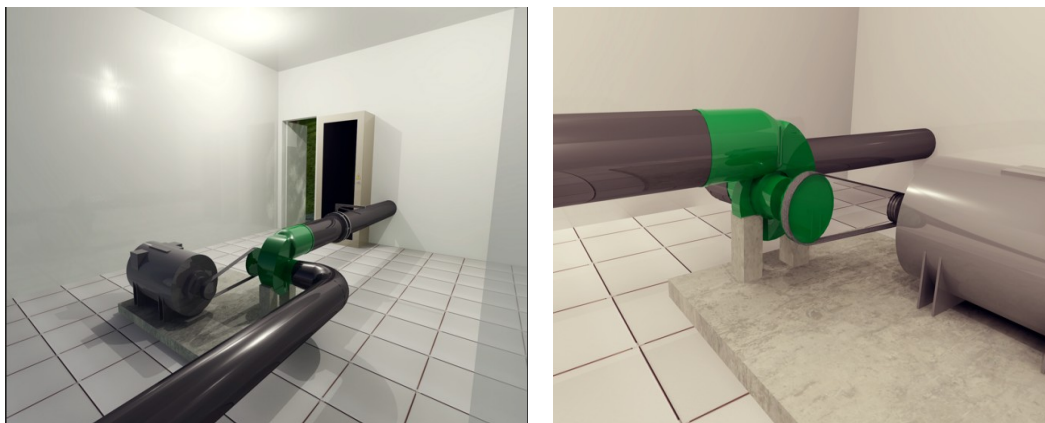


**Figura 39.** Casa de máquinas da microcentral com a turbina Francis. Fonte: própria.

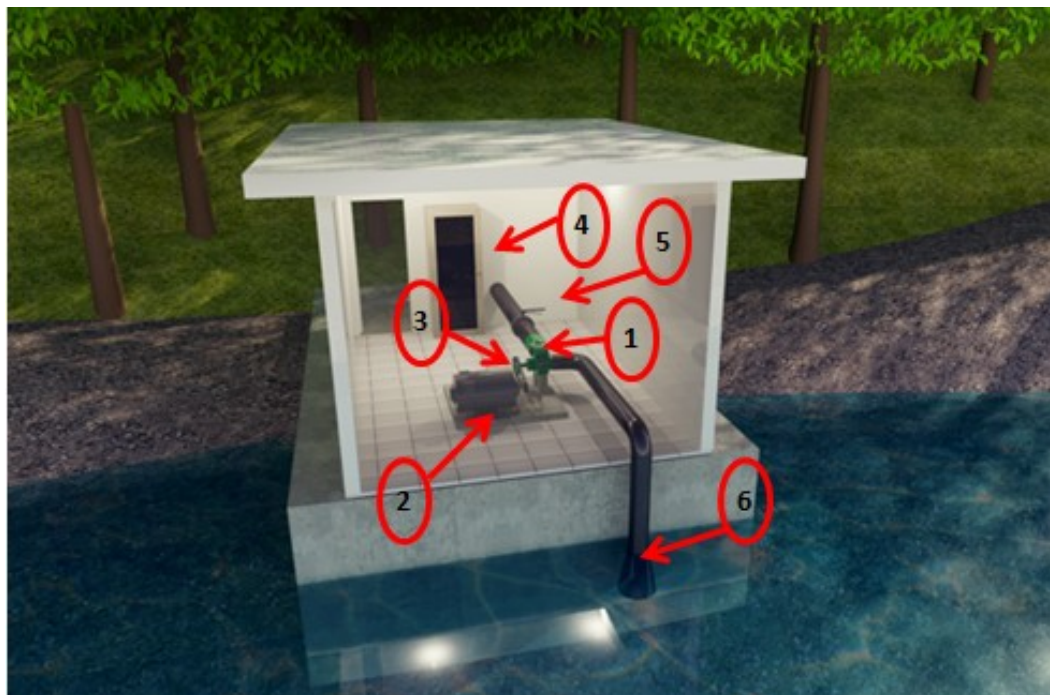
Na Figura 40 está a disposição da turbina Indalma dentro da casa de máquinas e na Figura 41 uma vista externa da instalação. Os principais componentes instalados são:



- 1- Turbina Indalma
- 2- Gerador
- 3- Mancal de regulação de velocidade
- 4- Pannel de Chaves
- 5- Válvula borboleta
- 6- Tubo de sucção



**Figura 40.** Turbina Indalma em detalhe dentro da casa de máquinas. Fonte: própria.



**Figura 41.** Casa de máquinas da microcentral de geração hidrelétrica com a turbina Indalma. Fonte: própria.

Optou-se pela escolha da turbina Indalma, primeiro por apresentar menor custo, segundo por ser de produção nacional pois foi desenvolvida e fabricada artesanalmente no Norte do Brasil e de fácil manuseio e deslocamento.

Com a escolha da turbina Indalma é necessário obter os valores de potência, rotação e eficiência para isso será necessário utilizar a metodologia do livro do autor Macintayre para ensaios de turbinas semelhantes com queda e vazão diferentes. Toma-se como referência os ensaios realizados com a turbina indalma de Oliveira 2014 os testes foram realizados na bancada de ensaio de turbinas hidráulicas no laboratório de Termo Fluidos do curso de Engenharia de Energia no campus da Faculdade UnB Gama - FGA com queda e altura diferentes da que este estudo apresenta. Para obter as grandezas do funcionamento da turbina Indalma para este estudo usa-se as equações abaixo, pois podem ser utilizadas para ensaios de turbinas semelhantes.

Potência a ser absorvida

$$N' = N \cdot \left(\frac{D'}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{H'}{H}\right)^{3/2} \quad (15)$$

Número de rpm do modelo

$$n' = n \cdot \frac{D}{D'} \cdot \left(\frac{H'}{H}\right)^{1/2} \quad (16)$$

Onde :

$N'$  = Potência a ser absorvida pela turbina indalma deste estudo;

$n'$  = Número de rpm para a turbina indalma deste estudo;

$D'$  = Diâmetro do tubo de entrada da turbina indalma deste estudo = 8" = 200 mm;

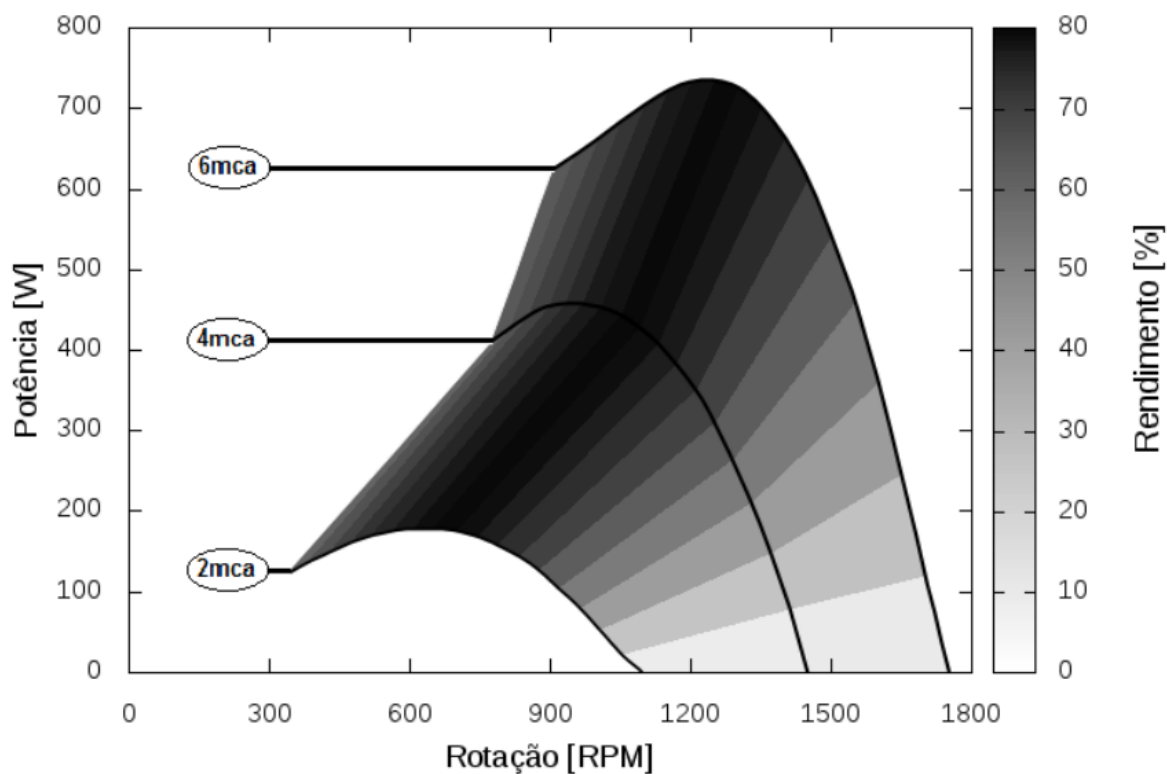
$H'$  = Queda líquida da turbina indalma deste estudo = 8,4m = 8,4 mca;

$N$  = Potência absorvida pela turbina indalma da bancada = 736 W;

$D$  = Diâmetro do tubo de entrada da turbina indalma da bancada = 4" = 100 mm;

$H$  = Queda líquida da turbina indalma da bancada = 6 m = 6 mca;

$n$  = Número de rpm para a turbina indalma da bancada = 1400 rpm.



**Figura 42.** Gráfico de Rotação versus potência a rendimento da turbina Indalma. Fonte: Oliveira, 2014

A partir da Figura 42, pode-se retirar os dados da turbina Indalma dos ensaios feitos na bancada pela equação 15 e 16 é possível calcular a potência e rotação necessária da turbina Indalma para uma altura de queda de 8,4 mca e diâmetro da tubulação de 8" ( dados deste estudo ), substituindo os valores temos que :

A potência absorvida desse estudo de caso:

$$N' = 736 \cdot \left(\frac{0,2}{0,1}\right)^2 \cdot \left(\frac{8,4}{6}\right)^{\frac{3}{2}} = 4,04 \text{ kW}$$

Número de rpm do modelo desse estudo de caso:

$$n' = 1400 \cdot \frac{0,2}{0,1} \cdot \left(\frac{8,4}{6}\right)^{1/2} = 1960 \text{ rpm}$$

### 5.3 ALIMENTAÇÃO DA BOMBA HIDRÁULICA

O diagrama elétrico da Figura 43 mostra que o acionamento da bomba se dará por partida direta com alimentação vinda do gerador que está acoplado a turbina Indalma, no circuito está presente a chave seccionadora de proteção tem a finalidade de interromper o sistema quando se necessita de manutenção ou por ocorrência de algum tipo de falha no motor ou outros componentes. Os fusíveis são componentes da rede que possuem isolação auto-recuperante, cortam a alimentação do sistema se a corrente for superior à que foi dimensionada (FARIA, 2015). A contatora serve para acionar o circuito de comando para acionamento do motor. O relé térmico é uma proteção ao motor quando este está em funcionamento contínuo e há um aquecimento devido a sua corrente de carga, se estiver muito acima, este relé corta a alimentação (BULGARELLI, 2006). Para o controle de nível, três eletrodos de barras de aço inox farão o controle de liga/desliga da bomba hidráulica de acordo com o nível de água do reservatório inferior e do tanque. O acionamento manual como opção para manutenção de alguns componentes e também a alimentação de duas lâmpadas na sala de máquinas.

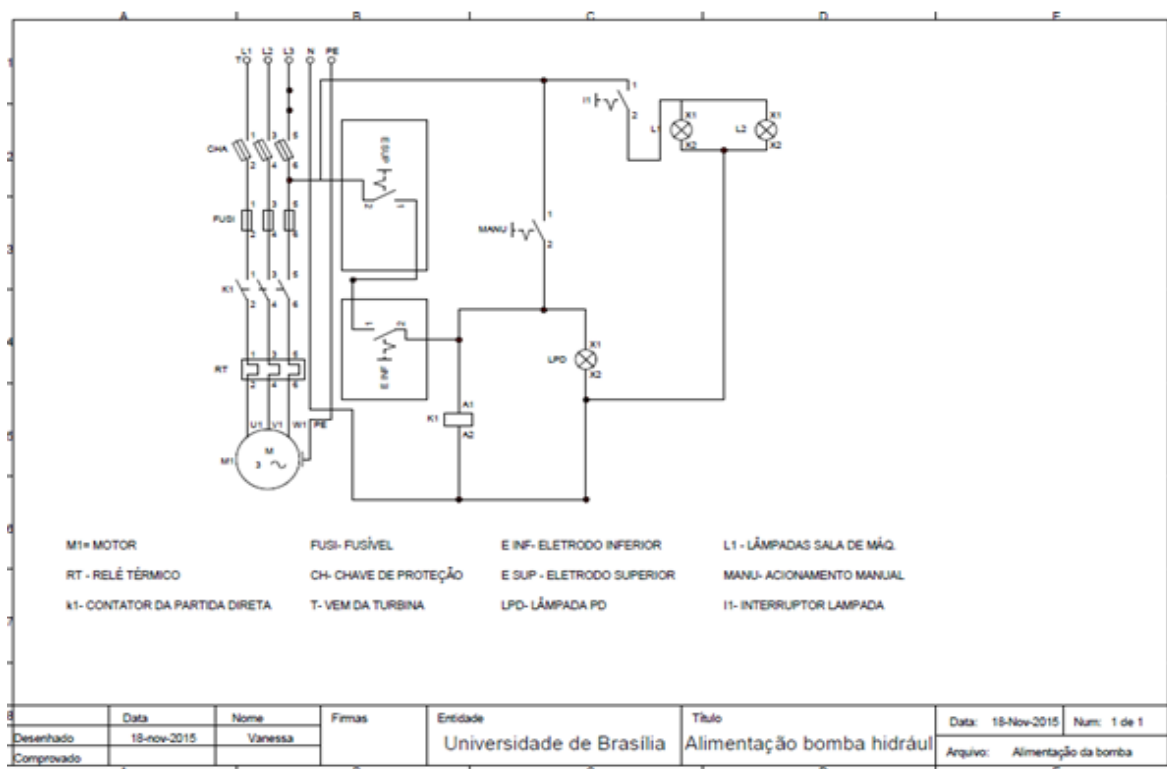
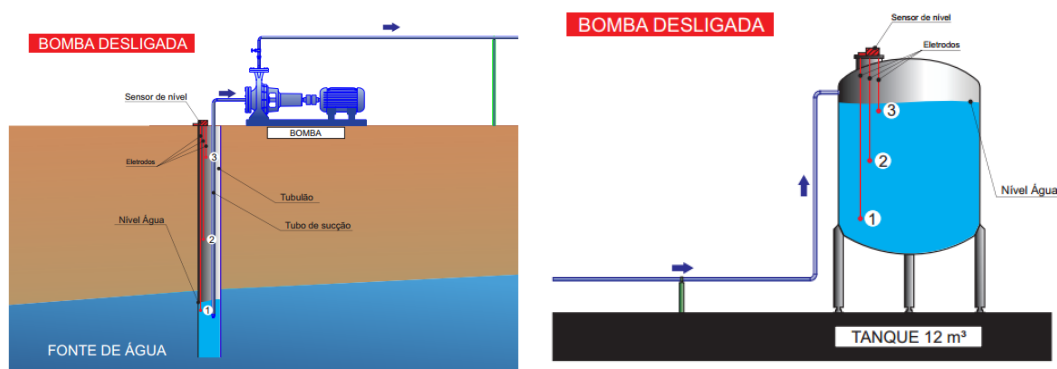


Figura 43. Diagrama elétrico de acionamento da bomba hidráulica. Fonte: própria.

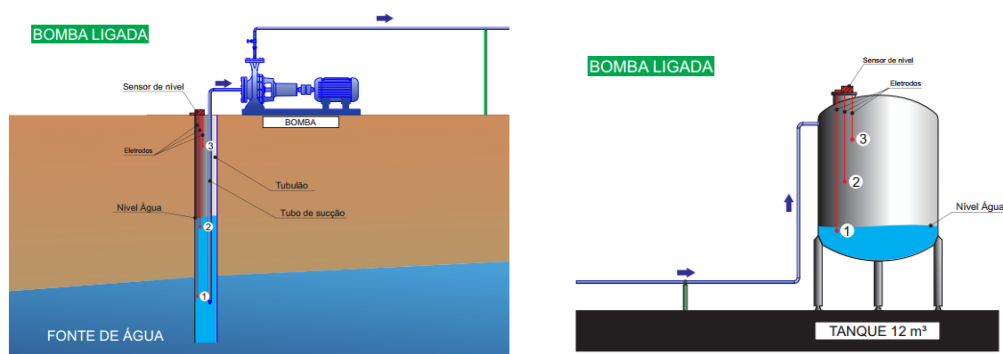
O controle de nível de tanque se dará por três eletrodos de aço inox de tamanhos diferentes que farão o controle de liga/desliga da bomba.

Na Figura 44 estão demonstrados os casos de desligamento da bomba. No reservatório (a primeira figura), a bomba nunca será ligada se o nível de água estiver no eletrodo número 1, pois o reservatório não estará com o volume mínimo para bombear, portanto o sinal elétrico não será enviado e não deixará ligar a bomba de forma alguma, mesmo que o tanque esteja em seu nível mínimo. No tanque, o desligamento da bomba só se dará quando o nível de água estiver atingido o eletrodo 3, que indica a capacidade máxima do tanque de inox que não acionará a bomba até que o água pare de tocar o eletrodo 3.



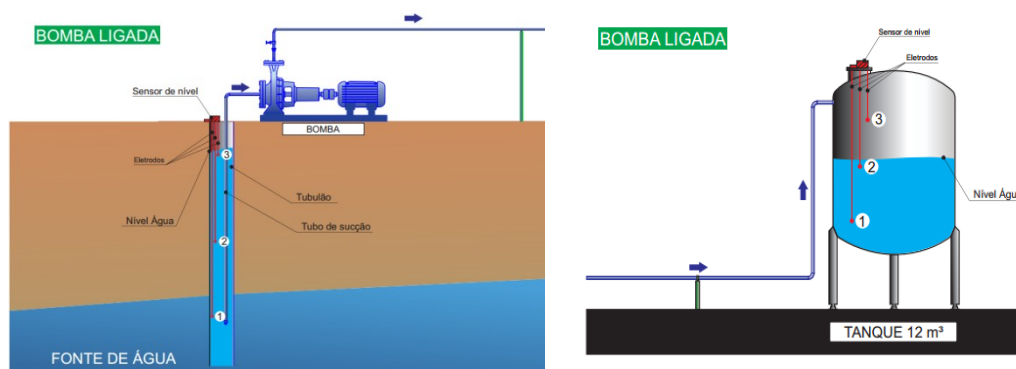
**Figura 44.** Caso em que a bomba não funcionará. Fonte: própria.

Na Figura 45 está demonstrado o primeiro caso em que a bomba estará ligada. No reservatório, a bomba somente será acionada quando o eletrodo 2 estiver submerso. No tanque, o ligamento da bomba só se dará quando o nível de água estiver atingido o eletrodo 1 pois estará em seu nível mínimo.



**Figura 45.** Casos em que a bomba funcionará. Fonte: própria.

Na Figura 46 está demonstrado o segundo caso em que a bomba estará ligada. No reservatório, a bomba poderá ser acionada quando o eletrodo 3 estiver submerso, o que indicará que o nível de água a ser bombeamento está em um volume excelente. No tanque, a bomba ainda estará ligada quando o nível da água estiver no eletrodo de número 2 até atingir o 3.



**Figura 46.** Casos em que a bomba funcionará. Fonte: própria.

Os custos associados ao esquema elétrico, inclusos os eletrodos de aço inox, estão descritos na Tabela 17.

**Tabela 17.** Tabela dos componentes do circuito elétrico

Material	Quantidade	Valor unitário	Valor Total
Fusível de 15A retardado	3	R\$ 25,00	R\$ 75,00
Contatora Siemens 3RTI	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
Eletrodo de aço inox	2,5 m	R\$ 25,00	R\$ 62,5
Botão de chave manual	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00
Chave seccionadora trif	1	R\$ 260,00	R\$ 260,00
Cabo de fase (3x4 mm)	100 m	R\$ 4,80	R\$ 480,00
Cabo de neutro (3x4 mm)	100 m	R\$ 4,80	R\$ 480,00
Cabo de terra (3x4 mm)	100 m	R\$ 4,80	R\$ 480,00
Interruptor	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Lâmpadas	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Soquetes	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
Lâmpada vermelha para sinalização	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Custo de instalação		R\$ 1.700,00	R\$ 1.700,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 3.790,50</b>

Fonte: Própria

## CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor calculado do potencial gerado no local de estudo foi de 25 kW, com a altura de queda é de 8,4 metros, com tais dados, segundo a Eletrobrás (2013), pode-se classificar o empreendimento como sendo do tipo micro, pois o potencial calculado apresentou valor menor que 100 kW e altura de queda de projeto baixa.

A turbina utilizada será a Indalma com potência de 4,04 kW e rotação específica de 1960 rpm, devido ao custo de obtenção ser menor e a maior agilidade na compra, por ser desenvolvida e fabricado no Norte do Brasil, é que ela foi escolhida.

No dimensionamento do sistema de bombeamento hidráulico, nos dois casos analisados de diâmetro de tubo possíveis, o caso 2 (tubo de recalque com 2 $\frac{1}{2}$ " e tubo de sucção com 3" apresentou ser o mais viável devido ao menor valor de perda de carga (56,7 mca) para o sistema, isso influenciou na escolha de uma bomba modelo ME 2350 do fabricante da empresa Schneider, com potência de 3,7 kW. O material do tubo escolhido foi o aço inox, comparado ao PVC, por apresentar menor valor para o caso 2 e também por maior confiabilidade na resistência deste tipo de material, pois a maiores pressões o PVC não apresenta estabilidade em sua resistência, podendo causar futuramente rupturas bruscas no tubo.

Os componentes para o sistema de bombeamento ficaram definidos como:

- 1 Bomba centrífuga trifásica de 3,7 kW;
- 1 Motor IP 55 blindado de 3,7 kW;
- 1 Tanque de aço inox com capacidade de 12 m<sup>3</sup> ;
- 1400 metros de tubulação de aço inox para o recalque;
- 6 metros de tubulação de 3" para a sucção;
- 8 Válvulas de retenção de 2 $\frac{1}{2}$ " para o recalque ;
- 14 Curvas de 45 graus de 2 $\frac{1}{2}$ " para o recalque;
- 3 Curvas de 90 graus de 2 $\frac{1}{2}$ " para o recalque;
- 1 Registro gaveta de 2 $\frac{1}{2}$ " para o recalque ;
- 1 Curva de 90 graus de 3" para a sucção;
- 1 Válvula de pé com crivo de 3" para a sucção;
- 730 metros de tubos quadrados para suporte 20x50 mm;
- 730 metros de cabo de aço de sustentação;

- 240 Braçadeiras.

Os componentes para a Central hidrelétrica ficaram definidos como:

- Turbina Indalma de 4,04 kW;
- Gerador de 5 KVA;
- Mancal de regulação de velocidade;
- Painel de Chaves;
- Válvula borboleta de 8”;
- Tubo de sucção de 8”;

Na Tabela 18 está o valor total do projeto, de R\$ 140.297,00 nas condições escolhidas.

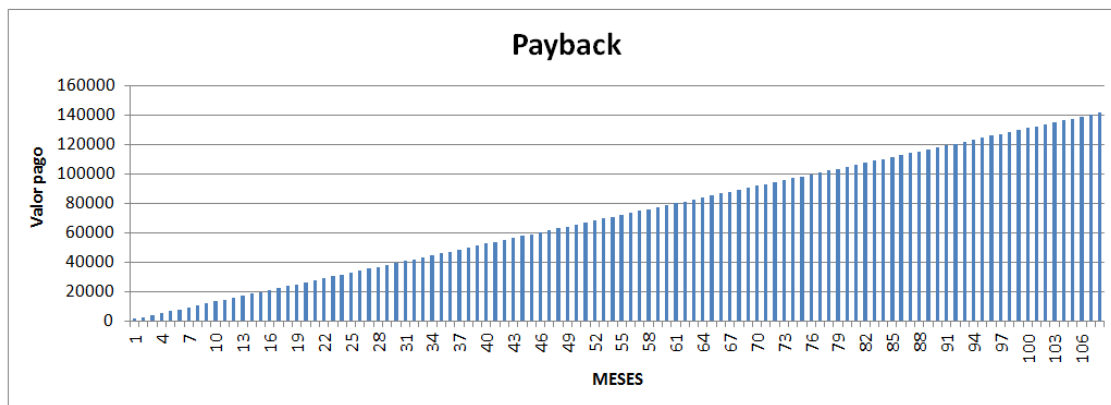
**Tabela 18.** Custo total do projeto proposto.

	<b>Valor</b>
<b>Sistema de bombeamento</b>	R\$ 94.316,29
<b>Microcentral hidrelétrica</b>	R\$ 42.190,32
<b>Alimentação elétrica e controle de nível</b>	R\$ 3.790,50
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 140.297,00</b>

Fonte: Própria

Para a certeza da viabilidade do projeto foi considerado o valor do kWh como sendo de R\$ 0,60 e com 20 horas de funcionamento da turbina pode-se concluir que o retorno do investimento se dará em 108 meses ou 9 anos, valor considerado alto quando trata-se de dinheiro investido, mas olhando pelo lado ambiental é sim viável pois a fábrica de água ganharia visibilidade pelas boas práticas sustentáveis.





**Figura 47.** Payback do valor total do projeto

## CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo o estudo de caso na viabilidade de instalação de uma central de geração hidrelétrica para alimentação de uma bomba hidráulica.

O potencial hidrelétrico do local máximo gerado apresentou um valor de 25 kW desconsiderando as eficiências da turbina e do gerador no cálculo, tal potência levou a uma classificação tipo microcentral hidrelétrica de baixa queda, segundo a Eletrobrás 2013.

A microcentral elétrica com a turbina Indalma instalada gerará uma potência de até 4,04 kW, que fornecerá uma energia suficiente para alimentar a bomba de 3,7 kW. O custo total deste projeto ficou em R\$ 140.297,00. Tais fatos viabilizam a instalação da microcentral na fazenda Mineração Bom Jesus, o que proporcionará melhorias não só de eficiência energética, mas também em questões financeiras e ambientais à futura fábrica, agregando valor em diversos segmentos. Portanto, o objetivo geral deste estudo foi alcançado com êxito.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração** 2015. Brasília. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Notícias acerca das centrais hidrelétricas** 2011. Brasília. 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=3963&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=3963&id_area=90)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

ALVES, Gilberto Manoel. **Avaliação da viabilidade de implantação de uma micro-central hidroelétrica para atender consumidores localizados em regiões isoladas**.2007.

BANCO Mundial. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2009**: a geografia econômica em transformação. São Paulo: Singular, 2009.

BELUCO, A. **Viabilidade de microcentrais hidrelétricas baseadas no emprego de equipamentos de mercado**. 1994. 170 f. 1994. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Energia)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERMANN, Célio. Impasses and controversies of hydroelectricity. **Estudos avançados**, USP, v. 21, n. 59, p. 139-153, Fev 2007.

BULGARELLI, Roberval. Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais. 2006. 136 f. Tese. (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CARVALHO, Jacinto A. et al. Desempenho de bomba centrífuga operando com água residuária do processamento do café. **Engenharia Agrícola**, local, v. 28, n. 1, p. 86-94, mês abreviado, 2008.

ELETROBRAS. **Manual de microcentrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, revisado em 2013.

FARIA, G. H. et al. **Estudo do comportamento da isolação de chaves seccionadoras de média tensão frente à ocorrência de surtos não padronizados**. Local: Editora, 2015.

MACINTYRE, Archibald J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1990.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

MACKENZIE. **Notas de aula sobre turbinas hidráulicas em 2005**. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/mellojr/Turbinas%20Hidr%E1ulicas/CAP%CDTULO%203REV.htm>>. Acesso em: 20 out. 2015.

MELLO, CR de; YANAGI JR, Tadayuki. Escolha de bombas centrífugas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, n. 29, p. 1-27, jun, 1999.

ABNT. NBR 5626: **Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

OLIVEIRA, Danilo dos Santos. **Avaliação experimental em modelo reduzido da turbina hidráulica Indalma**. Brasília: Universidade de Brasília, 2014.

OGAYAR, B.; VIDAL, P. G. Cost determination of the electro-mechanical equipment of a small hydro-power plant. **Renewable Energy**, local, v. 34, n. 1, p. 6-13, jul 2009.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **Mecânica dos Fluidos 2014**: bombas hidráulicas. Disponível em : <<ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/SCHP/arquivos/MFaula17.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

ROSA, Victor Hugo da Silva. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil**: em busca de um modelo sustentável. Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

SCHNEIDER, Bombas. **Motobombas**: catálogo de seleção de Bombas centrífugas, 2015. Disponível em < <http://www.schneider.ind.br/> >. Acesso em: 20 set de 2015

SEPLAN-GO. **Sepin**: gerência de estatística. Goiás. 2015. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

SOUZA, Zulcy de ; SANTOS, Afonso Henriques Moreira; BORTONI, Edson da Costa. **Centrais hidrelétricas**: estudos para implantação. Eletrobrás, 1999.

TAVARES, Ina Tayane Barbosa. **A influência de difusor na eficiência de uma turbina hidráulica**. Brasília: Universidade de Brasília, 2014.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002007000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002007000300003&script=sci_arttext)>. Acesso em: 05 abr. 2015.

VIVO. **Projeto São Marcos 2015**. A bacia do Paranaíba. 2015. Disponível em : <<http://saomarcosvivo.blogspot.com.br/2015/07/sobre-bacia-do-paranaiba.html>>. Acesso em: 20 set. 2015.

## **ANEXOS**

## ANEXO I - Tabela de perda de carga em tubulações

Tabelas de perdas de carga em 100 metros de tubos novos de ferro fundido ou aço galvanizado e PVC (valores em %)																
Vazão m³/h	PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°		PVC F°F°	
	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"							
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1								
1,0	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1						
1,5	10,0	10,1	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1						
2,0	16,5	17,2	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1				
2,5	24,4	26,1	8,0	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1				
3,0	33,6	36,5	11,0	12,3	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1		
3,5	44,0	48,6	14,4	16,4	3,8	4,2	2,1	2,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1		
4,0	55,6	62,2	18,2	21,0	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,1		
4,5	68,3	77,3	22,3	26,1	6,0	6,7	3,3	3,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,1	0,1		
5,0	82,2	94,0	26,8	31,7	7,2	8,1	4,0	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1	0,2		
5,5	97,1		31,7	37,8	8,5	9,7	4,7	4,6	1,4	1,4	0,4	0,4	0,2	0,2		0,1
6,0			36,9	44,4	9,9	11,4	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
6,5			42,5	51,5	11,3	13,2	6,3	6,3	1,9	2,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
7,0			48,4	59,1	12,9	15,2	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
7,5			54,6	67,1	14,6	17,2	8,0	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1
8,0			61,1	75,6	16,3	19,4	9,0	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,3	0,4	0,1	0,1
8,5			67,9	84,6	18,1	21,7	10,0	10,3	3,0	3,2	0,8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1
9,0			75,1	94,0	20,0	24,1	11,1	11,5	3,3	3,6	0,9	1,0	0,4	0,5	0,1	0,1
9,5			82,5		22,0	26,7	12,2	12,7	3,6	4,0	1,0	1,1	0,4	0,5	0,1	0,1
10			90,3		24,1	29,3	13,3	13,9	4,0	4,4	1,1	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2
12					33,1	41,1	18,3	19,5	5,4	6,1	1,5	1,7	0,7	0,8	0,2	0,2
14					43,4	54,6	24,0	25,9	7,1	8,1	2,0	2,3	0,9	1,0	0,2	0,3
16					54,8	69,9	30,3	33,2	9,0	10,4	2,5	2,9	1,1	1,3	0,3	0,4
18					67,4	87,0	37,2	41,3	11,1	12,9	3,1	3,6	1,4	1,6	0,4	0,4
20					81,0		44,8	50,2	13,3	15,7	3,7	4,4	1,6	2,0	0,5	0,5
25							66,2	75,8	19,7	23,7	5,5	6,6	2,4	3,0	0,7	0,8
30							91,1		27,1	33,3	7,6	9,3	3,3	4,2	0,9	1,2
35									35,5	44,3	10,0	12,4	4,4	5,6	1,2	1,5
40									44,8	56,7	12,6	15,8	5,5	7,1	1,5	2,0
45									55,1	70,4	15,5	19,7	6,8	8,9	1,9	2,4
50									66,2	85,6	18,6	23,9	8,1	10,8	2,3	3,0
55									78,2	22,0	28,5	9,6	12,9	2,7	3,5	
60									91,1	25,6	33,5	11,2	15,1	3,1	4,2	
65										29,5	38,9	12,9	17,5	3,6	4,8	
70										33,5	44,6	14,6	20,1	4,1	5,5	
75										37,8	50,7	16,5	22,8	4,6	6,3	
80										42,4	57,1	18,5	25,7	5,1	7,1	
85										47,1	63,8	20,6	28,8	5,7	7,9	
90										52,1	71,0	22,7	32,0	6,3	8,8	
95										57,2	78,4	25,0	35,3	6,9	9,7	
100										62,6	86,2	27,3	38,9	7,6	10,7	
120										88,1		37,6	54,5	10,4	15,0	
150												55,6	82,3	15,4	22,7	
200												91,9		25,5	38,6	
250														37,7	58,3	
300														51,8	81,7	
350														67,9	24,0	
400														85,7	30,3	

- Valores de Perda de Carga para PVC obtidos através da Fórmula de Flamant:  
 $J = 4 \times 0,000135 \times \frac{4 \sqrt{(Q/\pi D^2/4)^2}}{D}$

- Valores de Perda de Carga para aço galvanizado e ferro fundido obtidos através da equação de Hasen-Williams:  
 $J = \frac{10,643 \times Q^{1,85}}{12 \times 1,85 \times D^{4,87}}$

Onde: J – Perda de carga em m/m  
 Q – Vazão em m³/s  
 D – Diâmetro em m

**OBSERVAÇÕES:**

a - Em se tratando de tubos galvanizados ou ferro fundido, deve-se acrescentar 3% aos valores acima para cada ano de uso da tubulação;

b - 1,0m³/hora = 3.600 = 0,277 litros/segundo;

















c - Considerar que a pressão nominal dos tubos de PVC classe 15 é de 75mca;  
 Conforme aplicação, para pressões de serviço acima destes valores, recomenda-se o uso de tubos de FoFo ou Galvanizados;

d - Evitar o uso dos valores abaixo da linha grifada para não ocasionar excesso de perdas de carga, principalmente na tubulação de sucção, onde a velocidade máxima do líquido bombeado deve ser inferior a 2,0m/s;

e - Para tubulação de irrigação PN 40 (DN 35, DN 50, DN 75, DN 100, DN 125, DN 150), PN 80 (DN 50, DN 75, DN 100), PN 125 (DN 100, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300) e PN 60 (DN 250, DN 300) consultar respectiva tabela de perda de carga do fabricante.

Fonte: Manual Técnico- Bombas Schneider

## ANEXO II - Comprimento equivalente de válvulas e conexões.

Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização										
CONEXÃO	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização									
	MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90° 	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45° 	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90° 	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45° 	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta 	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União 	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização 	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*) 	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto 	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto 	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto 	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo 	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	15,1

## OBSERVAÇÕES:

a - Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Targa da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

b - (\*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

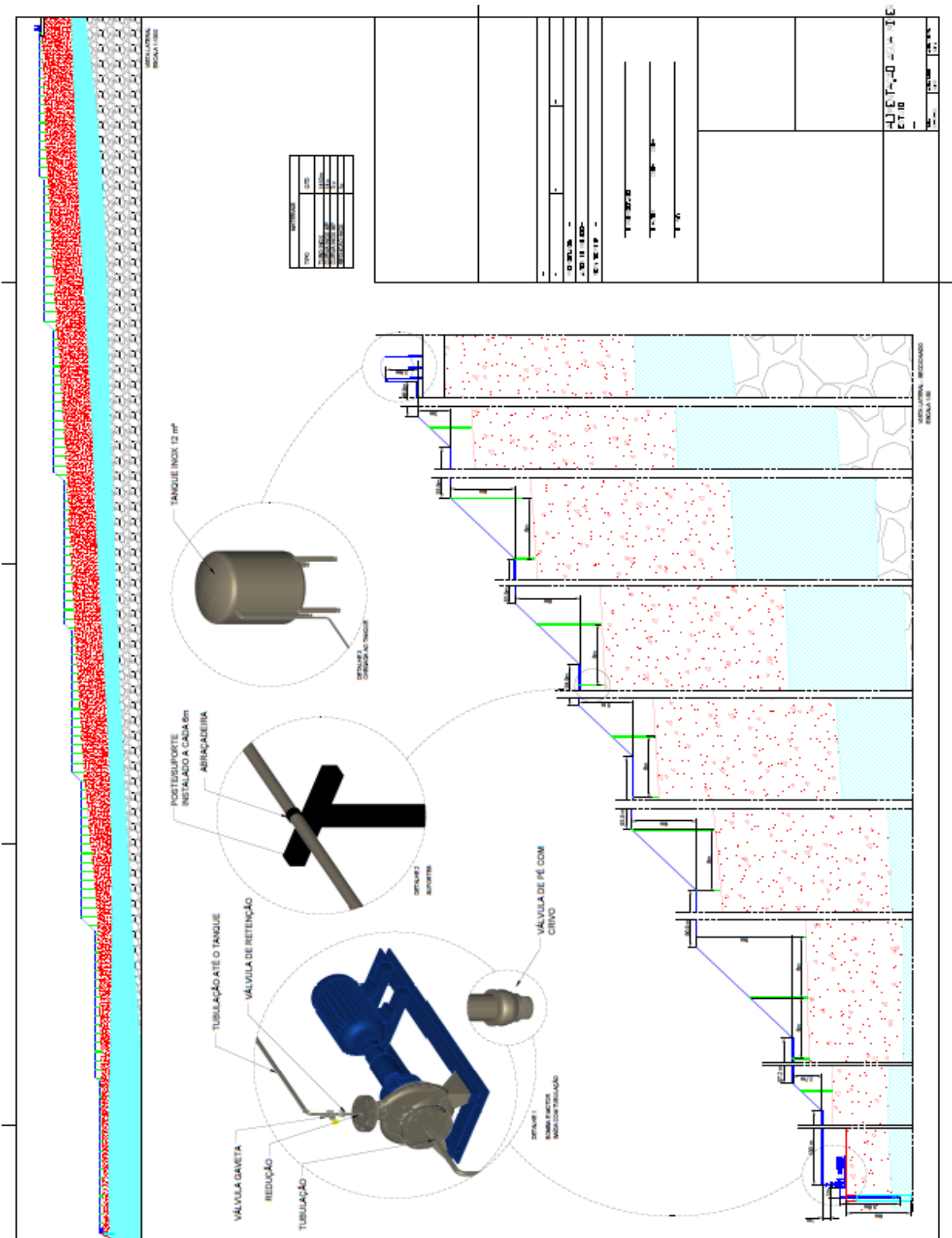
Ex.: 1.1/4" x 1" - 1.1/2" x 1.1/4"

Fonte: Manual Técnico- Bombas Schneider

## **APÊNDICES**

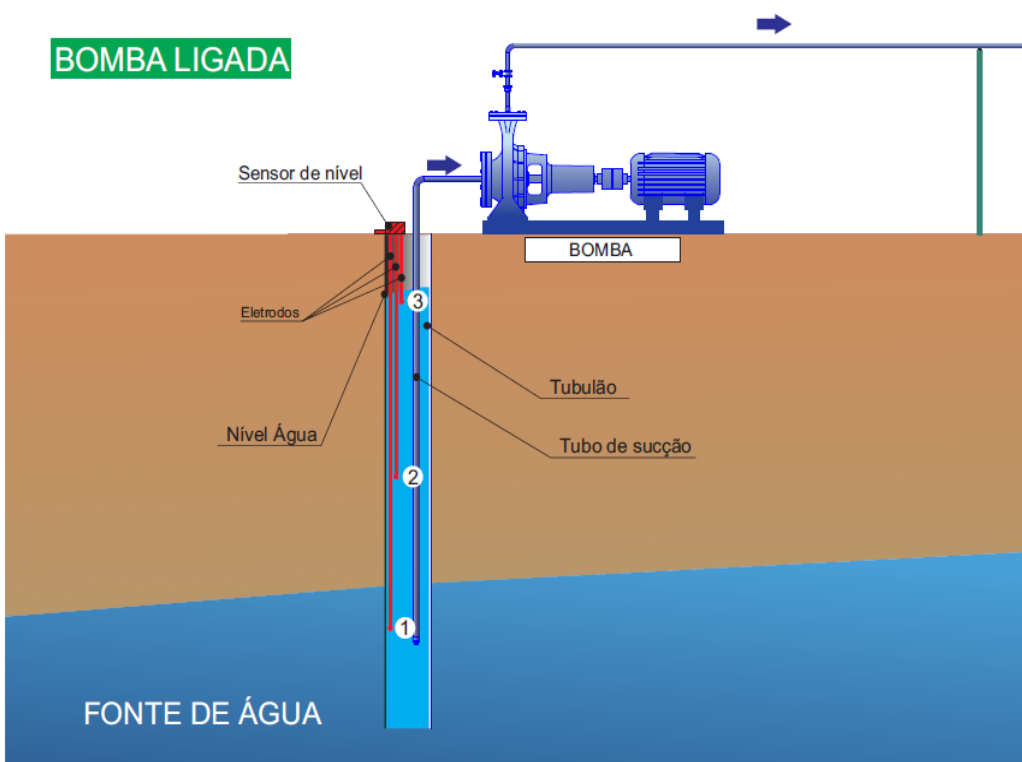
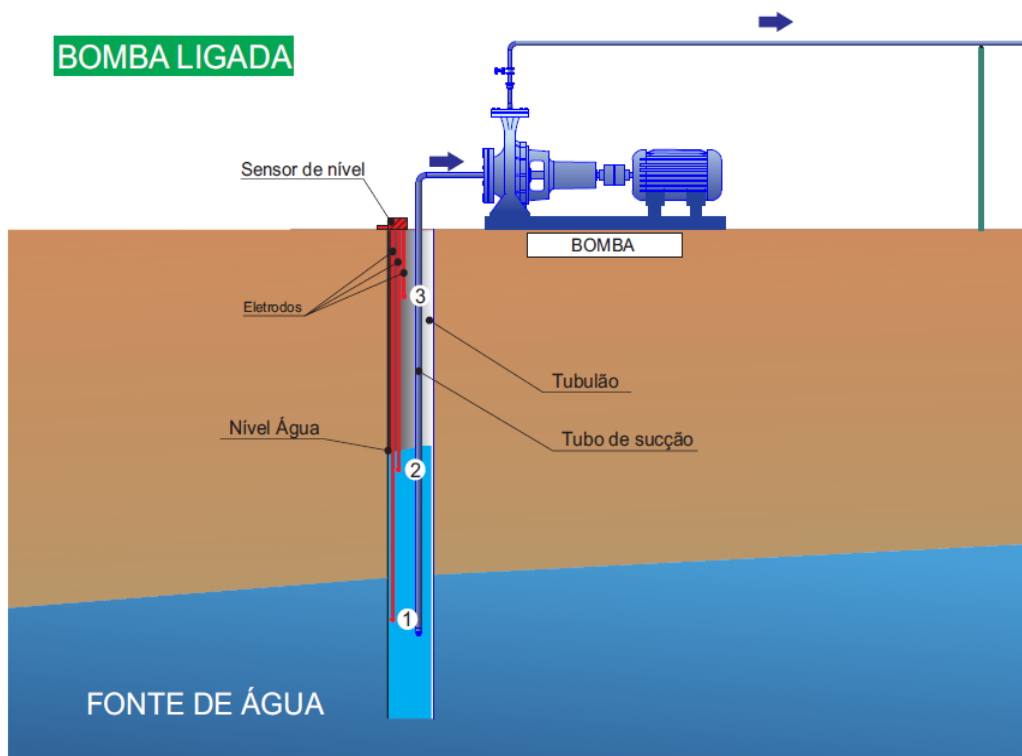


APÊNDICE A- Desenho do sistema de bombeamento

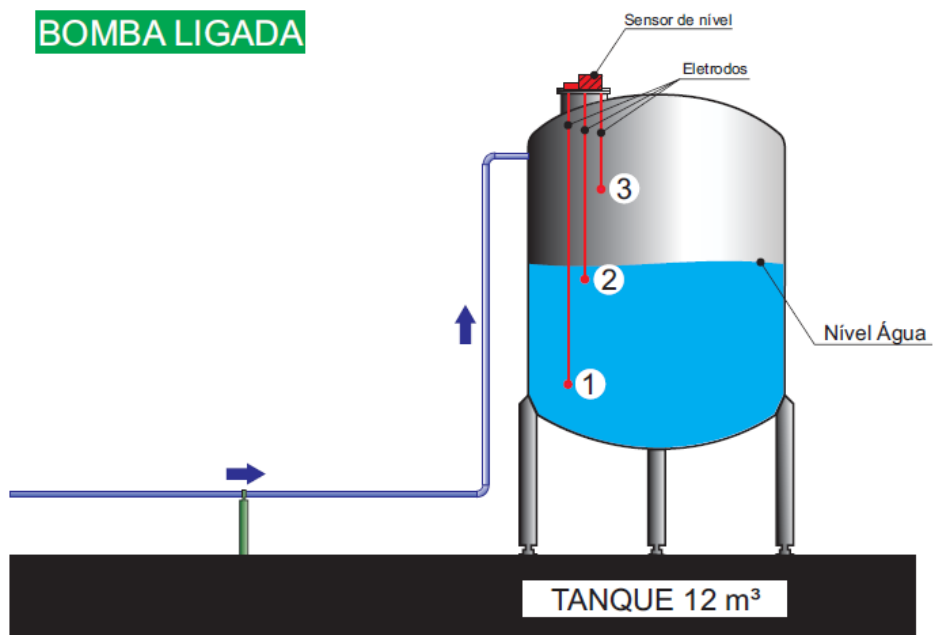
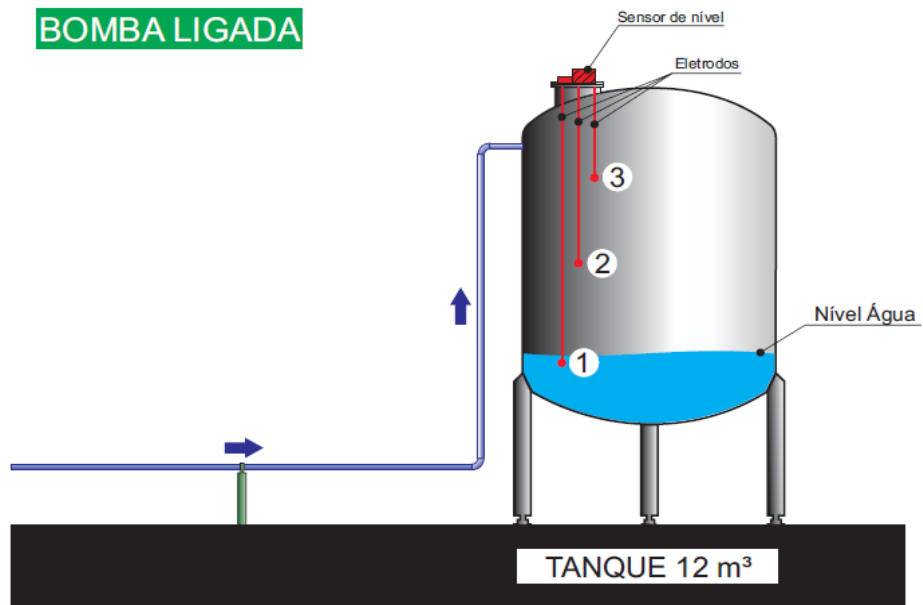




## APÊNDICE C – Níveis de água no reservatório para ligar a bomba.



## APÊNDICE D – Níveis de água em que a bomba será ligada.



APÊNDICE E- Hipóteses de quando a bomba será desligada.

