

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA / ELETROTÉCNICA

LUCAS ARAUJO DA SILVA
MANUEL ENRIQUE HELMFELT GARCETE
MATHEUS GABRIEL DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE
MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA NA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

LUCAS ARAUJO DA SILVA
MANUEL ENRIQUE HELMFELT GARCETE
MATHEUS GABRIEL DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE
MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA NA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de TCC 2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.

Coorientador: Prof. Gustavo Rafael Collere Possetti, Dr.

CURITIBA

2016

**LUCAS ARAUJO DA SILVA
MANUEL ENRIQUE HELMFELT GARCETE
MATHEUS GABRIEL DE ASSIS**

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA NA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 17 de março de 2016.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Ma.
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Joaquim Eloir Rocha, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Gustavo Rafael Collere Possetti, Dr.
Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Joaquim Eloir Rocha, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ednilson Soares Maciel, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gustavo Rafael Collere Possetti, Dr.
Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)

AGRADECIMENTOS

À Deus, que com sua força e bondade, permitiu que concluíssemos essa difícil etapa de nossas vidas, sempre com muita fé e dedicação.

Agradecemos às nossas famílias e amigos que, independentemente da situação ou distância, estiveram presentes em nossas vidas e que de alguma maneira nos deram apoio e suporte para alcançarmos nossos objetivos.

Prestamos nossos agradecimentos à Companhia de Saneamento do Paraná, em nome do Eng. Dr. Gustavo Rafael Collere Possetti, pela coorientação deste trabalho, apoio no desenvolvimento do projeto, disponibilização das informações e local para a instalação, além do investimento financeiro necessário, de tal forma que tornou possível a conclusão deste desafio.

Por fim, agradecemos também ao Prof. Dr. Joaquim Eloir Rocha, que, cordialmente, teve interesse em orientar este trabalho, colaborando com suas correções, opiniões e avaliações importantes.

RESUMO

SILVA, Lucas Araujo da; GARCETE, Manuel Enrique Helmfelt; ASSIS, Matheus Gabriel de. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema piloto de microgeração hidroenergética na rede de abastecimento de água de Curitiba.** 2016. 129f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – ênfase em Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

O cenário energético do Brasil exige a busca por alternativas para geração de energia elétrica de maneira mais eficiente e sustentável. Nesse contexto, as companhias de saneamento possuem locais e dispositivos, como válvulas de controle, que apresentam desperdício de energia potencial que a água pode oferecer. Desta forma, uma solução para aproveitamento desta energia é a substituição de válvulas por um sistema de microgeração de energia elétrica, de maneira que este possa, ainda, impor a perda de carga necessária na rede de abastecimento. Tendo em vista que a bibliografia existente se limita a estudos de potenciais e ensaios laboratoriais, o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto piloto, implementá-lo e avaliá-lo quanto ao seu funcionamento e a energia que será capaz de produzir. Para tanto, o sistema deverá ser composto por uma bomba funcionando como turbina e um motor de indução assíncrono funcionando como gerador autoexcitado por capacitores. Baseado em metodologias propostas por pesquisadores da área, critérios foram estabelecidos para escolha do local de instalação e para o seu dimensionamento. Uma vez devidamente dimensionados os equipamentos necessários, um projeto executivo foi elaborado para a implementação do sistema piloto. Com a sua instalação obteve-se geração de energia com tensão e frequência elétricas aceitáveis por normas da ANEEL, com potência de 17,83 kW e rendimento próximo de 54 %. Os resultados obtidos com a execução deste estudo validam a metodologia aplicada e comprovam que esta é uma alternativa viável para o aproveitamento energético em sistemas de abastecimento de água.

Palavras chave: Microgeração de energia. Geração hidroenergética. Eficiência energética. Bomba funcionando como turbina. Motor de indução funcionando como gerador.

ABSTRACT

SILVA, Lucas Araujo da; GARCETE, Manuel Enrique Helffelt; ASSIS, Matheus Gabriel de. **Development and evaluation of a pilot system of hydropower microgeneration in the water's supply network of Curitiba.** 2016. 129f. Graduation Conclusion Work – Superior Course in Industrial Electrical Engineering – emphasis in Eletrotechnic. Paraná's Federal Technological University, Curitiba, 2016.

The energy scenario in Brazil requires the search for alternatives for power generation more efficient and sustainable way. In this context, the sanitation companies have locations and devices, like control valves, which have potential energy waste that water can offer. Thus, an solution to use that potential energy is the replacement of valves by an electric power microgeneration system, so that it can, yet, impose the pressure drop required in the supply network. Considering that the existing bibliography is limited to potential analysis and laboratory experiments, the objective of this final project is to develop a pilot project, implement it and evaluate it as its operation and the power that it will be able to produce. Therefore, the system must be composed of a pump working as a turbine and an asynchronous induction motor working as generator and self-excited by capacitors. Based on methodologies proposed by researchers of the field, criteria were established to choose the installation location, for your sizing and operational evaluation. Once properly sized the necessary equipment, an executive project was designed to implement the pilot system. With the installation of the system, power generation was obtained with acceptable voltage and electrical frequency by ANEEL's standards, with power 17,83 kW and 54% of efficiency. The results obtained with the implementation of this study validate the methodology applied and prove that this is a viable alternative to energy use in water supply systems.

Keywords: Power microgeneration. Hydropower generation. Energy Efficiency. Pump as turbine. Induction motor working as generator.

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
APD – Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento
BEN – Balanço Energético Nacional
BFB – Bomba Funcionando como Bomba
BFT – Bomba Funcionando como Turbina
BL – Bloco
CAD – *Computer Aided Design*
CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas
CHD – Central Hidrelétrica de Desvio
CHR – Central Hidrelétrica de Represamento
COPEL – Companhia Paranaense de Energia
CR – Centro de Reservação
CVH – Central Hidrelétrica de Derivação
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ETA – Estação de Tratamento de Água
FBV – *Flow Block Valve*
FCV – *Flow Control Valve*
FE – *Flow Ejector*
FP – Fator de Potência
LT – *Level Transmitter*
MCH – Micro Central Hidrelétrica
MIG – Motor de Indução como Gerador
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PN – Pressão Nominal
PNE – Plano Nacional de Energia
PRODIST – Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PT – *Pressure Transmitter*
SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SJ – São José

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TVR – Trecho de Vazão Reduzida

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

VCV – Válvula Controladora de Vazão

VRP – Válvula Redutora de Pressão

TC – Transformador de Corrente

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Energia elétrica produzida por fonte no mundo.....	24
Figura 2: Gráfico da oferta de energia elétrica por fonte no Brasil.	25
Figura 3: Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos 1973 e 2006.	26
Figura 4: Fonte interna de energia no Brasil.	26
Figura 5: Potencial hidrelétrico por bacia hidrográfica.....	28
Figura 6: Sistema de abastecimento de água.	34
Figura 7: VRP controlada por mola.	40
Figura 8: VRP controlada por pistão.	41
Figura 9: VRP controlada por diafragma.	41
Figura 10: Componentes da VRP.....	42
Figura 11: Esquema de VRP com controle modulado pela vazão.	43
Figura 12: Gráfico representativo de área de cavitação.....	44
Figura 13: Representação esquemática de uma turbina.....	47
Figura 14: Representação esquemática de uma bomba.....	47
Figura 15: Aspectos construtivos de uma bomba centrífuga.....	49
Figura 16: Forma dos rotores radial, misto e axial.	50
Figura 17: Sentido de rotação n e sentido de fluxo do líquido de um rotor radial.....	50
Figura 18: Rotores simples e de dupla sucção.....	51
Figura 19: Rotor fechado, semi-aberto e aberto.....	51
Figura 20: Bomba centrífuga funcionando como bomba.	52
Figura 21: Bomba centrífuga funcionando como turbina.	52
Figura 22: Comparação de custo entre BFT e Turbina Michel-Banki.....	54
Figura 23: Comparação de custo entre BFT e Turbina convencional para 24,36 kW.	54
Figura 24: Comparação de custo entre BFT e Turbina convencional para 53,4 kW.	55
Figura 25: Coeficientes de vazão e altura.	56
Figura 26: Máquina de indução assíncrona em corte.....	59
Figura 27: Partes da máquina de indução assíncrona.	59

Figura 28: Campo magnético girante, adaptado de Cogo <i>et al.</i> , (1984).....	60
Figura 29: Características operacionais do motor e gerador de indução assíncrono.....	62
Figura 30: Gerador assíncrono auto excitado.	63
Figura 31: Processo de excitação do gerador assíncrono.	64
Figura 32: Pré-seleção do motor para ser utilizado como gerador.....	65
Figura 33: Circuito equivalente do motor de indução.	66
Figura 34: Relação experimental entre $\text{sen}(\phi_g)$ do gerador e $\text{sen}(\phi_m)$ do motor em função da potência nominal.....	67
Figura 35: Potenciais das válvulas citadas.....	73
Figura 36: Foto aérea do reservatório apoiado São José Aeroporto.....	76
Figura 37: Foto do reservatório apoiado São José Aeroporto.....	76
Figura 38: Foto da válvula controladora de vazão do reservatório apoiado São José Aeroporto.	77
Figura 39: Sistema de abastecimento Miringuava.....	79
Figura 40: Fluxo de água na adutora do CR Aeroporto.....	80
Figura 41: Detalhe da área da FCV01.....	81
Figura 42: Histograma das vazões.....	83
Figura 43: Histograma das pressões úteis..	83
Figura 44: Histograma das potências calculadas.	84
Figura 45: Histograma das energias mensais calculadas...	84
Figura 46: Gráfico de intervalos mensal das vazões.....	85
Figura 47: Gráfico de intervalos mensal das pressões úteis.	86
Figura 48: Gráfico de intervalos mensal da potência calculada.	86
Figura 49: Gráfico de intervalos mensal da energia calculada.	87
Figura 50: Gráfico das médias de vazão por horário de todos os dias de 2014.....	88
Figura 51: Gráfico das médias de pressão útil por horário de todos os dias de 2014.	88
Figura 52: Gráfico das médias de potência calculada por horário de todos os dias de 2014.....	89
Figura 53: Gráfico das médias de energia calculada por horário de todos os dias de 2014.	89
Figura 54: Coeficientes de vazão e altura.	92
Figura 55: Placa de identificação da bomba selecionada.	94

Figura 56: Foto da bomba selecionada.....	95
Figura 57: Curva característica da bomba selecionada.	95
Figura 58: Coeficientes de vazão e altura.	96
Figura 59: Seleção do motor para ser utilizado como gerador.	101
Figura 60: Placa de identificação do motor selecionado.	102
Figura 61: Relação experimental entre $\text{sen}(\phi_g)$ do gerador e $\text{sen}(\phi_m)$ do motor em função da potência nominal do motor de 18,5 kW.	103
Figura 62: Diagrama esquemático do detalhe da intervenção.	105
Figura 63: Diagrama esquemático em corte do projeto da caixa da BFT.....	106
Figura 64: Foto da escavação, remoção de terra e acomodação do sistema hidráulico.....	107
Figura 65: Foto dos Blocos de ancoragem.....	107
Figura 66: Foto da caixa com a BFT instalada.	108
Figura 67: Foto da caixa acabada com a BFT instalada.	108
Figura 68: Foto das resistências ligadas em delta.	109
Figura 69: Foto da tampa de inspeção do reservatório.	109
Figura 70: Foto do cabo das resistências mergulhadas.	110
Figura 71: Foto do painel elétrico para os ensaios elétricos.....	111
Figura 72: Foto do medidor de vazão instalado na entrada da BFT.....	112
Figura 73: Foto do manômetro instalado na entrada da BFT.....	112
Figura 74: Gráfico do escorvamento do MIG a vazio.	113
Figura 75: Curva característica da bomba fora do ponto de operação.....	119
Figura 76: Gráfico das médias de vazão por horário de todos os dias de 2014.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Válvulas selecionadas.....	70
Tabela 2: Pressão útil das válvulas selecionadas.	70
Tabela 3: Potencial de geração hidroenergética.	72
Tabela 4: Resumo geral das informações obtidas pelo tratamento estatístico.....	90
Tabela 5: Medianas de vazão e pressão útil..	92
Tabela 6: Vazão e pressão útil da bomba selecionada.	94
Tabela 7: Dados extraídos da placa de identificação do motor.....	102
Tabela 8: Dados de medição na operação da BFT-MIG com carga nominal.....	115
Tabela 9: Dados de medição e calculados na operação da BFT-MIG com carga nominal.	117
Tabela 10: Rendimentos na operação da BFT-MIG com carga nominal.....	118
Tabela 11: Taxas de distorção harmônica para o sistema com carga nominal.....	120
Tabela 12: Custos do sistema piloto... ..	121
Tabela 13: Retorno dos investimentos.....	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese das oportunidades da geração distribuída segundo artigo “Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras”	31
Quadro 2: Síntese das barreiras da geração distribuída segundo artigo “Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras”	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. TEMA.....	16
1.1.1. Estado da Arte.....	16
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS.....	18
1.3. OBJETIVOS.....	19
1.3.1. Objetivo Geral.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
1.4. JUSTIFICATIVA.....	19
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.6. RECURSOS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DO TRABALHO.....	22
1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	24
2.2 MICROGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	29
2.2.1 Oportunidades e Barreiras da Microgeração Distribuída.....	30
2.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	33
2.3.1 Captação.....	34
2.3.2 Estação elevatória.....	35
2.3.3 Estação de tratamento de água (ETA).....	35
2.3.4 Adutoras.....	36
2.3.5 Reservatórios.....	37
2.3.6 Rede de distribuição.....	37
2.4 CONTROLE DE PRESSÃO.....	38
2.4.1 Válvulas Redutoras de Pressão.....	39
2.5 GERAÇÃO HIDROENERGÉTICA.....	45
2.5.1 Tipos de Arranjos e Componentes.....	46
2.5.2 Máquinas Hidráulicas.....	47
2.5.3 Turbinas.....	48
2.5.4 Utilização da Energia Hidráulica.....	48
2.6 BOMBAS FUNCIONANDO COMO TURBINA.....	49
2.6.1 Bombas hidráulicas.....	49
2.6.2 Inversão de Fluxo de Água.....	51
2.6.3 Vantagens e Desvantagens das Bombas Funcionando como Turbinas..	53
2.6.4 Seleção das Bombas Funcionando como Turbina.....	55

2.7	MOTOR DE INDUÇÃO ASSÍNCRONO COMO GERADOR.....	58
2.7.1	Máquinas de Indução Assíncronas.....	58
2.7.2	Funcionamento do motor e do gerador de indução	60
2.7.3	Autoexcitação do Gerador	62
2.7.4	Seleção do Gerador e do Banco de Capacitores para Autoexcitação	65
3.	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA	
	E REGIÃO METROPOLITANA.....	69
3.1.	POTENCIAIS DE GERAÇÃO HIDROENERGÉTICA	69
3.2.	CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO LOCAL PARA REALIZAÇÃO	
	DO PROJETO PILOTO.....	73
4.	SISTEMA PILOTO DE MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA	78
4.1.	DESCRIÇÃO DO LOCAL	78
4.2.	AQUISIÇÃO DE DADOS	81
4.3.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	82
4.4.	DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	91
4.4.1.	Dimensionamento da bomba funcionando como turbina.....	91
4.4.2.	Dimensionamento do motor de indução assíncrono operando	
	como gerador	100
4.4.3.	Dimensionamento do capacitor para autoexcitação	102
4.5.	PROJETO EXECUTIVO	104
4.6.	IMPLEMENTAÇÃO.....	106
4.7.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO	112
4.7.1.	Avaliação do sistema operando sem carga	113
4.7.2.	Avaliação do sistema operando com carga	114
4.8.	CUSTOS E RETORNO DO INVESTIMENTO	120
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
5.1.	CONCLUSÕES	123
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	124
	REFERÊNCIAS.....	126
	APÊNDICE.....	132
	ANEXOS	1444

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

O atual cenário do setor energético brasileiro mostra a urgente necessidade de buscar alternativas sustentáveis quanto à forma de gerar e consumir energia elétrica. Nesse contexto, devido ao alto consumo energético e excesso de desperdícios, o setor do saneamento demanda o desenvolvimento de tecnologias e processos pautados na conservação e racionalização de energia.

O processo de distribuição de água envolve significativas perdas de energia potencial, devido à necessidade do controle de pressão em adutoras abastecidas por gravidade. Nesse sentido, com o intuito de salvaguardar a estrutura física do sistema de abastecimento e o fornecimento regular de água para a população, normalmente tais adutoras possuem válvulas redutoras de pressão (VRPs) e válvulas controladoras de vazão (VCVs). Além disso, para as empresas do setor de abastecimento de água o principal insumo energético é a eletricidade, despendida majoritariamente em conjuntos moto-bombas (DUTRA, 2005, p. 3).

Dessa maneira, o desenvolvimento da microgeração de eletricidade utilizando a própria estrutura de tubulação do sistema de abastecimento de água, aproveitando a energia dissipada em VRPs, torna-se interessante do ponto de vista ambiental e econômico.

1.1.1. Estado da Arte

Diversos assuntos relacionados com a temática em questão foram realizados, desde estudos de utilização de bombas funcionando como turbina, até estudos experimentais da aplicação de bombas funcionando como turbina na geração de energia elétrica.

Chapallaz *et al.*, em 1992, desenvolveram um manual de bombas funcionando como turbina, onde são mostrados dados experimentais com testes realizados em

cerca de 80 equipamentos, que comprovam esta possibilidade, apresentando constantes de ajustes de rotação específica de uma bomba para bomba funcionando como turbina.

A fabricante de bombas, KSB, confirma a viabilidade da utilização de bombas funcionando como turbina em cartilhas que apresentam desde a fórmula para potencial estimado, até gráficos de seleção de tipo de bomba para funcionar como turbina a partir de dados de vazão e queda manométrica.

Posteriormente a esses estudos de viabilidade de operação de bombas funcionando como turbina, começam a surgir no Brasil, estudos de aplicação deste tipo de equipamento em diversos sistemas. Medeiros (2004), da Universidade Federal de Itajubá, estudou a utilização de bombas operando como turbinas e geradores de indução na geração de energia elétrica em laboratório. Esse estudo apresentou resultado satisfatório do grupo-gerador, além de mostrar que a utilização de BFT é bastante atrativa, em função do seu baixo custo em relação ao de turbinas convencionais.

França e Soares (2005), pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, desenvolveram um estudo de caso em uma indústria de celulose e analisaram a viabilidade econômica da substituição de VRPs por turbinas, visando a cogeração de energia.

Ainda em estudo de viabilidade, Lopes e Martinez (2006) analisaram a utilização de bombas funcionando como turbina para sistemas de recalque de água e concluíram que esta pode ser uma opção de geração de energia em pequenas instalações.

Fernandes *et al.* (2008), por meio de um artigo, apresentaram um estudo realizado em laboratório, de bomba funcionando como turbina e motor de indução como gerador para pequenos aproveitamentos de potencial hídrico, e consideraram este sistema como uma alternativa tecnicamente viável quando comparados com turbinas e geradores comuns.

Por sua vez, Silva (2012), realizou um levantamento do potencial energético e da viabilidade econômica da geração hidroelétrica na rede pública de distribuição de água do município de Pato Branco - Paraná.

Adicionalmente, Lima (2013) investigou o potencial de geração de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água por meio da utilização de bombas funcionando como turbinas.

Os estudos supracitados concluíram que a microgeração hidroenergética com bombas e/ou turbinas em substituição às VRPs em sistemas de abastecimento de água é promissora, porém ainda pouco explorada no Brasil. Cabe destacar, no entanto, que como boa parte dos estudos até então reportados na literatura apresentam apenas uma abordagem teórica acerca do assunto, a microgeração hidroenergética em sistemas de abastecimento de água ainda precisa ser investigada em nível experimental aplicado. Por isso, este trabalho se propõe a estudar um sistema piloto de geração de energia elétrica utilizando o sistema de abastecimento de água do município de Curitiba e sua região metropolitana no estado do Paraná.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

Gastos elevados com energia elétrica no setor do saneamento, que tipicamente representam a maior despesa operacional das prestadoras de serviços somada ao desperdício de energia potencial no processo do abastecimento de água, causado principalmente pela atuação das válvulas redutoras de pressão (VRPs) em adutoras, criam a necessidade de novas pesquisas visando à melhoria do sistema de forma a torná-lo mais eficiente e sustentável.

Estudos de potenciais nos sistemas de distribuição de água por gravidade foram realizados avaliando as condições técnicas e econômicas com aplicações como a utilização de bombas funcionando como turbinas (BFT) em substituição à VRPs, e indicam uma solução bastante viável para o problema.

No entanto, essa solução ainda precisa ser investigada experimentalmente, para que em caso positivo de aproveitamento, possa ser amplamente adotada em sistemas de abastecimento de água do Brasil.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar um sistema piloto de microgeração de energia elétrica em uma adutora de água operando por gravidade a partir da substituição de válvula redutora de pressão ou válvula controladora de vazão por microgerador.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Quantificar potenciais de microgeração de energia elétrica em adutoras de água operadas por gravidade no sistema de abastecimento do município de Curitiba.
- Determinar a viabilidade técnica inerente à microgeração de energia elétrica na adutora investigada.
- Realizar a especificação de equipamentos e o projeto para um sistema piloto de microgeração hidroenergética em unidade existente da companhia responsável pelo abastecimento de água de Curitiba.
- Avaliar o desempenho operacional da unidade piloto de microgeração implantada.

1.4. JUSTIFICATIVA

O setor energético brasileiro necessita de soluções para o suprimento de suas crescentes demandas. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2013, o crescimento do consumo de energia no Brasil está maior do que o crescimento da sua oferta. Além disso, o apelo da sociedade pela produção de energia a partir de fontes renováveis vem aumentando cada vez mais devido às questões ambientais ligadas ao inequívoco

aquecimento global e à escassez de recursos naturais. Adicionalmente, a eficiência energética é um assunto que está em constante discussão no setor elétrico.

O setor de saneamento representa uma grande parcela no consumo nacional de energia elétrica. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2011) e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2010), o setor foi responsável pelo consumo de 10,59 TWh/ano, que representou 2,38% do consumo total de energia do país em 2010. A maior parte do consumo de energia elétrica dos sistemas de saneamento é pela grande utilização de motores elétricos nas bombas de recalque de água e esgoto.

Nos sistemas de abastecimento de água existem reservatórios com diferentes alturas geográficas, interligados por tubulações aonde se utilizam VRPs. Esses dispositivos possibilitam o controle da pressão nos sistemas. No entanto, as VRPs induzem um efeito chamado cavitação que causa seus desgastes mecânicos, bem como a emissão de ruídos sonoros excessivos. Dessa forma, nas VRPs há uma significativa dissipação de energia potencial.

Essa energia, no entanto, pode ser aproveitada se as VRPs forem substituídas por bombas funcionando como turbinas em conjunto com geradores, viabilizando uma forma de geração alternativa de energia elétrica em companhias de saneamento.

Vale destacar, portanto, a importância deste trabalho, visto que o bom funcionamento da aplicação, desde que não comprometa o abastecimento de água e haja viabilidade técnica e econômica, pode trazer benefícios para as companhias de saneamento. Dentre os principais benefícios está a economia com os custos de energia, visto que a utilização da energia gerada pelo sistema implicará na redução dos gastos com a energia contratada.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, foram realizadas pesquisas de referencial teórico sobre microgeração hidroenergética em sistemas de abastecimento de água, vislumbrando obter informações sobre o desempenho de equipamentos, sobre as viabilidades econômica e financeira de intervenções, bem como sobre diretrizes para projetos e instalações. Para tanto, foi utilizada bibliografia especializada, tais como artigos

técnicos e científicos, teses, dissertações, “websites” e catálogos de fabricantes de equipamentos.

Em paralelo com a pesquisa teórica, realizou-se, em conjunto com técnicos da operadora do sistema de abastecimento, um levantamento topológico do sistema de abastecimento de água do município de Curitiba e de sua região metropolitana com o intuito de identificar os locais onde há adutoras por gravidade dotadas de VRPs. Nos pontos de maior interesse, registraram-se as vazões e pressões manométricas de operação com medidores de vazão eletromagnéticos e transmissores de pressão relativa. Ambos os dados registrados em *data logger* e utilizados para calcular o potencial de microgeração hidroenergética.

Na sequência, utilizando métodos propostos na literatura, a viabilidade técnica inerente à microgeração hidroenergética foi determinada para um local definido segundo critérios estipulados. A infraestrutura elétrica, civil e mecânica necessária para a instalação e operação do sistema piloto foi considerada nessa etapa. Somente um ponto foi selecionado para receber um sistema piloto. Para definição desse ponto, consideraram-se o potencial de produção de energia elétrica esperado, o tempo para entrada em operação, a facilidade de acesso ao local, assim como a disponibilidade para análise de desempenho operacional, sem que o abastecimento de água da população fosse comprometido.

Uma vez definido o local de instalação do sistema piloto, elaborou-se um projeto executivo com o auxílio de ferramenta computacional em plataforma CAD e de planilhas eletrônicas. Os equipamentos necessários foram devidamente especificados e o seu fornecimento foi disponibilizado pela companhia de saneamento responsável pela operação do sistema local. Com a finalidade de avaliar o funcionamento e desempenho do sistema, cargas resistivas trifásicas foram conectadas para consumir a energia elétrica gerada.

Com o sistema piloto em funcionamento, os parâmetros operacionais inerentes à geração de energia elétrica, tais como, tensão, corrente, energia, fator de potência e qualidade de energia, assim como pressão manométrica e vazão de água na adutora foram minimamente monitorados e registrados. Estes dados foram utilizados para avaliar o desempenho operacional do sistema.

1.6. RECURSOS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DO TRABALHO

Devido ao caráter experimental e aplicável deste trabalho, ele demandou recursos técnicos e financeiros para o seu desenvolvimento. Nesse sentido, foram necessários dados e acesso ao sistema de abastecimento de água. Além disso, demandou-se equipamentos, tais como bomba, medidores de vazão e pressão manométrica, motor assíncrono, tubulações, cabos elétricos e, até mesmo, conhecimento técnico e mão de obra especializada para operação segura do sistema piloto.

Sabendo que o trabalho demandaria tais recursos, realizou-se contato com a Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento (APD) da companhia de saneamento, de onde surgiu uma parceria para a execução deste trabalho. Dessa forma, a mesma viabilizou tais recursos inerentes ao projeto.

1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No primeiro é apresentada uma introdução sobre o estudo, expondo o caso proposto, os objetivos, a justificativa para sua realização e os procedimentos metodológicos para tal.

No segundo capítulo é abordada a revisão bibliográfica sobre sistemas de abastecimento de água, o controle de pressão em adutoras, a microgeração e a geração distribuída de energia elétrica e o princípio de funcionamento de bombas de água operando como turbinas. São apresentados fundamentos teóricos e o estado da arte sobre microgeração hidroenergética em redes de distribuição de água.

No terceiro capítulo é reportada a metodologia e os resultados das análises para os potenciais de geração hidroenergética e para a escolha do local em que foi instalado o sistema piloto.

O quarto capítulo apresenta os procedimentos metodológicos, resultados obtidos de análises estatísticas detalhadas das medições coletadas do local em que foi instalado o sistema piloto. Neste capítulo também são apresentados os procedimentos para dimensionamento e especificação dos equipamentos selecionados para o projeto

piloto, assim como o seu projeto executivo. Por fim, também são expostos os detalhes e resultados da implementação e monitoramento do sistema em operação

No quinto capítulo, por sua vez, são relatadas as considerações finais acerca do trabalho, descrevendo as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

Ao final do documento são apresentadas as referências utilizadas para o desenvolvimento do projeto, os anexos e os apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica, enquanto que nas principais economias mundiais a matriz se concentra em fontes não renováveis, conforme é possível observar no gráfico da Figura 1:

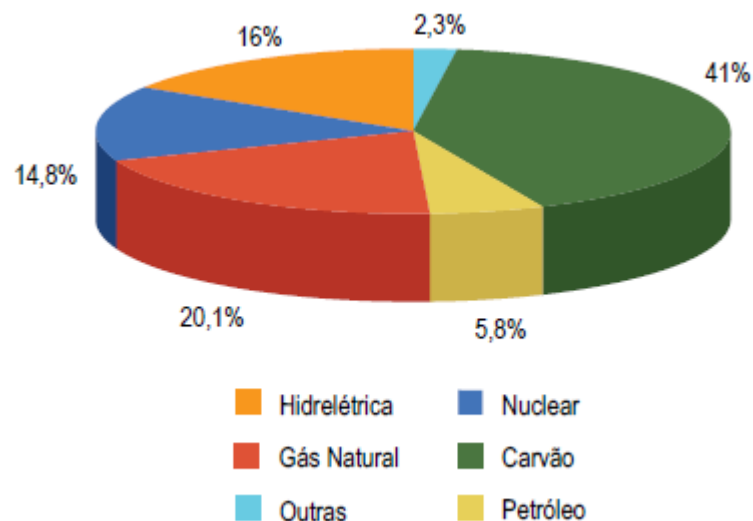
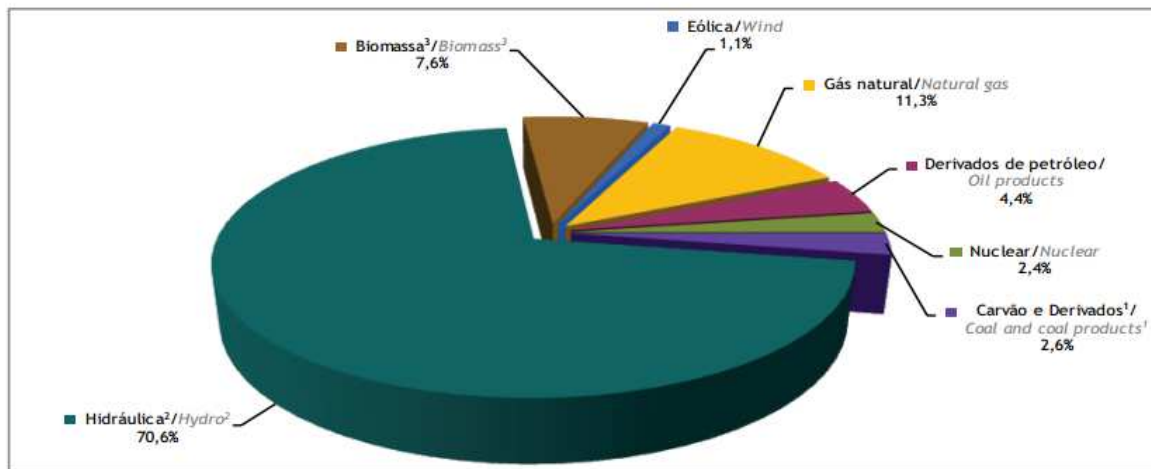


Figura 1: Energia elétrica produzida por fonte no mundo.
Fonte: IEA, 2008 (Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3ª Edição, 2008).

Definem-se por fontes de energia renováveis aquelas em que a sua utilização é renovável, ou seja, pode-se manter e ser aproveitado ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento. Exemplos deste tipo de fonte são a hidráulica, solar e eólica. Por outro lado, definem-se fontes de energia não renováveis como aquelas que os recursos são, teoricamente, limitados, ou seja, dependem da sua disponibilidade no planeta e que, por sua vez, a recuperação das reservas em curto prazo não é possível. Por exemplo, os combustíveis fósseis, como o petróleo.

As fontes renováveis representam 79,3% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais

as importações, que são essencialmente de origem renovável (BEN, 2014). A Figura 2 mostra o gráfico da oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil.



Notas/ Notes:

¹ Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

² Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 2: Gráfico da oferta de energia elétrica por fonte no Brasil.
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2014.

Embora represente a principal fonte de energia elétrica no país, a geração de energia hidráulica apresentou uma queda de 5,9% em comparação com 2013, segundo o balanço energético nacional de 2014. Além disso, na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 30%, enquanto que as centrais térmicas responderam por 65% da capacidade adicionada (BEN, 2014).

Esta tendência de redução da porcentagem quando analisado a participação das hidrelétricas na geração de energia elétrica no Brasil não é novidade. Este comportamento já vem sendo observado desde a década de 70, conforme é possível observar na Figura 3.

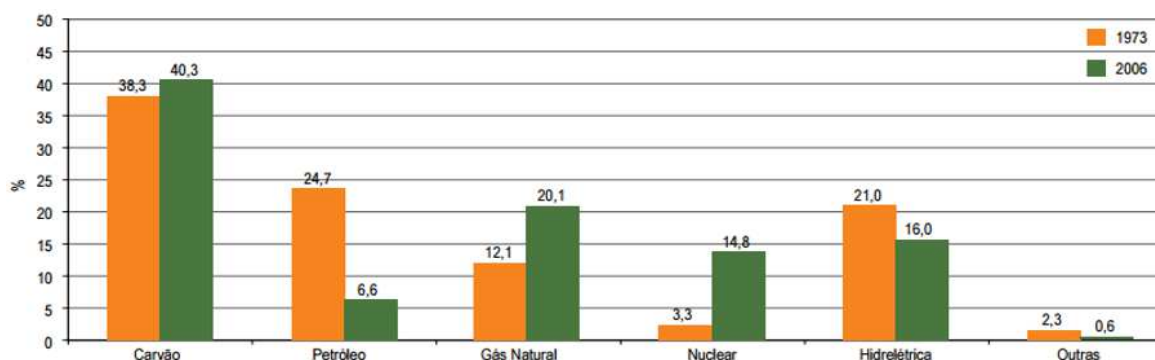


Figura 3: Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos 1973 e 2006.
Fonte: ANEEL - Atlas de Energia Elétrica do Brasil (3ª edição, 2008).

De acordo com este gráfico é possível observar uma queda de 5% da participação da geração hidrelétrica na matriz elétrica mundial de 1973 a 2006, ao passo que a participação de fontes não renováveis, como o carvão, gás natural e nuclear, apresentou um elevado crescimento.

No Brasil o quadro segue uma tendência similar. Na Figura 4 é apresentada uma tabela com as porcentagens de participações das principais fontes renováveis e não renováveis de energia elétrica no país de 2004 a 2013. É possível observar uma queda de 3% da participação de energias renováveis na oferta total de energia do país. As energias não renováveis, por sua vez, apresentaram um aumento de 3% na oferta interna de energia.

FONTES	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	IDENTIFICATION
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	56,0	55,3	54,8	53,9	53,9	52,7	54,9	56,0	57,7	59,0	NON-RENEWABLE ENERGY
PETRÓLEO E DERIVADOS	39,3	38,8	37,9	37,5	36,7	37,9	37,8	38,6	39,3	39,3	PETROLEUM AND OIL PRODUCTS
GÁS NATURAL	8,9	9,4	9,6	9,3	10,3	8,8	10,2	10,2	11,5	12,8	NATURAL GAS
CARVÃO MINERAL E COQUE	6,3	6,0	5,7	5,7	5,5	4,6	5,4	5,7	5,4	5,6	COAL AND COKE
URÂNIO (U ₃ O ₈)	1,5	1,2	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	URANIUM - U ₃ O ₈
ENERGIA RENOVÁVEL	44,0	44,7	45,2	46,1	46,1	47,3	45,1	44,0	42,3	41,0	RENEWABLE ENERGY
HIDRÁULICA ¹	14,5	14,9	14,9	14,9	14,1	15,2	14,0	14,7	13,8	12,5	HYDRAULIC ¹
LENHA E CARVÃO VEGETAL	13,2	13,1	12,7	12,0	11,6	10,1	9,7	9,5	9,1	8,3	FIREWOOD AND CHARCOAL
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	13,5	13,8	14,6	15,9	17,0	18,1	17,5	15,7	15,4	16,1	SUGAR CANE PRODUCTS
OUTRAS RENOVÁVEIS	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,9	3,9	4,1	4,0	4,2	OTHERS
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

¹ Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica. 1 kWh – 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica). Ver Anexo VI.6 – Tratamento das informações. / ¹ Includes electricity imports originated from hydraulic sources. 1 kWh – 860 kcal (physical equivalent - First Principle of Thermodynamics). Look Appendix VI.6.

Figura 4: Fonte interna de energia no Brasil.
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2014.

Os efeitos desta mudança no panorama energético do país, com a crescente participação de fontes não renováveis de geração de eletricidade são, principalmente, o aumento do custo da energia elétrica no país e o esgotamento de recursos como os combustíveis fósseis, que além de tudo possuem características poluentes. Nos últimos anos, com o agravamento da crise energética em que o país se encontra, causada principalmente pela redução do rendimento das grandes usinas hidrelétricas devido à queda dos níveis dos reservatórios, a solução encontrada pelo governo foi ampliar significativamente a participação das usinas termoelétricas. Porém esta forma de geração de energia elétrica costuma apresentar preços extremamente elevados. Estes custos são bancados pelo governo e posteriormente acabam sendo repassados para os consumidores.

Existem duas principais barreiras contra a expansão da geração hidrelétrica de grande porte. A primeira diz respeito aos potenciais restantes disponíveis para instalação de novas usinas hidrelétricas. De acordo com o Plano 2015 da Eletrobrás, que foi o último inventário produzido no país no ano de 1992, o Brasil é o país com maior potencial hidrelétrico, com um total de 260 mil MW. Destes, pouco mais de 30% se transformaram em usinas construídas ou outorgadas. O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), que é o primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos realizado no âmbito do governo brasileiro, conduzido pela EPE, elaborou um mapa com informações sobre o inventário, o total aproveitado e o total estimado referente ao potencial hidrelétrico por bacia hidrográfica do país, conforme a Figura 5.

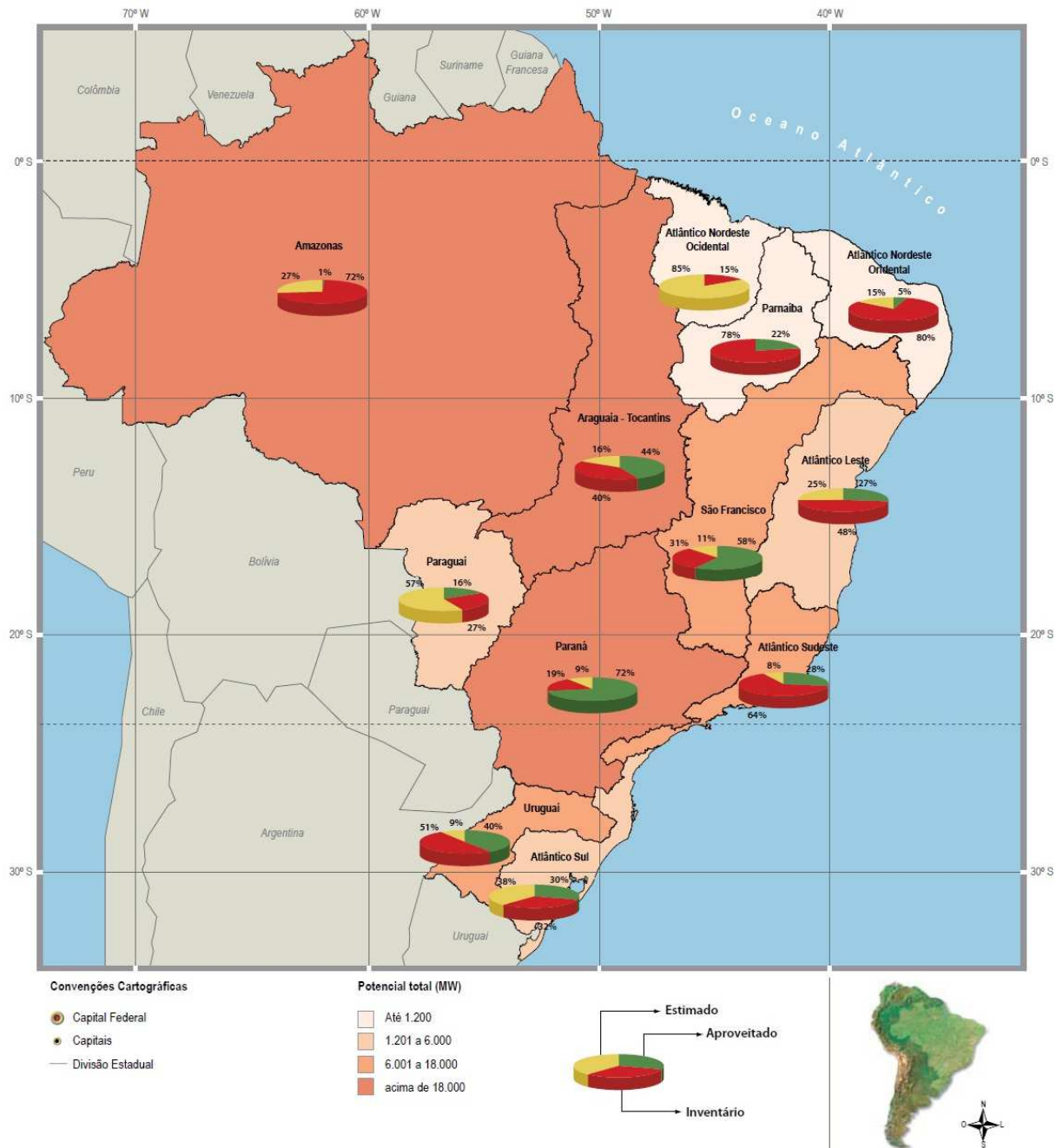


Figura 5: Potencial hidrelétrico por bacia hidrográfica.
Fonte: EPE, 2008.

A maioria das grandes centrais hidrelétricas brasileiras localiza-se nas bacias do São Francisco e, principalmente, do Paraná, apesar da existência de unidades importantes na região Norte. As bacias da região Sul, Sudeste e Nordeste já estão, portanto, quase que integralmente exploradas. O estudo relaciona o potencial de aproveitamento ainda existente em cada uma das bacias hidrográficas do país. A bacia do Amazonas, com um inventário de 72% de potencial disponível, que estão localizados os principais potenciais hidrelétricos disponíveis e passa a ser a principal atenção do

governo para o plano de energia nacional 2030 quanto à expansão de geração hidrelétrica. No entanto estes planos se deparam com a segunda barreira.

A segunda barreira está relacionada as questões socioambientais contrárias a estes tipos de empreendimentos. Vários desafios têm sido colocados para incremento da expansão hidrelétrica. De acordo com a PNE 2030, as pressões são mais especificamente contra as usinas hidrelétricas de grande porte, ao ponto que, durante a conferência *Renewables 2004*, realizada em Bonn, Alemanha, uma declaração apresentada pela organização não-governamental *International Rivers Network* pretendeu que fossem excluídas da classificação de fonte de energia renovável as usinas hidráulicas com potência superior a 10 MW.

Ainda, segundo o PNE 2030, dois terços do território nacional estão cobertos por dois biomas de alto interesse do ponto de vista ambiental, como o são a Amazônia e o Cerrado, que, representam 70% do potencial hidrelétrico disponível no território e estão localizados nestes biomas. Portanto estas são questões bastante atuais que irão definir o rumo da expansão deste tipo de geração.

Em contrapartida, os problemas relacionados a geração energética, de forma geral, abrem espaço para novos conceitos que se apresentam como ótimas soluções, com muito menos impactos ambientais e com vantagens tanto para o fornecedor como para o consumidor: são as chamadas microgeração e geração distribuída.

2.2 MICROGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O conceito de microgeração surge a partir de uma necessidade de ampliação da geração de energia elétrica de forma menos impactante para o meio ambiente e para a sociedade. De forma similar também surge o conceito de geração distribuída. Hoje a microgeração de forma distribuída é vista como uma das soluções mais promissoras para o problema de abastecimento de energia elétrica, uma vez que apresentam várias vantagens em relação às grandes usinas elétricas.

A resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da ANEEL, adota as seguintes definições para microgeração e minigeração:

- microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base

em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

- minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A geração de energia elétrica utilizando a radiação solar ou a força dos ventos são dois exemplos de tecnologias que ganharam muito destaque nos últimos anos. Isto porque elas utilizam fontes inesgotáveis (ou renováveis) como matéria prima. Visto de outra forma, a utilização destes recursos para geração de energia elétrica também significa aproveitar um potencial que, caso não fossem utilizados, representariam um grande desperdício de energia. Analogamente, existem diversos outros processos que envolvem potenciais que não são utilizados – podendo ser na forma de energia mecânica, térmica ou resíduos biológicos– configurando-se assim como desperdícios. Para estes casos, onde o desperdício se torna fonte de geração de energia, a microgeração ganha ainda maior destaque.

Embora alguns autores associem o conceito de geração distribuída a tecnologias renováveis, a definição não se deve limitar a apenas determinadas tecnologias, visto que a disponibilidade de recursos varia significativamente de acordo com a região e o país. Além disso, é possível a geração em pequena escala com recursos não renováveis, por exemplo, com pequenas turbinas a gás (Ackerman *et al.*, 2001 *apud* Nakabayashi, 2014).

2.2.1 Oportunidades e Barreiras da Microgeração Distribuída

Existem inúmeras vantagens na geração distribuída de pequeno porte em comparação com as grandes usinas elétricas, tanto para o consumidor como para as concessionárias de energia, gerando oportunidades para que este conceito ganhe cada vez mais expressão dentro do panorama energético, ainda que diversas barreiras dificultem o processo. Dias *et al.* (2005) publicaram um artigo para a Revista Brasileira

de Energia (volume 11, número 2) em que fazem um aprofundamento nas principais oportunidades e barreiras que envolvem a geração distribuída no Brasil. Os Quadros 1 e 2 a seguir apresentam uma síntese deste artigo.

OPORTUNIDADES	HIPÓTESES	CONCLUSÕES
Postergação de Investimentos	Utilizar a ferramenta da curva de duração de carga para verificar a quantidade em tempo (em porcentagem) durante o ano na qual a carga de um sistema está acima de uma fração dada do seu valor máximo (valor de pico). Utilizar a mesma ferramenta para verificar o quanto a geração distribuída pode ser utilizada para reduzir os picos de demanda em alimentadores de distribuição.	As curvas de duração de carga mostraram o potencial da geração distribuída de reduzir o pico de demanda do sistema e, desta forma, gerar um alívio do carregamento do sistema, permitindo à concessionária postergar investimentos para compra de novos equipamentos e construção de subestações e alimentadores.
Redução de Perdas	A energia transmitida através dos sistemas de transmissão e distribuição gera perdas devido à impedância de alimentadores e transformadores, normalmente na ordem de 4 a 7% da potência total transmitida (Dias et al (2005) apud Public Utility Commission of Texas, 2001).	Com a inclusão da geração distribuída, as perdas envolvidas com a distribuição de energia elétrica podem ser reduzidas devido a redução do fluxo de potência resultante.
Confiabilidade	As contribuições da geração distribuída devem ser consideradas, pelo menos, em três pontos de vista (Dias et al (2005) apud Cowart, 2001): • Ponto de vista de clientes individuais; • grupo de clientes e sua companhia local de distribuição; • mercado como um todo e operadores do sistema.	A geração distribuída pode contribuir para a melhoria na qualidade da energia em áreas congestionadas, no final de trechos longos e em locais onde uma alta qualidade de energia é exigida, além de prover capacidade de geração local sob o controle de clientes que demandam serviço ininterrupto. A geração distribuída pode desempenhar também um papel importante no caso de interrupções devido a acidades naturais, evitando longos períodos sem fornecimento de energia.
Atendimento à Comunidades Isoladas	Comunidades localizadas em áreas remotas ou isoladas, onde se torna difícil a construção e acesso de linhas de transmissão ou distribuição, podem ser beneficiadas pela geração distribuída. Outra contribuição diz respeito à pequenas cargas localizadas em pontos distantes do sistema de distribuição que sofrem problemas de queda de tensão. Nestes casos a geração distribuída contribui para a melhoria do perfil de tensão.	Existem muitos projetos, principalmente com a utilização de resíduos derivados do extrativismo ou da agricultura para produção de energia, visando o atendimento à comunidades isoladas.
Novas Opções de Negócio	Existência de um mercado potencial de propriedades rurais e comunidades que não dispõem da energia necessária ao efetivo atendimento de suas demandas básicas.	Oportunidades para explorar novos nichos de mercado, como: vender energia com qualidade mais alta da que é obrigada por contrato, desenvolver e/ou operar sistemas de co-geração junto aos consumidores, montar novos negócios de energia mais eficientes. Destacam-se ainda: • Comercialização de novas tecnologias; • Crescimento do mercado de comercialização e distribuição de combustíveis utilizados.
Redução de Áreas Alagadas	O aumento na parcela de energia gerada localmente por geração distribuída contribuiria para atender eventuais aumentos na demanda.	Evitaria a necessidade de construção de novas usinas, reduzindo assim o impacto ambiental e social relativo à grandes áreas alagadas.
Nível de Tensão	Manter níveis adequados de tensão no sistema é essencial para o bom funcionamento, eficiência e satisfação do consumidor.	Circuitos longos com cargas concentradas nos extremos podem apresentar queda de tensão significativa. A inserção da geração distribuída no local apropriado contribui para melhorar o perfil de tensão, elevando-a nos trechos em que apresentam-se for a dos limites permitidos.
Micro-Redes	O conceito de micro-redes consiste em um grupo de cargas e unidades de geração distribuída operando para aumentar a confiabilidade e a qualidade do sistema de forma controlada.	Para os consumidores, as micro-redes oferecem uma forma confiável para o fornecimento de energia e calor. Para o sistema como um todo, as micro-redes podem ser despachadas e podem responder rapidamente aos comandos do operador do sistema. Isto traz uma segurança maior ao sistema, contribuindo para mudanças na matriz energética.
Aumento da Eficiência de Uso do Combustível	A vantagem da cogeração é a alta eficiência de conversão em energia útil: até 85% da energia do gás natural (ou mais em casos especiais), elevando a uma considerável economia de energia primária.	Dependendo das necessidades relativas de calor e eletricidade, o cogerador pode produzir excedentes de eletricidade e, neste caso, vender ao sistema ao qual está conectado, proporcionando, desta forma, uma receita adicional e, para o setor elétrico, pode desempenhar um papel importante para regularizar o sistema, se houver sinalização de preço adequado.

Quadro 1 – Síntese das oportunidades da geração distribuída.

Fonte: Adaptado de DIAS *et al.*, 2005.

BARREIRAS	Hipótese	Conclusões
Questões Regulatórias	Provavelmente um dos maiores desafios para a geração distribuída, pois os procedimentos de conexão não estão normalizados e a falta de normas impede a padronização, deixando os clientes à mercê de normas específicas de cada concessionária.	Questões como padrões técnicos de conexão e atendimento, principalmente para a rede de distribuição, estão ainda pouco explicitados na legislação brasileira, dificultando a implementação dos sistemas de geração distribuída.
Custo das Tecnologias	O alto custo das tecnologias utilizadas na geração distribuída se apresenta com um dos fatores que impossibilitam um maior crescimento no mercado, desestimulando os investidores do setor. Também há de se mencionar a dificuldade, por parte das empresas de pequeno porte, de obtenção de financiamentos para a aquisição de equipamentos.	O custo da eletricidade gerada com o sistema de geração distribuída ainda é alto se comparado com o das distribuidoras, o que desestimula os investimentos na mesma.
Níveis de Consumo Atuais de Energia	O nível de produção de energia está, atualmente, atendendo à demanda solicitada pelo sistema elétrico, com folga.	Este fato contribui para desestimular a entrada de novas alternativas para a geração de energia elétrica.
Procedimentos de Operação e Proteção	O planejamento da operação apresenta maiores dificuldades operativas devido à fluxos de energia bidirecionais. Como o sistema de distribuição é essencialmente radial, a inserção de geradores poderia mudar esta configuração, migrando para um sistema em anel. A proteção convencional largamente utilizada não é adequada para detectar fluxo bidirecional de potência e outras condições provenientes desta reconfiguração do sistema. Portanto, toda a proteção deverá ser reconfigurada para esta nova condição.	Muitas concessionárias não estão preparadas para conectar unidades de geração distribuída devido à falta de estudos sobre o impacto desta interconexão na rede e também por falta de adequação técnica do sistema.
Custo de Combustível	Uma das principais barreiras quanto a viabilidade econômica para a implementação da cogeração ainda é o alto preço do gás natural e do GLP.	Estudos de sensibilidade mostraram que uma redução na tarifa de gás natural na ordem de 30% reduziria o prazo de retorno em mais de 50% (Dias et al (2005) apud P&D B08, 2004).
Tarifas	Distorções econômicas como a questão de subsídios cruzados existentes entre os grupos tarifários das concessionárias, as diferenças demasiadamente pronunciadas entre as tarifas nos diferentes postos tarifários (ponta e fora de ponta) e o fato das tarifas do gás serem desacopladas economicamente das tarifas de eletricidade.	Faz-se necessário uma forte regulação de tarifas vigentes para interconexão aos sistemas de transmissão e distribuição, de modo a assegurar sua modicidade.
Emissão de Poluentes	Constituem Padrões de Emissão os limites máximos de emissão permissíveis de serem lançados na atmosfera por fonte estacionárias potencialmente poluidoras.	A autoprodução conjunta de energia elétrica e térmica a partir da queima de combustíveis em turbinas a gás e motores alternativos geram poluentes e podem vir a necessitar de licenciamento ambiental. Também há de se mencionar que em alguns casos pode haver a necessidade de implantação de sistemas de controle, que irão impactar na viabilidade do empreendimento.
Poluição Sonora	A instalação de uma central de cogeração com turbinas a gás ou motores alternativos pode provocar, de forma continuada, ruído que perturba os moradores da região.	Quando ultrapassado o valor legal, medido em decibéis, será necessária a instalação de sistemas de atenuação do ruído.
Rede de Distribuição	O gás natural ainda não está disseminado por todas as regiões brasileiras.	A utilização do gás natural para geração distribuída ainda pode ser limitada.
Pouco Conhecimento da Tecnologia da Cogeração	Necessidade de desenvolvimento de recursos humanos e tecnológico. Estimular a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de cogeração e oportunidades de formação de recursos humanos, motivando e atraindo universidades e institutos de pesquisas.	Existem ainda poucas informações sobre a geração distribuída nos setores industriais e comerciais.

Quadro 2 – Síntese das barreiras da geração distribuída.

Fonte: Adaptado de DIAS *et al.*, 2005.

É importante ressaltar que as barreiras citadas neste artigo representavam problemas reais no ano de 2005. No entanto, atualmente, todas estas barreiras, se não foram completamente superadas, já foram realizados vários avanços no sentido de tornar viável a microgeração distribuída.

Quanto às questões regulatórias, por exemplo, a resolução nº 482 de 2012, da ANEEL, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação

de energia elétrica e dá outras providências. Esta resolução também atende ao que diz respeito a barreiras envolvendo tarifas.

Os custos das tecnologias, por sua vez, reduziram significativamente à medida que a microgeração distribuída foi se expandindo no país. Segundo Nakabayashi (2014), os custos relacionados aos sistemas fotovoltaicos tendem a cair, principalmente devido aos processos produtivos e um amadurecimento do mercado. Além disso, há uma trajetória crescente nas tarifas de energia elétrica, a qual torna a microgeração cada vez mais atrativa.

Benedito (2009) concluiu com sua dissertação que as perspectivas para inserção da tecnologia de geração fotovoltaica de forma distribuída, no futuro, são positivas, pois há uma tendência da alta na tarifa convencional, impulsionada pelo crescimento da demanda, ao mesmo tempo em que o custo da aquisição de equipamentos fotovoltaicos tende a diminuir, devido à evolução dos processos produtivos. Ainda, Benedito (2009) aponta que os resultados obtidos na análise econômica indicaram que, em menos de uma década, será verificada a paridade entre o kWh fotovoltaico e a tarifa convencional em grande parte das cidades brasileiras, confirmadas as premissas adotadas. Levando em conta este mesmo cenário, estas tendências se aplicam também para as demais fontes de microgeração distribuída.

Outro ponto muito importante de se destacar é que, em 2005, a demanda de energia era suprida com folga pela produção, como é possível observar no quadro 2 (níveis de consumo atuais de energia), ao passo que, em 2015, o país enfrenta uma grave crise energética e essa folga não é mais verdade.

De modo geral, as questões que dizem respeito às oportunidades da geração distribuída continuam muito atuais de 2005 até hoje, ganhando ainda mais incentivo com o passar dos anos. Já em relação às barreiras, percebe-se que muitas já foram superadas e que muitos avanços continuam sendo realizados neste sentido.

2.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O fornecimento de água para a população, seja em consumo residencial, industrial ou para outro fim, necessita de um sistema complexo para que possa ser feito com bom nível de qualidade e de atendimento a qualquer momento. Segundo Gomes

(2009), os sistemas de abastecimento urbano de água são compostos por unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, redes de distribuição e ligações prediais, conforme mostra a Figura 6.

Cada sistema de abastecimento tem sua particularidade, pois dependendo da situação topográfica da região, da topologia e da demanda, o sistema deve ser projetado para que consiga atender à sua necessidade de forma constante e com qualidade.

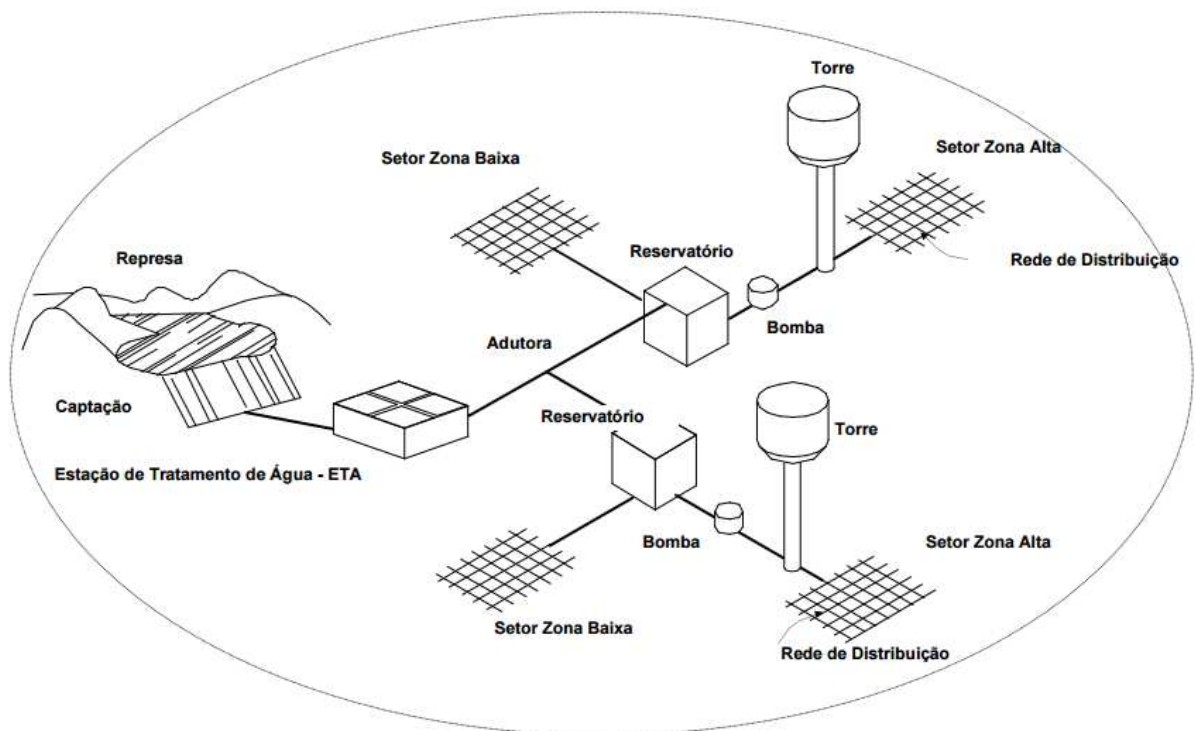


Figura 6: Sistema de abastecimento de água.
Fonte: Soares, 2004.

2.3.1 Captação

A captação de água é a primeira unidade do sistema de abastecimento, e para que todas as unidades subsequentes tenham um bom funcionamento, a captação deve ter um bom e constante desempenho.

A captação pode ser feita a partir de rios, mananciais, reservatórios, sejam eles naturais ou feitos para esta finalidade (Baptista, 2000). Esta retirada de água para

abastecimento, pode necessitar do auxílio de algumas estruturas, que podem ser barragens, canais de adução, comportas entre outros.

Segundo Lima (2013), a seleção do local de captação de água deve levar em consideração alguns fatores importantes, tais como as condições hidrológicas, que caso não atendam a demanda, haverá a necessidade da instalação de mais uma captação para o sistema, as condições topográficas da região, que influenciam na necessidade de haver estação elevatória.

2.3.2 Estação elevatória

Existem casos nos sistemas de abastecimento de água, em que a estação de captação de água encontra-se em cotas mais baixas do que a estação de tratamento. Nesses casos então, para que seja possível o fluxo de água da captação para o tratamento com pressão adequada, são instaladas as estações elevatórias que são formadas por conjuntos moto-bomba, que fornecem a energia necessária à água para vencer os desníveis topográficos e perdas de carga, permitindo que o abastecimento seja feito com uma pressão adequada (LIMA, 2013).

Em alguns lugares, são instaladas estações elevatórias intermediárias, chamadas de *boosters*, que são bastante utilizados em caso de grandes distâncias ou condições topográficas desfavoráveis. Estes são instalados em linha na rede de distribuição aproveitando a pressão já existente, de modo a receber água de um lado com uma determinada pressão, e a impulsionar com uma pressão mais elevada.

2.3.3 Estação de tratamento de água (ETA)

A estação de tratamento é o local responsável por transformar a água recebida pela captação em água própria para distribuição e consumo. Para isso, essa etapa utiliza métodos que melhoram as características químicas, físicas e organolépticas da água obtida dos mananciais, rios e etc.

Segundo a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, o tratamento tem três finalidades. Uma delas é a higiênica, que é a remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, minerais e compostos orgânicos em excesso, protozoários e outros microorganismos. Outra finalidade é a estética que consiste na correção da cor, turbidez, odor e sabor. E por último a finalidade econômica que consiste da redução da corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor, sabor e etc.

O tratamento de água possui, geralmente, seis etapas, sendo elas a floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação e análises laboratoriais. Após passar por estas etapas, a água é armazenada em reservatórios para seguir o fluxo do sistema de abastecimento. Os padrões de potabilidade da água são definidos pelo Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, que define água potável como sendo a água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos, e radioativos, atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde (TSUTIYA, 2006).

2.3.4 Adutoras

Adutoras, nos sistemas de abastecimento, são tubulações de grande porte que conduzem água, seja ela tratada ou não, por grandes distâncias que não fazem parte do setor de distribuição, ou seja, transporte de água entre setores do sistema de abastecimento de água que não atingem consumidores.

Segundo Tsutiya (2006), adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento de água que conduzem a água para as unidades que precedem a rede de distribuição.

As adutoras podem ser classificadas em três tipos, adutoras por gravidade, por recalque e mistas. As adutoras por gravidade são aquelas que fazem o transporte de água de um lugar com cota mais elevada, para outro em cota mais baixa, utilizando apenas a energia potencial gravitacional. Adutoras por recalque são aquelas que transportam água de um ponto de nível mais baixo a outro mais alto, com o auxílio de bombas ou estações elevatórias. Já as adutoras mistas, são aquelas que possuem trechos por gravidade e trechos por recalque.

2.3.5 Reservatórios

Os reservatórios são partes importantes para os sistemas de abastecimento de água, e têm a finalidade de armazenar água para que a demanda da distribuição consiga ser atendida perante à variações no consumo, no caso de interrupções na adução, no tratamento de água e também nos casos de falta de energia elétrica. Segundo Tsutiya (2006), os reservatórios são importantes, também, para se ter uma reserva de água que pode suprir a necessidade de vazão extra em casos de incêndios. Além dessas funções, os reservatórios permitem que se possa fazer o bombeamento de água fora do horário de pico de energia, diminuindo assim, os gastos com energia elétrica.

De acordo com Tsutiya (2006), conforme a posição no sistema de abastecimento, os reservatórios podem ser classificados em: reservatório de montante, reservatório de jusante, e reservatório de posição intermediária. Os reservatórios de montante são localizados a montante da distribuição, sempre fornecendo água para a rede. O reservatório de jusante também podem ser chamados de reservatório de sobra, recebe água em horários de menor consumo e auxilia o abastecimento nos horários de maior consumo, e também, possibilita menor oscilação de pressão à jusante da rede.

Dependendo da sua localização, alguns reservatórios podem ter a função de regulagem de pressão do sistema, fazendo com que a água recebida com uma pressão elevada fique armazenada e saia com menos energia potencial, sendo bombeada ou por gravidade.

2.3.6 Rede de distribuição

A rede de distribuição é a parte final do sistema de abastecimento de água, e consiste em tubulações e acessórios que tem a finalidade de manter o abastecimento de água de maneira contínua, com pressão e qualidade adequadas para os consumidores, sejam eles residenciais ou industriais.

A rede de distribuição é, em geral, o componente de maior custo no sistema de abastecimento de água, e compreende cerca de 50 a 75% do custo total de todas as obras de abastecimento (TSUTIYA, 2006).

O acesso a este tipo de obra é mais complexo do que o das outras partes do sistema de abastecimento, pois são enterradas, e se encontram, geralmente, sob vias públicas. Por ser a parte do sistema que se encontra mais próxima ao consumidor, esta etapa exige maior atenção, quanto à qualidade da água e vazamentos, que devem ser preocupação contínua para os responsáveis. Segundo Lima (2013), a rede de distribuição é a unidade que mais sofre com problemas de vazamentos, o que pode influenciar nos gastos de todas as etapas anteriores. Desta forma o controle de pressão na rede pode ser vantajoso para a economia de água e energia do sistema.

Existem dois tipos de redes de distribuição. A principal, também chamada de conduto tronco ou canalização mestra, que são tubulações de maior diâmetro que têm a finalidade de abastecer a rede secundária, que é o outro tipo de rede. A rede secundária é composta por tubulações de diâmetro menor e chegam até o ponto de consumo de água do sistema. Tanto a rede principal, quanto a secundária, podem estar dispostas em três configurações: ramificada, malhada e mista.

2.4 CONTROLE DE PRESSÃO

Os sistemas de abastecimento de água estão sujeitos a variações de pressão frequentes, e muitas vezes em níveis bastante altos ou baixos. Este é um dos principais fatores que podem causar vazamentos nos sistemas. Segundo Vinciguera (2009), “as perdas em um sistema de abastecimento de água podem representar uma grande porcentagem do total de água fornecida, dependendo da idade, da pressão atuante e da deterioração do sistema” (VINCIGUERA, 2009, pág xi). Uma alternativa bastante utilizada e eficaz para que sejam reduzidas as perdas reais nos sistemas de abastecimento, é o controle de pressão da rede.

“O gerenciamento das pressões procura minimizar as pressões atuantes no sistema e reduzir a faixa de atuação das pressões máximas, ao mesmo tempo que procura assegurar os padrões mínimos de qualidade no fornecimento de água aos consumidores”. (LIMA, 2013).

Pressões altas na rede podem proporcionar um bom padrão de abastecimento de água, mas podem causar danos às instalações hidráulicas dos clientes. Portanto, considerar operação atendendo os requisitos mínimos estipulados em horários de máximo consumo pode ser uma boa condição de operação a se guiar.

Segundo Menezes (2006) *apud* Lima (2013), o controle de pressão na rede resulta em:

- Redução do volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados.
- Redução da frequência de rompimento de tubulações e consequentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas.
- Serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, diminuindo a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até a caixa d'água (tubulações, registros e bóias).
- Redução dos consumos relacionados com a pressão na rede, como por exemplo, a rega de jardins utilizando aspersores.

Existem algumas alternativas para se fazer o controle de pressão nas redes de abastecimento, entre elas destacam-se, a setorização dos sistemas de distribuição, a utilização de válvulas redutoras de pressão (VRPs) e o controle de bombeamento direto na rede. Uma alternativa bastante eficaz e comumente utilizada, é a inserção de válvulas redutoras de pressão nos sistemas.

Segundo Gonçalves *et al.* (2007), o controle de pressão por meio de válvulas redutoras de pressão (VRP) apresenta-se como uma das ferramentas mais importantes no controle e redução de perdas, sendo recomendado o seu uso nos sistemas de abastecimento de água, na medida do necessário.

2.4.1 Válvulas Redutoras de Pressão

As válvulas redutoras de pressão são dispositivos instalados “em linha” nas tubulações dos sistemas de abastecimento que atuam de modo a manter uma pressão limitada na sua saída, independente da pressão atuante à montante. De modo geral,

as VRPs funcionam como uma perda de carga controlada nos sistemas de abastecimento.

De uma maneira simples, as VRPs instaladas nas tubulações resumem-se a obstáculos que provocam uma perda de carga localizada controlada, diminuindo a carga do escoamento quando necessário, isto é, a pressão a jusante do ponto de instalação (OLIVEIRA, 2013).

Segundo Lima (2013), a operação de uma VRP pode acontecer de três formas: ativa, passiva ou como válvula de retenção. Na forma ativa, a VRP provoca uma perda de carga para limitar a pressão de jusante. Esta atua de forma passiva quando a pressão à montante é menor ou igual à pressão mínima de trabalho estabelecida, neste caso, opera totalmente aberta, minimizando a perda de carga causada pela mesma. No caso da pressão de jusante ser maior que a de montante, a VRP opera totalmente fechada, impedindo que haja refluxo.

As VRPs podem ser configuradas de diversas maneiras, tais como: sustentadora de pressão, aliviadora de pressão, controladora de vazão, válvula de proteção contra transientes hidráulicos, controladora de bomba, etc. E dependendo da necessidade do sistema de distribuição, pode atuar como uma combinação de duas ou mais funções, como por exemplo, válvula redutora e sustentadora de pressão, e etc. (FREITAS, 2011).

Segundo Covas e Ramos (1998) *apud* Araujo (2004), existem diversos tipos de VRPs, caracterizados pelo seu acionamento, sendo as mais comuns – válvulas de mola, de pistão e de diafragma, que são representadas nas figuras abaixo. Os dois últimos tipos possuem uma válvula piloto que controla o acionamento da válvula principal.

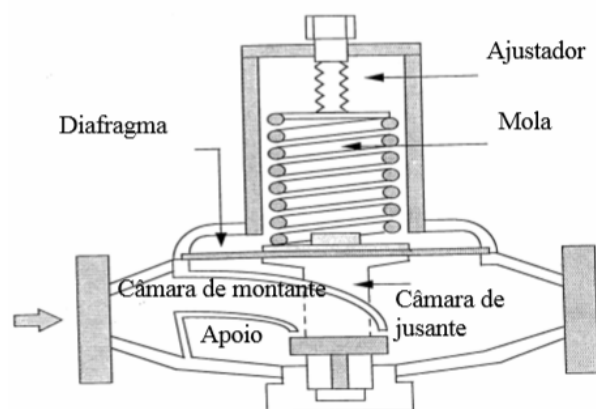


Figura 7: VRP controlada por mola.
Fonte: ARAUJO, 2004.

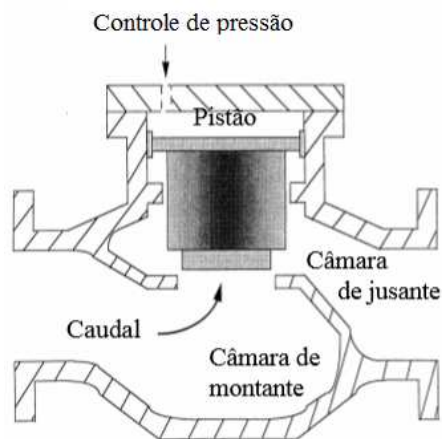


Figura 8: VPR controlada por pistão.
Fonte: ARAUJO, 2004.

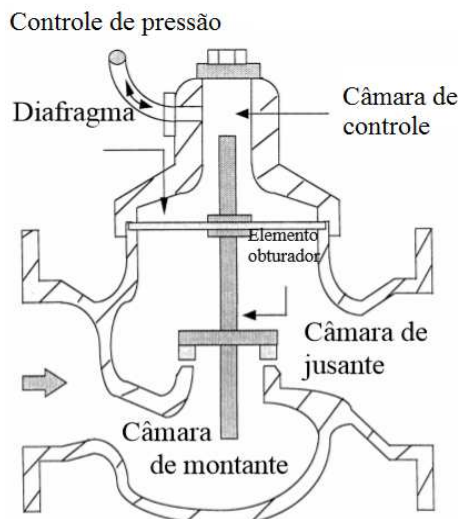


Figura 9: VPR controlada por diafragma.
Fonte: ARAUJO, 2004.

2.4.1.1 Componentes da VPR

Segundo Oliveira (2013), de maneira geral, a VPR pode ser dividida em duas partes, o corpo principal e o castelo ou veio, cada um englobando alguns componentes. O corpo principal, é a parte inferior, onde se situam os orifícios de entrada e saída da água e as extremidades de ligação nas adutoras. O castelo é a parte superior, onde se encontram os componentes que determinam o funcionamento da VPR, esta parte pode ser desmontada e retirada.

Internamente a VRP possui vários elementos, dentre eles podemos destacar o obturador, o veio que o liga ao diafragma, a câmara de controle, indicador de posição, a válvula piloto e a válvula principal onde ocorre o escoamento. Na Figura 10 a seguir, pode-se observar algumas partes componentes da VRP, onde os pontos (1), (2) e (3) apontam, respectivamente, o circuito de pressurização da válvula piloto, o circuito de pressurização da câmara de controle e o circuito de despressurização.

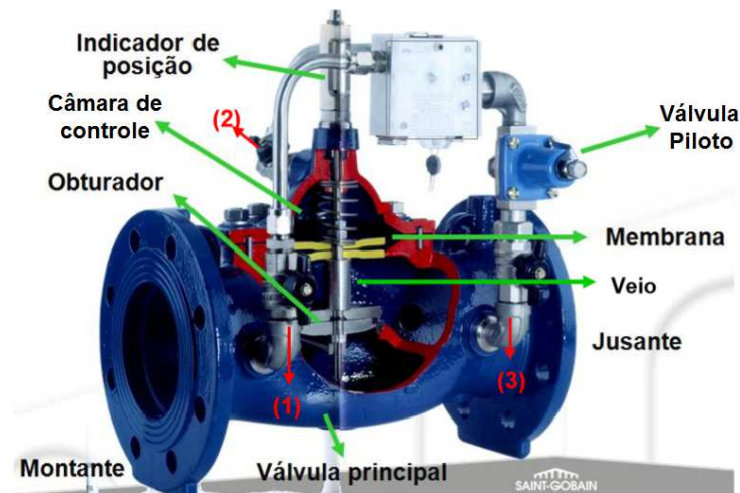


Figura 10: Componentes da VRP.
Fonte: Adaptado de COSTA, 2014.

2.4.1.2 Funcionamento da VRP

As válvulas redutoras de pressão podem atuar com a pressão de saída fixa, ou seja, mantendo a pressão à jusante conforme regulagem. Nos casos em que existem consideráveis variações de pressão, as VRPs podem atuar com a pressão de saída variável, e nestes casos possuem um controle mecânico ou elétrico que funcionam para diversos patamares de pressão definidos de acordo com a variação da pressão na rede, o que proporciona melhor desempenho do sistema.

De acordo com Zaniboni (2009), a pressão de saída de uma VRP de saída fixa é ajustada modificando-se a pressão da mola da válvula piloto de tal forma que pressão no ponto mais crítico é mantida na condição de máxima vazão. Esta pressão é definida conforme o nível mínimo de serviço no ponto crítico, a diferença de cota entre a VRP e o ponto crítico, e a perda de carga no sistema entre a VRP e o ponto crítico sob condições de máxima vazão projetada.

Atualmente as VRPs com pressão de saída variável possuem o controle eletrônico, que possuem um atuador que modulam a pressão de saída pela vazão demandada ou pelo tempo (ENOPS, 2001 *apud* FREITAS, 2011). As VRPs com controle de pressão modulado pelo tempo permitem o ajuste de pressão de saída em função de um determinado horário, para compensar a variação da vazão durante o dia e a perda de carga até o ponto crítico. Já nos casos em que as VRPs possuem controle modulado pela vazão, medidores de vazão que fornecem sinais de pulsos são conectados aos controladores, que modulam a pressão de saída, ou seja, pressões maiores na saída são reguladas automaticamente quando a demanda aumenta, compensando assim, as perdas de carga adicionais entre as VRPs e os pontos críticos. A Figura 11 a seguir, mostra um esquema do sistema com pressão de saída variável com controle modulado pela vazão.

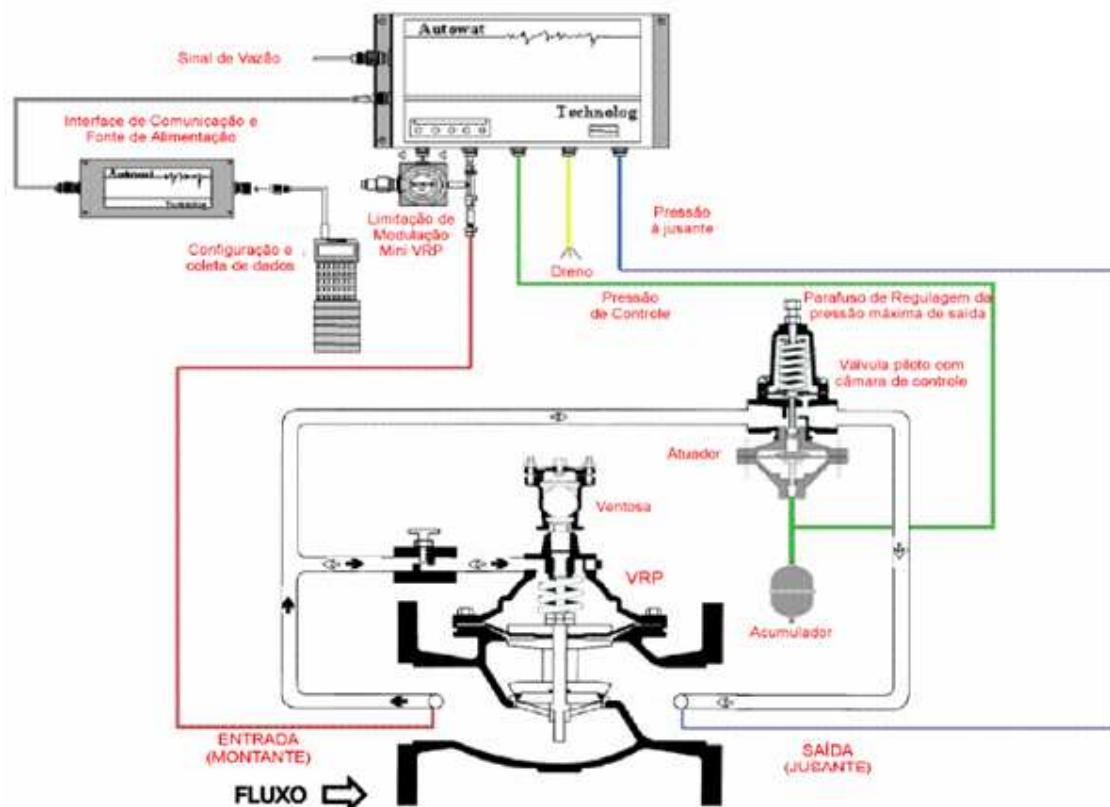


Figura 11: Esquema de VRP com controle modulado pela vazão.
 Fonte: FREITAS, 2011.

Ao se especificar uma VRP deve-se levar em consideração o dimensionamento e alguns aspectos operativos, tais como: vazões máxima e mínima, pressões de trabalho, pressão de regulação e características químicas da água. As vazões máxima

e mínima devem ser conhecidas, já que as VRPs possuem limites de operação correta. No caso das pressões de trabalho, deve-se conhecer as faixas de pressão às quais a VRP estará submetida ao longo do dia, e normalmente os fabricantes utilizam de normas para determinação das classes, como por exemplo ANSI 125, para pressões até 150 mca. A pressão de regulação deve levar em consideração limites normativos para pressão nos sistemas de distribuição de água, assim possibilitando o funcionamento adequado do setor. Para que as VRPs tenham um bom funcionamento, também deve-se levar em consideração seus aspectos de resistência estrutural e química, e o próprio desempenho hidráulico. Segundo Gonçalves *et al.* (2007), “a especificação de válvulas reguladoras de pressão e sua correta instalação são fundamentais para o seu bom funcionamento” (GONÇALVES *et al.*, 2007).

Todas as válvulas redutoras de pressão estão sujeitas ao aparecimento de um fenômeno problemático chamado cavitação, que causa desgastes físicos às válvulas e tubulações à jusante e ainda gera níveis altos de ruídos. A cavitação é causada quando um fluido está sujeito a uma pressão menor do que a pressão mínima em que ocorre a vaporização do mesmo, ocorrendo assim, a formação de bolhas de vapor que ao longo do tempo provocam os desgastes na válvula.

Segundo Gonçalves *et al.* (2007), a regulação de pressão de jusante da VRP define a diferença entre pressão de entrada e saída e indica caso irá operar em zona de cavitação, conforme o gráfico apresentado na Figura 12.

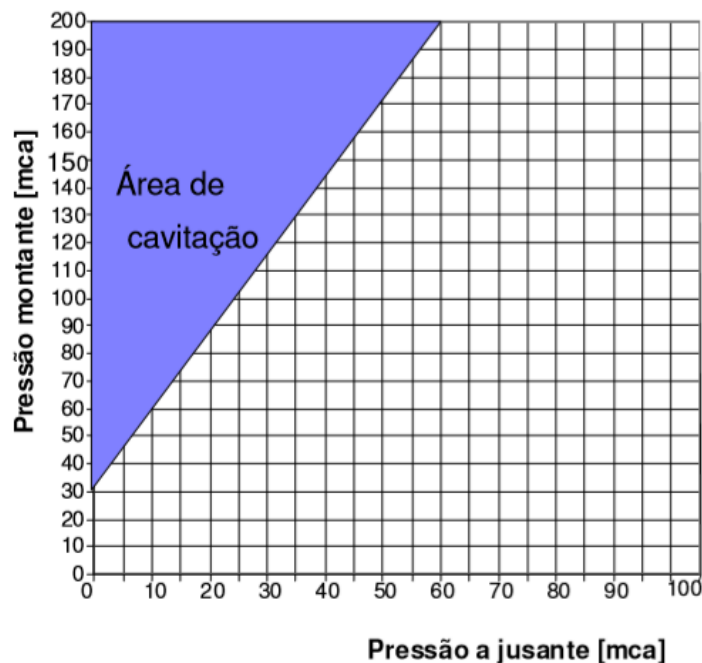


Figura 12: Gráfico representativo de área de cavitação.
Fonte: GONÇALVES *et al.*, 2007.

2.4.1.3 Considerações sobre as VRPs

Segundo Freitas (2011), as VRPs podem ser configuradas também como válvulas controladoras de vazão (VCVs). A instalação para ambos os casos, oferece uma grande solução para o controle dos sistemas de abastecimento de água e demandam alguns cuidados a serem tomados. Dentro dos requisitos normativos, e com correta especificação e instalação, estes equipamentos trazem benefícios para o sistema. Porém, como citado anteriormente, estas válvulas funcionam como uma perda de carga nas tubulações da rede de distribuição e podem ser consideradas como uma dissipação de energia potencial hídrica em pequena escala. Em alguns casos em que as VRPs ou VCVs são instaladas em adutoras por gravidade, tal visão de dissipação de energia deve ser analisada, e por mais que em pequenas dimensões, pode-se chegar a soluções para o aproveitamento de potencial energético talvez desperdiçado.

2.5 GERAÇÃO HIDROENERGÉTICA

A geração hidroenergética resulta da energia hidráulica proveniente da água, que, em determinadas condições de vazão e altura de queda, pode ser utilizada para movimentar máquinas. Desta forma a energia hidráulica é convertida em energia mecânica, que, por sua vez, é convertida em energia elétrica. Segundo o CERPCH, o fato de utilizar um recurso renovável como fonte de energia faz com que este tipo de geração seja extremamente atrativo, principalmente pelos seguintes fatores: disponibilidade de recurso e a facilidade de reaproveitamento.

As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda d'água, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Desta maneira, a altura da queda d'água e a vazão do sistema dependem do local de instalação e determinarão qual será a capacidade instalada, que, por sua vez, irá determinar o tipo de turbina, barragem e reservatório (ANEEL, Atlas de Energia Elétrica, 2008).

A potência instalada determina se a usina é de grande ou médio porte, ou ainda uma pequena central hidrelétrica (PCH). A ANEEL adota três classificações:

- Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) – com até 1 MW de potência instalada.
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) – entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada.
- Usina Hidrelétrica de Energia – com mais de 30 MW de potência instalada.

O porte da usina também determina as dimensões da rede de transmissão que será necessário para levar a energia até o centro de consumo. Quanto maior a usina, mais distante ela tende a estar dos grandes centros (ANEEL, Atlas de Energia Elétrica, 2008). Desta forma, grandes usinas exigem a construção de grandes linhas de transmissão com níveis elevados de tensão que, muitas vezes, atravessam o território de vários Estados. Já as PCHs e CGHs, instaladas junto a pequenas quedas d'águas, no geral abastecem pequenos centros consumidores – inclusive unidades industriais e comerciais – e não necessitam de instalações tão sofisticadas para o transporte da energia (ANEEL, Atlas de Energia Elétrica, 2008).

2.5.1 Tipos de Arranjos e Componentes

Em grande parte das centrais hidrelétricas existentes, são implantadas estruturas hidráulicas de reservação, com a finalidade de um uso racional dos recursos hídricos, permitindo a retenção temporária das águas para posterior uso ou descarga em ocasiões mais convenientes (Prieto, 2012). Desta forma as barragens apresentam diversos fins, como aproveitamento energético, controle de inundações e captação de água.

As centrais hidrelétricas podem, basicamente, ter três arranjos distintos, com as seguintes denominações (Souza *et al.* (2009) *apud* Prieto, 2012):

- **Central Hidrelétrica de Represamento (CHR):** o barramento, a montante, tem ligação direta à casa de máquinas, a jusante. A queda brutal total é consequência da altura d'água da barragem e da distância do fundo da barragem ao nível de água a jusante (Souza *et al.* (2009) *apud* Prieto, 2012).
- **Central Hidrelétrica de Desvio (CHD):** se encaixa perfeitamente em rios que apresentam considerável declividade, normalmente com corredeiras,

aproveitando os desníveis naturais do curso d'água. Este arranjo, que desvia parte da vazão de seu curso natural gerando um trecho de vazão reduzida (TVR), geralmente é mais implantado em cabeceiras de bacias hidrográficas, gerando energia em escala reduzida (Prieto, 2012).

- **Central Hidrelétrica de Derivação (CHV):** geralmente a captação de água é realizada em um rio e a descarga em outro.

2.5.2 Máquinas Hidráulicas

Máquinas hidráulicas são os mecanismos utilizados na transformação de energia hidráulica em corrente mecânica, ou vice-versa (STEVENAZZI (1993) *apud* Prieto, 2012). Podem ser divididas em:

- Turbinas: convertem a energia hidráulica em energia mecânica. Na Figura 13 um esquema ilustrativo de uma turbina aplicada.
- Bombas: transformam a energia mecânica recebida de um agente exterior (motor) em energia hidráulica, a fim de possibilitar o transporte ou elevação de fluídos. Na Figura 14 uma representação de uma bomba.

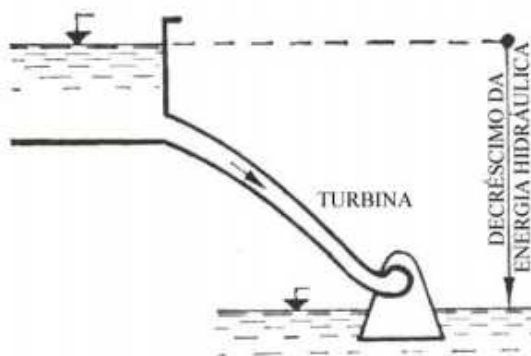


Figura 13: Representação esquemática de uma turbina.
Fonte: PRIETO, 2012.

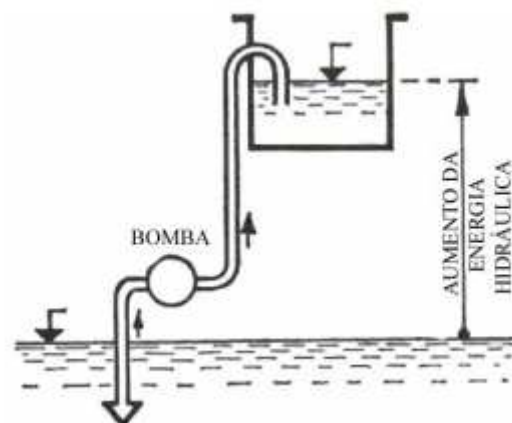


Figura14:Representação esquemática de uma bomba.
Fonte: PRIETRO, 2012.

2.5.3 Turbinas

As turbinas hidráulicas possuem um princípio comum de funcionamento. A água entra na turbina vinda de um reservatório ou de um nível mais alto e escapa para um canal de nível mais baixo (Soares Junior, 2013). Ao passar pela turbina, a energia cinética da água é transformada em potência de eixo, que posteriormente é transformada em energia elétrica por uma máquina geradora acoplada ao eixo. A pressão e a velocidade da água na saída são menores que na entrada.

As turbinas podem ser classificadas em dois grupos:

- Ação ou Impulso: o escoamento por meio do rotor ocorre sem variação da pressão estática. Toda a energia potencial da queda se transforma em energia cinética antes de encontrar o rotor. Por sua vez, esta energia cinética se transforma em energia mecânica, girando o eixo de rotação da turbina (Prieto, 2012).
- Reação: quando o escoamento por meio do rotor ocorre com variação da pressão estática, sendo ela maior que atmosférica. Ou seja, entra com energia potencial de pressão. Dentro do rotor, essa se transforma em energia cinética. Em algumas turbinas esta reação se dá no interior do rotor e outras externamente (Prieto, 2012).

Existem vários modelos de turbinas hidráulicas que são capazes de cobrir uma vasta gama de condições operacionais de diversas formas de arranjos. Os três modelos básicos mais dominantes existentes são as turbinas de fluxo radial Francis, turbina de fluxo radial Kaplan e turbina de fluxo tangencial Pelton.

O estudo sobre bombas funcionando como turbina será tratado no item 2.6 deste trabalho.

2.5.4 Utilização da Energia Hidráulica

Os desníveis das águas de rios ou reservatórios resultam em energia potencial. Estes desníveis aproveitados pelas turbinas são chamados de queda ou altura e, quanto maior este desnível, maior é a energia potencial envolvida. Esta energia é

transformada pelas turbinas instaladas nos sistemas de geração em energia mecânica que, por sua vez, produzem energia elétrica por meio dos geradores acoplados.

2.6 BOMBAS FUNCIONANDO COMO TURBINA

2.6.1 Bombas hidráulicas

As bombas hidráulicas são máquinas capazes de converter energia hidráulica em energia cinética e posteriormente em energia de pressão. As suas principais partes mecânicas estão ilustradas na Figura 15, são elas: corpo espiral (1), anel de desgaste (2 e 3), anel centrifugador (4), indicador de nível de óleo (5), rolamento (6), tampa de mancal (7), tampa de sucção (8), rotor (9), chaveta (10), luva protetora do eixo (11), eixo (12), suporte de mancal (13) e anel de junta radial do eixo (14).

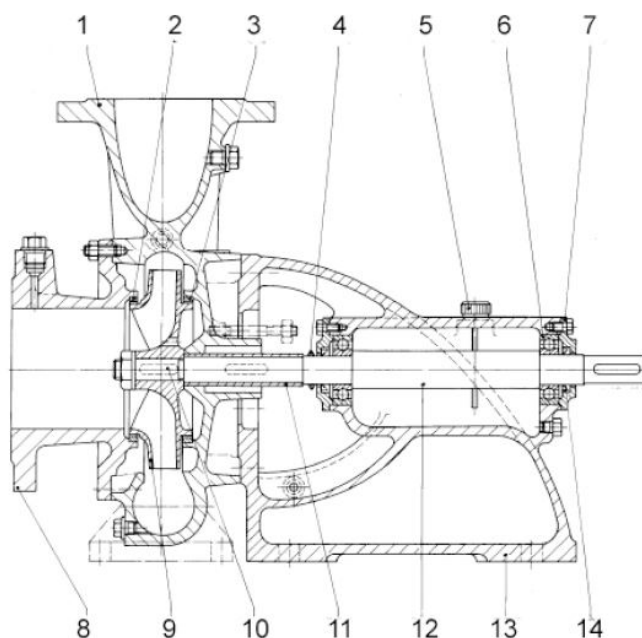


Figura 15: Aspectos construtivos de uma bomba centrífuga.
Fonte: Adaptado de KSB, 2005.

Segundo Viana *et al.* (2012), as bombas hidráulicas são classificadas em três tipos distintos, definidas pela forma de construção do seu rotor e aplicação. São elas:

- Rotor radial: o escoamento ocorre, predominantemente, num plano perpendicular ao eixo. Opera com baixas vazões e grandes alturas manométricas;
- Rotor misto: o escoamento ocorre, simultaneamente, no sentido axial e radial. Opera com vazões e alturas manométricas médias;
- Rotor axial: a direção do escoamento é predominantemente paralela ao eixo. Opera com grandes vazões e pequenas alturas manométricas.

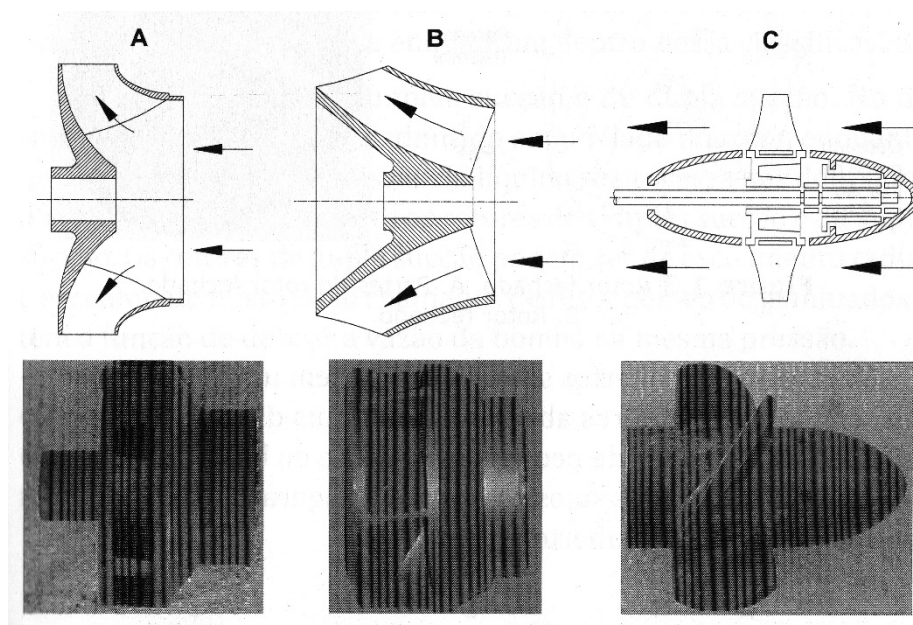


Figura 16: Forma dos rotores radial, misto e axial, A, B e C, respectivamente.
Fonte: VIANA, 2012.

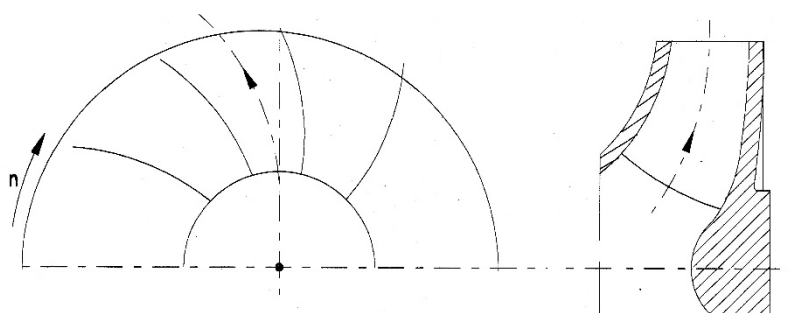


Figura 17: Sentido de rotação n e sentido de fluxo do líquido de um rotor radial.
Fonte: VIANA, 2012.

As bombas também podem ser classificadas como de rotor simples ou de dupla sucção. As de dupla sucção tem a função de dobrar a vazão de recalque para uma mesma altura de elevação.

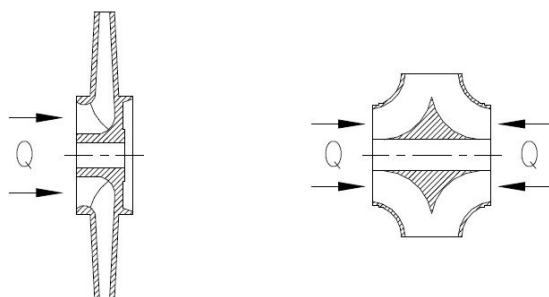


Figura 18: Rotores simples e de dupla sucção.
Fonte: RICARDO, 2007.

Quando se necessita aumentar a pressão de recalque de uma bomba com a mesma vazão, pode-se utilizar um rotor de vários estágios, o efeito é similar ao utilizar bombas em série.

Os rotores podem ainda ser do tipo fechado, semi-aberto e aberto, sendo que os dois últimos são utilizados em situações onde o fluido recalcado possua material sólido em suspensão (VIANA, 2012).

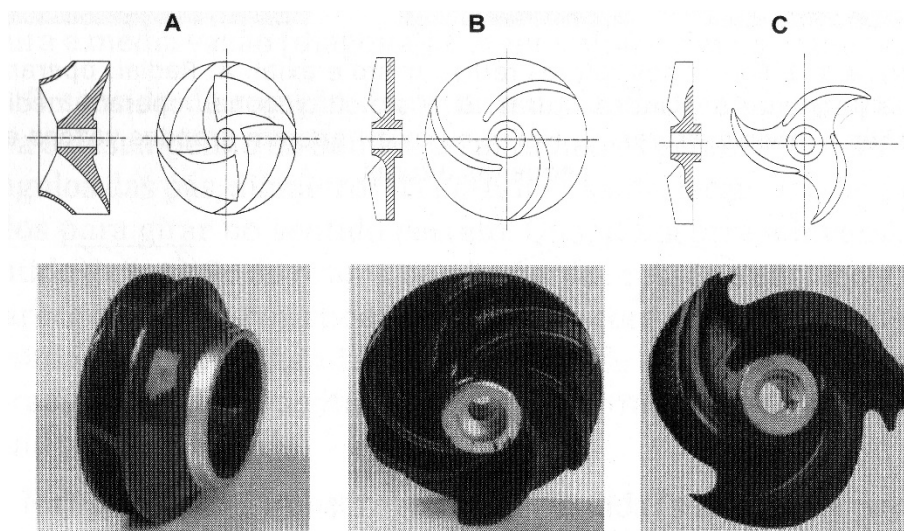


Figura 19: Rotor fechado, semi-aberto e aberto, A,B e C, respectivamente.
Fonte: VIANA, 2012.

2.6.2 Inversão de Fluxo de Água

Analisando os aspectos construtivos das turbinas e bombas hidráulicas, ambas possuem características muito semelhantes, porém desempenham funções

diferentes. Bombas são máquinas geratrizes enquanto que turbinas são máquinas motrizes que convertem energia potencial gravitacional, no caso coluna de água, em energia mecânica no seu eixo.

Para que uma bomba funcione como turbina, o sentido de fluxo de água deverá ser invertido, havendo inversão no sentido de rotação do seu eixo. As Figuras 20 e 21 ilustram uma bomba centrífuga funcionando como bomba e como turbina, respectivamente. No funcionamento como bomba, o líquido entra na sucção em baixa pressão, o rotor transforma energia cinética em alta pressão e o líquido sai pela descarga. Já no funcionamento como turbina, o líquido entra com energia de pressão na descarga, aciona o rotor em reverso e sai com baixa pressão (VIANA, 2012).

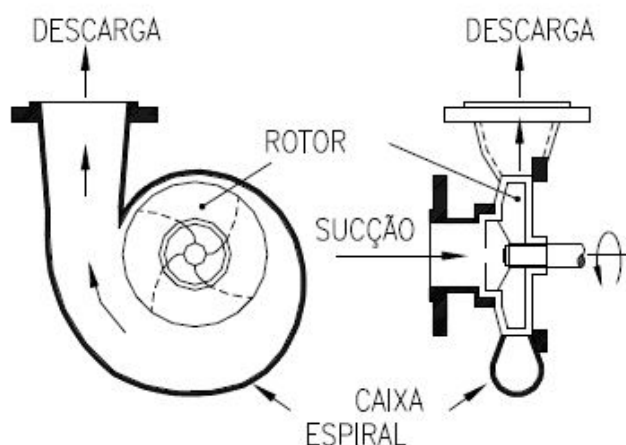


Figura 20: Bomba centrífuga funcionando como bomba.
Fonte: VIANA, 1987.

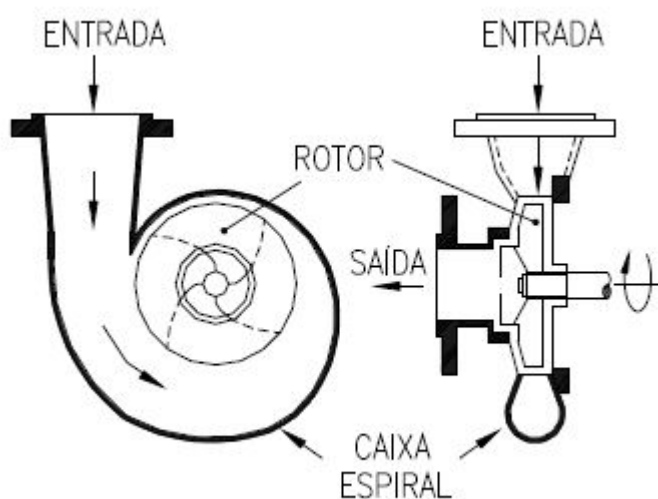


Figura 21: Bomba centrífuga funcionando como turbina.
Fonte: VIANA, 1987.

Como os ângulos construtivos das pás de um rotor de uma bomba hidráulica são projetados para que ela tenha um rendimento máximo possível tendo seu sentido de fluxo de água como mostra a Figura 20. Quando ocorre a inversão do sentido de fluxo do líquido, mostrado na Figura 21, os ângulos construtivos das pás do rotor não estarão adequados para tal aplicação, pois a saída da bomba passará a ser à entrada da turbina e a entrada da bomba passa a ser à saída da turbina. Isso acarreta perda no rendimento do conjunto (VIANA, 2012).

No entanto, para que o rendimento da bomba operando como turbina seja próximo ou igual a aquele da bomba operando como bomba, a altura manométrica e vazão da BFT devem ser maiores do que as da BFB para uma mesma rotação (MEDEIROS, 2014).

2.6.3 Vantagens e Desvantagens das Bombas Funcionando como Turbinas

Chapallaz (1992), Viana (2012) e Willians (2003) enumeram uma série de vantagens na utilização de BFTs em substituição as turbinas convencionais. São elas:

- As bombas possuem um custo muito menor que as turbinas, elas são produzidas em massa e possui um mercado mais amplo, o que não ocorre com as turbinas;
- As bombas são simples e robustas, não exigem mão de obra altamente qualificada para a sua manutenção;
- A disponibilidade de bombas e suas peças de reposição é maior do que as turbinas;
- As bombas e os motores podem ser adquiridos em conjunto;
- Considerando seu tamanho e potência, a faixa de aplicação das bombas é ampla, atendendo aos diversos tipos de aproveitamento hidrelétrico;
- A instalação de grupos moto bombas é simples, exigindo pouco investimento na construção civil e hidráulica;
- Os conjuntos moto geradores com acoplamento direto dispensam caixa de redução ou correia, o que resulta numa diminuição das perdas mecânicas.

Viana (2013) apresenta três comparações de custos entre utilização de BFT perante outros tipos de turbina convencionais. Uma das comparações foi realizada em um aproveitamento hidroenergético de 43 kW em uma fazenda no estado de Minas Gerais, e mostra a diferença no custo entre uma BFT acoplada a um motor de indução funcionando como gerador e um grupo gerador convencional com turbina Michell-Banki. Tal análise é apresentada na Figura 22 a seguir.

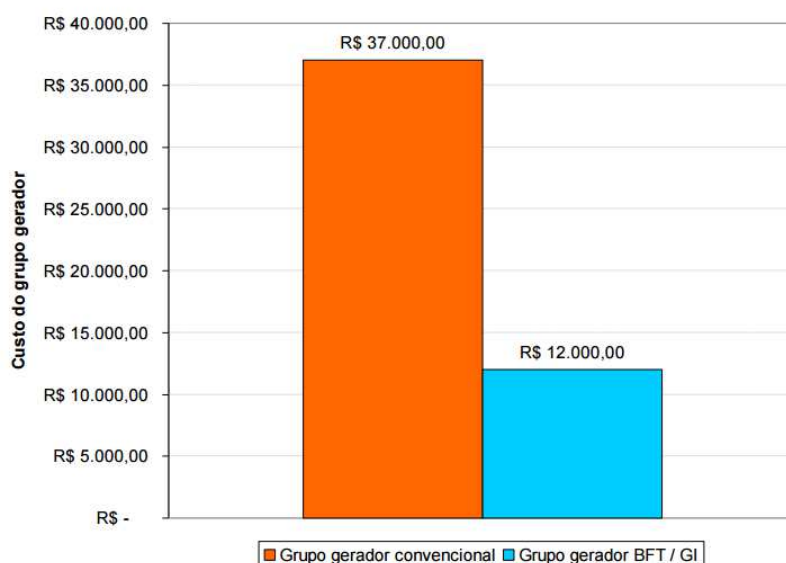


Figura 22: Comparação de custo entre BFT e Turbina Michel-Banki.
Fonte: VIANA, 2013.

As outras duas comparações apresentadas por Viana (2013), foram para aproveitamentos hidroenergéticos em uma estação de tratamento de água na cidade de Cruzeiro-SP. Nesse caso as potências elétricas estimadas dos aproveitamentos são de 24,36 kW e de 53,4 kW, e as análises de custo são apresentadas nas Figuras 23 e 24 a seguir.

	BFT	Turbina
Investimento Inicial (R\$)	36.895,00	77.948,00
P_{el} gerada (kW)	24,36	16,7

Figura 23: Comparação de custo entre BFT e Turbina convencional para 24,36 kW.
Fonte: Adaptado de VIANA, 2013.

	BFT	Turbina
Investimento Inicial (RS)	42.142,00	104.468,00
P_{el} gerada (kW)	53,4	36,4

Figura 24: Comparação de custo entre BFT e Turbina convencional para 53,4 kW.
Fonte: Adaptado de VIANA, 2013.

Entretanto, como as bombas hidráulicas não foram concebidas para a geração de energia, as suas desvantagens decorrem deste fato. Ao contrário das turbinas convencionais, as bombas não possuem dispositivos para controle da vazão para que a rotação se mantenha constante, mesmo que haja variação da demanda. A inexistência destes faz com que as BFTs sejam obrigadas a operar com potência, vazão e pressão constantes, a não ser que se utilize um regulador de carga ou um conversor de frequência (VIANA, 2012).

Além disso, Chapallaz *et al.* (1992) identifica as seguintes questões:

- Quando o fluxo de água de uma bomba é invertido, ocorrem choques nas pás do rotor, que causam perdas na sua eficiência;
- As BFTs estão sujeitas a sofrer cavitação;
- Quando a operação da BFT ocorre abaixo do seu ponto de funcionamento, com a regulação de vazão ou pressão por válvulas ou mau dimensionamento, ocorre uma drástica perda de rendimento.

Nesse sentido, as centrais hidrelétricas operadas por BFTs devem ser muito bem dimensionadas por meio de um estudo hidrológico detalhado, e caso ocorram variações nos parâmetros ao longo do ano, é recomendada a utilização de várias BFTs em paralelo para um melhor aproveitamento (VIANA, 2012).

2.6.4 Seleção das Bombas Funcionando como Turbina

Segundo Lima (2013), diversos estudos foram realizados para que a seleção da BFT em micro centrais hidrelétricas seja feita da melhor maneira possível, dentre eles, os métodos considerados mais práticos e com melhores resultados são aqueles

baseados na rotação específica da bomba (n_{qA}), onde se considera que uma bomba com a mesma rotação específica irá operar em condições de vazão e altura similares como turbina. Neste conceito, destacam-se os trabalhos de Viana (1987), Viana (2012) e Chapalaz (1992).

No entanto, o método proposto por Viana (2012) é o que fornece melhores resultados de forma prática para rotação específica na faixa de 40 a 200. Este, consiste na definição da altura e vazão de bombas comerciais para operar em reverso, por meio da utilização de coeficientes obtidos experimentalmente pelo autor e nos trabalhos de Kittredge (1961), Buse (1981), Nogueira (1990) e Ricardo (2007) mostrados na Figura 25.

Dadas a vazão de projeto de turbina Q_t e a altura de queda líquida da turbina H_t , obtidas do aproveitamento, calcula-se o n_{qA} , por meio da equação 2.1, utilizando-se inicialmente a rotação de 3600 rpm. Caso a rotação específica não se encontre dentro da faixa de 40 a 200, recalcula-se o n_{qA} utilizando n_t de 1800 rpm. Com o n_{qA} , determinam-se na Figura 25 os coeficientes de altura k_a e vazão k_q . De posse dos coeficientes determina-se a altura e a vazão da bomba com a equação 2.2. Com os valores da vazão e altura seleciona-se em gráficos fornecidos pelos fabricantes de bombas, a bomba adequada que operará em reverso como turbina (VIANA, 2012).

As rotações de 3600 rpm e 1800 rpm são adotadas prioritariamente por questões econômicas: quanto maior a rotação, o custo do grupo gerador é menor (VIANA, 2012).

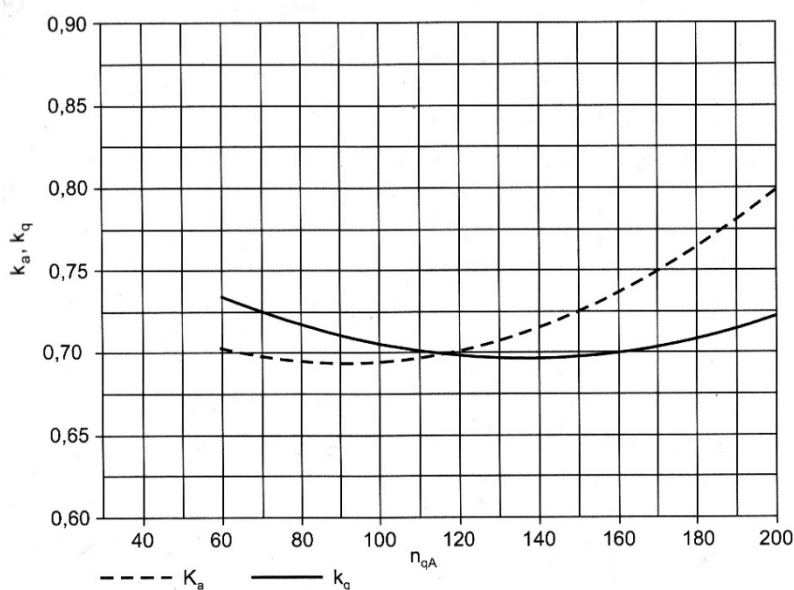


Figura 25: Coeficientes de vazão e altura.
Fonte: VIANA, 2012.

$$n_{qA} = \frac{10^3 \times n_t \times \sqrt{Q_t}}{(H_t \times g)^{0,75}} \quad (2.1)$$

Em que:

n_{qA} [1] – rotação específica no sistema internacional;

n_t [rps] – rotação da BFT;

Q_t [m³/s] – vazão da BFT;

H_t [m] – altura de queda líquida da BFT;

g [m/s²] – aceleração da gravidade.

$$Q_b = k_q \times Q_t; H_b = k_a \times H_t \quad (2.2)$$

Em que:

Q_b [m³/s] – vazão da bomba;

k_q [1] – coeficientes de vazão;

Q_t [m³/s] – vazão da BFT;

H_b [m] – altura de queda líquida da bomba;

k_a [1] – coeficientes de altura;

H_t [m] – altura de queda líquida da BFT.

Como as bombas geralmente operam com rotações um pouco abaixo de 1800 e 3600 rpm, devido ao escorregamento do motor, deve-se corrigir a altura e vazão encontradas para a rotação nominal da bomba pela equação 2.3 (RICARDO, 2007):

$$Q_{bc} = \frac{n_{nb}}{n_t} \times Q_b; H_{bc} = \left(\frac{n_{nb}}{n_t}\right)^2 \times H_b \quad (2.3)$$

Em que:

Q_{bc} [m³/s] – vazão da bomba corrigida;

n_{nb} [rpm] – rotação nominal da bomba (catálogo do fabricante);

n_t [rpm] – rotação da BFT;

Q_b [m³/s] – vazão da bomba;

H_{bc} [m] – altura da bomba corrigida;

H_b [m] – altura da bomba.

O rendimento da BFT será considerado o mesmo da bomba no ponto selecionado, retirado do catálogo do fabricante (VIANA, 2012).

2.7 MOTOR DE INDUÇÃO ASSÍNCRONO COMO GERADOR

O grupo gerador formado por turbina hidráulica, gerador e regulador de velocidade é um dos componentes mais importantes de uma central hidrelétrica, podendo representar até 40% de seu custo global (VIANA, 2012).

Na geração de energia elétrica, geralmente são utilizadas as máquinas síncronas devido à grande facilidade no controle das potências ativa e reativa, da tensão e frequência. No entanto, a máquina de indução, para geração de energia elétrica em pequena quantidade torna-se vantajosa, pois ela é mais robusta, tem custo inferior, requer menos manutenção e possui maior relação potência/peso (BANSAL, 2005).

A utilização de motores de indução operando como gerador já é bem conhecida no meio científico desde a década de 30, onde surgiram os primeiros trabalhos descrevendo seu funcionamento (BASSET e POTTER, 1935), (WAGNER, 1939). De forma análoga às BFTs, os motores e geradores desempenham funções exatamente opostas no que diz respeito à conversão eletromecânica, e essas máquinas apresentam aspectos construtivos extremamente semelhantes.

Sendo assim, os motores de indução operando como gerador (MIGs) se tornam o complemento ideal às BFTs na formação de um grupo gerador para uma micro central hidrelétrica (MCHs) (RICARDO, 2007).

2.7.1 Máquinas de Indução Assíncronas

As máquinas de indução assíncronas são compostas basicamente por duas partes, o estator e o rotor. Enquanto a primeira constitui a parte fixa, a segunda representa a parte móvel. Entre elas, existe um espaçamento denominado de entreferro.

O estator é formado por chapas de aço silício em formato de anéis. No seu interior existem ranhuras aonde são colocados os enrolamentos de armadura que darão origem ao fluxo magnético do estator. Em uma máquina trifásica são colocados

três grupos de enrolamentos em forma de bobinas distanciados de 120° elétricos no espaço.

O rotor da máquina de indução assíncrona é um rotor feito de chapas de aço laminado tratado termicamente e apresenta ranhuras em seu interior. Nestas são engastadas ou fundidas barras de cobre ou alumínio que vão de uma extremidade à outra no sentido longitudinal. As barras são curto-circuitadas em ambas as extremidades por anéis também de cobre ou alumínio. Este tipo de rotor é chamado de gaiola de esquilo (KOSOV, 1982).

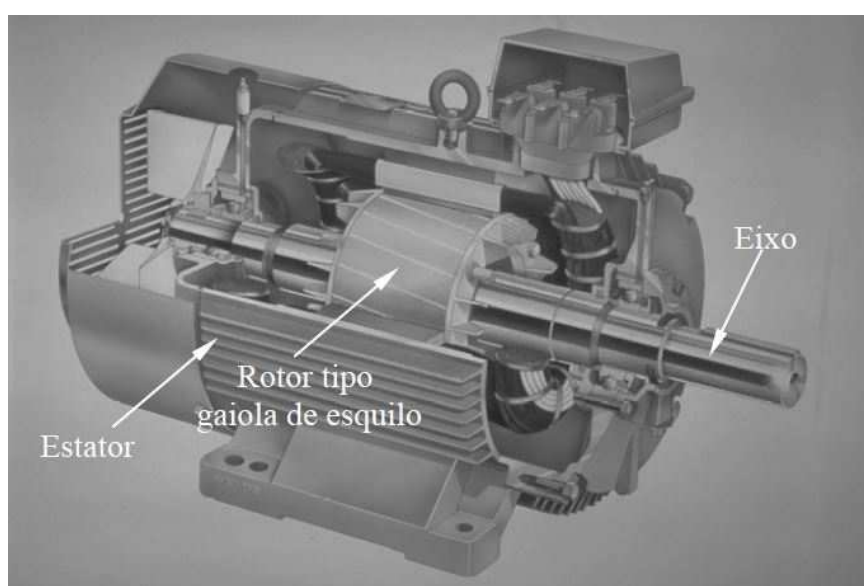


Figura 26: Máquina de indução assíncrona em corte.
Fonte: MEDEIROS, 2014.

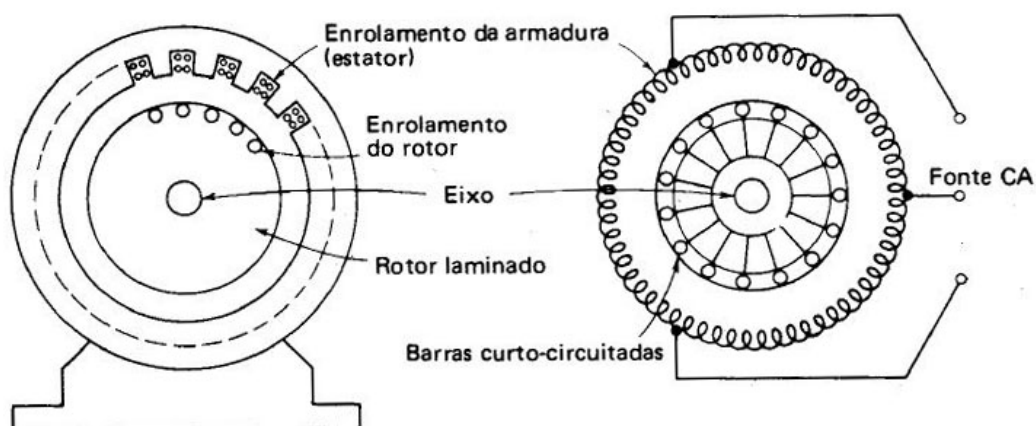


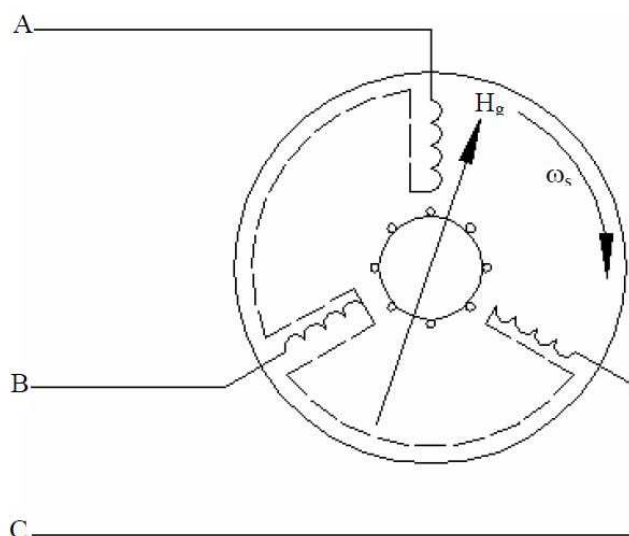
Figura 27: Partes da máquina de indução assíncrona.
Fonte: KOSOV, 1982.

2.7.2 Funcionamento do motor e do gerador de indução

O funcionamento do motor de indução baseia-se no princípio da indução eletromagnética. Para que o motor de indução trifásico opere é necessário alimentar seu estator com correntes trifásicas defasadas de 120° elétricos entre si. O resultado disso é o aparecimento de um campo magnético variável, produzido a partir da circulação de correntes alternadas pelo enrolamento trifásico.

Por apresentar um comportamento espacial pulsante, ao longo do estator, a esse campo eletromagnético dá-se o nome de campo girante conforme mostra a Figura 28.

O campo magnético girante (H_g), por sua vez, corta as barras curto-circuitadas do rotor, fazendo aparecer uma corrente induzida. Esta corrente faz aparecer um campo magnético no circuito do estator que reage com aquele campo magnético girante, originando dessa forma, um torque induzido que faz o eixo girar (VIANA, 2012).



**Figura 28: Campo magnético girante, adaptado de Cogo et al., (1984).
Fonte: MEDEIROS, 2014.**

Sempre deve haver uma velocidade relativa entre o campo magnético girante e o campo originado pela corrente induzida no rotor para que a máquina produza torque. Esta velocidade relativa é denominada escorregamento e pode ser descrita pela equação 2.4.

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.4)$$

Em que:

$S[1]$ – fator de escorregamento;

$n_s[\text{rpm}]$ – velocidade do campo magnético girante ou velocidade síncrona;

$n_r[\text{rpm}]$ – velocidade do rotor.

A equação 2.5 mostra a relação existente entre a velocidade síncrona e o número de polos da máquina. Os polos são sempre em números pares.

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (2.5)$$

Em que:

$n_s[\text{rpm}]$ – velocidade do campo magnético girante ou velocidade síncrona;

$f[\text{Hz}]$ – frequência síncrona;

$P[1]$ – número de polos da máquina.

Verifica-se pela equação 2.5 que o escorregamento do motor de indução é um número adimensional positivo. Porém quando a velocidade do rotor for superior a velocidade do campo magnético girante, o escorregamento será negativo. Essa característica define o funcionamento da máquina como gerador. A partir desse ponto ela deixa de consumir energia ativa da fonte e passa a fornecê-la. Portanto o torque deixa de ser negativo e passa a ser positivo. A Figura 29 mostra a relação entre torque e escorregamento da máquina de indução assíncrona operando como motor e como gerador (MEDEIROS, 2014).

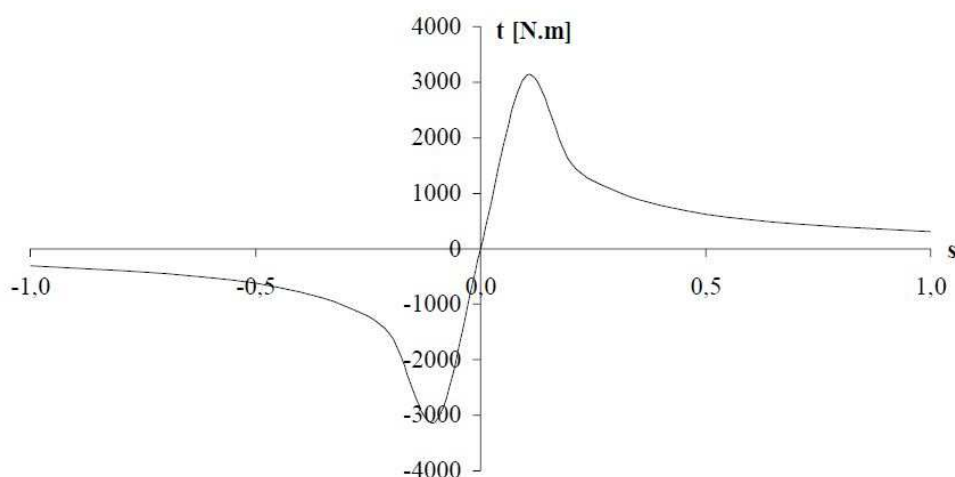


Figura 29: Características operacionais do motor e gerador de indução assíncrono.
Fonte: Adaptado de CHAPMAN, 1991.

O gerador de indução é incapaz de fornecer energia reativa para uma carga indutiva, nem para a magnetização do seu próprio circuito magnético. Sendo assim, duas soluções podem ser consideradas: a conexão da máquina com a rede elétrica ou, em sistemas isolados, a conexão de capacitores em paralelo com os terminais do seu estator (DIAS *et al.*, 2012)

Quando o gerador está interligado a rede de energia elétrica, a sua operação fica mais simplificada, pois os reativos necessários serão fornecidos por ela e o sistema de controle dispensa o emprego de controladores de tensão e frequência, uma vez que os mesmos ficam definidos pela rede. Já na operação em sistemas isolados, capacitores para fornecimento de reativos deverão ser empregados.

2.7.3 Autoexcitação do Gerador

Do exposto na seção anterior, observou-se que a energia reativa é fundamental no processo de autoexcitação e geração de energia elétrica por meio da máquina de indução. No caso onde ela opera isoladamente, faz-se necessário a utilização de banco de capacitores ligados em paralelo conforme mostra a Figura 30.

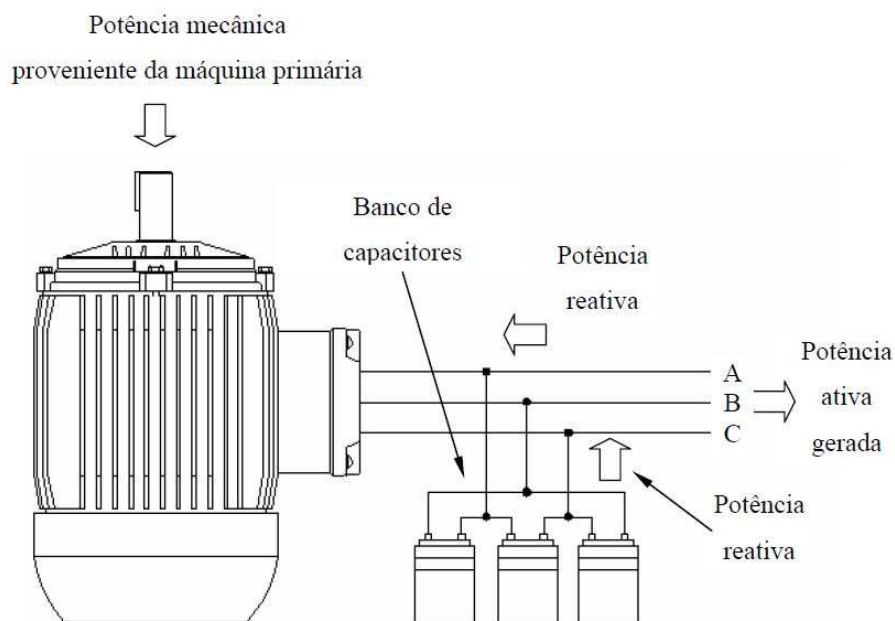


Figura 30: Gerador assíncrono auto excitado
Fonte: VIANA, 2012.

O processo de autoexcitação, que tem seu transitório denominado de escorvamento, sofre influência de três fatores: a velocidade com que o gerador está sendo acionado, o valor dos capacitores e a carga. Vale lembrar que o processo de autoexcitação só é possível caso a máquina tenha um magnetismo residual presente no seu núcleo de ferro. Com este magnetismo e girando a máquina a uma velocidade determinada será induzida uma tensão alternada, que faz com que circule pelos enrolamentos do estator uma corrente reativa. Esta corrente gera um fluxo de reação de armadura que é acrescentado ao magnetismo residual inicial. Este aumento do fluxo faz com que a tensão induzida aumente e então iniciasse um processo cíclico que continua até o momento em que a reta da reatância capacitiva intercepta a curva de magnetização da máquina, atingindo o equilíbrio do circuito magnético da máquina. A Figura 31 ilustra o referido equilíbrio (DIAS *et al.*, 2012).

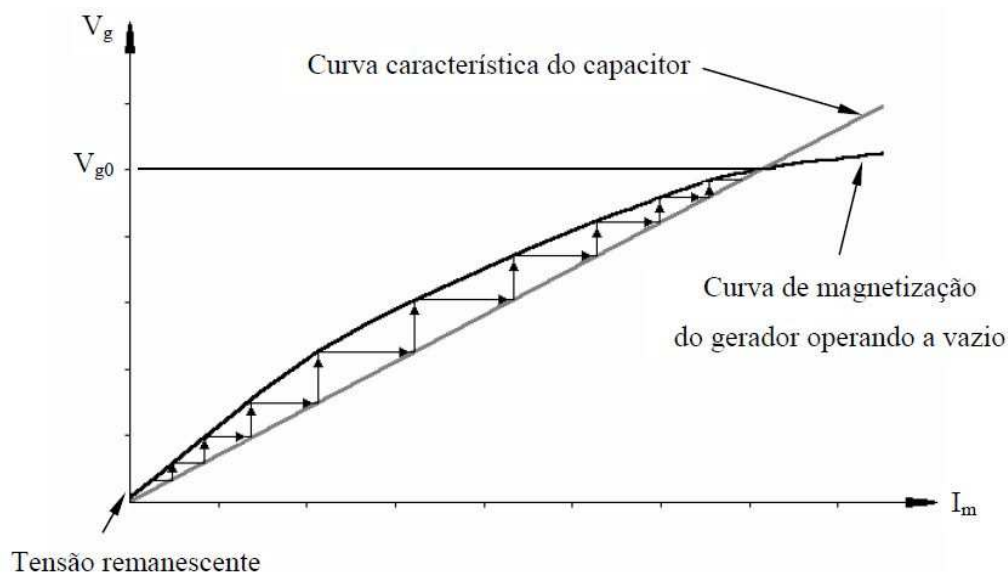


Figura 31: Processo de excitação do gerador assíncrono
Fonte: MEDEIROS, 2014.

A tensão V_{g0} da Figura 31 é aquela obtida quando a máquina está operando a vazio. Mas quando uma carga é conectada aos terminais do gerador, essa tensão sofre uma queda, pois o aumento da carga causa um aumento na corrente, que, conseqüentemente, aumenta a queda de tensão interna da máquina. Dessa maneira, o gerador precisa de mais energia reativa proveniente dos capacitores para manter a tensão no valor desejado. Se a carga for retirada, a tensão aumenta, devido ao excesso de energia reativa na máquina. Portanto os capacitores excedentes devem ser retirados do sistema.

Outra conseqüência do aumento da carga é a queda na frequência gerada pela máquina. Para uma máquina de 4 polos, a frequência gerada com máquina operando a vazio é 60 Hz, desde que a velocidade seja um pouco superior a 1800 rpm. Mas quando o gerador está funcionando a plena carga, esta frequência assume um valor menor. Daí a necessidade de operar a máquina numa velocidade muito superior à velocidade síncrona, a fim de se obter a frequência nominal do sistema, ou seja, 60 Hz num sistema isolado.

2.7.4 Seleção do Gerador e do Banco de Capacitores para Autoexcitação

Para se fazer a seleção do banco de capacitores para a autoexcitação da máquina, é necessário realizar uma pré-seleção do motor que será utilizado como gerador. Um método simples foi proposto por (CHAPALLAZ *et al.*, 1990) e se baseia na potência de eixo que a turbina, neste caso uma BFT, irá fornecer ao gerador.

Conhecendo-se este parâmetro é possível fazer uma pré-seleção do motor que irá operar como gerador, com base na Figura 32, que foi obtida experimentalmente, com diversos motores, no trabalho realizado por (CHAPALLAZ *et al.*, 1990).

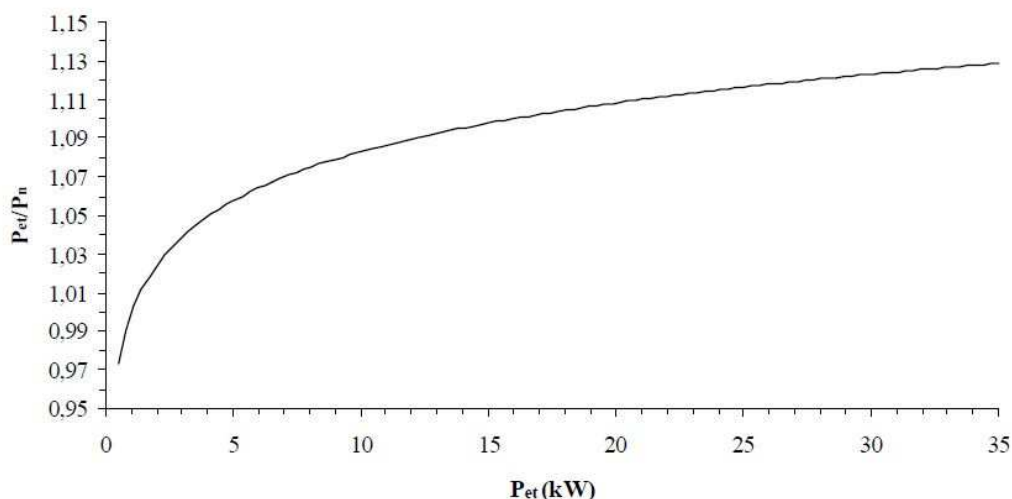


Figura 32: Pré-seleção do motor para ser utilizado como gerador.
Fonte: CHAPALLAZ *et al.*, 1990.

Conhecida a relação P_{et}/P_n da figura 32, calcula-se a potência nominal do motor assíncrono de acordo com a equação 2.6.

$$P_n = \frac{P_{et}}{\frac{P_{et}}{P_n}} \quad (2.6)$$

Em que:

P_n [kW] – potência nominal do motor que será utilizado como gerador;

P_{et} [kW] – potência de eixo fornecida pela turbina;

P_{et}/P_n [1] – relação experimental (Figura 32).

Se a potência P_n não coincidir com aquelas encontradas nos catálogos de motores, deve-se escolher aquele cuja potência nominal é imediatamente superior à calculada pela equação 2.6.

Conhecido o motor que será utilizado como gerador, o próximo passo é calcular a capacitância necessária à sua autoexcitação. Esta capacitância pode ser determinada com base nos parâmetros do circuito equivalente do motor. A Figura 33 mostra o circuito equivalente de um motor de indução (MEDEIROS, 2014).

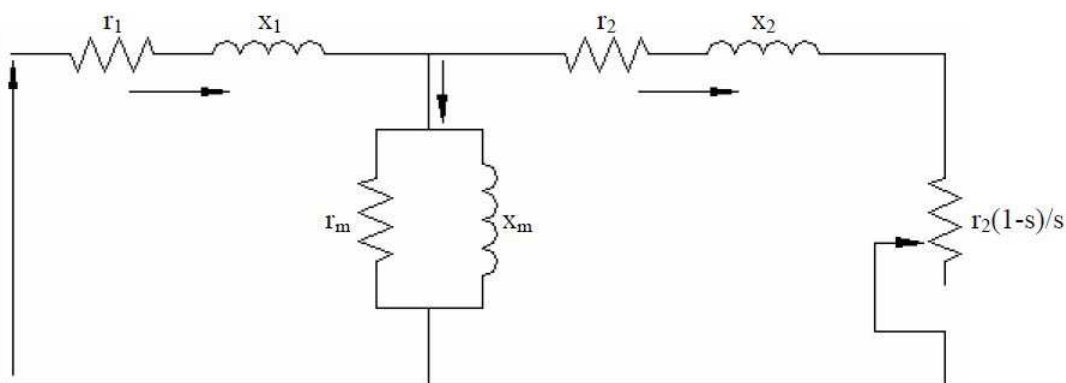


Figura 33: Circuito equivalente do motor de indução.
Fonte: VIANA, 2012.

Em que:

- r_1 [Ω /fase] – resistência do circuito do estator;
- r_2 [Ω /fase] – resistência do circuito do rotor;
- r_m [Ω /fase] – resistência do circuito magnético;
- X_1 [Ω /fase] – reatância do circuito do estator;
- X_2 [Ω /fase] – reatância do circuito do rotor;
- X_m [Ω /fase] – reatância do circuito magnético.

A finalidade deste circuito é representar o funcionamento da máquina de indução em quaisquer condições de funcionamento, tanto como motor como gerador.

O inconveniente de se utilizar tal método é a necessidade de se realizar ensaios no motor de indução a fim de determinar tais parâmetros, já que estes normalmente não são informados pelos fabricantes.

No entanto, um método interessante foi proposto por Chapallaz *et al.* (1990) onde a capacitância para a autoexcitação do gerador pode ser estimada com base nas informações contidas na placa do motor. É importante salientar que o método foi

proposto para máquinas de quatro polos e 50 Hz, mas mostrou-se satisfatório para as máquinas cuja frequência é de 60 Hz.

Conhecida a potência nominal do motor que será utilizado como gerador, determina-se a relação $\text{sen}(\phi_g)/\text{sen}(\phi_m)$ da Figura 34, que foi obtida experimentalmente para máquinas de 50Hz.

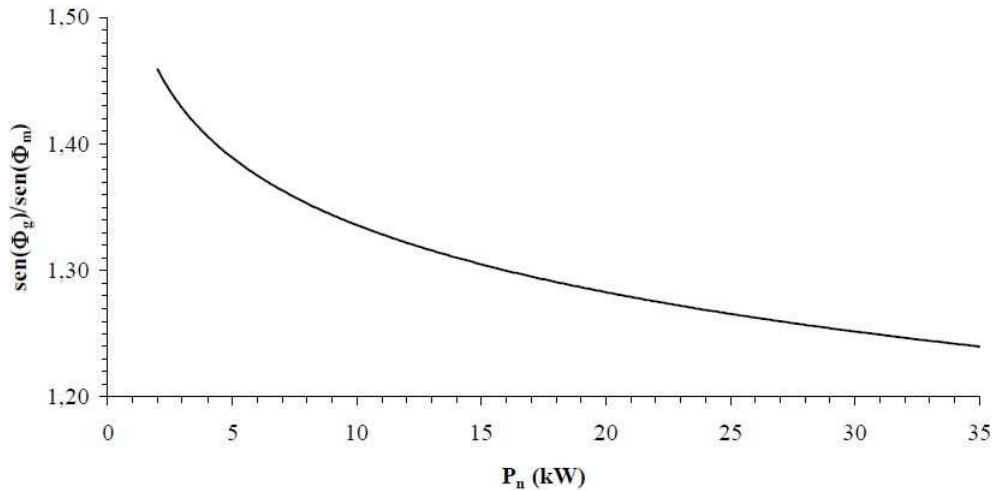


Figura 34: Relação experimental entre $\text{sen}(\phi_g)$ do gerador e $\text{sen}(\phi_m)$ do motor em função da potência nominal.

Fonte: Adaptado de CHAPALLAZ *et al.*, 1990.

Conhecida essa relação, calcula-se a potência elétrica do motor de indução utilizando a equação 2.7.

$$P_{elm} = \frac{P_n}{n_m} \quad (2.7)$$

Em que:

P_{elm} [kW] – potência elétrica absorvida pelo motor de indução;

P_n [kW] – potência nominal do motor;

n_n [1] – rendimento do motor a plena carga.

Então, calcula-se a energia reativa absorvida pelo motor de indução por meio da equação 2.8.

$$Q_m = P_{elm} \times \tan(\phi_m) \quad (2.8)$$

Em que:

Q_m [kVAr] – potência reativa absorvida pela máquina operando como motor;

P_{elm} [kW] – potência elétrica absorvida pela máquina operando como motor;

Φ_m [°] – ângulo de fase do motor, que pode ser determinado com base no fator de potência.

A energia reativa necessária para excitar a máquina quando estiver operando como gerador pode ser calculada pela equação 2.9.

$$Q_g = \frac{\text{sen}(\phi_g)}{\text{sen}(\phi_m)} \times Q_m \quad (2.9)$$

Em que:

Q_g [kVAr] – potência reativa necessária a autoexcitação da máquina operando como gerador;

$\frac{\text{sen}(\phi_g)}{\text{sen}(\phi_m)}$ [1] – relação experimental (Figura 34);

Q_m [kVAr] – potência reativa absorvida pela máquina operando como motor.

Como foi dito anteriormente, a curva da Figura 34 foi obtida experimentalmente para máquinas de quatro pólos e 50 Hz. Portanto, deve-se ajustar o seu valor para a frequência de 60 Hz por meio da equação 2.10 proposta por (VIANA, 2012).

$$Q_{60} = Q_{50} \times \frac{50}{60} \quad (2.10)$$

Em que:

Q_{60} [kVAr] – potência reativa a 60 Hz;

Q_{50} [kVAr] – potência reativa a 50 Hz.

Assim fica definida a potência reativa necessária para a autoexcitação do gerador de indução assíncrono operando a 60 Hz. Deve-se salientar que se for considerada uma carga indutiva conectada ao gerador, deve-se prever um outro banco de capacitores adequado a essa carga para correção de fator de potência (VIANA, 2012).

3. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

No amplo sistema de abastecimento de água do município de Curitiba e da Região Metropolitana existem várias adutoras à gravidade operando com a presença de válvulas redutoras de pressão (VRP) e válvulas controladoras de vazão (VCV). Dessa forma, essa etapa do trabalho tem como objetivo listar alguns locais que apresentam potencial para a substituição de uma VRP ou VCV, quantificando estes potenciais, e a partir de critérios pré-estabelecidos definir qual o local mais viável para se instalar o sistema piloto de microgeração.

3.1. POTENCIAIS DE GERAÇÃO HIDROENERGÉTICA

Para fazer a quantificação de potenciais, realizou-se um levantamento em conjunto com a unidade de Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento (APD) da operadora do sistema de saneamento, de quais adutoras operam à gravidade e possuem válvulas que apresentam potenciais hidroenergéticos desperdiçados. Neste levantamento também foram identificadas algumas VCVs que, em consequência de seu modo de operação, apresentam perda de carga ao sistema e, portanto, realizam dissipação de energia no controle da vazão da água, além de estarem sujeitas a desgastes devido ao fenômeno da cavitação. Este comportamento de operação se assemelha muito com o funcionamento das VRPs.

Por meio de um estudo básico de potencial, a APD disponibilizou dados de pressão média a montante, a jusante e vazão média. Este estudo quantificou as grandezas de todas as válvulas do sistema de saneamento da companhia e, ao final, listou somente aquelas que apresentaram potencial que se julgasse suficiente para se obter um bom aproveitamento energético com a aplicação de um sistema de microgeração. A Tabela 1 apresenta tais válvulas.

Tabela 1 - Válvulas selecionadas.

Válvula	Tipo
Válvula Gravidade Bairro Alto	VRP
Válvula Gravidade Piraquara I	VRP
Válvula Gravidade Piraquara II	VRP
Válvula Gravidade Piraquara III	VRP
Isaías Bevilaqua x Visconde do Rio Branco	VRP
Rodovia da Uva x Santos Dumont	VRP
Válvula São Gabriel – Rod da Uva	VRP
André Nardolny x Rio Japurá	VRP
Matinhos x José Milek Filho	VRP
José Milek Filho x Matinhos	VRP
Prof. Alberto Piekas x Pedro Milek	VRP
CR SJ central	VCV
CR SJ Aeroporto	VCV

Fonte: APD-Sanepar, 2014.

No estudo de potencial foram consideradas as pressões úteis, isto é, a diferença de pressão a montante e a jusante de cada válvula. Este diferencial representa a pressão dissipada ao se regular a pressão ou controlar a vazão das adutoras à gravidade. Os valores de pressão útil foram obtidas de duas maneiras: (1) para as VRPs, foram consideradas como a diferença de pressão média a montante e pressão média a jusante; (2) no caso das VCVs, foram obtidas pela diferença entre a pressão a montante da válvula e a cota média do reservatório, uma vez que os reservatórios onde estas válvulas se encontram são abastecidos pela parte inferior e, ainda, foram consideradas as perdas de cargas nos trechos entre a válvula e o reservatório. A Tabela 2 a seguir apresenta a lista das válvulas com as respectivas pressões úteis médias.

Tabela 2 – Pressão útil das válvulas selecionadas.

(continua)

Válvula	Pressão útil (mca)
São Gabriel – Rod da Uva	42,51
Rodovia da Uva x Santos Dumont	38,24
CR SJ central	37,57
CR SJ Aeroporto	31,75
Isaías Bevilaqua x Visconde do Rio Branco	24,00
Prof. Alberto Piekas x Pedro Milek	20,00
José Milek Filho x Matinhos	20,00

Tabela 2 – Pressão útil das válvulas selecionadas.

Válvula	Pressão útil (mca)
Válvula Gravidade Piraquara	18,00
André Nardolny x Rio Japurá	17,26
Válvula Gravidade Bairro Alto	16,00
Válvula Gravidade Piraquara	16,00
Matinhos x José Milek Filho	12,00
Válvula Gravidade Piraquara	6,00

Fonte: APD-Sanepar, 2014.

Nesta etapa é possível observar que algumas válvulas possuem alta dissipação de pressão. Esta característica indica um bom potencial hidroenergético a ser aproveitado. Em contrapartida, outras válvulas possuem pouca dissipação, o que indica um potencial hidroenergético baixo. Consequentemente, a instalação do sistema piloto nestes pontos é menos interessante levando em consideração a quantidade de energia elétrica esperada na geração.

Para o estudo mais detalhado dos potenciais, estimaram-se os valores dos potenciais de geração hidroenergética com a substituição das válvulas pelo sistema piloto com base nas pressões úteis apresentadas. Além destas, foram necessárias também as vazões médias de cada válvula, as quais foram fornecidas pela APD, conforme já relatado. O método utilizado para calcular o potencial de geração na substituição de cada válvula é proposto por Viana (2002) e consiste da equação 3.11 a seguir:

$$P_{el} = g \times Q_t \times H_t \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{ac} \quad (3.11)$$

Em que:

P_{el} [W] – Potência elétrica do gerador;

g [m/s²] – aceleração da gravidade;

Q_t [L/s] – vazão nominal;

H_t [mca] – pressão útil;

η_t [1] – rendimento da BFT;

η_g [1] – rendimento do gerador;

η_{ac} [1] – rendimento do acoplamento.

A aceleração da gravidade considerada para os cálculos dos potenciais foi de $9,81 \text{ m/s}^2$. Por se tratar de uma estimativa de potência elétrica, foram considerados valores comuns de rendimentos da BFT de 83% e do gerador de 86%. Já o rendimento do acoplamento foi considerado unitário, levando em conta que na aplicação será utilizado acoplamento direto, o que não envolve perdas mecânicas significativas. Dessa forma, foram calculados os potenciais de geração para cada válvula listada, conforme mostra a Tabela 3 e a Figura 35 a seguir.

Tabela 3 - Potencial de geração hidroenergética.

Válvula	Pressão útil <i>Ht</i> (mca)	Vazão nominal <i>Qt</i> (L/s)	Potência elétrica <i>PeI</i> (W)
CR SJ Aeroporto	31,75	161,73	35956,70
CR SJ central	37,57	65,95	17348,80
Rodovia da Uva x Santos Dumont	38,24	46,16	12360,30
Válvula São Gabriel – Rod da Uva	42,51	34,68	10323,20
Válvula Gravidade Bairro Alto	16,00	54,27	6080,30
André Nardolny x Rio Japurá	17,26	33,07	3996,90
Válvula Gravidade Piraquara	16,00	13,08	1465,50
Prof. Alberto Piekas x Pedro Milek	20,00	8,99	1259,00
Isaiás Bevilaqua x Visconde do Rio Branco	24,00	6,39	1073,90
Válvula Gravidade Piraquara	6,00	25,28	1062,10
Válvula Gravidade Piraquara	18,00	7,12	897,40
José Milek Filho x Matinhos	20,00	4,39	614,80
Matinhos x José Milek Filho	12,00	1,77	148,70

Fonte: Os autores, 2015.

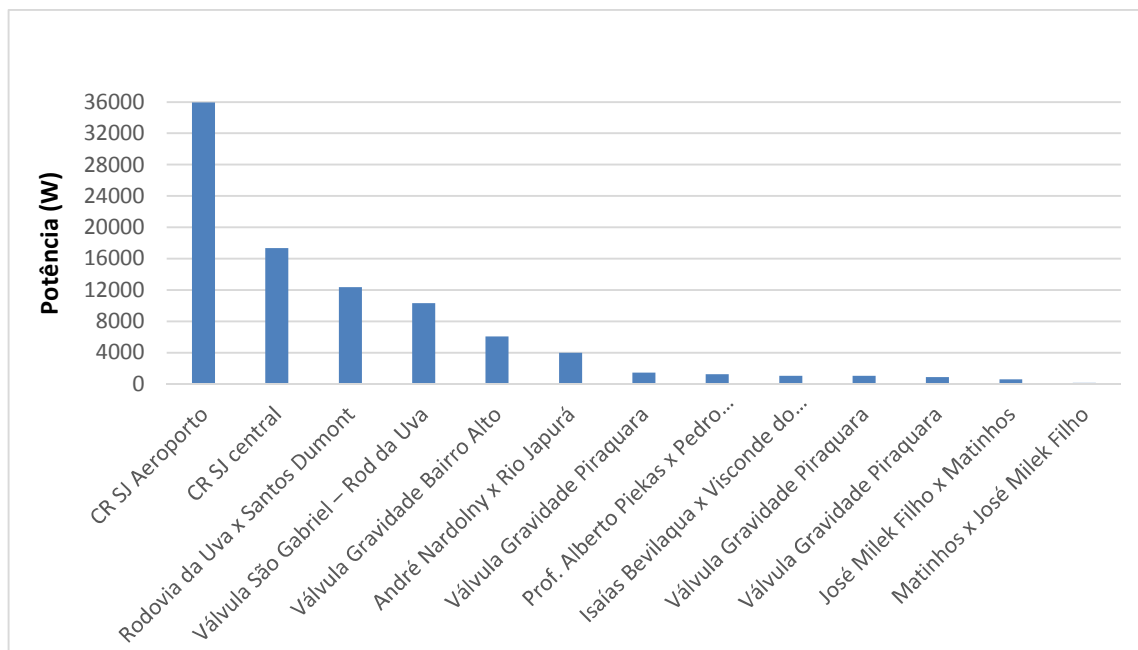


Figura 35: Potenciais das válvulas citadas.
Fonte: Os autores, 2015.

É possível concluir com os resultados mostrados, que valores interessantes de geração de energia elétrica são alcançados não só com altas pressões dissipadas, mas também com vazões nominais elevadas. Isto porque a potência elétrica é diretamente proporcional à pressão útil e também à vazão nominal. A Tabela 3 também mostra a existência de mais de uma válvula com potenciais para realização de geração hidroenergética. Portanto, para a definição do local mais apropriado para a instalação do sistema piloto, uma análise detalhada levando em conta este e outros critérios é descrita a seguir.

3.2. CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO LOCAL PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO PILOTO

Para definir a válvula a ser substituída, considerou-se alguns critérios de análise de viabilidade na definição do local mais apropriado para a implementação do sistema piloto. Tais critérios considerados foram:

- Potencial de geração hidroenergética.
- Localização da válvula.
- Facilidade de acesso.

- Operação da válvula.
- Espaço físico para instalação do novo sistema.
- Condições de interrupção do abastecimento de reservatório para realização da obra.
- Disponibilidade de equipamentos conforme dados operacionais da adutora e o potencial preliminar do sistema.

O potencial de geração hidroenergética calculado é um fator decisivo para a escolha do local, visto que a energia elétrica gerada com um baixo valor de potencial inviabilizaria o investimento com um sistema de microgeração, levando em consideração que ela será consumida no próprio local, reduzindo o gasto da companhia com este insumo.

A localização da válvula a ser substituída foi um critério importante para a definição do local a se instalar o sistema piloto, pois algumas das válvulas listadas estão localizadas fora de instalações da companhia de saneamento ou em locais de difícil acesso. Este fator representa dificuldades extras de modo que, para uma primeira aplicação com o sistema piloto, é mais interessante a escolha de uma válvula instalada em local de fácil acesso, visto que o sistema a ser instalado irá demandar acompanhamento presencial para que se possam realizar ensaios e análises mais precisas.

As questões operacionais das válvulas também foram consideradas para a escolha do local, tais como as perdas de carga que as mesmas causam no fluxo de água, a frequência com que estas válvulas trabalham totalmente abertas ou fechadas, bem como a garantia de que o sistema opere de forma satisfatória sem que comprometa o abastecimento de água da população local. Estas questões foram diretamente discutidas com o setor responsável pela operação do sistema de abastecimento da região.

Outra abordagem importante foi o espaço físico disponível no local a ser escolhido, que deve possibilitar acomodação do sistema piloto em questão, além do acesso de ferramentas e maquinários necessários para a realização dos serviços de instalação e, posteriormente, espaço adequado para implementação de instrumentos de medições para monitoramento e análise dos resultados obtidos.

Por fim, realizou-se análise técnica dos dados preliminares de operação das adutoras para que, de acordo com os equipamentos disponíveis, como bomba

centrífuga, motor de indução assíncrono, tubulações e outros acessórios necessários, fosse possível dimensionar o sistema de modo que atenda às especificações.

Concluídas as avaliações dos critérios estabelecidos, definiu-se a válvula do sistema CR SJ Aeroporto, instalada na entrada do Reservatório Apoiado de Água Tratada Aeroporto, como a que apresenta melhores condições para instalação e operação do sistema piloto. Os principais motivos que levaram a definição desta válvula foram os seguintes:

- Localizada em local de fácil acesso e dentro de uma área restrita.
- Potencial de microgeração elevado (potência elétrica estimada de 36 kW).
- Espaço físico disponível para instalação que possibilita a alocação dos equipamentos sem que haja grandes interferências nas operações ou instalações já existentes na área. Neste local existe também espaço disponível caso haja a possibilidade de expansão do sistema de microgeração.
- A instalação do sistema piloto não causaria problemas ou interferências ao abastecimento de água dos consumidores da região do reservatório, já que este possui uma segunda opção de abastecimento de água proveniente de outra adutora.
- Os dados de vazão de água e o potencial elétrico estimados para a válvula CR SJ Aeroporto possibilitam o dimensionamento dos principais equipamentos para o sistema, utilizando o que se tem disponível.

Uma vez definida a válvula a ser substituída na instalação do sistema piloto, visitas técnicas foram realizadas até o local para conhecimento do sistema instalado, realização de registros fotográficos e medições específicas. Essas informações são necessárias para o correto dimensionamento e desenvolvimento do croqui do projeto. A Figura 36 é uma foto geral da área onde está localizado o reservatório apoiado São José Aeroporto. A Figura 37 é uma foto do reservatório e a Figura 38 mostra a válvula controladora de vazão da entrada do reservatório, a ser substituída pelo sistema piloto de microgeração hidroenergética.



**Figura 36: Foto aérea do reservatório apoiado São José Aeroporto.
Fonte: Google Earth, 2016.**



**Figura 37: Foto do reservatório apoiado São José Aeroporto.
Fonte: Os autores, 2015.**



Figura 38: Foto da válvula controladora de vazão do reservatório apoiado São José Aeroporto.
Fonte: Os autores, 2015.

4. SISTEMA PILOTO DE MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA

4.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL

Conforme mencionado no capítulo 3.3 deste trabalho, o local escolhido para a instalação do sistema piloto foi o Reservatório Apoiado de Água Tratada Aeroporto, localizado na Rua David Campista 1500, bairro Jardim Habitat Aeroporto, São José dos Pinhais - PR.

Este reservatório possui uma capacidade de armazenamento de 5000 m³ de água tratada e está localizado em um terreno de 4.200 m² de propriedade da concessionária de abastecimento de água da região. O reservatório é alimentado por uma adutora enterrada de 700 mm de ferro dúctil que sofre sucessivas reduções de diâmetro até atingir 300 mm antes de entrar em uma válvula de controle de vazão, denominada de FCV01, que se encontra a aproximadamente 1,00 m de profundidade abaixo do solo. A adutora é operada por gravidade proveniente do Reservatório Apoiado de Água Tratada Arujá, também localizado em São José dos Pinhais – PR. Entre os reservatórios existe uma diferença de 32,60 m de altitude com base nas cotas referentes ao nível do mar. A Figura 39 mostra a localização das unidades.

Ambos os reservatórios citados fazem parte do sistema Miringuava de abastecimento de água, este composto por uma captação e estação de tratamento de água assim denominados.

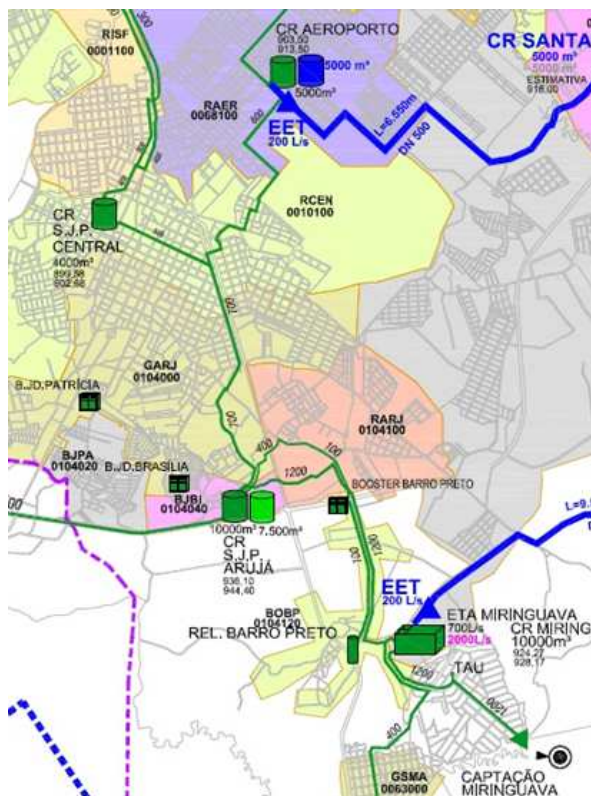


Figura 39: Sistema de abastecimento Miringuava.
Fonte: Sanepar, 2015.

O controle de nível do reservatório CR Aeroporto é efetuado pela válvula FCV01, que possui a função de controlar o fluxo de entrada de água com o intuito de manter um nível de reservação adequado para a sua correta operação. Por meio deste controle, a FCV induz uma perda de carga no sistema semelhante ao da operação de uma VRP, fato que justifica a instalação de um sistema piloto de microgeração. Além disso, o sistema do reservatório possui bombas de recalque para a distribuição de água na região e toda uma infraestrutura elétrica e hidráulica necessária para o seu controle e operação. O croqui do sistema do CR SJ Aeroporto está mostrado no Anexo A, e a sua implantação no Anexo B. A Figura 40 demonstra o encaminhamento da adutora, destacado em amarelo, que alimenta o reservatório. A Figura 41 é o detalhe da área aonde se situa a VCV FCV01.

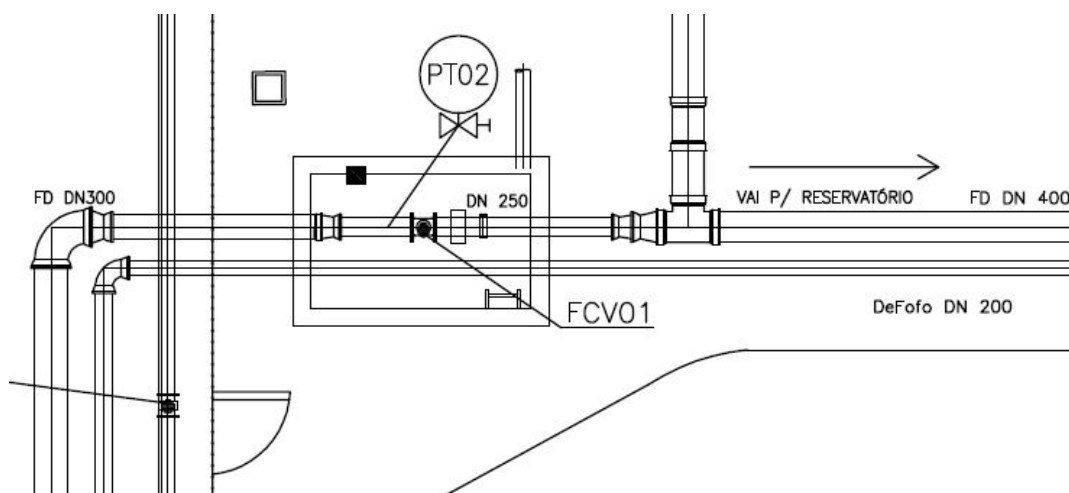


Figura 41: Detalhe da área da FCV01.
Fonte: Sanepar, 2015.

4.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

Uma vez compreendido o fluxo operacional do sistema, fez-se necessário um aprofundamento minucioso do seu regime operacional. Para isso, os valores de vazão e pressão a montante e a jusante da válvula foram obtidos durante um período significativo de funcionamento por meio da instrumentação já existente no local.

A medição de vazão de enchimento do reservatório foi coletada com um transmissor de vazão eletromagnético marca Siemens modelo Sitrans Magflo MAG6000 denominado FE04, instalado na adutora que abastece o reservatório antes de passar pela FCV01. Os dados de pressão de entrada da válvula foram adquiridos por um transmissor de pressão manométrica marca Siemens modelo Sitrans P300 denominado PT02, também instalado na adutora antes da válvula. Para se obter a pressão a jusante foi considerada a pressão manométrica mantida pelo nível do reservatório, pois este é abastecido por meio da válvula pela sua parte inferior. O instrumento utilizado para tal também foi o Siemens Sitrans P300 denominado LT01. Todos os dados foram coletados de hora em hora e armazenados em banco de dados SCADA durante todo o ano de 2014, totalizando 8758 medições de cada grandeza. Pela Figura 39 pode-se visualizar a localização dos instrumentos citados.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com os valores de pressão de entrada e pressão do nível do reservatório, foram calculadas as pressões úteis para cada instante de medição, utilizando a equação 4.12 mostrada a seguir. Para obter-se uma maior precisão nos cálculos, baseado em informações técnicas fornecidas pela companhia responsável por operar o sistema, na equação foi considerada uma perda de carga de 3 mca no trecho entre a válvula e o reservatório.

$$P_u = P_e - H_r - P_c \quad (4.12)$$

Em que:

P_u [mca] – pressão útil;

P_e [mca] – pressão de entrada da válvula;

H_r [mca] – nível manométrico do reservatório;

P_c [mca] – perda de carga.

Os dados coletados apresentaram alguns valores inconsistentes isolados ao longo do período medido, provavelmente ocorridos por falhas pontuais de medições. Estes valores foram desconsiderados para critérios de análise do comportamento operacional do sistema. Após a filtragem, chegou-se a 8.741 medições consideradas válidas de cada grandeza, sendo descartadas então, 17 medidas, que representam apenas 0,019% do total.

Com o objetivo de realizar um cálculo mais preciso do potencial de geração de energia elétrica do sistema a ser implementado e o correto dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados, foram feitas diversas análises estatísticas dos dados de vazão e pressão útil obtidos. Para fins de visualização de potencial, foram também realizadas as análises das potências calculadas a partir das medidas de vazão e pressão útil, aplicadas na equação 3.11, isto para cada um dos 8.741 instantes. Obtidos os valores de potência elétrica, foi também calculada a energia mensal para cada potência, considerando que seriam constantes durante um mês.

Por se tratar de um número muito grande de medições, para que se pudesse visualizar qual seria a distribuição dos valores, foi elaborado um histograma para cada

grandeza por meio do *software* computacional Minitab. Este tipo de gráfico permite visualizar a distribuição das ocorrências de intervalos de valores e a tendência de localização da média. As Figuras 42 a 45 apresentam os histogramas, valores de média e desvio padrão dos dados obtidos de vazão, pressão útil, potência e energia, respectivamente.

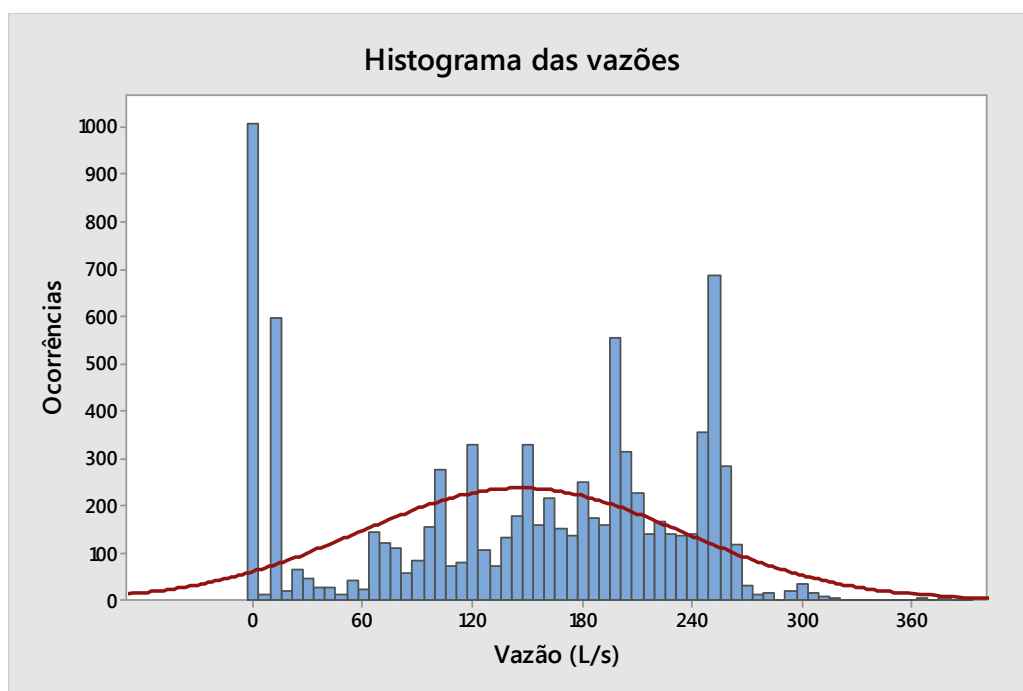


Figura 42: Histograma das vazões.
Fonte: Os autores, 2015.

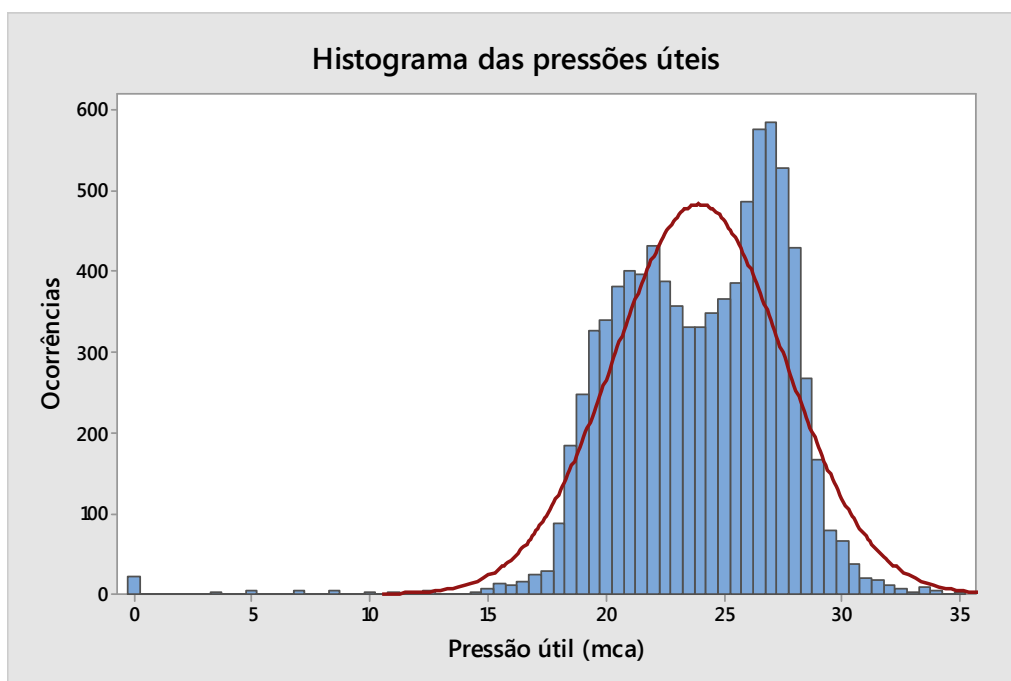


Figura 43: Histograma das pressões úteis.
Fonte: Os autores, 2015.

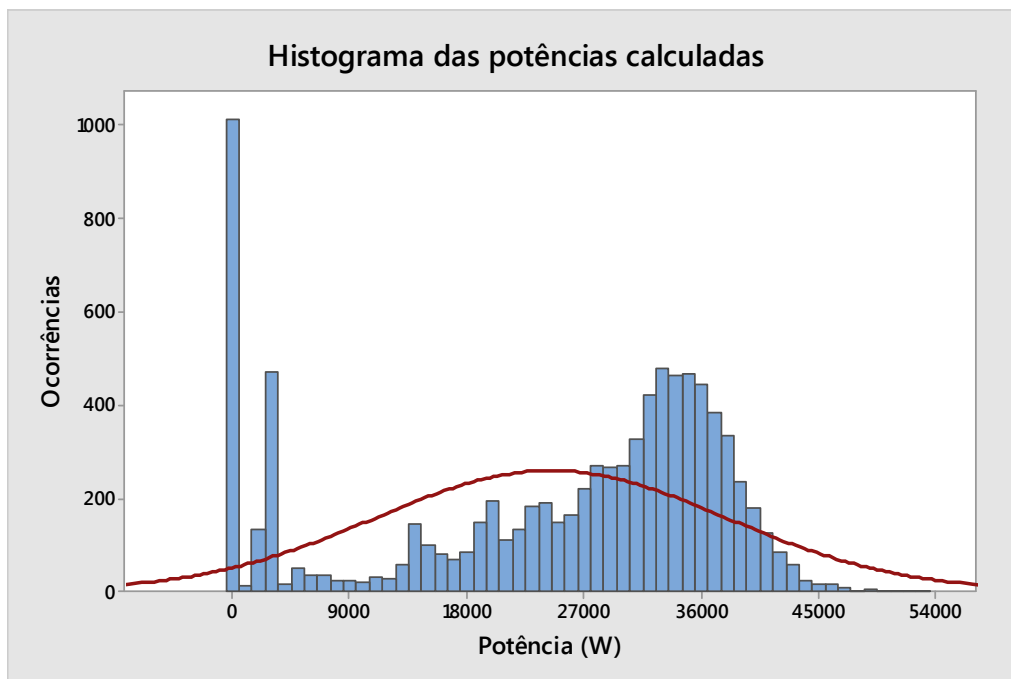


Figura 44: Histograma das potências elétricas calculadas.
Fonte: Os autores, 2015.

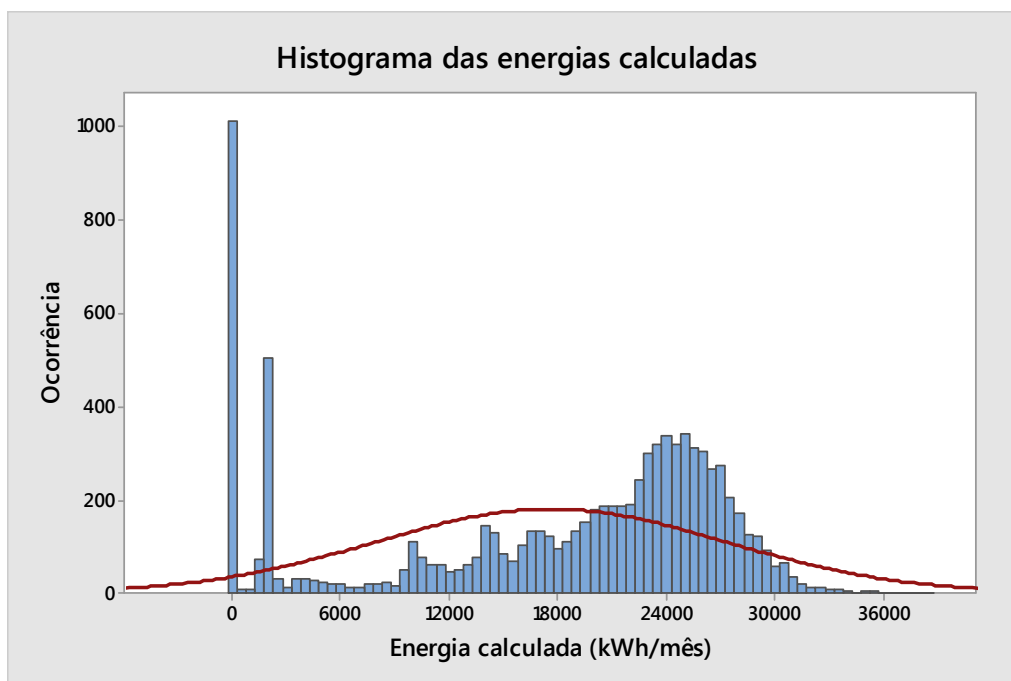


Figura 45: Histograma das energias elétricas mensais calculadas.
Fonte: Os autores, 2015.

No histograma das vazões cada barra representa o número de ocorrências das medidas em um intervalo de 6 L/s. Neste gráfico observa-se que, apesar de haver aproximadamente 1.000 ocorrências de valores próximos de 0 L/s, estes valores não podem ser desconsiderados na análise, e como grande parte do restante das

medições são valores mais altos e próximos do máximo, o que faz com que a média seja um valor central.

No caso das pressões úteis, cada barra do histograma representa as ocorrências em um intervalo de 0,5 mca. Analisando este gráfico, observa-se que a distribuição dos valores é restrita a ao intervalo de 15 a 35 mca, havendo poucos valores abaixo desta janela e, ainda, percebe-se que existem valores muito pequenos que não influenciam na média. Com esta análise, pode-se considerar que em grande parte do tempo não haverá grandes variações de pressão útil, e quando houver, estas ocorrem com diferenças pequenas.

Observando os gráficos de potência e energia, identifica-se que ambos possuem distribuição semelhante à das vazões. Isto ocorre justamente pelo fato de que a vazão é uma variável diretamente proporcional à potência.

Como as medições ao longo de um ano apresentam muitas variações, para se chegar à conclusões mais consistentes é necessária uma análise mais detalhada. Para isto, por meio da ferramenta computacional já citada, foram elaborados gráficos chamados gráficos de intervalos. Estes gráficos mostram as médias mensais juntamente com os intervalos de valores com 95% de confiança, considerando o desvio padrão para cada uma delas. Figuras 46 a 49 apresentam estes gráficos obtidos dos valores de vazão, pressão útil, potência e energia, respectivamente.

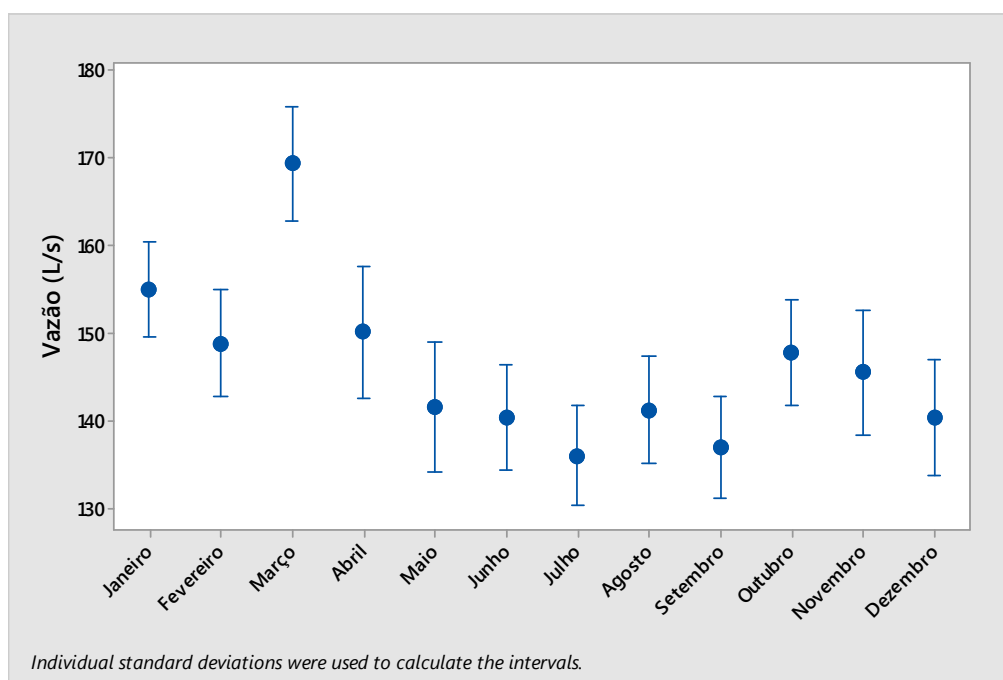


Figura 46: Gráfico de intervalos mensal das vazões.
Fonte: Os autores, 2015.

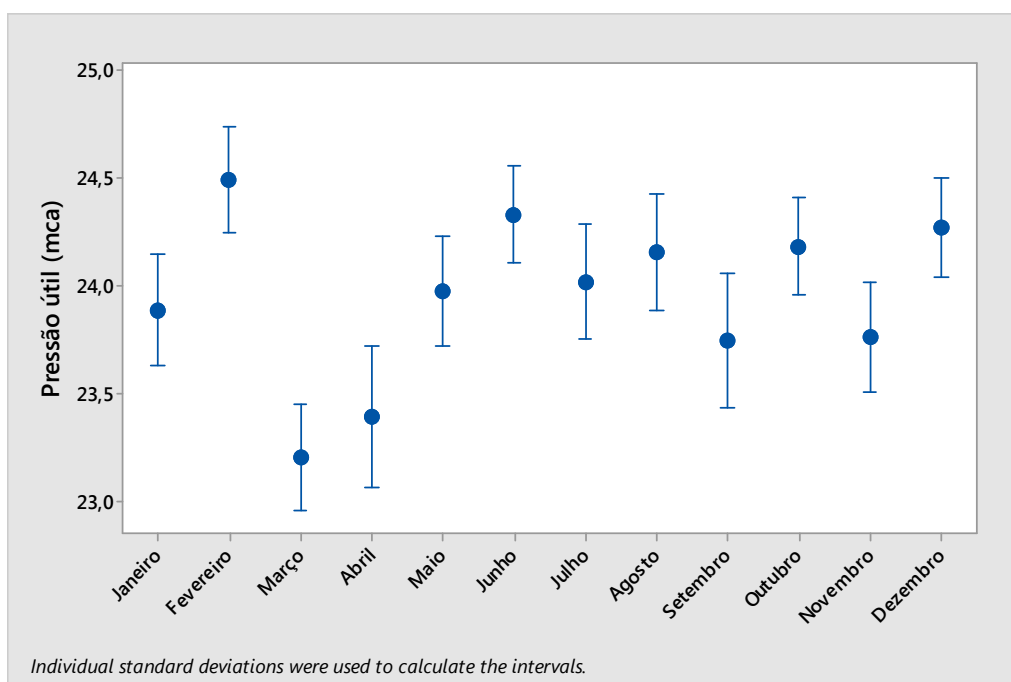


Figura 47: Gráfico de intervalos mensal das pressões úteis.
Fonte: Os autores, 2015

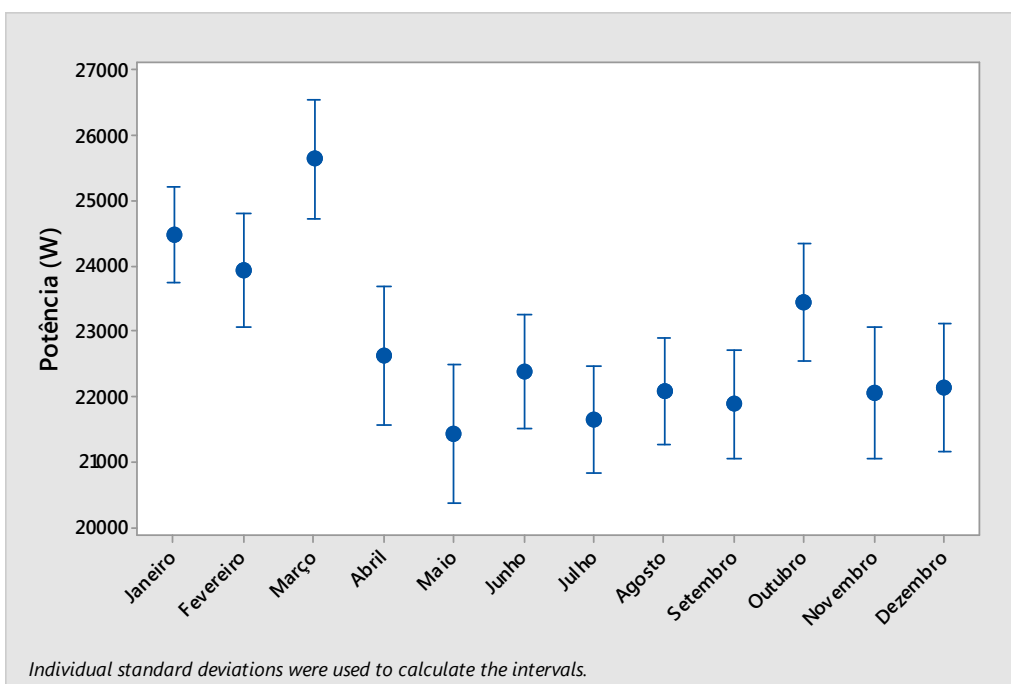


Figura 48: Gráfico de intervalos mensal da potência calculada.
Fonte: Os autores, 2015

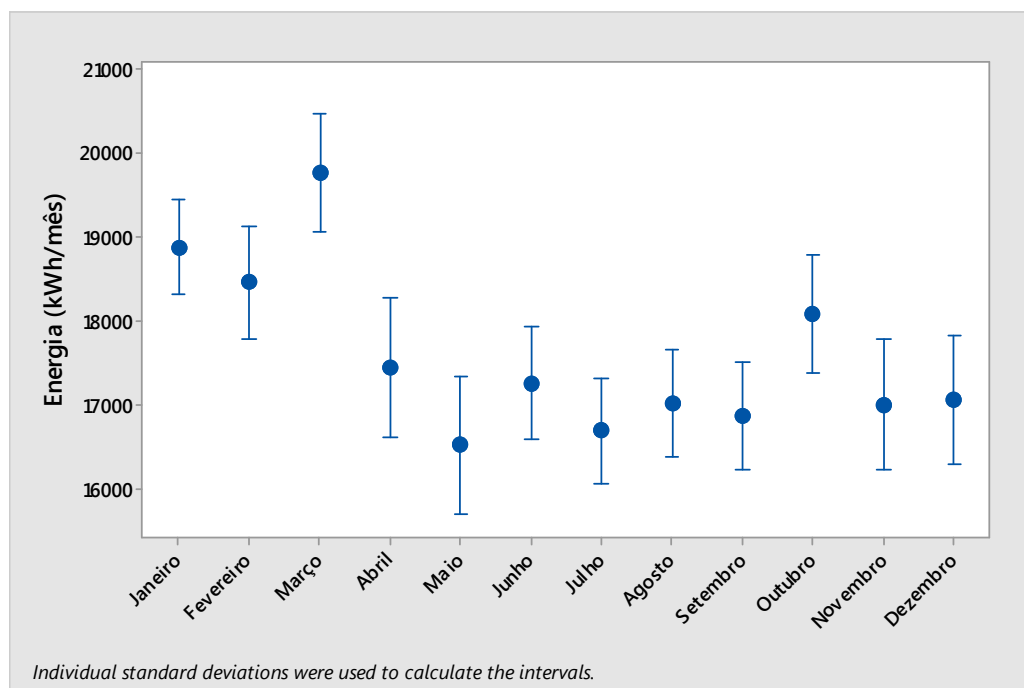


Figura 49: Gráfico de intervalos mensal da energia calculada.
Fonte: Os autores, 2015

Analisando de maneira geral os gráficos de intervalos obtidos, pode-se observar que para todas as grandezas medidas existe uma considerável variação dos valores das médias e que os intervalos de desvio padrão também apresentam diferenças entre os meses. Dessa forma, conclui-se que dentro de um mês também existem muitas variações das medidas, o que pode gerar incerteza na definição de valores a se considerar no dimensionamento de equipamentos para o sistema piloto.

Como os valores das médias mensais não se mostraram uniformes, foram realizadas análises das medidas em semanas de diferentes épocas do ano. Com esta análise foi possível concluir que, apesar de apresentar algumas variações, as grandezas apresentam uma tendência semelhante para todos os dias. A partir disso, para se analisar os dados do ano inteiro, foram calculadas as médias das grandezas para cada horário de todos os dias do ano de 2014. Para ilustrar essas informações foram elaborados gráficos que são apresentados nas Figuras 50 a 53 a seguir.

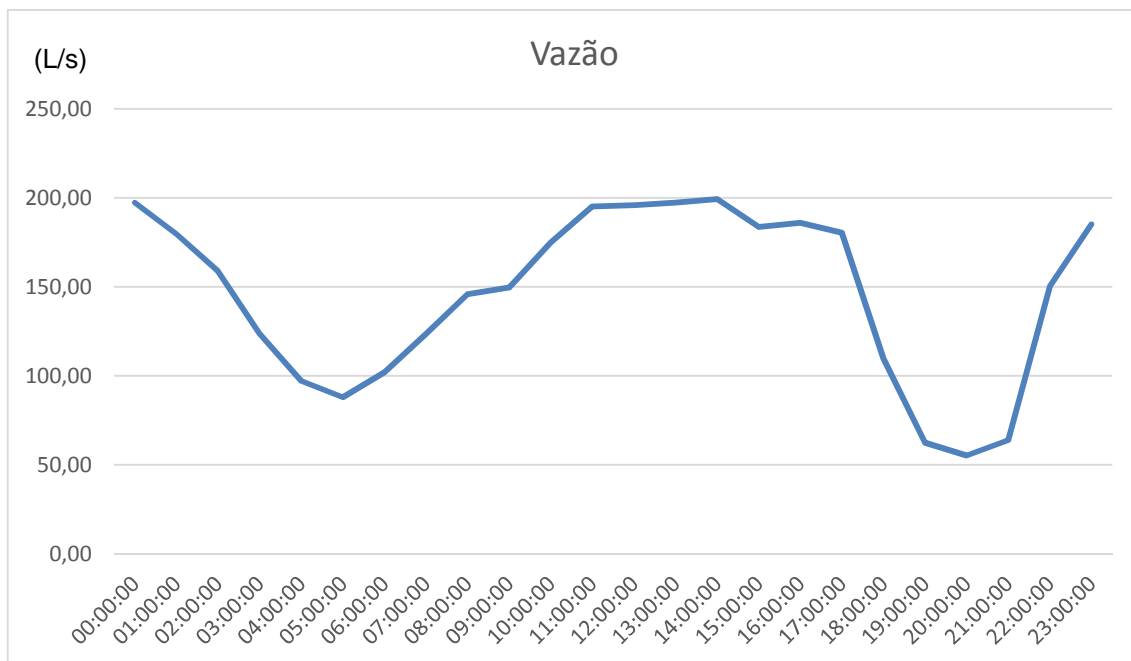


Figura 50: Gráfico das médias de vazão por horário de todos os dias de 2014.
Fonte: Os autores, 2015.

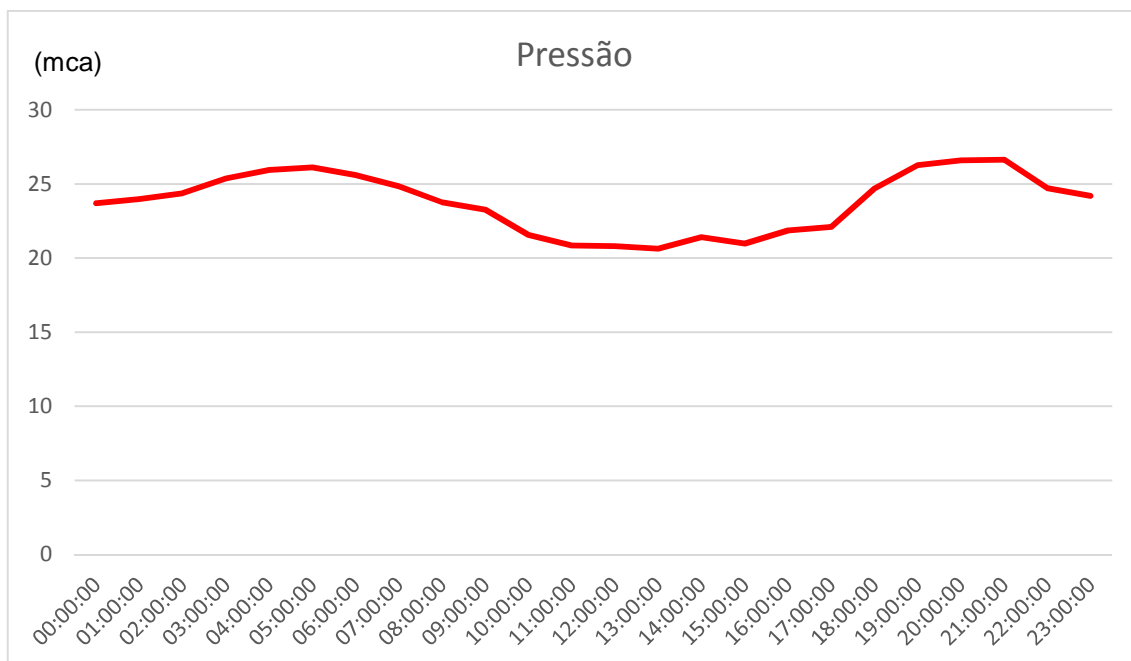


Figura 51: Gráfico das médias de pressão útil por horário de todos os dias de 2014.
Fonte: Os autores, 2015.

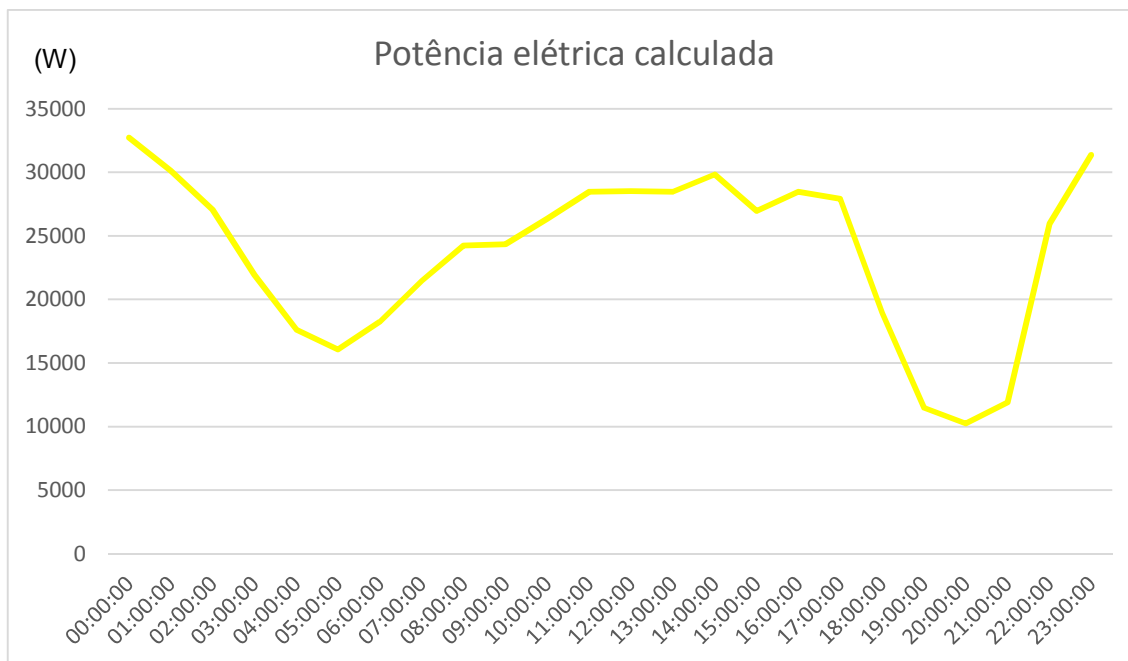


Figura 52: Gráfico das médias de potência calculada por horário de todos os dias de 2014.
Fonte: Os autores, 2015.

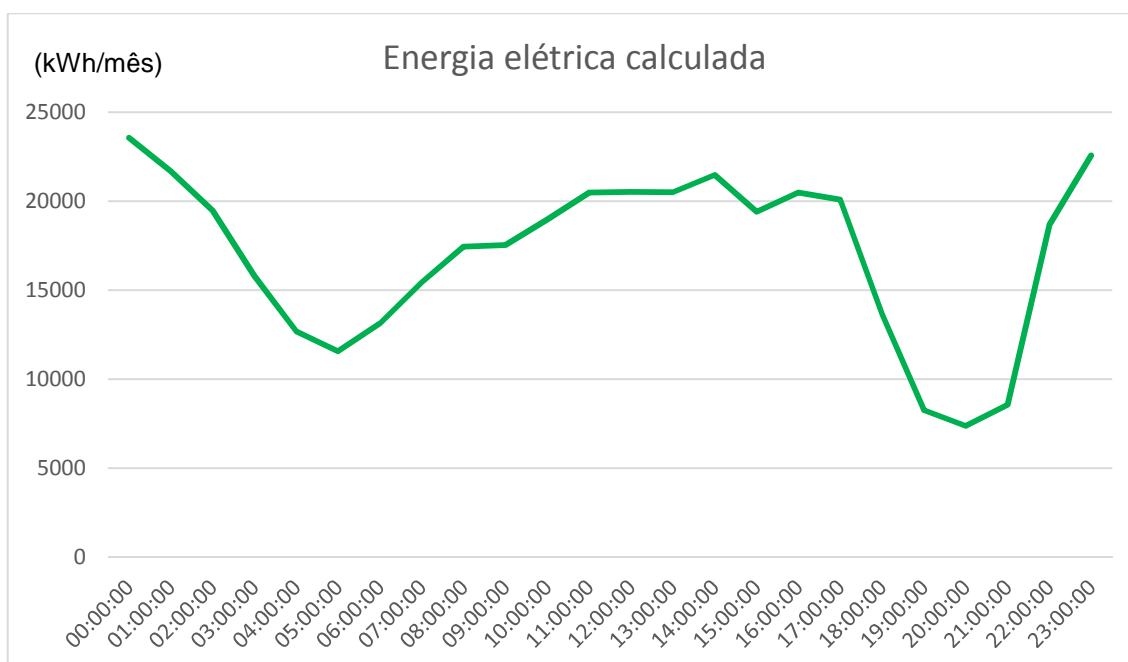


Figura 53: Gráfico das médias de energia calculada por horário de todos os dias de 2014.
Fonte: Os autores, 2015.

Na Figura 50 observa-se que na maior parte do tempo tem-se a vazão em um valor acima de 150 L/s e que em apenas dois momentos ela tem significativa redução. Como esta é a vazão de entrada de um reservatório, este comportamento é esperado, pois o reservatório deve estar abastecido com a sua máxima capacidade nos horários que antecedem os picos de consumo de água. Considerando que o comportamento

da vazão tende a se manter igual ou ainda aumentar nos anos subsequentes, pois a demanda de fornecimento de água da região tende a aumentar, é possível concluir que apesar desta variação, haverá vazão suficiente para geração de energia na maior parte do tempo de funcionamento do sistema, desde que valores considerados no dimensionamento sejam corretamente aplicados. Pode-se observar também, que há significativa diminuição de vazão.

Observando a Figura 51, conclui-se que a pressão útil apresenta pouca variação e que a diferença entre a máxima e a mínima é de aproximadamente 5 mca, características estas que já haviam sido observadas nos gráficos anteriores. Ao analisar a Figura 50 em paralelo com a Figura 51, percebe-se que em momentos que a vazão diminui consideravelmente, a pressão útil tem um aumento esperado devido ao fechamento parcial da válvula.

Ao fazer uma análise das Figuras 52 e 53, identifica-se que de maneira análoga aos gráficos de intervalos das Figuras 48 e 49, as potências e energias calculadas apresentam comportamento de variação muito semelhante à variação das vazões.

Com as análises estatísticas foram extraídas informações, tais como média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, valor máximo e mínimo para cada grandeza. No caso da vazão e pressão útil estas informações serão utilizadas para dimensionamento dos equipamentos a serem aplicados no sistema piloto. Já para potência e energia ilustram como deverá ser o comportamento elétrico do sistema. Tais informações foram retiradas tanto dos gráficos obtidos quanto do *software* utilizado nas análises. A Tabela 4 apresenta uma síntese destas informações.

Tabela 4 – Resumo geral das informações obtidas pelo tratamento estatístico.

	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Mediana	Máximo	Mínimo
Vazão (L/s)	146,16	88,50	0,61	161,79	391,93	0,00
Pressão útil (mca)	23,95	3,61	0,15	24,26	34,97	0,00
Potência calculada (W)	24440,00	13489,00	0,55	29313,00	53451,00	0,00
Energia calculada (kWh/mês)	17597,00	9712,00	0,55	21105,00	38485,00	0,00

Fonte: Os autores, 2015.

Tendo em vista que a mediana é um valor baseado na quantidade de ocorrências de medidas de um intervalo, definiu-se que os valores mais coerentes a

serem utilizados nos dimensionamentos são as medianas, o que pode garantir que maior parte do tempo haverá ocorrência destes valores ou bem próximos. Isto considerando que o sistema tenha comportamento semelhante ao do ano de 2014.

Com a utilização da mediana há mais confiabilidade na operação do sistema, visto que utilizando valores máximos, estes estariam presentes em poucos momentos, enquanto que com a utilização de valores próximos do mínimo haveria pouco aproveitamento do potencial disponível.

4.4. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para a implementação do sistema piloto de microgeração hidroenergética em questão, optou-se pela utilização de uma BFT acoplada a um motor de indução assíncrono funcionando como gerador por conta das vantagens já discutidas nos capítulos anteriores e pela disponibilidade de diversos modelos de bombas centrífugas e motores de indução assíncronos para uso no projeto. Estes fatores viabilizam a implementação do sistema piloto, já que não há a necessidade de realizar investimentos altos na aquisição de equipamentos.

Feita a opção por utilizar um conjunto BFT-MIG, foi realizado o dimensionamento e especificação dos mesmos, seguindo metodologias já descritas nos capítulos 2.6 e 2.7 deste mesmo documento.

4.4.1. Dimensionamento da bomba funcionando como turbina

Para se dimensionar e especificar a bomba a ser utilizada como turbina, foram utilizadas as medianas de vazão e pressão útil, obtidas por meio da análise estatística apresentada anteriormente. Definiu-se que a utilização destas seria mais coerente, pois conforme a análise, os valores ocorrem na maior parte do tempo. A tabela a seguir apresenta os valores da mediana de vazão e de pressão útil a serem consideradas no dimensionamento.

Tabela 5 – Medianas de vazão e pressão útil.

Vazão Q_t (L/s)	Pressão útil H_t (mca)
161,79	24,26

Fonte: Os autores, 2015.

Para tal dimensionamento, foi utilizado o método proposto por VIANA (2012) exposto no capítulo 2.6.4. Seguindo este método, inicialmente calcula-se a rotação específica da bomba para uma rotação de 3600 rpm e 1800 rpm por meio da equação 2.1.

$$n_{qA}(3600 \text{ rpm}) = \frac{10^3 \times n_t \times \sqrt{Q_t}}{(H_t \times g)^{0,75}} = \frac{10^3 \times 60 \times \sqrt{0,16179}}{(24,26 \times 9,81)^{0,75}} = 398,30$$

$$n_{qA}(1800 \text{ rpm}) = \frac{10^3 \times n_t \times \sqrt{Q_t}}{(H_t \times g)^{0,75}} = \frac{10^3 \times 30 \times \sqrt{0,16179}}{(24,26 \times 9,81)^{0,75}} = 199,15$$

Como apenas o n_{qA} para 1800 rpm se encontra entre 60 e 200, essa deverá ser a rotação adotada para a operação da BFT.

O próximo passo, é a determinação dos coeficientes k_a e k_q por meio da Figura 54.

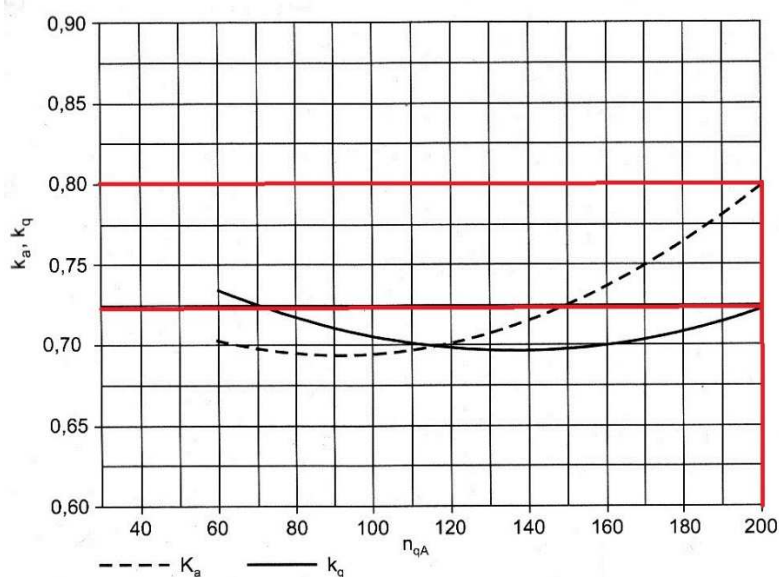


Figura 54: Coeficientes de vazão e altura.
Fonte: VIANA, 2012.

Portanto, tem-se aproximadamente:

$$k_a \cong 0,80$$

$$k_q \cong 0,73$$

Deste modo, calcula-se pela equação 2.2 os valores de vazão e altura manométrica para o equipamento operando como bomba.

$$Q_b = k_q \times Q_t = 0,73 \times 161,79 = 118,11 \text{ L/s}$$

$$H_b = k_a \times H_t = 0,80 \times 24,26 = 19,41 \text{ mca}$$

Como as bombas operam abaixo da rotação de 1800 rpm devido ao escorregamento do motor, deve-se corrigir a altura e vazão encontradas para a rotação nominal da bomba pela equação 2.3 apresentada no capítulo 2.6.4.

$$Q_{bc} = \frac{n_{nb}}{n_t} \times Q_b = \frac{1750}{1800} \times 118,11 = \mathbf{114,83 \text{ L/s}}$$

$$H_{bc} = \left(\frac{n_{nb}}{n_t}\right)^2 \times H_b = \left(\frac{1750}{1800}\right)^2 \times 19,41 = \mathbf{18,35 \text{ mca}}$$

A partir dos dados obtidos, pode-se selecionar a BFT nos catálogos dos fabricantes de bombas. Para o sistema piloto proposto, por se tratar de um projeto de cunho experimental, decidiu-se selecionar uma BFT disponível, assim parte dos custos com equipamentos pode ser diminuída. Esta bomba atende a especificação de altura manométrica porém opera com vazão menor do que a disponível no sistema. Os dados de placa são mostrados na Figura 55.

A estratégia adotada torna-se interessante porque futuramente mais BFTs podem ser associadas em paralelo, obtendo um melhor aproveitamento de geração de energia elétrica por conta da variação de vazão ao longo do dia que pôde ser observada na Figura 50. De modo que, em momentos em que existe vazão maior do que a admitida por uma das BFTs, as outras poderão ser acionadas sucessivamente.



Figura 55: Placa de identificação da bomba selecionada.
Fonte: Os autores, 2015.

Como o dado de vazão da bomba mostrado na placa de identificação é apresentado em m^3/h e os cálculos são realizados em L/s , foi realizada a conversão cujo o resultado é mostrado na Tabela 6 juntamente com os demais parâmetros.

Tabela 6 – Vazão e pressão útil da bomba selecionada.

Vazão Q_b (L/s)	Pressão útil H_b (mca)	Rotação n (rpm)
55	18	1750

Fonte: Os autores, 2015.

A bomba selecionada é uma bomba da marca KSB modelo Omega-V 125-230B, sendo esta de estágio único, corpo espiral bipartido axialmente, com rotor radial de dupla sucção de 210 mm e com instalação na posição vertical. As suas flanges de sucção e recalque são de 125 e 200 mm, respectivamente, quando operando como bomba. A Figura 56 é uma foto do equipamento utilizado no sistema piloto, e a Figura 57 é a sua curva característica de operação para o ponto selecionado, este retirado do seu manual que se encontra no Anexo C. Nele identifica-se que o rendimento da bomba é de 78%.



Figura 56: Foto da bomba selecionada.
Fonte: Os autores, 2015.

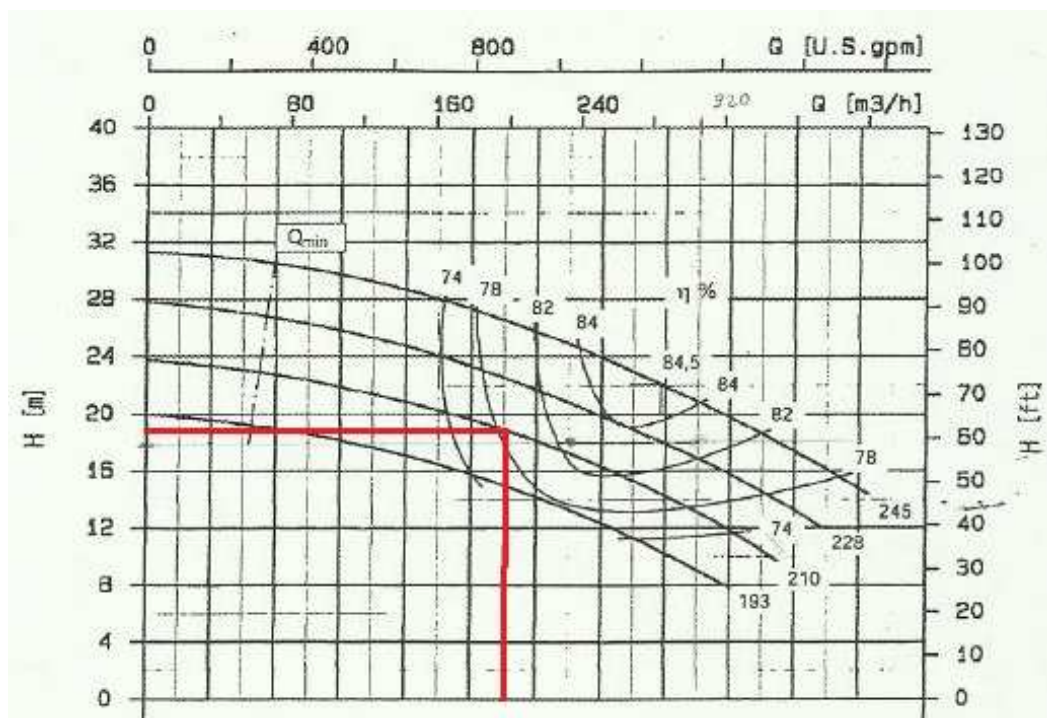


Figura 57: Curva característica da bomba selecionada.
Fonte: Adaptado de KSB, 2006.

Na metodologia proposta por Viana (2012) a seleção da BFT se dá a partir do potencial de geração disponível. No entanto, a BFT selecionada foi subdimensionada pelos motivos explanados anteriormente. Desta forma deve-se seguir o caminho

inverso da metodologia para poder calcular a vazão que a bomba selecionada irá operar funcionando como turbina para depois determinar a potência de eixo disponível para o dimensionamento do MIG.

Com os dados da Tabela 6, utilizando a equação 2.1 calcula-se a rotação específica da bomba selecionada. Segundo Viana (2012), por se tratar de uma bomba de rotor de dupla sucção, a vazão utilizada para o cálculo da rotação específica deverá ser dividida por dois. Assim $Q_b = 22,5$ L/s.

$$n_{qA}(1750 \text{ rpm}) = \frac{10^3 \times n_b \times \sqrt{Q_b}}{(H_{bc} \times g)^{0,75}} = \frac{10^3 \times 29,17 \times \sqrt{0,0225}}{(18,35 \times 9,81)^{0,75}} = 89,06$$

O próximo passo é a determinação do coeficiente k_q por meio da Figura 58.

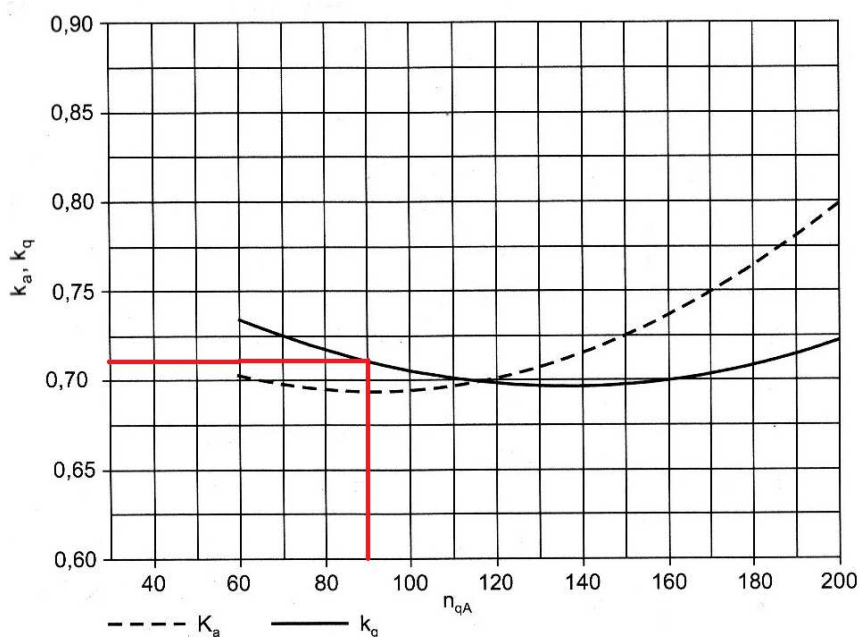


Figura 58: Coeficientes de vazão e altura.
Fonte: VIANA, 2012.

Portanto, tem-se aproximadamente:

$$k_q \cong 0,71$$

Desse modo, calcula-se pela equação 2.2 o valor da vazão para o equipamento operando como turbina.

$$Q_t = \frac{Q_b}{k_q} = \frac{55}{0,71} = 77,47 \text{ L/s}$$

Assim, por meio da pressão útil do potencial (H_t) mostrado na Tabela 5, da vazão nominal (Q_t) acima, do rendimento da bomba selecionada que foi retirado da sua curva característica e considerando-se $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, pode-se calcular a potência de eixo da BFT utilizando a equação 4.13 proposta por (VIANA, 2012).

$$P_{et} = \frac{g \times Q_t \times H_t \times \eta_t}{1000} \quad (4.13)$$

Em que:

$P_{et}[\text{kW}]$ – potência de eixo da BFT;

$g[\text{m/s}^2]$ – aceleração da gravidade;

$Q_t[\text{L/s}]$ – vazão nominal;

$H_t[\text{mca}]$ – pressão útil;

$\eta_t[1]$ – rendimento da BFT.

Logo, tem-se:

$$P_{et} = \frac{9,81 \times 77,47 \times 24,26 \times 0,78}{1000} = 14,38 \text{ kW}$$

Dessa forma, sabe-se que a BFT irá fornecer uma potência de 14,38 kW no seu eixo, esta será entregue diretamente ao eixo do MIG por meio de um acoplamento flexível do tipo ômega.

4.4.1.1. Verificações para aplicação prática da BFT

Segundo Viana (2012), algumas verificações devem ser realizadas para garantir que a BFT opere de forma segura nas aplicações práticas. São elas:

- Pressão na carcaça da BFT

Deve-se verificar a pressão que a carcaça da bomba vai ser submetida devido ao aumento da altura manométrica quando operando como BFT. De acordo com o manual da BFT selecionada, o fabricante indica que a pressão máxima de trabalho é de 16 bar. Logo:

$$\begin{aligned} p_{\max t} &= 24,26 \text{ mca} \\ p_{\max b} &= 16 \text{ bar} = 163,16 \text{ mca} \\ p_{\max t} &< p_{\max b} \end{aligned}$$

- Tensão máxima no eixo da BFT

A operação da BFT implica em um aumento de sua potência de eixo quando comparado ao funcionamento como bomba. Viana (1987) propõe a seguinte verificação por meio das equações 4.14 e 4.15.

$$\tau_{\max e} \leq \tau_{adm} \quad (4.14)$$

Em que:

$\tau_{\max e}$ [N/m²] – Tensão máxima aplicada no eixo;

τ_{adm} [N/m²] – Tensão admissível do material do eixo.

$$\tau_{\max e} = 0,81 \times \frac{P_e}{\eta \times D_e^3} \quad (4.15)$$

Em que:

P_e [W] – potência de eixo da BFT;

η [rpm] – rotação da BFT;

D_e [m] – diâmetro do eixo da BFT.

Por meio do catalogo do fabricante verifica-se que o eixo da BFT possui 45 mm de diâmetro. Utilizando a equação 4.15 tem-se:

$$\tau_{\max e} = 0,81 \times \frac{14380}{1800 \times 0,045^3} = 87669,56 \text{ N/m}^2$$

De acordo com o fabricante da bomba, o material do eixo é AISI 420 e sua tensão admissível é de aproximadamente 655000 kN/m². Dessa forma, não haverá problema de solitação do eixo.

- Rotação de disparo da BFT

A BFT é projetada para operar em uma determinada rotação, que se for superada, poderá causar danos no equipamento girante. A equação 4.16 foi obtida experimentalmente por Viana (1987), e permite o cálculo da rotação de disparo.

$$n_{dt} \leq 1,53 \times n_{nb} \quad (4.16)$$

Em que:

n_{dt} [rpm] – rotação de disparo da BFT;

n_{nb} [rpm] – rotação nominal da bomba.

Assim, utilizando a Equação 4.16 calcula-se a rotação de disparo da BFT.

$$n_{dt} \leq 1,53 \times 1750 \leq 2678 \text{ rpm}$$

Essa será a máxima rotação alcançada pela BFT quando a máquina estiver a vazio, ou seja, sem carga.

- Rotação invertida da bomba

Na inversão da rotação da BFT deve-se verificar a fixação do rotor no eixo. A bomba selecionada possui a fixação por chaveta, o que garante a sua fixação na inversão do sentido.

- Mancal

Deve-se conferir se o mancal da BFT pode operar com a rotação invertida. Na bomba selecionada o mancal é de rolamento lubrificado a graxa, portanto não há problema com a rotação invertida.

- Vedação do eixo

A vedação do eixo é feita por meio de anéis de gaxetas provido de luva protetora. Estes não possuem limitações com a inversão de fluxo de água.

Assim que as verificações para aplicação prática foram realizadas, conclui-se que a BFT não terá problemas na sua operação, e o próximo passo é o dimensionamento do motor de indução operando como gerador utilizando como parâmetro a potência de eixo da BFT

4.4.2. Dimensionamento do motor de indução assíncrono operando como gerador

A seleção do motor de indução foi realizada por meio da metodologia apresentada no capítulo 2.7.4 deste trabalho. Conhecendo-se a potência de eixo da máquina primária, neste caso uma BFT, por meio da Figura 59 determina-se a relação P_{et}/P_{en} . A potência de eixo da BFT (P_{et}) foi determinada no item 4.4.1, e seu valor é de 14,38 kW.

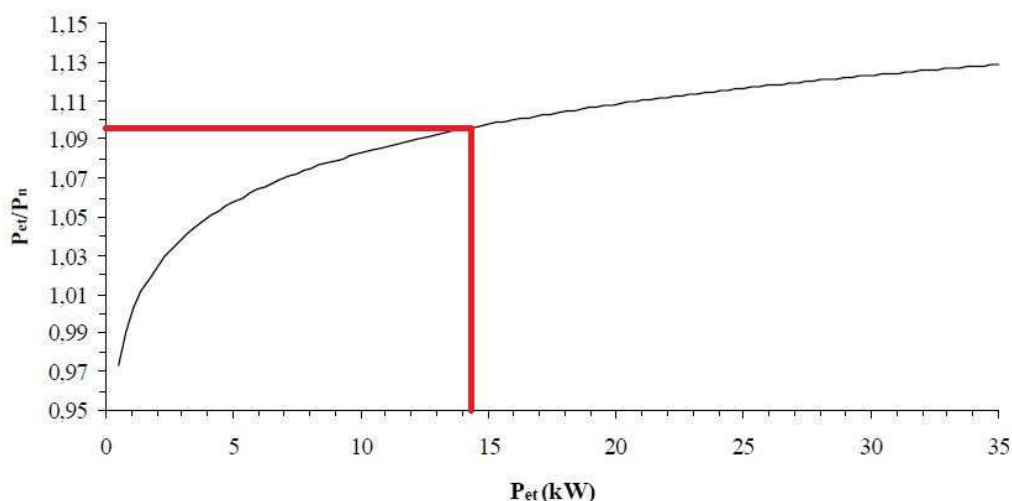


Figura 59: Seleção do motor para ser utilizado como gerador.
Fonte: CHAPALLAZ et al., 1990.

Portanto, tem-se aproximadamente:

$$\frac{P_{et}}{P_n} \cong 1,10$$

Assim, pela equação 2.6 calcula-se a potência nominal do motor que será utilizado como gerador.

$$P_n = \frac{P_{et}}{\frac{P_{et}}{P_n}} = \frac{14,38}{1,10} = 13,07 \text{ kW}$$

Como não existe motores de indução com esta potência padronizada nos catálogos dos fabricantes, deve-se escolher um motor com potência nominal imediatamente superior, portanto 15 kW. Porém, assim como aconteceu na seleção da BFT, selecionou-se um motor disponível em estoque da companhia com características construtivas adequadas ao acoplamento da BFT. Desta forma, o motor selecionado foi de 18,50 kW cuja placa de identificação é apresentada na Figura 60 e seus dados nominais são mostrados na Tabela 7.



Figura 60: Foto da placa de identificação do motor selecionado.
Fonte: Os autores, 2015.

Tabela 7 – Dados extraídos da placa de identificação do motor

Potência nominal P_{nm} (kW)	Tensão V (V)	Corrente I (A)	Rotação n (rpm)	Rendimento n_m (%)	FP $\cos\phi$
18,50	220	64,70	1760	92,60	0,81

Fonte: Os autores, 2015.

4.4.3. Dimensionamento do capacitor para autoexcitação

Para a autoexcitação do motor de indução funcionando como gerador para o sistema piloto, foi calculado o capacitor utilizando a metodologia apresentada no capítulo 2.7.4 deste mesmo trabalho.

A partir do valor da potência nominal do motor que irá operar como gerador, com a Figura 61 foi identificada a relação experimental $\text{sen}(\phi_g)/\text{sen}(\phi_m)$.

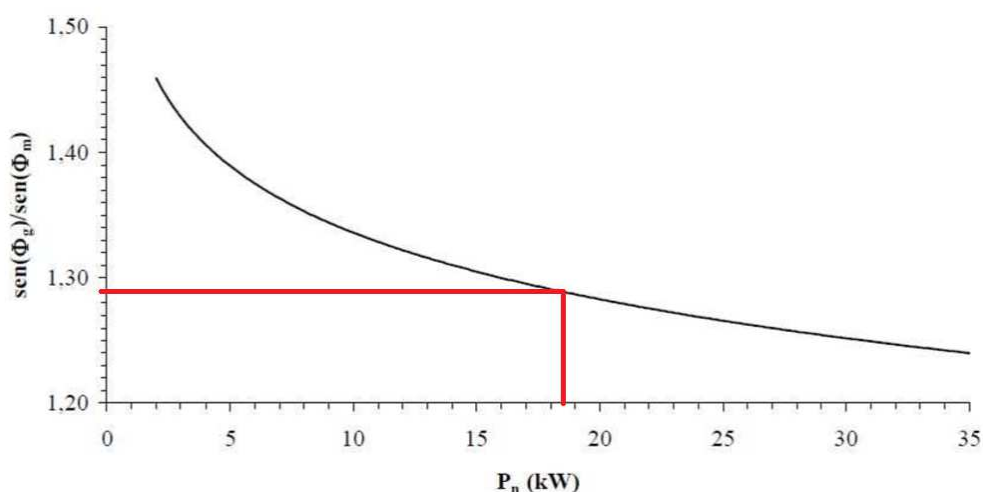


Figura 61: Relação experimental entre $\text{sen}(\phi_g)$ do gerador e $\text{sen}(\phi_m)$ do motor em função da potência nominal do motor de 18,5 kW.
Fonte: Adaptado de CHAPALLAZ *et al.*, 1990.

Sendo assim, para o motor de 18,5 kW tem-se:

$$\frac{\text{sen}(\varphi_g)}{\text{sen}(\varphi_m)} \cong 1,29$$

Considerando a potência nominal e o rendimento a plena carga do motor e aplicando-se esses valores na equação 2.7, calcula-se a potência elétrica absorvida pelo motor.

$$P_{elm} = \frac{P_n}{n_m} = \frac{18,5}{0,926} = 19,98 \text{ kW}$$

Com base no fator de potência do motor determina-se o ângulo de fase da máquina.

$$\cos\varphi_m = 0,81 \rightarrow \varphi_m = \arccos 0,81 = 35,90^\circ$$

Conhecendo-se este ângulo, calcula-se a potência reativa do motor de indução por meio da equação 2.8.

$$Q_m = P_{elm} \times \tan(\varphi_m) = 19,98 \times \tan(35,90^\circ) = 14,46 \text{ kvar}$$

De posse da relação $\text{sen}(\phi_g)/\text{sen}(\phi_m)$ e da potência reativa da máquina operando como motor, calcula-se a potência reativa da máquina operando como gerador por meio da equação 2.9.

$$Q_g = \frac{\text{sen}(\phi_g)}{\text{sen}(\phi_m)} \times Q_m = 1,29 \times 14,46 = 18,66 \text{ kvar}$$

Logo, Q_g é a potência reativa de excitação do gerador de indução a plena carga para uma frequência de 50 Hz. Portanto é necessário que se calcule a potência reativa para a frequência nominal de 60 Hz utilizando a equação 2.10 proposta por (VIANA, 2012).

$$Q_{60} = Q_{50} \times \frac{50}{60} = 18,66 \times \frac{50}{60} = \mathbf{15,55 \text{ kVAr}}$$

Dessa forma, concluiu-se que será necessário um banco capacitivo trifásico de 15,55 kVAr ligado em delta para a auto excitação do motor funcionando como gerador do sistema piloto. Como esta não é uma potência de padrão comercial, foram selecionados dois módulos capacitivos trifásicos ligados em delta de 7,5 kVAr cada, somando assim 15 kVAr quando conectados em paralelo entre si.

4.5. PROJETO EXECUTIVO

Após o dimensionamento do conjunto BFT-MIG, realizou-se um projeto executivo contendo plantas desenhadas em plataforma CAD, detalhes da instalação e um termo de referência para submissão a empresas competentes para a execução dos serviços. Para elaboração destes documentos, primeiramente foi realizada uma sondagem do terreno para identificar a profundidade exata da adutora em estudo assim como possíveis obstáculos.

Como mencionado anteriormente, a instalação do sistema piloto não poderia interferir na operação da unidade de reservação e abastecimento. Por esse motivo, conforme se pode visualizar na Figura 62, decidiu-se implementar o sistema piloto em

paralelo à válvula controladora de vazão FCV01. Desta forma, em caso de falha do conjunto BFT-MIG, a válvula poderá ser operada normalmente sem que haja comprometimento no abastecimento do reservatório. Além disso, dentro das possibilidades de instalação disponíveis, optou-se pela disposição do conjunto a 45° em relação a adutora de entrada, assim impõem-se uma menor perda de carga ao sistema e o espaço físico necessário para instalação fica reduzido.

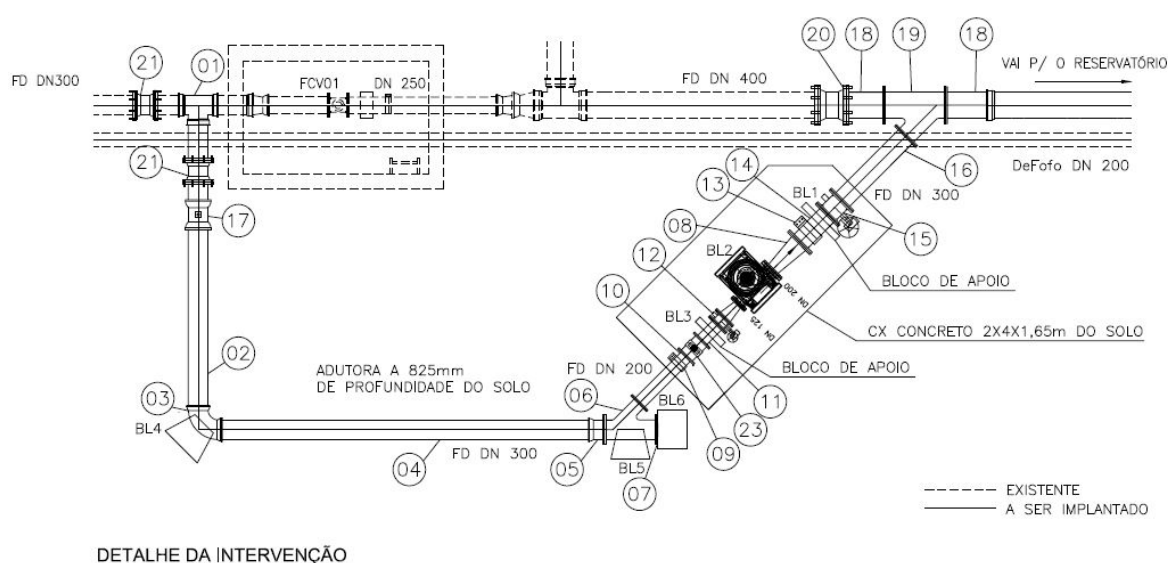


Figura 62: Diagrama esquemático do detalhe da intervenção.
Fonte: Os autores, 2015.

Como pode ser visto na Figura 62, a adução de água para o sistema piloto foi realizada por de um “T” de derivação (01) na adutora de 300 mm antes da passagem pela FCV01. Esta conduz a água sob pressão por meio de uma tubulação enterrada de mesmo diâmetro até uma derivação em 45° com redução para 200 mm (06). Na entrada da BFT, foi instalado um medidor de vazão eletromagnético (23) e um manômetro de ponteiro. A derivação em 45° (6) foi escolhida por permitir que o sistema seja expandido com a instalação de mais conjuntos BFT-MIG futuramente.

Foram instaladas duas válvulas borboletas (12 e 15) e uma de gaveta (17) para estanqueidade do sistema em situações de manutenção da BFT. A válvula borboleta 12 opera também como controle de vazão da BFT, esta denominada FCV02.

Para suporte dos esforços solicitados pelo sistema hidráulico em questão, uma empresa especializada foi contratada para realizar o dimensionamento de blocos de ancoragem (BL1 ao BL6) e uma caixa para instalação do conjunto BFT-MIG, todos em concreto armado. Conforme a Figura 63, esta caixa foi projetada com 4,00 m de

comprimento por 2,00 m de largura e 1,65 m de profundidade para acomodar o conjunto gerador, o transmissor de vazão e as válvulas para operação do sistema. Este projeto encontra no Anexo D.

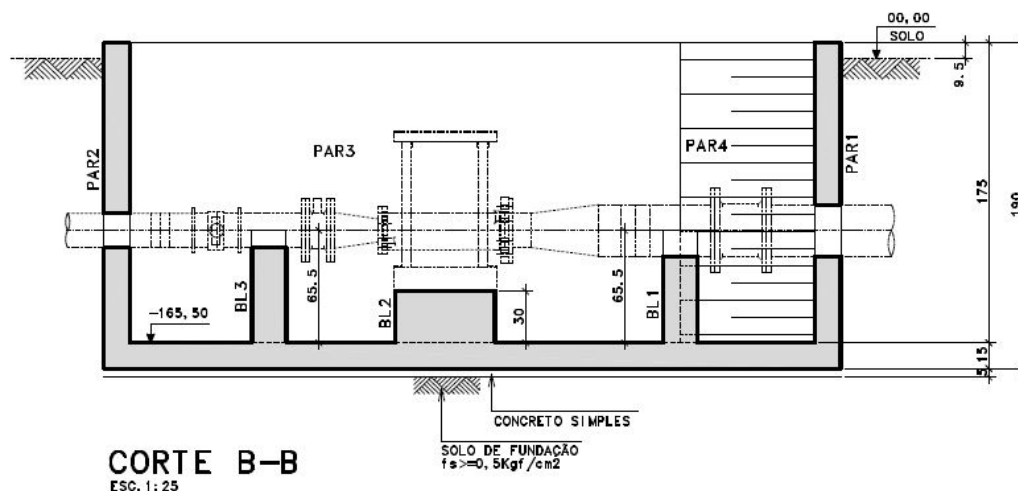


Figura 63: Diagrama esquemático em corte do projeto da caixa da BFT.
Fonte: Os autores, 2015.

Após o fluxo de água acionar o conjunto gerador, retorna a adutora em direção ao reservatório por meio de uma derivação em 45° (19).

Toda tubulação foi projetada em ferro fundido dúctil com flanges padrão PN10.

A lista completa das peças necessárias para implantação do sistema piloto assim como as plantas das intervenções e o termo de referência para contratação dos serviços encontram-se no Apêndice A.

4.6. IMPLEMENTAÇÃO

Para a instalação do sistema piloto foram removidos aproximadamente 37 m³ de terra em escavação mecânica para acomodação da tubulação hidráulica, construção da caixa da BFT e blocos de ancoragem. Após o termino, 25 m³ de terra foram recompostos. As Figuras 64 a 66 mostram esta etapa dos trabalhos.



Figura 64: Foto da escavação, remoção de terra e acomodação do sistema hidráulico.
Fonte: Os autores, 2016.



Figura 65: Foto dos blocos de ancoragem.
Fonte: Os autores, 2016.



Figura 66: Foto da caixa com a BFT instalada.
Fonte: Os autores, 2016.

A tubulação era prevista para ser executada em ferro fundido dúctil com flanges padrão PN10, porém, por recomendação da contratada, para a realização dos serviços utilizou-se de tubulação em aço mantendo o padrão das flanges.

Após a recomposição do terreno, foram executados os acabamentos como guarda corpo da caixa da BFT, escada para acesso e pintura geral. A Figura 67 demonstra essa etapa da instalação concluída.



Figura 67: Foto da caixa acabada com a BFT instalada.
Fonte: Os autores, 2016.

Após a conclusão da instalação da BFT, deu-se início a instalação dos componentes elétricos necessários para os ensaios elétricos preliminares.

Conforme mencionado na seção 4.4.2, selecionou-se um motor de indução de 18,5 kW de potência para operar como gerador. Para realizar os ensaios de geração de energia elétrica foram instaladas três resistências de 6000 W cada, conectadas em delta, totalizando 18 kW de potência (Figura 68). As resistências foram mergulhadas no reservatório de água da unidade por meio de uma tampa de inspeção a uma profundidade segura para garantir a sua submersão pelo período dos testes. As Figuras 69 e 70 mostram a instalação das resistências no reservatório.



Figura 68: Foto das resistências ligadas em delta.
Fonte: Os autores, 2016.



Figura 69: Foto da tampa de inspeção do reservatório.
Fonte: Os autores, 2016.



Figura 70: Foto do cabo das resistências mergulhadas.
Fonte: Os autores, 2016.

Para o monitoramento e controle do conjunto BFT-MIG em funcionamento, foi confeccionado um painel elétrico aonde foram instalados os seguintes componente:

- Dois módulos capacitivos trifásicos marca Epcos modelo MKP220-D-6.3 de 7,5 kVAr cada em 220V.
- Três TCs de medição tipo janela marca Kron modelo KR127 de relação 50/5 A classe 1,2C2,5.
- Um multimedidor trifásico digital micro processado marca Kron modelo Mult-K sem memória de massa.
- Uma fonte de alimentação chaveada marca Murr modelo MCS-B 5-110-240/254, entrada 110-240 VAC, saída 24 VCC 5 A.
- Um disjuntor motor trifásico marca Siemens modelo 3RV1041 com ajuste para 67 a 75 A.
- Um disjuntor trifásico classe C de 50 A marca Siemens.
- Um disjuntor bifásico classe C de 6 A marca ABB.

Os capacitores são necessários para a excitação do MIG e foram dimensionados no capítulo 4.4.3. Os TCs de medição foram instalados na saída do gerador afim de medir somente os parâmetros elétricos da carga. Em conjunto com o multimedidor, eles têm a capacidade de monitorar os seguintes parâmetros elétricos: tensão, corrente, frequência, potência ativa, potência reativa, potência aparente e fator de potência na carga.

Para proteção do sistema, foi instalado um disjuntor classe C de 50 A na alimentação dos capacitores, um disjuntor motor na saída do MIG ajustado para a sua corrente nominal e um disjuntor classe C de 6 A para os serviços auxiliares, que são a alimentação do multimedidor e da fonte 24 V. A fonte é necessária para a alimentação do transmissor de vazão eletromagnético instalado na entrada da BFT. A Figura 71 mostra o painel para monitoramento e controle do MIG.

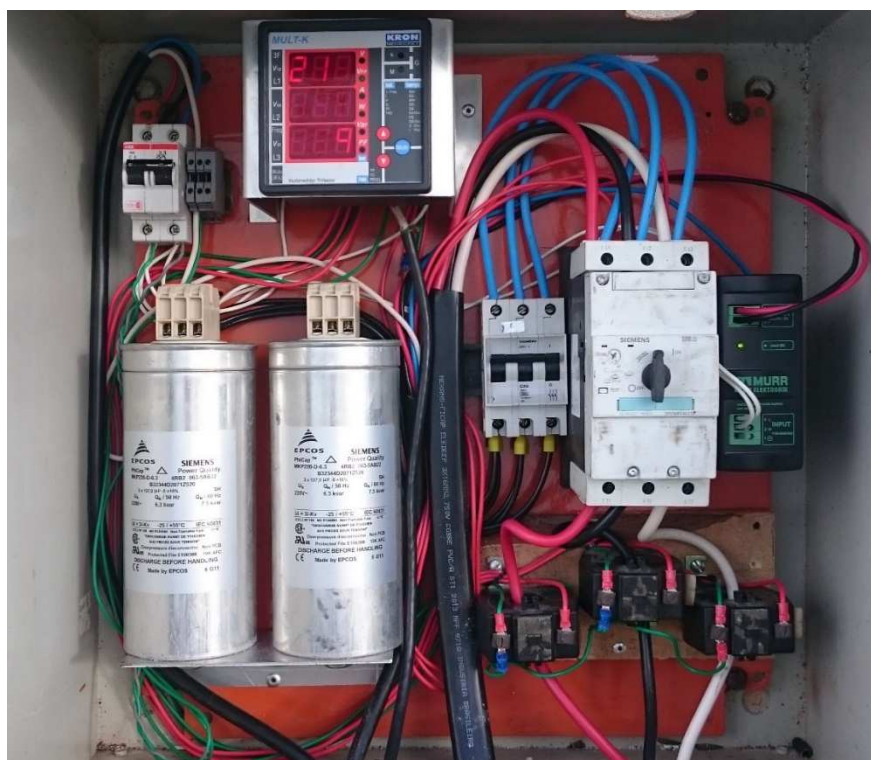


Figura 71: Foto do painel elétrico para os ensaios elétricos.
Fonte: Os autores, 2016.

Como mencionado no capítulo 4.6, além dos parâmetros elétricos, foram instalados instrumentos para a aquisição dos dados hidráulicos na entrada da BFT. São eles: um transmissor de vazão eletromagnético de 200 mm de diâmetro marca Siemens modelo Sitrans Magflow MAG5100; um manômetro de ponteiro marca Record com fundo de escala de 7 kgf/cm². Estes instrumentos estão apresentados nas Figuras 72 e 73.



**Figura 72: Foto do medidor de vazão instalado na entrada da BFT.
Fonte: Os autores, 2016.**



**Figura 73: Foto do manômetro instalado na entrada da BFT.
Fonte: Os autores, 2016.**

Por fim, para monitoramento dos parâmetros elétricos do sistema, foi utilizado o “software” RedeMB versão 6.04 de propriedade da Kron. Esse “software” foi conectado ao multimedidor por meio da porta serial RS-485.

4.7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Uma vez concluídas as etapas essenciais para a implementação do sistema piloto, realizou-se uma série de experimentos para avaliar, na prática, o funcionamento do sistema, o seu desempenho e suas principais características relevantes.

4.7.1. Avaliação do sistema operando sem carga

O primeiro ensaio do sistema foi realizado sem carga no MIG para verificar a sua operação à vazio, dessa forma pode-se ter uma primeira análise de operação do sistema sem riscos aos equipamentos envolvidos. Preliminarmente, a válvula de saída da BFT, denominada FBV05, foi totalmente aberta. Na sequência, a válvula de entrada, denominada FCV02, foi aberta gradativamente para liberar o fluxo de água através do sistema, variando a sua abertura em aproximadamente 10 L/s por medição realizada. Pela Figura 74 é possível verificar o comportamento do MIG sem carga.

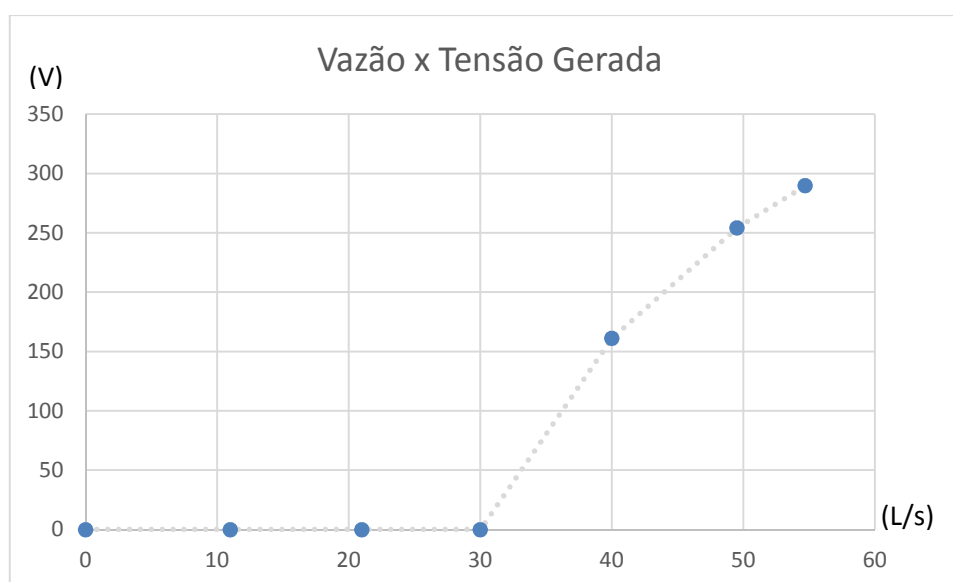


Figura 74: Gráfico do escorvamento do MIG a vazio.
Fonte: Os autores, 2016.

Observando a Figura 74, pode-se visualizar o ponto de escorvamento da máquina, que ocorre com vazão entre 30 e 40 L/s. Aumentando ainda mais a vazão do sistema verificou-se que, sem carga, o MIG atinge quase 290 V de tensão gerada com aproximadamente 55 L/s de vazão. Nesse ponto, a abertura da válvula de controle foi interrompida para que a resistência de isolamento do gerador não fosse comprometida.

4.7.2. Avaliação do sistema operando com carga

O procedimento para o ensaio do conjunto BFT-MIG com carga foi o mesmo do ensaio anterior, porém com a carga diretamente conectada aos enrolamentos do gerador. Neste processo, foi verificado que o MIG não consegue escorvar para nenhuma vazão aplicada ao sistema.

Com base na tentativa anterior, a carga foi desconectada e realizou-se um novo procedimento. Nele, iniciou-se a operação do sistema com vazão de 40 L/s, na qual sabe-se que ocorre escorvamento. A partir deste ponto, foi conectada a carga no MIG por meio do disjuntor de proteção. Neste momento a máquina perdeu a sua excitação imediatamente, não resultando em geração de energia. Isto é esperado pelo fato que a conexão da carga provoca um aumento na corrente que, conseqüentemente, aumenta a queda de tensão nas impedâncias dos circuitos do estator e do rotor.

Na sequência, novas tentativas para conexão da carga foram realizadas em diferentes níveis de vazão, partindo de 40 L/s. Observou-se, que para todos os níveis de vazão inferiores a 55 L/s, o MIG perde excitação imediatamente após o acionamento da carga. Somente com vazões acima de 55 L/s é que o mesmo conseguiu assumir a carga e gerar energia elétrica, vale salientar que neste momento a tensão gerada pelo MIG passa de aproximadamente 290 V para 140 V com a conexão da carga. Para se chegar a potência nominal do sistema, a vazão de entrada da BFT foi aumentada até que se atingisse os valores elétricos nominais do gerador, que ocorreram com vazões entre de 93 a 96,20 L/s. A Tabela 8 apresenta a síntese das medidas elétricas realizadas associadas às grandezas hidráulicas para tal.

Tabela 8 – Dados de medição na operação da BFT-MIG com carga nominal

Vazão Q_t (L/s)	Pressão H_t (mca)	Tensão Gerada V_g (V)	Frequência Gerada f_g (Hz)	Potência Ativa da Carga P_{elg} (kW)
83,50	30,00	185,19	58,70	12,62
85,50	32,00	189,02	58,70	13,14
86,50	33,00	191,61	58,60	13,50
87,80	33,00	191,89	58,80	13,54
89,20	33,00	194,24	58,70	13,88
90,50	33,00	198,01	58,90	14,42
91,50	34,00	205,84	59,30	15,58
93,00	35,00	209,41	59,70	16,13
94,80	35,00	216,33	60,20	17,21
96,20	35,00	220,12	60,50	17,83

Fonte: Os autores, 2016.

Observa-se pela Tabela 8 que entre as vazões de 93 a 96,2 L/s, o sistema opera de maneira adequada com tensão e frequência elétricas de acordo com a norma estabelecida pela ANEEL (PRODIST, módulo 8). Observa-se ainda que a variação da vazão tem maior influência na tensão gerada. Variando a vazão de 83,50 L/s a 96,20 L/s, o que representa aproximadamente 13%, a tensão tem uma variação de quase 16%, enquanto que a frequência varia menos do que 3%.

Para se obter os parâmetros elétricos referentes ao MIG em sua operação em condições nominais, foi realizado uma metodologia de cálculos, que são apresentados na sequência.

Nos ensaios também foram medidas as correntes trifásicas na carga e nos capacitores de excitação da máquina. A partir destes dados, utilizando a média dessas correntes, calculou-se a corrente no MIG utilizando a equação 4.17.

$$I_g = \sqrt{I_{cap}^2 + I_c^2} \quad (4.17)$$

Em que:

I_g [A] – corrente no MIG;

I_{cap} [A] – corrente média trifásica nos capacitores;

I_c [A] – corrente média trifásica na carga.

Para calcular o fator de potência do MIG, foram calculadas a potência reativa e aparente do mesmo. Para isso, utilizou-se a equação 4.18 e 4.19, respectivamente.

$$Q_g = \sqrt{3} \times V_g \times I_{cap} \quad (4.18)$$

Em que:

Q_g [kVAr] – potência reativa do MIG;

V_g [V] – tensão gerada;

I_{cap} [A] – corrente média trifásica nos capacitores.

$$S_g = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \quad (4.19)$$

Em que:

S_g [kVAr] – potência aparente do MIG;

V_g [V] – tensão gerada;

I_g [A] – corrente no MIG.

Assim, foi calculado o fator de potência do MIG por meio da equação 4.20.

$$\cos \varphi_g = \frac{P_g}{S_g} \quad (4.20)$$

Em que:

$\cos \varphi_g$ [1] – fator de potência do MIG;

P_g [kW] – potência ativa do MIG;

S_g [kVA] – potência aparente do MIG.

Com o intuito de determinar o rendimento do MIG, fez-se necessário calcular a sua potência de eixo. Viana (2012) demonstra que esta potência pode ser calculada pela equação 4.21.

$$P_{eg} = P_{elg} + P_n \times \left(\frac{1}{n_m} - 1 \right) \quad (4.21)$$

Em que:

P_{eg} [kW] – potência de eixo do MIG;

P_{elg} [kW] – potência elétrica gerada pelo MIG;

P_n [kW] – potência nominal do motor de indução;

n_m [1] – rendimento do motor de indução.

Logo, a partir das medidas realizadas em campo e aplicadas na metodologia descrita acima, foi elaborada uma tabela com todos os parâmetros necessários para a determinação do rendimento do MIG, da BFT e total do conjunto nos momentos que se obtém tensão e frequência nominais. A Tabela 9 a seguir mostra estes dados.

Tabela 9 – Dados de medição e calculados na operação da BFT-MIG com carga nominal

Vazão Q_t (L/s)	Pressão H_t (mca)	Tensão Gerada V_g (V)	Frequência Gerada f_g (Hz)	Potência Ativa da Carga P_{elg} (kW)	Corrente MIG* I_g (A)	Potência Reativa MIG* Q_g (kVAr)	Potência Aparente MIG* S_g (kVA)	FP MIG* $\cos\phi_g$	Potência Eixo MIG* P_{eg} (kW)
93,00	35,00	209,41	59,70	16,13	58,94	14,02	21,38	0,75	17,61
94,80	35,00	216,33	60,20	17,21	60,85	14,95	22,80	0,75	18,69
96,20	35,00	220,12	60,50	17,83	62,17	15,62	23,70	0,75	19,31

* Dados calculados a partir de grandezas elétricas medidas.

Fonte: Os autores, 2016.

Verifica-se na Tabela 9 que a potência reativa de 15,62 kVAr para autoexcitação do MIG (Q_g) ficou próxima da calculada de 15,55 kVAr no ensaio que se obteve potência ativa de 17,83 kW.

Para a determinação do rendimento do MIG, foi utilizada a equação 4.22 proposta por (VIANA, 2012).

$$n_g = \frac{P_{elg}}{P_{eg}} \times 100 \quad (4.22)$$

Em que:

n_g [1] – rendimento do MIG;

P_{elg} [kW] – potência elétrica gerada pelo MIG;

P_{eg} [kW] – potência de eixo do MIG.

Como o acoplamento entre BFT e MIG é efetuado de forma direta, ou seja, não há perdas significativas entre eles, é possível afirmar que a potência de eixo da BFT é a mesma potência de eixo do MIG.

$$P_{eg} = P_{et}$$

Em que:

P_{eg} [kW] – potência de eixo do MIG;

P_{et} [kW] – potência de eixo da BFT.

Desta forma, utilizando a equação 4.13 apresentada no item 4.4.1 deste trabalho e a igualdade acima, é possível obter o rendimento da BFT por meio da equação 4.23.

$$P_{eg} = \frac{g \times Q_t \times H_t \times \eta_t}{1000} \rightarrow \eta_t = \frac{1000 \times P_{eg}}{g \times Q_t \times H_t} \quad (4.23)$$

Em que:

η_t [1] – rendimento da BFT;

P_{eg} [kW] – potência de eixo do MIG;

g [m/s²] – aceleração da gravidade;

Q_t [L/s] – vazão nominal;

H_t [mca] – pressão útil.

Já para se calcular o rendimento total do conjunto BFT-MIG, efetuou-se o produto dos rendimentos de cada equipamento. Assim, obteve-se a Tabela 10, onde são apresentados os rendimentos envolvidos nos ensaios.

Tabela 10 – Rendimentos na operação da BFT-MIG com carga nominal

Vazão Q_t (L/s)	Pressão H_t (mca)	Rendimento MIG* (%)	Rendimento BFT* (%)	Rendimento BFT-MIG* (%)
93,00	35,00	91,60	55,15	50,52
94,80	35,00	92,09	57,43	52,89
96,20	35,00	92,34	58,46	53,99

* Dados calculados a partir de grandezas elétricas medidas.

Fonte: Os autores, 2016.

Pode-se verificar na Tabela 10 que o melhor rendimento alcançado nos ensaios de operação do conjunto BFT-MIG ocorreu com vazão de 96,20 L/s a 35 mca de pressão manométrica. Nestas condições, o rendimento total do conjunto foi de 53,99%. Para este mesmo ponto de operação, o MIG obteve um rendimento de

92,34%, que é muito próximo do seu rendimento nominal (92,6%, conforme Figura 55). No entanto, observa-se na Tabela 9 que a potência de eixo necessária para se obter este rendimento foi de 19,31 kW, sendo este acima da nominal de 18,50 kW.

O rendimento de 58,46% da BFT, por sua vez, foi abaixo do nominal esperado, tendo em vista que o rendimento da BFT é próximo do rendimento da BFB segundo aponta (VIANA, 2012). Sendo assim, este rendimento deveria ser de aproximadamente 78% (conforme mostrado na Figura 57). Porém, como o sistema piloto operou em condições de pressão e vazão fora da curva característica da bomba (Figura 75), este resultado é justificado.

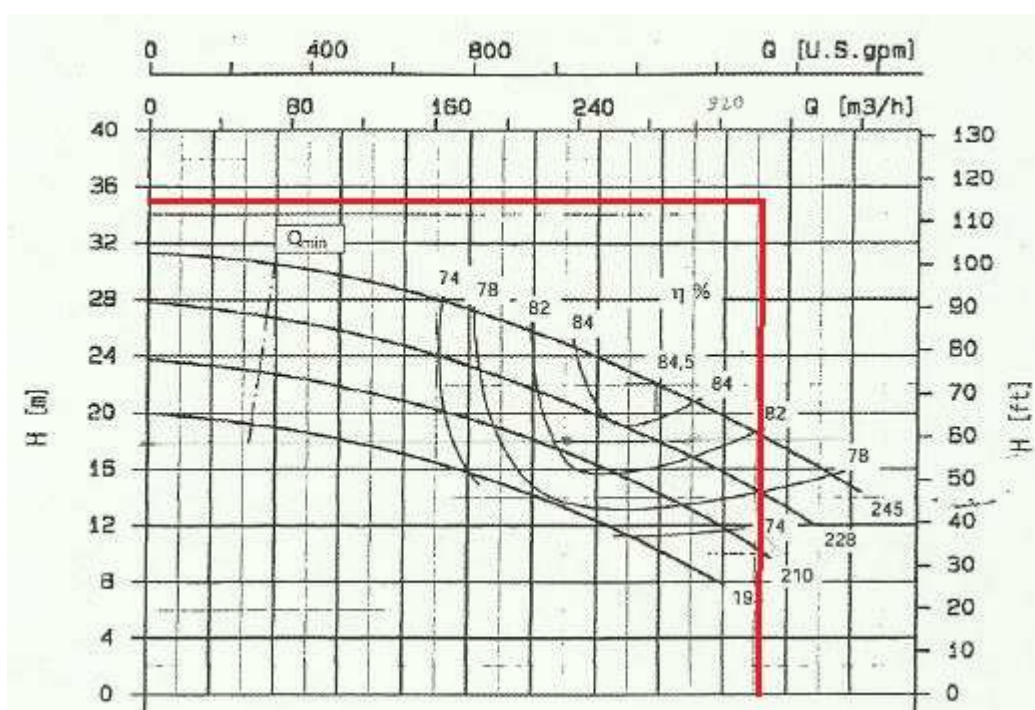


Figura 75: Curva característica da bomba fora do ponto de operação.
Fonte: Adaptado de KSB, 2006.

Com a intuito de avaliar a qualidade de construção do MIG, verificou-se a taxa de distorção harmônica total das formas de onda de tensão (THDV) e corrente (THDI) no circuito. As medições foram executadas pelo multimetido trifásico. Para o cálculo este equipamento considera as harmônicas pares e ímpares de 2° até 31° ordem. A Tabela 11 apresenta estas medidas para as três fases nos instantes em que se obteve tensão, frequência e potência nominais do MIG.

Tabela 11 – Taxa de distorção harmônica para o sistema com carga nominal.

Tensão Gerada (V)	Frequência Gerada f (Hz)	Potência Ativa da Carga (kW)	THD V (%)			THD I (%)		
			R	S	T	R	S	T
209,41	59,70	16,13	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5
216,33	60,20	17,21	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6
220,12	60,50	17,83	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5

Fonte: Os autores, 2016.

Para este sistema de geração, espera-se que não exista distorção harmônica presente porque a carga aplicada ao MIG é linear. Porém, observa-se na Tabela 11 que elas existem. Desta forma, pode-se concluir que a distorção harmônica na corrente é consequência da distorção harmônica da tensão, e que para estes valores, a efeitos de distorção harmônica, pode-se considerar que o MIG é um bom gerador de energia elétrica.

4.8. CUSTOS E RETORNO DO INVESTIMENTO

Com o sistema piloto devidamente instalado e as avaliações quanto ao seu desempenho operacional realizadas, uma breve análise dos custos empreendidos no sistema foi elaborada para que se pudesse fazer uma estimativa do tempo de retorno dos investimentos. Nesta análise, considerou-se que o sistema estaria operando em condições nominais durante as horas diárias que se obtém vazão acima de 100 L/s. A Figura 76, adaptada da Figura 50, demonstra a característica da vazão de água do sistema ao longo de um dia.



Figura 76: Gráfico das médias de vazão por horário de todos os dias de 2014.
Fonte: Os autores, 2016

Identifica-se na Figura 76 que somente em dois momentos do dia a vazão de entrada de água no reservatório fica abaixo dos 100 L/s. São os intervalos entre às 04:00 h e 06:00 h e entre às 18:00 h e 21:30 h. Desta forma, fica assegurado que o sistema piloto instalado poderá operar na sua potência nominal durante 18,5 h por dia.

A Tabela 12 apresenta os itens considerados para o levantamento dos custos envolvidos na implementação do sistema piloto.

Tabela 12 – Custos do sistema piloto.

	TIPO	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	BFT	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
	MIG	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
	VÁLVULA 300 mm	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	VALVULA DN200	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
	MEDIDOR DE VAZÃO	1	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00
	PAINEL ELÉTRICO	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
	MATERIAIS ELÉTRICOS	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
HOMEM HORA	PROJETO	40	R\$ 150,00	R\$ 6.000,00
	INSTALAÇÃO ELÉTRICA	8	R\$ 150,00	R\$ 1.200,00
TERCEIROS	PROJETO ESTRUTURAL	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
	INSTALAÇÃO HIDRAULICA E CIVIL	1	R\$ 29.280,00	R\$ 29.280,00
CUSTO TOTAL DOS INVESTIMENTOS				R\$ 103.680,00

Fonte: Os autores, 2016.

Como o sistema piloto está instalado dentro de uma unidade que contempla todo um sistema de abastecimento de água local contendo bombas de recalque, válvulas e equipamentos necessários para seu controle e operação, considerou-se que a energia fornecida pelo MIG seria consumida internamente, sem sobra para revenda a concessionária local de energia elétrica. Desta forma, para o cálculo do tempo de retorno do investimento, foi considerado o custo atual por kWh, com impostos, que a companhia de saneamento tem com a concessionária local de energia elétrica. Os resultados obtidos desta análise são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Retorno dos investimentos.

POTÊNCIA ATIVA DE GERAÇÃO (kW)	ENERGIA MENSAL 18,5 h/dia (kWh)	RETORNO MENSAL (R\$)
17,83	9896,76	R\$ 4.754,40
CUSTO TOTAL POR kWh C/ 15% DESCONTO SANEAMENTO (R\$)		R\$ 0,4804
RETORNO DOS INVESTIMENTOS (meses)		22

Fonte: Os autores, 2016.

Pode-se concluir neste levantamento simplificado dos custos para implantação do sistema piloto, que o seu retorno financeiro se dará em aproximadamente 22 meses desconsiderando taxas de juros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso foi construído com o propósito de realizar a implementação e avaliação de um sistema piloto de microgeração hidroenergética na rede de abastecimento de água de Curitiba e região metropolitana. Para isso, baseado em referencial teórico apresentado por diversos pesquisadores da área, utilizou-se uma bomba funcionando como turbina e um motor de indução funcionando como gerador dentro de um sistema de abastecimento de água. Aplicações estas que, embora amplamente estudadas, ainda foram pouco exploradas no Brasil quanto à implementação prática.

Diante do propósito definido, foram avaliados treze locais que se julgaram mais adequados para um aproveitamento hidroenergético. Todos estes contendo válvulas reguladoras de pressão ou vazão e operando a gravidade. Somando todos os potenciais destes locais, existe potência disponível em uma ordem de 92,59 kW, que se aproveitada pode trazer benefícios em âmbito tanto econômico quanto sustentável.

Seguindo critérios propostos, foi selecionado o CR SJ Aeroporto como local para implementação de um projeto piloto. Na sequência foram estudados, planejados e executados todos os parâmetros envolvidos para o seu desenvolvimento, resultando no sistema dimensionado, especificado e devidamente instalado. Por fim, todas as grandezas e características de funcionamento mais relevantes foram analisadas e avaliadas.

Por se tratar de um projeto que, com base em conteúdo teórico estudado anteriormente, alcançou uma aplicação experimental prática, os seus resultados apresentam uma confirmação da viabilidade técnica inerente à microgeração apontada na bibliografia. Em especial a metodologia proposta por Viana (2012), que foi a principal utilizada na elaboração deste projeto, pôde ser confirmada quando comparado os resultados esperados e obtidos.

Estes resultados obtidos com o sistema também reforçam a existência de um potencial de microgeração hidroenergética muito promissor utilizando a rede de abastecimento de água da cidade de Curitiba e região metropolitana. Isto é fato, pois

neste trabalho obteve-se uma potência elétrica gerada de aproximadamente 18 kW. Levando em conta que o potencial médio disponível esperado com a aplicação do sistema no CR SJ Aeroporto representa aproximadamente 39% do total disponível somando todas as unidades estudadas e que, deste, apenas metade foi efetivamente aproveitado com o sistema piloto, é válido dizer que cerca de 80,5% do potencial médio total ainda está disponível para aproveitamento.

Do ponto de vista técnico o sistema piloto apresentou resultados satisfatórios, isto é, foi possível gerar energia elétrica com parâmetros aceitáveis por norma, como tensão próxima de 220 V e frequência de 60 Hz. Os rendimentos obtidos com as instalações, por sua vez, também apresentaram resultados satisfatórios. Porém, para a BFT houve divergência quando comparado com o proposto pela teoria: 58,46% valor calculado contra 78% nominal. Tais diferenças são aceitáveis, uma vez que a metodologia de dimensionamento é baseada em experimentos laboratoriais e, além disto, existem erros inerentes à instrumentação utilizada nas medições práticas.

Com base nos resultados obtidos com a execução deste trabalho, que apresentou um tempo estimado de retorno de investimento de 22 meses, pode-se vislumbrar que a aplicação em questão possui potencial promissor, principalmente dentro do cenário energético atual do Brasil, em especial o setor de saneamento, que busca soluções energéticas eficientes e sustentáveis.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho em questão obteve bons resultados. No entanto, assim como qualquer estudo científico que busca aprimoramentos, existem diversas pesquisas que podem ser realizados a partir deste projeto piloto. Dentre elas, podemos destacar:

- Analisar a viabilidade técnica de conexão do sistema piloto com o sistema interligado nacional por meio da concessionária de energia elétrica local;
- Avaliar a implantação de um sistema de controle automático para a operação do sistema piloto, utilizando, por exemplo, válvula de controle elétrica, CLP e sistema supervisório integrado;

- Estudo de viabilidade econômica e de eficiência energética do sistema instalado, tanto do investimento necessário para a implantação já realizada, quanto em comparação com a utilização de outros equipamentos, tais como turbinas e geradores síncronos.
- Considerar a substituição do rotor da BFT utilizada por outro de maior diâmetro para obter um melhor rendimento do conjunto.
- Analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de um conversor estático de frequência para a estabilidade na geração de energia elétrica do sistema piloto.
- Considerar a ampliação do sistema piloto com a instalação de novos conjuntos BFT-MIG em paralelo para se obter maior aproveitamento do potencial disponível no local.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia. **Atlas de Energia Elétrica**. 3ª Edição, 2008. Brasília, DF, Brasil, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689>. Acesso em 20 junho de 2015, 19:00.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482/2012**, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 dezembro 2014, 09:25.

ARAUJO, Luiz. **Válvulas redutoras de pressão e produção de energia**. 7º Congresso da Água – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2004. Lisboa, Portugal. Disponível em: < <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/114.PDF>>. Acesso em 07 junho 2015, 20:30.

Balanco Energético Nacional 2014, ano base 2013. EPE -Empresa de Pesquisa Energética. Relatório síntese. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014, 18:50, 20:35.

BANSAL, P.; MARSHALL, N. **Feasibility of Hydraulic Power Recovery From Waste Energy in Bio-Gas Scrubbing Processes**. *Applied Energy*. vol. 87. pp. 1048–1053, 2010.

BASSET, E. D.; POTTER, F. M. **Capacitive Excitation of Induction Generators**. *Transactions AIEE*. Vol. 54. pp. 540 – 545, 1935.

BENEDITO, R. da S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, Sob os Aspectos Técnicos, Econômicos e Regulatório**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/pt-br.php>>. Acesso em 27 de jun. de 2015.

BUSE, F. **Selection of PATs Using Normalized Performance Curves of PATs of Different Specific Speeds**, *Chemical Engineering*, pp. 113-117, 1981.

CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas. **Fontes Renováveis**. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/hidraulica.php>>. Acesso em 20 de junho de 2015.

CHAPMAN, S. J. **Electric Machinery Fundamentals**. 2nd ed. McGraw-Hill. Boston, 1991.

CHAPALLAZ J. M.; GHALI, J. D.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. **Manual on Motors Used as Generators**. MHPG Series. Vol. 10. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH. Germany, 1990.

COSTA, Ana Cláudia Almeida. **REDUÇÃO DAS PERDAS REAIS NUM SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA PELA GESTÃO DA**. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.

Diagnóstico dos serviços de água e esgoto, ano base 2010. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre saneamento - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=95>>. Acesso em 20 nov. 2014, 20:30

DIAS, M. V. X., BOROTNI, E. C., HADDAD, J. **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**. Artigo publicado para Revista Brasileira de Energia, Volume 11, número 2, ano de 2005. Disponível em <<http://www.sbpe.org.br/rbe/revista/21/>>. Acesso em 07 de março de 2015.

DIAS, Pedro Enrique Falqueto. **Simulação do Gerador de Indução Trifásico Autoexcitado por Meio de Capacitores**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

DUTRA, João Batista de Azevedo. **Eficiência Energética no Controle da Vazão em Sistemas de Bombeamento de Água**. Paraíba do Sul, 2005. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/eficiencia_bombeamento_CURVA%20DA%20INSTALA__O.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2014, 21:03.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética: **Balanco Energético Nacional 2014**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em 22 junho de 2015.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética: **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<http://epe.gov.br/PNE>>. Acesso em 12 março de 2015.

FRANÇA, Geraldo Augusto Camplina. SOARES, Lis Nunes. **Análise exegérgica de válvulas redutoras de pressão visando cogeração – Estudo de caso em uma indústria de celulose**. Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/50464937/ANALISE-EXERGETICA-DE-VALVULAS-REDUTORAS>>. Acesso em 08 nov. 2014, 22:05.

FREITAS, Valdemir Viana. **Controle e redução de perdas em sistemas de distribuição de água: contribuição na preservação dos mananciais de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Tecnologia. CEETEPS São Paulo, 2011. Disponível em: < <http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/pos-graduacao/trabalhos-academicos/dissertacoes/formacao-tecnologica/2011/valdemir-viana-de-freitas.pdf>>. Acesso em 06 jun. 2015, 11:00.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 3ª Edição. 277p. João Pessoa, Editora Universitária/ UFPB, 2009.

GONÇALVES, E; LIMA, C.V. **Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão**. Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Brasília: SNSA, 2007. Disponível em:

GOUVEIA, R. M. M. **Modelo computacional de otimização para dimensionamento de redes de distribuição de água abastecidas por múltiplos bombeamentos**. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa- PB, 2012. Disponível em: < http://www.lenhs.ct.ufpb.br/wp-content/uploads/arquivos/Tese_Roberta_Macedo.pdf>

GOUVEIA, R. M. M., GOMES, H. P., CARNEIRO, G. B., SOUSA, R., ALMEIDA, T. S. MELO, W. I. G. ROCHA, B. S., TORRES, T. G., CARDOS, P. H. **Dimensionamento Otimizado de Redes de Distribuição de Água com Múltiplos Bombeamentos**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

KITTREDGE, C.P. Centrifugal Pumps Used a Hydraulic Turbines. Journal of Engineering for Power, Trans. ASME, p. 74-78, 1963.

KOSOW, Irving. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Ed. Globo, 4º Edição, 1982, Porto Alegre.

KSB (Várzea Paulista, SP). **Folheto descritivo nº A1150.1P/1.**: KSB ETA. Várzea Paulista, ca. 2005. 5 p.

LIMA, Gustavo Meirelles. **Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, 2013. Disponível em: <<http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/MestreDoutor/1LugarGustavoMLima.pdf>>. Acesso em: 07 novembro 2014, 22:03.

MEDEIROS, Daniel de Macedo. **A utilização de bombas operando como turbinas e geradores de indução na geração de energia elétrica, 2014**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia ao Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/pt-br.php> >. Acesso em 26 de junho de 2015.

NOGUEIRA, F. J. H. **Bombas Centrifugas Funcionando como Turbinas**. Trabalho de Pesquisa. Departamento de Mecânica. Universidade de Itajubá, Itajubá, 1990.

OLIVEIRA, F.M.R. **Redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água: Otimização das pressões numa grande rede de distribuição de água – aplicação ao caso do Porto**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013. Disponível em: < http://sigarra.up.pt/feup/pt/publs_pesquisa.show_publ_file?pct_gdoc_id=326320>. Acesso em 06 junho 2015, 10:15.

PRIETO, A. F. G. **Geração de Energia Hidrelétrica: Estudo de Alternativa sem o Barramento do Rio**. Trabalho de diplomação apresentado ao Departamento de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/79751/000896627.pdf?sequence=1>>. Acesso em 26 de junho de 2015, 22:30.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. **Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica**. ANEEL, revisão 7, 2016. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em 28 de fevereiro de 2016, 17:30.

RICARDO, M. **Estudo de Grupos Moto-Bomba Operando como Grupos Geradores em Microcentrais Hidrelétricas**. 2007. 240 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia da Energia), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SILVA, Bruno Leonardo Alves da. **Levantamento de potencial energético e estudo da viabilidade econômica da geração hidroelétrica utilizando a rede pública de distribuição de água – Estudo de caso: sistema de abastecimento de água de Pato Branco.** 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Disponível em: <<http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/MestreDoutor/1LugarGustavoMLima.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2014, 22:03.

SOARES, D.M. **Programa de Controle e Redução de Perdas** – Diretoria Metropolitana de Distribuição – M. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo, 2004.

SOARES JUNIOR, R. L. **Projeto Conceitual de uma Turbina Hidráulica a ser Utilizada na Usina Hidrelétrica Externa de Henry Borden.** Projeto de graduação de engenharia mecânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005429.pdf>>. Acesso em 27 de junho de 2015, 12:00.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água** - 3ª edição – São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2006. XIII – 643 p.

VINCIGUERA, VAGNER. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA REDUÇÃO DE PRESSÃO NAS PERDAS REAIS EM SETOR DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE – MS.** Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Campo Grande, 2009. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/382/cursold:33.>>. Acesso em 04 jun. 2015, 16:00.

VIANA, A. N. C. **Bombas funcionando como turbinas.** Rio de Janeiro: Synergia; Minas Gerais: Acta, 2012.

VIANA, A. N. C. **Comportamento de Bombas Centrífugas Funcionando como Turbinas Hidráulicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 1987.

VIANA, A. N. C. **A Utilização de Bombas Funcionando como Turbinas (BFTs) em Pequenos Aproveitamentos Hidráulicos.** Seminário de Gestão do Uso de Energia Elétrica no Saneamento, Eletrobrás, 2013.

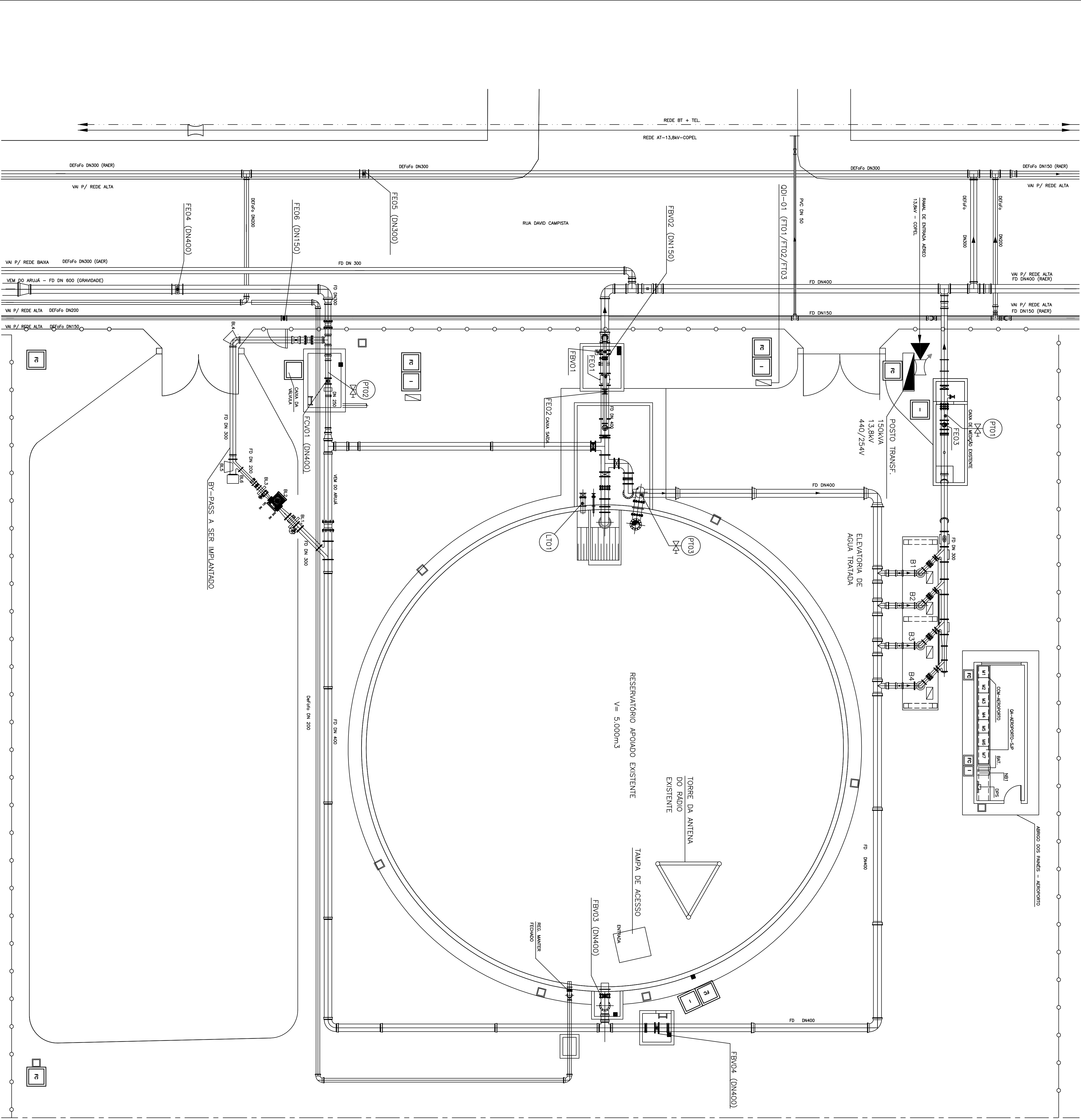
WILLIAMS, A. **Pumps as Turbines: A User's Guide**. 2a ed. Practical Action Publishing, 2003.

WAGNER, C. F.. **Self – excitation of Induction Motors**. **AIEE Transactions on Electrical Engineering**. Vol. 58. pp 47 – 51, 1939.

ZANIBONI, Nilton. **Equipamentos e metodologias para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 115 p. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11082009-172644/pt-br.php>> Acesso em 12 jun. 2015, 12:30.

APÊNDICE A – Lista de materiais, plantas das intervenções e termo de referência para contratação dos serviços executados.

Nº	ITEM	QTD
1	0,25	7
2	0,15	7
3	0,20	7
5	0,20	7
6	0,50	7
7	0,25	7
9	0,10	7
10	0,15	1
20	0,10	20
30	0,10	20
32	0,20	20
34	0,20	104
35	0,10	150
36	0,20	160
37	0,20	160
38	0,20	160
39	0,20	160
40	0,20	160
41	0,20	160
42	0,20	160
43	0,20	160
44	0,20	160
45	0,20	160
46	0,20	160
47	0,20	160
48	0,20	160
49	0,20	160
50	0,20	160
51	0,20	160



SIMBOLOGIA
 FD - COMANDO (220V)
 I - INSTRUMENTAÇÃO (24Vcc - 4-20mA)

AREA 07.04

2					
1	ADISTE DE MEDIDAS E MATERIAIS	MAIO/2015	SAÑEPAR	SAÑEPAR	
0	EMISSÃO INICIAL	MAIO/2015	SAÑEPAR	SAÑEPAR	
Nº	DISCRIMINAÇÃO	DATA	REVISÃO	VISTO	

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - AEROPORTO

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - RMAC

TÍTULO
 MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA BFT
 IMPLANTAÇÃO

AREA N.º 07.04

PROJETO
 SANEPAR

RESPONSÁVEL TÉCNICO
 SANEPAR

PROJETO Nº
 07.04.BFT-IMP

DATA
 MAIO/2015

ESCALA
 1:100

PROJETO Nº
 07.04.BFT-IMP

FECHA Nº
 01/01

DESENHO
 SANEPAR

MANUEL HEIMERTT - CREA Nº 88214/7D

**COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR****LISTA DE MATERIAIS****UNIDADE: CR AEROPORTO
ÁREA Nº: 07.04****SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR
PROJETO: 07.04.BFT
ARQUIVO: 07.04.BFT.LM**EMISSÃO: JULHO/2015
REVISÃO 1: AGOSTO/2015
REVISÃO 2:
AS BUILT:

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID.
1	TE FD JE 2GS BBB DN 300	1	pç
2	TOCO DE TUBO FD K-12 PP DN 300	4,45	m
3	CURVA FD JE 2GS BB 90° DN 300	1	pç
4	TOCO DE TUBO FD K-12 PP DN 300	5,78	m
5	EXTREMIDADE FD JE 2GS BF 150 mm PN 10 DN 300	1	pç
6	JUNCAO REDUCAO FD FFF PN-10 DN 300 DN 200	1	pç
7	FLANGE FD CEGO COM FURACAO PN 10 DN 300	1	pç
8	REDUCAO FD FF PN 10 DN 300 DN 200	1	pç
9	CINTA DE VEDACAO ACO INOX (ACOPLAMENTO)PARA UNIAO DE PONTAS DE TUBOS E POSSIBILITAR DESVIO ANGULAR DE NO MINIMO 2 GRAUS PN 16 DN 200	1	pç
10	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 200	1	m
11	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 200	0,35	m
12	VALVULA BORBOLETA FD FF PN 10 COM MECANISMO DE REDUCAO DN 200	1	pç
13	CINTA DE VEDACAO ACO INOX (ACOPLAMENTO)PARA UNIAO DE PONTAS DE TUBOS E POSSIBILITAR DESVIO ANGULAR DE NO MINIMO 2 GRAUS PN 16 DN 300	1	pç
14	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 300	0,6	m
15	VALVULA BORBOLETA FD FF PN 10 COM MECANISMO DE REDUCAO DN 300	1	pç
16	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 300	1,4	m
17	REGISTRO GAVETA FD COM CUNHA ELASTICA PARA FD JE 2GS COM CABECOTE E ANEIS DN 300	1	pç
18	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 400	1,45	m
19	JUNCAO REDUCAO FD FFF PN-10 DN 400 DN 300	1	pç
20	LUVA DE CORRER FD JM DN 400	1	pç
21	LUVA DE CORRER FD JM DN 300	2	pç
22	CURVA FD JE 2GS BB 11° DN 200	4	pç

TERMO DE REFERÊNCIA

019/2015 – APD

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO A SER EXECUTADO

Este Termo de Referência tem como objeto a prestação de serviços de engenharia associados com a montagem, a instalação e a implantação de *by-pass* em rede de adução de água localizado no Reservatório Apoiado de Água Tratada Aeroporto - São José dos Pinhais.

2. LOCAL PARA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS

Os serviços em pauta deverão ser desenvolvidos no Reservatório Apoiado de Água Tratada Aeroporto, localizado na Rua David Campista 1500, bairro Jardim Habitat Aeroporto, São José dos Pinhais-PR.

3. DESCRIÇÃO DETALHADA DOS SERVIÇOS

Os serviços em questão deverão contemplar a preparação, a montagem, a instalação e a implantação, incluindo o fornecimento de todos os materiais pertinentes, de um sistema de *by-pass* em rede de adução de água da Sanepar, conforme desenhos em anexo.

Para tanto, cabe a Contratada a remoção de aproximadamente 37 m³ de terra com máquina ou manualmente, a construção de uma caixa de concreto armado de aproximadamente 2,00 m x 4,00 m com 1,65 m de profundidade, com paredes de alvenaria com aproximadamente 1,10 m em suas bordas, assim como o fornecimento e instalação de uma escada do tipo marinheiro interna a caixa. Essa caixa deve acomodar uma bomba hidráulica, válvulas e instrumentos, conforme desenho em anexo. A Contratada deve também construir blocos de apoio e ancoragem em concreto armado (BL1, 2, 3, 4, 5 e 6), conforme desenho em anexo.

Integra o escopo dos serviços a serem prestados ainda a montagem da tubulação hidráulica em FD ou aço, bombas, válvulas e instrumentos, assim como o desvio da tubulação hidráulica em PVC Defofo DN200, e interligação de rede hidráulica, conforme desenhos em anexo.

A Contratada deve também realizar testes de pressão na linha hidráulica construída, recompor aproximadamente 25 m³ de terra para cobertura da tubulação hidráulica montada, realizar limpeza do local onde os serviços foram executados, reconstruir calçamento e grade de delimitação do terreno da Sanepar, se necessário, e cumprir com as condições estipuladas pela Sanepar para a realização dos serviços.

Todos os materiais hidráulicos necessários para a montagem do *by-pass* estão listados e numerados nos anexos deste documento. Alguns materiais serão disponibilizados pela Sanepar. No entanto, a Contratada deverá fornecer os seguintes materiais:

Item	Descrição	Quant.
2	TOCO DE TUBO FD K-12 PP DN 300 ou aço	4,45 m
4	TOCO DE TUBO FD K-12 PP DN 300 ou aço	5,78 m
5	EXTREMIDADE FD JE 2GS BF 150 mm PN 10 DN 300 ou aço	1 pç
6	JUNCAO REDUCAO FD FFF PN-10 DN 300 DN 200 ou aço	1 pç
8	REDUCAO FD FF PN 10 DN 300 DN 200 ou aço	1 pç
10	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 200 ou aço	1,00 m
11	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 200 ou aço	0,35 m
14	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 DN 300 ou aço	0,6 m
15	VALVULA BORBOLETA FD FF PN 10 COM MECANISMO DE REDUCAO DN 300 ou aço	1 pç
18	TOCO DE TUBO FD FF PN 10 MEDINDO 1,45 METROS DN 400 ou aço	1,45 m

Os itens 10, 14 e 18 foram previstos para serem fornecidas com ambas as extremidades em flange. Em campo elas deverão ser cortadas para adequação à

instalação de cintas de vedação em aço inox nos itens 10 e 14, e luva de correr no item 18 (ver desenho em anexo).

Os tubos e conexões utilizados, assim como os procedimentos de instalação, devem estar de acordo com as normas técnicas pertinentes expedidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

As atividades em pauta deverão ser executadas com o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) cabíveis e deverão seguir as normas e orientações técnicas disponibilizadas pela Sanepar.

A programação para a execução dos serviços será realizada pela APD junto com o CCO (Centro de Controle Operacional).

A interligação do *by-pass* a rede de abastecimento já existente será executada em dia e hora definida pela unidade operacional do CCO.

Todos os custos com mão-de-obra necessária para prestação dos serviços devem ser absorvidos pela Contratada.

Ao final da prestação de serviços deverá ser elaborado um relatório que descreva sucintamente as atividades executadas, o qual deverá ser assinado por um responsável técnico. O relatório deverá ser impresso e disponibilizado em mídia digital, preferencialmente, em formato *.jpg, *.pdf ou *.doc.

4. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA E GARANTIAS

A garantia mínima exigida para os serviços prestados é de três meses, a partir da data de seu recebimento pela Sanepar. O escopo da garantia deve contemplar defeitos resultantes de falhas de instalação e construção. Caso a garantia dos serviços seja condicionada à realização de manutenção preventiva, então essa informação deverá ser incluída no termo da garantia, bem como deverá ser indicada na documentação técnica. É desejável a apresentação de documento referente à garantia mínima, o qual deverá ser assinado por profissional habilitado.

Toda documentação técnica deve ser impressa e estar disponível em mídia digital, preferencialmente, em formato *.jpg, *.pdf ou *.doc.

5. TEMPO PARA EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

O prazo para execução dos serviços aqui descritos é de 45 dias, contados após comunicado de aceite por parte da Sanepar.

6. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO POR PARTE DA SANEPAR

O repasse financeiro, da Sanepar para a CONTRATADA, será realizado 30 dias após apresentação, por parte da CONTRATADA, e aprovação, por parte da Sanepar, da nota fiscal e do relatório que comprove a execução dos serviços nas condições descritas neste TERMO DE REFERÊNCIA.

7. CONDIÇÕES GERAIS

- A critério da Sanepar e mediante anuência da Contratada poderão ocorrer alterações no prazo de execução das atividades descritas neste Termo de Referência;
- Os custos com deslocamento, insalubridade e/ou periculosidade e impostos deverão estar inclusos no preço total da prestação dos serviços;
- A Contratada responderá por todos e quaisquer danos causados ao meio ambiente decorrente dos serviços executados sob sua responsabilidade;
- A Contratada deverá conhecer, respeitar e aplicar a Legislação do “Ministério do Trabalho e Emprego” (<http://portal.mte.gov.br/legislacao/>) quanto às Normas Regulamentadoras, e Normas Técnicas (ABNT, DIN e outras), observando as respectivas revisões atualizadas, monitorando e orientando as suas equipes por meio de monitor próprio e dispondo de materiais e equipamentos que atendam às necessidades do serviço, para

que as atividades se desenvolvam com segurança às pessoas e aos patrimônios da Contratante e Contratada, assim como apresentar com a proposta, o certificado das NR inerentes aos serviços.

- A Contratada deverá treinar seus colaboradores quanto à utilização de EPI's e riscos inerentes à execução dos serviços em pauta, bem como em assuntos que a Sanepar porventura julgar necessário.
- A Contratada deverá apresentar a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) dos serviços no momento da assinatura da OS, conforme exigência legal. Os serviços só poderão iniciar após a entrega da ART devidamente quitada junto ao órgão regulador. Em caso de serviços nas instalações do sistema, fica a critério do Gestor do Contrato, a exigência de visita técnica para o levantamento de informações no local dos serviços, com acompanhamento de técnicos da Sanepar em data e hora previamente agendadas.
- É obrigação da Contratada programar os serviços com o setor técnico ou operacional da Sanepar. O não atendimento a esse item pode gerar prejuízos ao sistema que deverão ser regularizados pela Contratada.
- A Contratada deverá comunicar o término dos serviços ao gestor da OS e agendar data para a vistoria/boletim de medição e testes funcionais das instalações. Após esses procedimentos, se não houver necessidade de correção ou adequação, os serviços serão considerados entregues.
- A Contratada deverá fornecer todas as ferramentas, transporte, equipamentos e mão-de-obra para execução das atividades, sendo vetado o empréstimo por parte da Sanepar, exceto se autorizado pelo gestor da OS.
- A Contratada deve também manter a guarda dos equipamentos enviados para manutenção, manter-se acessível às solicitações da Sanepar, permitir o pronto acesso da fiscalização da Sanepar a qualquer tempo, manter no local dos serviços em tempo integral um técnico responsável,

com qualificação, para responder pelos serviços que estão sendo executados.

- A retirada e entrega das peças (quando necessário) são de responsabilidade da Contratada e deverão ser realizadas no endereço: Rua Pedro de Toledo, 219 - Prado Velho, Curitiba-PR, CEP 80215-280.

8. ELABORAÇÃO E SUBMISSÃO DA PROPOSTA TÉCNICO-COMERCIAL

A proposta técnico-comercial deve explicitar sua validade (mínimo 45 dias), as condições de pagamento (mínimo de 30 dias após emissão da nota fiscal) e prazo para início e execução dos serviços supracitados, assim como descrição dos serviços que serão realizados. A proposta deverá explicitar também dados cadastrais, tais como razão social, endereço e CNPJ. Além disso, a proposta deve apresentar o nome, o enquadramento funcional e a assinatura de um responsável, assim como seu telefone e e-mail.

Na proposta devem também constar uma afirmação do entendimento deste Termo de Referência, o orçamento contendo valor global dos serviços e fornecimento das peças descritas no item 3, contemplar transportes seguros, deslocamentos, serviços, materiais utilizados e impostos no valor total do orçamento.

Caso a empresa interessada na prestação dos serviços não atenda aos critérios requeridos, então deverá explicitar o escopo de sua proposição. Caso essa empresa julgue oportuno realizar uma visita técnica para avaliação do local da prestação dos serviços, então deverá comunicar a Sanepar com antecedência mínima de 24 horas.

Para endereçamento da proposta, utilizar as seguintes informações:

Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar
APD - Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento
A/C Gustavo Rafael Collere Possetti
Rua Eng. Antônio Batista Ribas 151
Cep: 82.800-130, Tarumã, Curitiba, Paraná
CNPJ: 76.484.013/0001-45
Inscrição Estadual: 10.180.080-64

A proposta formal deve ser encaminhada **até às 17 horas e 30 minutos do dia 24/11/2015**, via correio eletrônico para **marilora@sanepar.com.br**.

Informações adicionais sobre o assunto em pauta podem ser obtidas também via correio eletrônico ou via telefone (41 3330-7259).

9. PROPOSTA VENCEDORA

Será julgada proposta vencedora desta cotação a empresa prestadora de serviços que atenda as condições do descritivo técnico e apresente o menor valor global para os serviços.

A empresa vencedora deverá apresentar os seguintes documentos válidos, desde o início até a efetivação do referido pagamento da fatura, conforme art. 73 e 99 parágrafo XV da Lei Estadual nº 15608 de 2007:

- Prova de regularidade para com as Fazendas Federal, Estadual e Municipal do domicílio ou sede da empresa, bem como de regularidade para com a Fazenda do Estado do Paraná;
- Prova de regularidade relativa à Seguridade Social (INSS), mediante a apresentação da Certidão Negativa de Débitos (CND);
- Prova de regularidade relativa ao Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), mediante a apresentação do Certificado de Regularidade de Situação (CRS);
- Certidão de débitos trabalhistas, mediante apresentação da Certidão Negativa de Débitos Trabalhistas (CNDT).

A empresa vencedora terá 05 (cinco) dias úteis para apresentação da documentação a partir da data de notificação pela Sanepar. Após vencimento do prazo a empresa segundo colocada será selecionada para a prestação dos serviços, conforme art. 85 parágrafo VI da Lei Estadual nº 15608 de 2007, desde que esteja com a documentação válida conforme item acima.

10. ANEXOS

10.1 Lista de materiais;

10.2 Resumo de materiais para os blocos e a caixa da bomba;

10.3 Desenho de implantação;

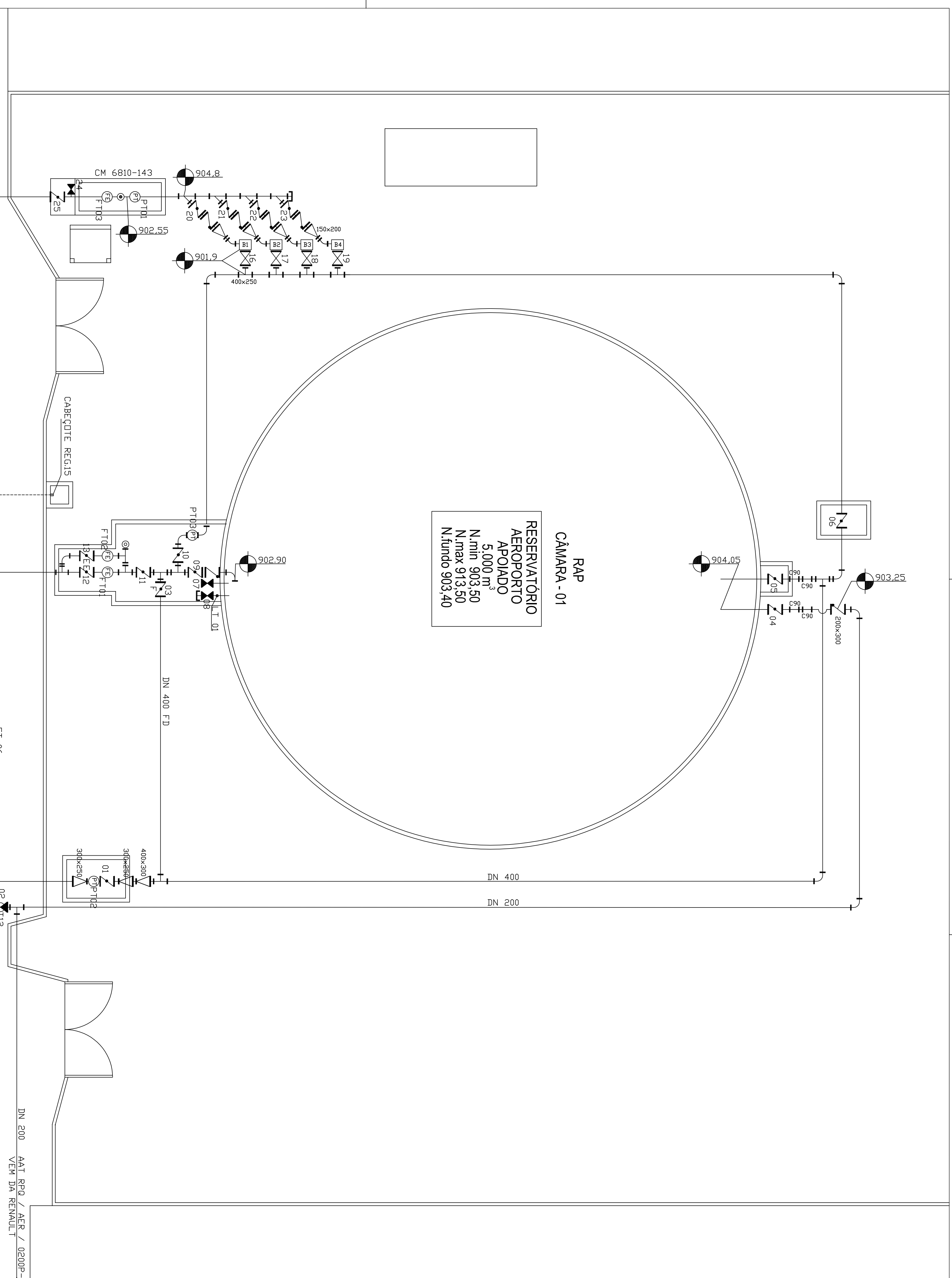
10.4 Desenho de detalhe da intervenção;

10.5 Desenho de formas: planta, cortes e detalhes;

10.6 Desenhos de armaduras das paredes, laje do fundo e blocos.

ANEXO A – Croqui do sistema do CR SJ Aeroporto

- 01 Reg. Gaveta Entrada Arujé
- 02 Reg. Gov. Interlig.Renault x Rec.
- 03 Vlv. Borb. Entrada DN400 FD
- 04 Vlv. Borb. Entrada Reservatório
- 05 Vlv. Borb. Entrada Reservatório
- 06 Vlv. Borb. Barrilete Sucção
- 07 Reg. Gov. Descarga Reservatório
- 08 Reg. Gov. Descarga Reservatório
- 09 Vlv. Borb. Saída Reservatório
- 10 Vlv. Borb. Saída Sucção
- 11 Válvula Borboleta Gravidade
- 12 Válvula Elétrica Gravidade
- 13 Válvula Elétrica By-pass
- 14 Reg. Gaveta Saída DN300
- 15 Reg. Gaveta Saída DN400
- 16 Reg. Gov. Entrada Sucção B1
- 17 Reg. Gov. Entrada Sucção B2
- 18 Reg. Gov. Entrada Sucção B3
- 19 Reg. Gov. Entrada Sucção B4
- 20 Válvula Borboleta Recalque B1
- 21 Válvula Borboleta Recalque B2
- 22 Válvula Borboleta Recalque B3
- 23 Válvula Borboleta Recalque B4
- 24 Reg. Gaveta Descarga Recalque
- 25 Válvula Borboleta Recalque
- 26 Reg. Gaveta Recalque DN150
- 27 Reg. Gaveta Recalque DN150
- 28 Reg. Gaveta Recalque DN300
- 29 Reg. Gaveta Recalque DN300
- 30 Reg. Gov. Interlig. Gov. x Rec.



—	Rede Origem	N	Válvula Borboleta	I	Curva de 11
—	Rede Recebida	B	Registro de Gaveta	J	Curva de 22
—	Rede Gravidade	N	Válvula Borboleta Fechada	L	Curva de 45
⊕	Medidor de Vazão	N	Registro de Gaveta Fechado	H	Curva de 90
⊗	Transmissor de Pressão	N	Válvula Borboleta	T	Três Vias
⊙	Transmissor de Nível	N	Válvula de Retenção Simples	T	Capô
▷	Sentido de Fluxo	⊗	Válvula de Retenção Dupla Perpendicular	△	Redução / Ampliação
⚡	Alarme Caixa	⊗	Verticais	△	Redução Externa
		⊗	Válvula Limitadora de Pressão	△	Redução Interna
		⊗	Sistema de Injeção	△	Curva

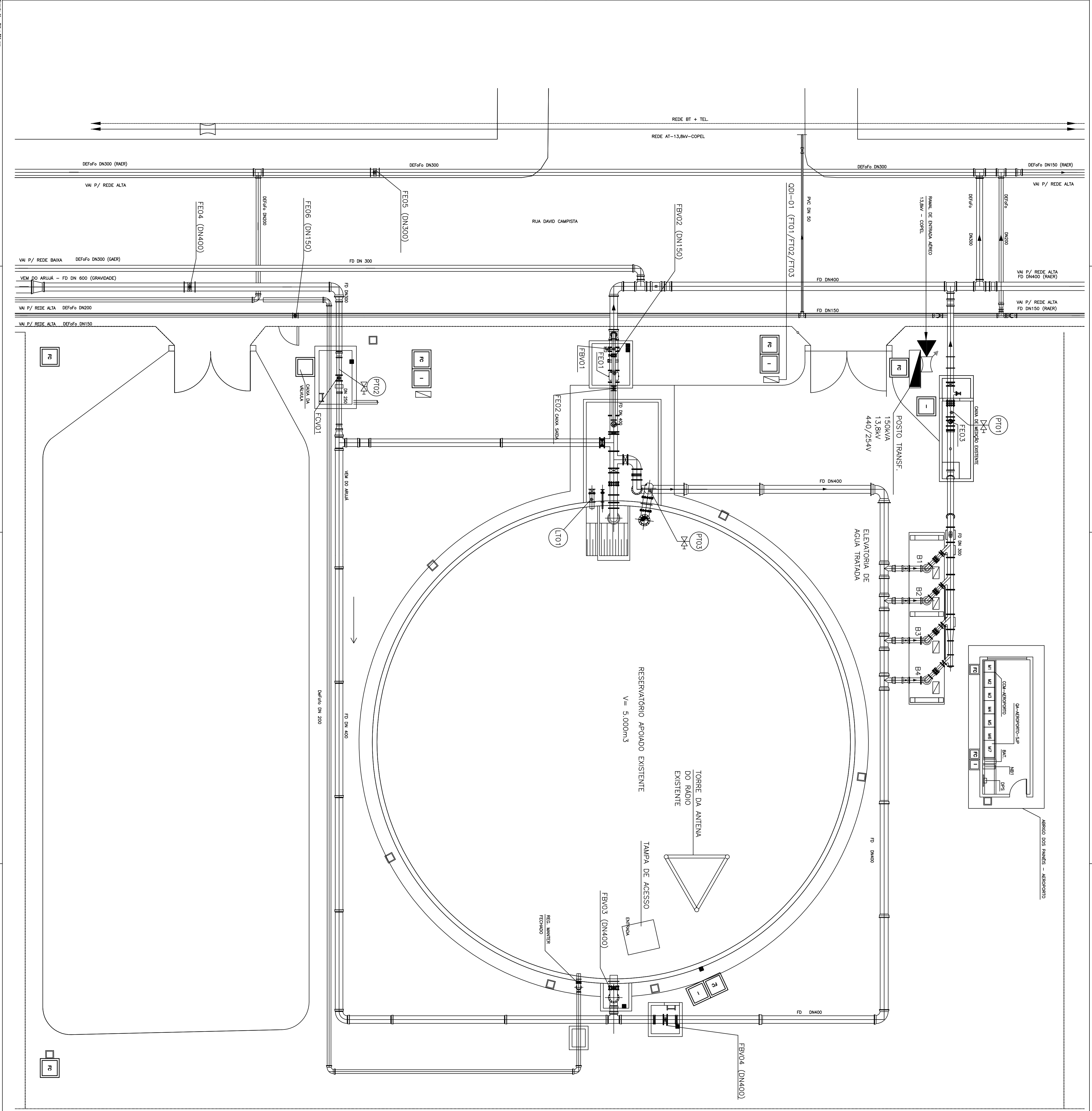
SANEPAR **USPD-CT**
 Unidade de Serviço de Produção - Curitiba

ESQUEMÁTICO DE UNIDADE OPERATIVA
RESERVATÓRIO AEROPORTO
 RUA DAVID CAMPISTA, FTE 630
SISTEMA IGUAÇU
 SISTEMA I-11-III

PROJETO Nº: 0068
 DATA: setembro/2008
 DESENHO: Andrea / Guilherme
 NOME: ANDREA
 Nº: 0068 - Res. Aeroporto.dwg
 ARQUIVO: \\vsr-1\Dados\CO-Cadastre Unidades Operativas\Lauchadon\Reservatorios

ANEXO B – Implantação do sistema do CR SJ Aeroporto

Nº	PRIMA COB
1	0,25 / 7
2	0,15 / 7
3	0,20 / 7
4	0,20 / 7
5	0,20 / 7
6	0,50 / 7
7	0,25 / 7
8	0,25 / 7
9	0,10 / 7
10	0,15 / 1
20	0,10 / 20
30	0,10 / 30
40	0,20 / 40
50	0,20 / 50
60	0,20 / 60
70	0,20 / 70
80	0,20 / 80
90	0,20 / 90
100	0,20 / 100
120	0,20 / 120
140	0,20 / 140
160	0,20 / 160
180	0,20 / 180
200	0,20 / 200
250	0,20 / 250
300	0,20 / 300



AREA 07.04

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - AEROPORTO

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - RASC

IMPLANTAÇÃO

ÁREA Nº 07.04

PRÓJETO

RESERVATÓRIO AEROPORTO

RESPONSÁVEL TÉCNICO

DESENHO

MANUEL HEIMWEIT - CREA PR 88214/7D

PROJETO Nº	07.04.IMP
DATA	MAIO/2015
ESCALA	1:100
ARQUIVO Nº	
FOLHA Nº	01/01

2	ADISTE DE MEDIDAS E MATERIAIS	MAIO/2015	SANEPAR	SANEPAR
1	EMISSÃO INICIAL	MAIO/2015	SANEPAR	SANEPAR
0	DISCRIMINAÇÃO	DATA	REVISÃO	VISTO

SIMBOLOGIA

FD - COMANDO (220V)

I - INSTRUMENTAÇÃO (24Vcc - 4-20mA)

ANEXO C – Manual da bomba selecionada

FOLHA DE DADOS - BOMBA VERTICAL



CLIENTE	CESBE		
REFERÊNCIA	PARANASAN 4.1.2		
ITEM	4	TAG	EEAT ARUJÁ
QTDE	3	PROPOSTA Nº	511CA00654

MODELO DA BOMBA: OMEGA V 125-230 B

1- Dados Operacionais:

Líquido Bombeado	ÁGUA TRATADA				
Sólidos em Suspensão	25	ppm	NPSH Disponível	10	m
Temperatura	25	°C	Rotação Nominal	1750	rpm
Densidade	0,00	kgf/dm ³	Rendimento Bombeador	82,5	%
Viscosidade	1,00	Cst	Pot. Absorvida no Bombeador	0,00	HP
Vazão Nominal	198	m ³ /h	Pot. Dissip. Mancais/Gaxetas	0,000	HP
Altura Manométrica Nominal	18,00	m	Potência Absorvida Total	16,00	HP
Perda de Carga, Coluna, Crivo	0,000	m	Motor Recomendado	25	CV
Altura Manométrica Total	18,00	m	AMT Shut-Off	24,30	m
NPSH Requerido	3,500	m	Submersão Mínima	0,00	mm

2- Dados Construtivos:

Diam. rotor projeto	215,00/215,00	mm	Número de Estágios	1		
Bocal de Sucção	200		Norma/Classe/Posição	DIN 2501	PN 16	HORIZONTAL
Bocal de Descarga	125		Norma/Classe/Posição	DIN 2501	PN 16	HORIZONTAL
Diâmetro Tubos Coluna	0	mm	Comprimento do Bombeador	0,00		mm
No Mancais Coluna	0		Comprimento Tubo Superior	0,00		mm
Comprimento Crivo Sucção	0,00	mm	Comprimento Total da Haste	0,00		mm
Peso Total da Bomba	250,00	Kg	GD ² da Bomba (c/água)	0,0000		Kgfm ²
Comprimento Tubos Coluna	0,00	mm				

3- Características Construtivas:

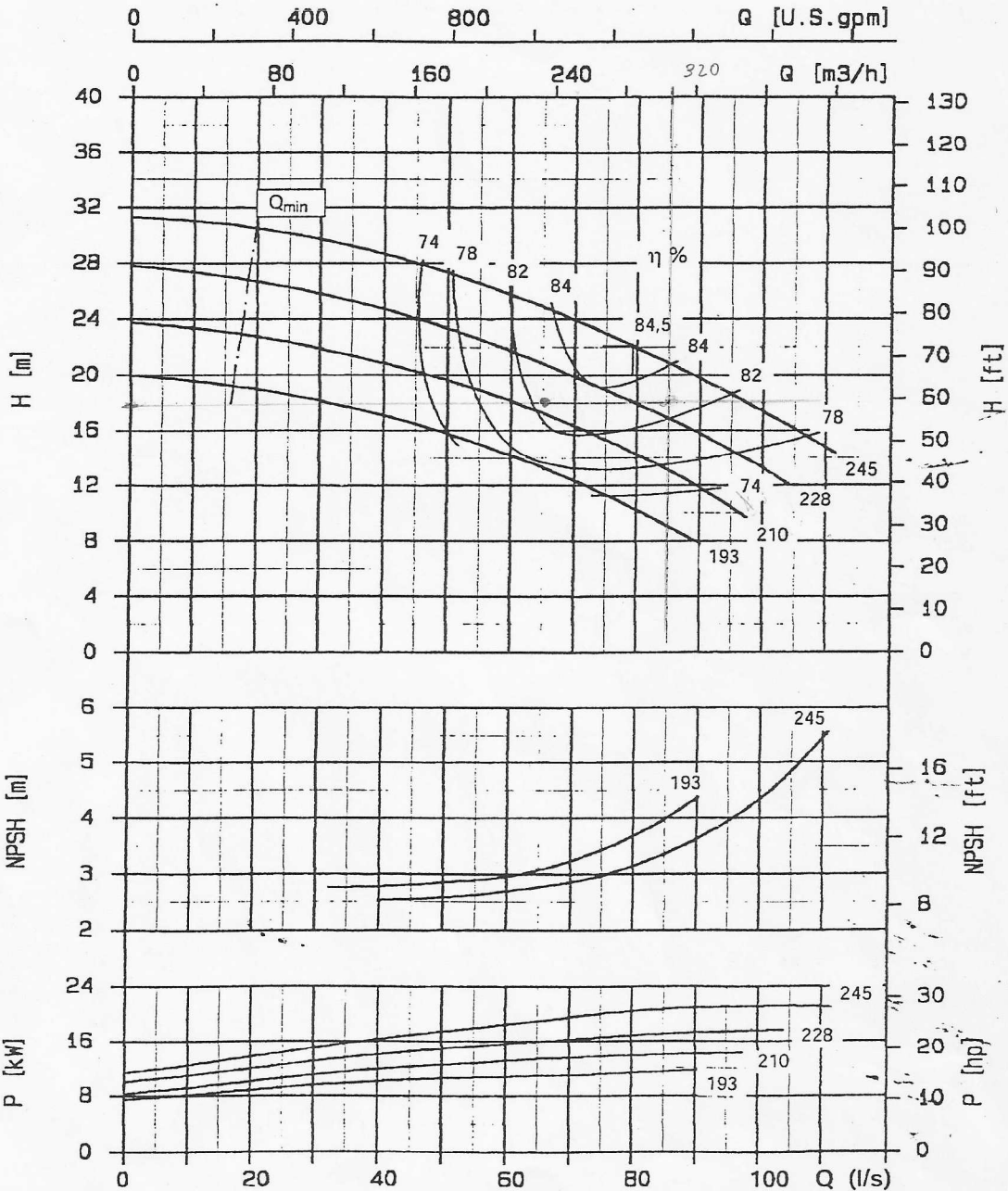
Tipo de Bomba	Vertical com descarga lateral					
Acionamento	Motor elétrico vertical com eixo sólido					
Rotor	Tipo Fechado	Fluxo Radial				
Mancais Coluna - Tipo Deslizantes	Lubrificação		Pelo próprio líquido bombeado			
Mancais Escora - Tipo Rolamentos	Lubrificação		Graxa			
Eixos	Com luvas rosqueadas		Câmara de Refrigeração Sem Tubo Protetor Sem			
Bocal de Descarga	Acima da placa base					
Vedação do Eixo	Gaxeta de amianto grafitado Sem					
Conexões Auxiliares	Água: Não	Dreno: Sim	Lubrificação: Não	Manômetro: Sim		
Sentido Rotação	ANTI-HORÁRIO					
Materiais	Corpo A48CL30	Eixo AISI 420	Anel Desg Corpo	A743CA6NM		
Combinação 01	Rotor A743CF8M	Luva AISI420	Anel Desg Rotor	A743CF8M		

4- Acessórios:

Jogo de Desenhos
Luva Elástica
Manômetro / Manovacuômetro
Motor Elétrico
Protetor do Acoplamento
Testes e Ensaios
Trilho de Fundação

UGP PARANASAN-SANEPAR
22/05/06
APROVADO

Baureihe Pump type Modèle	Tipo Tipo	Nennrehzahl Nom speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Revoluciones nom.
Omega 125-230 B		1750 1/min	
Angebots-Nr. Project-no. No. de l'offre	Offerta-Nr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item-no. No. de pos.	Pos.-Nr. Pos.-No.

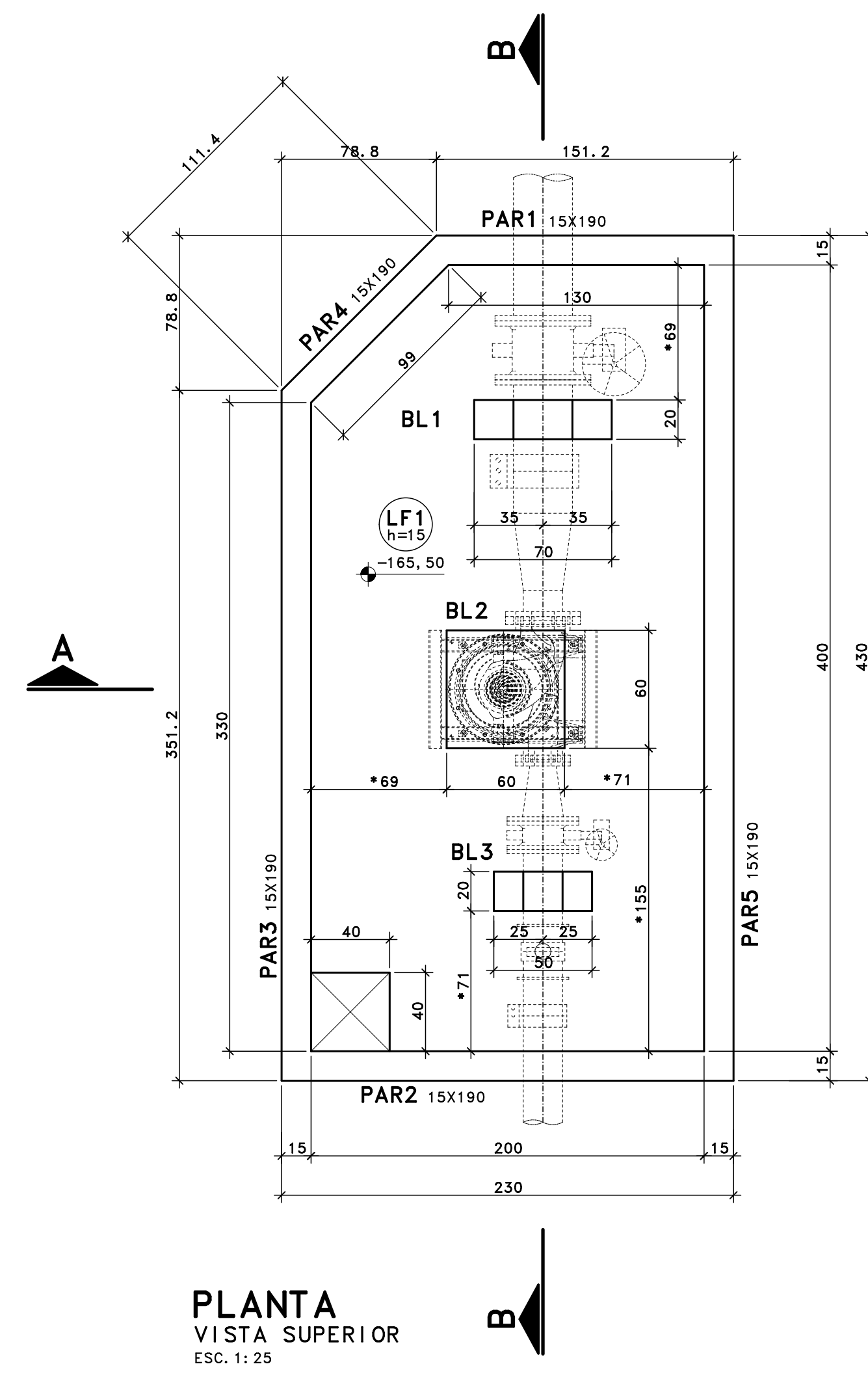


NPSH _A -Anlage	
-available	
-installation	
-impianto	
-instalacion	
NPSH _A ≥ NPSH + S	
Laufrad Impeller Roue Girante Rodete	S (m)
G-CuSn10	0,5
1.4460	0,5

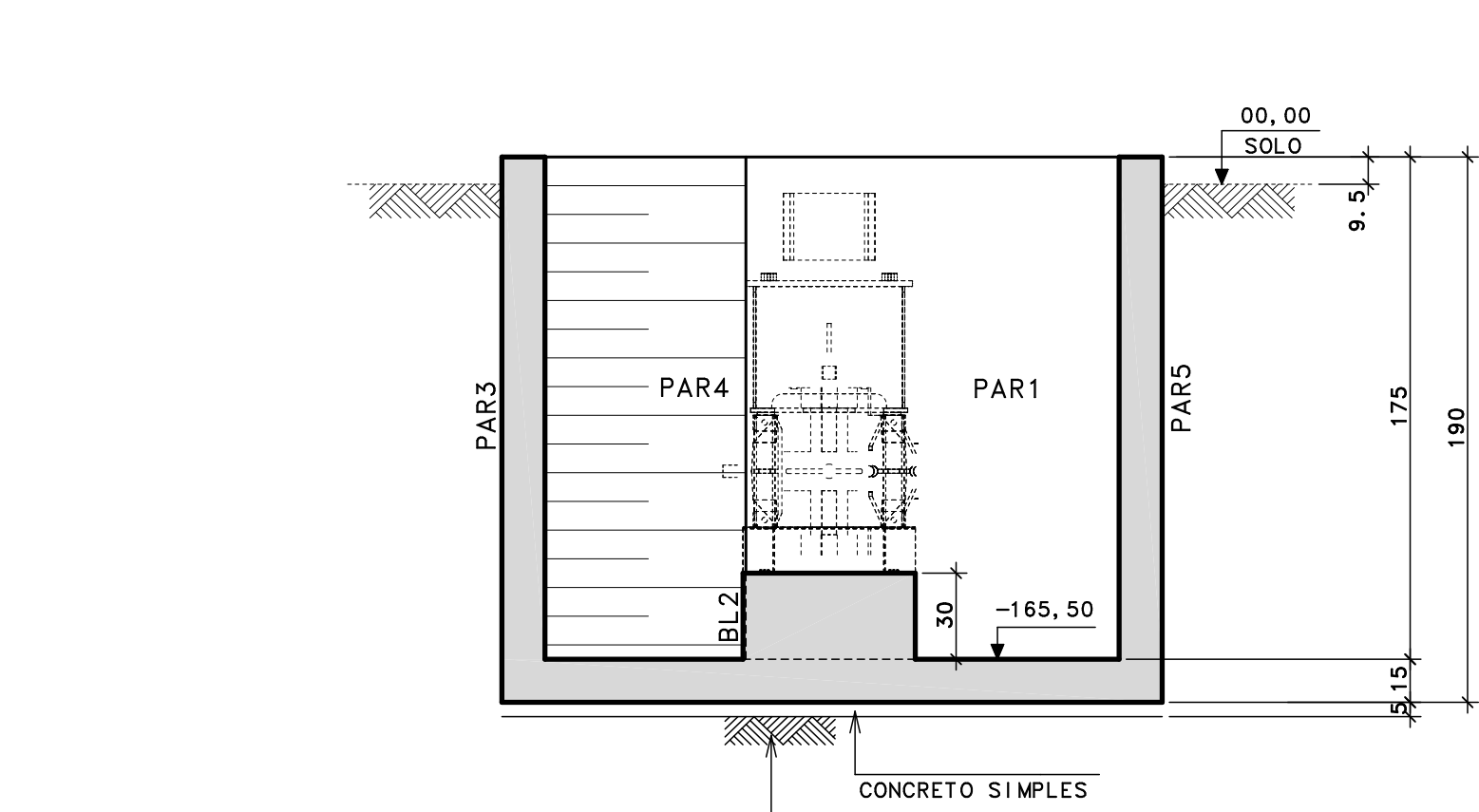
Angaben gültig für Dichte = 1 kg/dm³ und kinematische Zähigkeit bis max. 20 mm²/s
 Data applies to a density of 1 kg/dm³ and a kinematical viscosity of up to max. 20 mm²/s
 Caractéristiques données pour une densité = 1 kg/dm³ et une viscosité cinématique = max. 20 mm²/s
 Dati validi per densità = 1 kg/dm³ e viscosità fino a 20 mm²/s
 Datos válidos para densidad = 1 kg/dm³ y viscosidad cinemática hasta max. 20 mm²/s
 Gewährleistung der Förderwerte nach ISO 9906/A / DIN 1944/III
 Operating data guaranteed to ISO 9906/A / DIN 1944/III
 Caractéristiques de fonctionnement garanties selon ISO 9906/A / DIN 1944/III
 Garanzia de dati de servizio secondo ISO 9906/A / DIN 1944/III
 Garantía de las características de funcionamiento según ISO 9906/A / DIN 1944/III

USP PRANÁCAN-SANEPAR
 22/05/06
 APROVADO

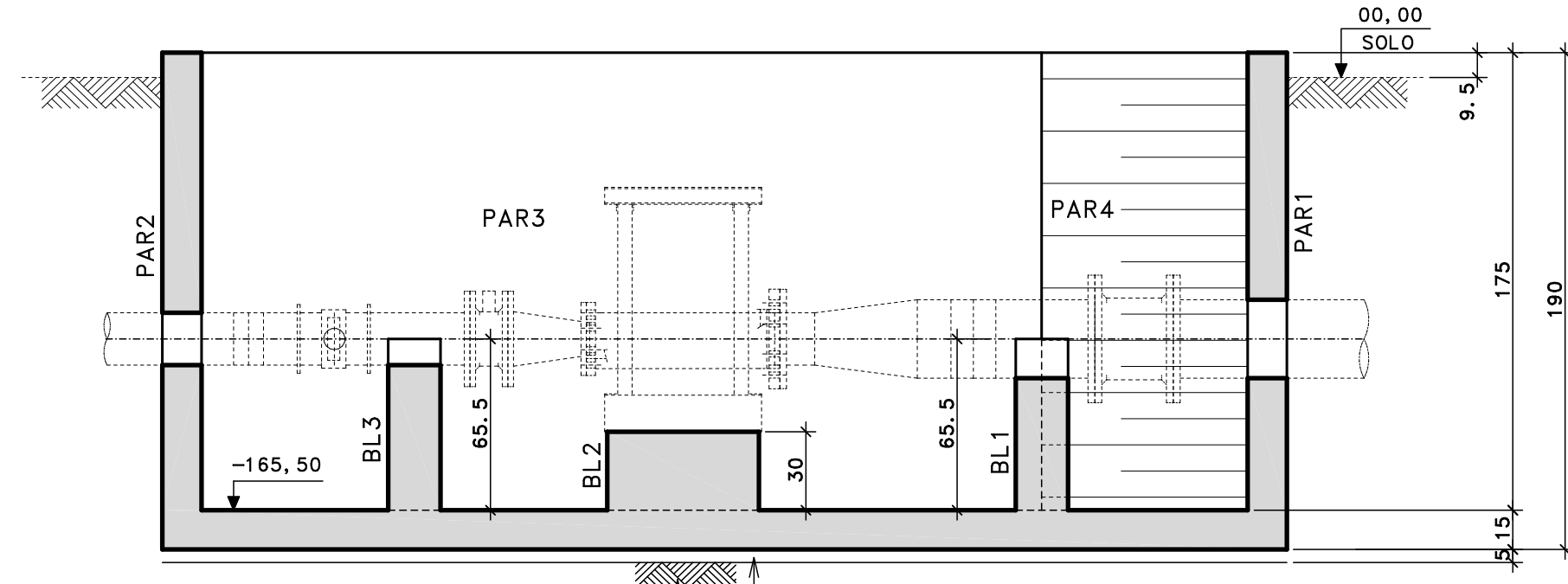
ANEXO D – Projeto dos blocos de ancoragem



PLANTA
VISTA SUPERIOR
ESC. 1: 25

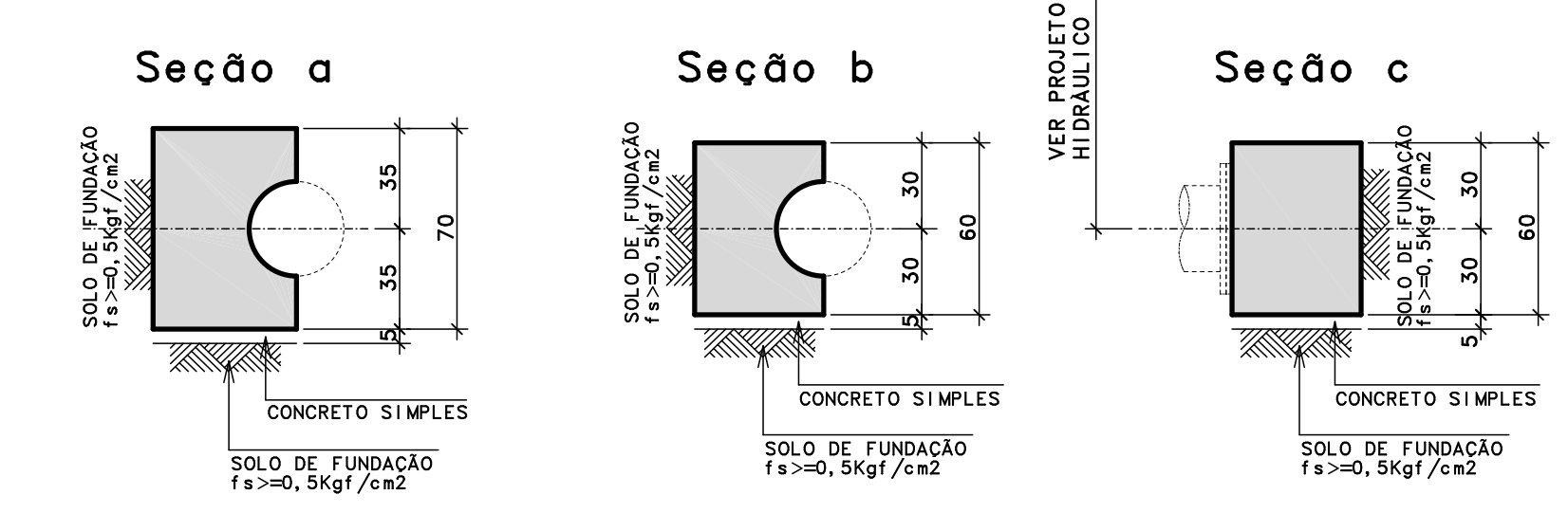
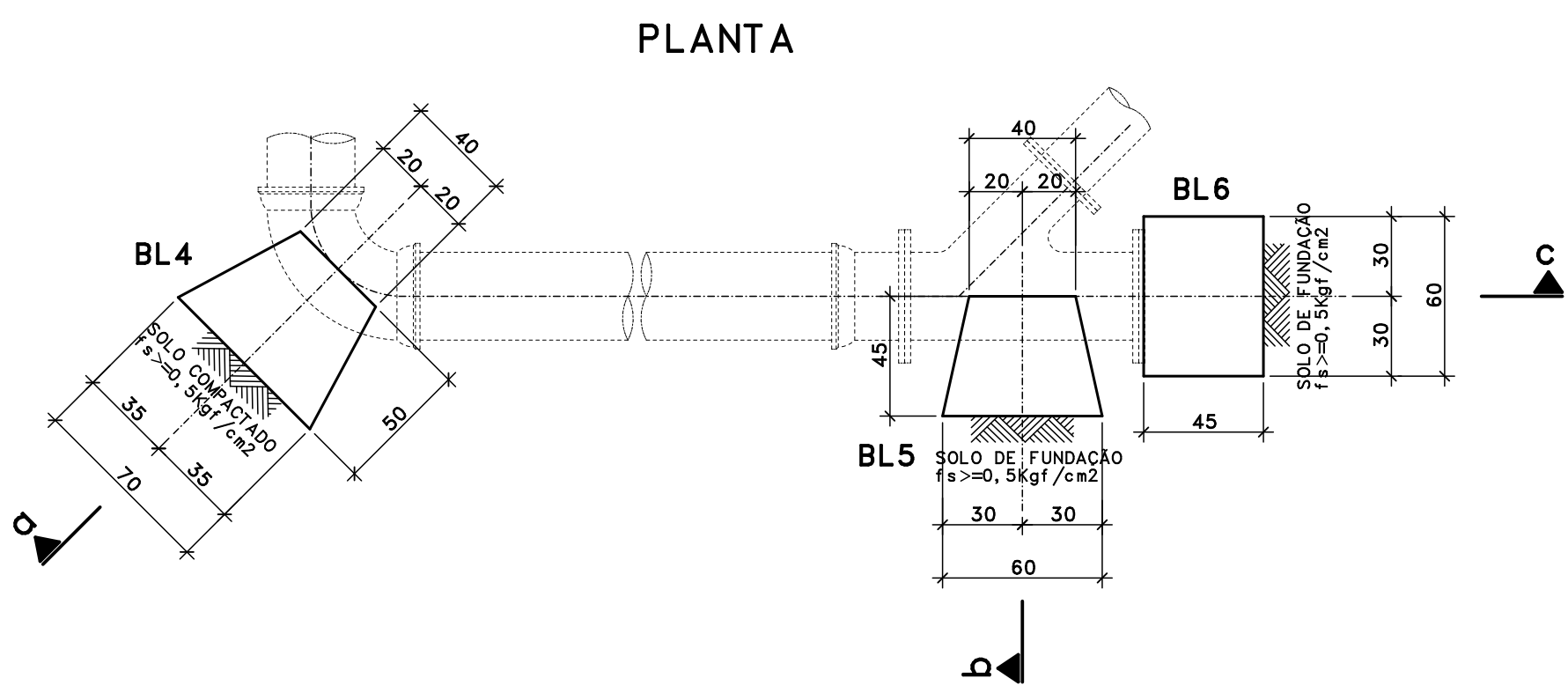


CORTE A-A
ESC. 1: 25



CORTE B-B
ESC. 1: 25

BLOOS DE ANCORAGEM
ESC. 1: 25



ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

- ESTE PROJETO ATENDE AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA NBR-6118:2007
- CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL: II - MODERADA
CONCRETO ESTRUTURAL: CLASSE C25 - $f_{ck} = 25MPa$.
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM MASSA $\leq 0,60$
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO = 28000 MPa
- O CONCRETO DEVE ATENDER AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR-2006
- COBRIMENTO NOMINAL DAS ARMADURAS = 45mm (CLASSE IV), 40mm (CLASSE III), 30mm (CLASSE II), E 25mm (CLASSE I) OU CONFORME DETALHADO EM PROJETO. DEVE SER REALIZADO ADEQUADO CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO E RÍGIDOS LIMITES DE TOLERÂNCIA DA VARIABILIDADE DAS DIMENSÕES DO PROJETO. UTILIZAR DISTANCIADORES DE ARGAMASSA COM RESISTÊNCIA SUPERIOR A ESPECIFICADA NO PROJETO PARA GARANTIR O COBRIMENTO E POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS.
- A EXECUÇÃO DEVE OBEDECER AS PRESCRIÇÕES CONSTANTES DA NORMA NBR-14931: 2004 - EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO.
- O SISTEMA DE FORMAS E ESCORAMENTO DEVE SER COMPATÍVEL COM O TIPO DE ESTRUTURA A SER EXECUTADA, E DEVE PREVER SISTEMA DE REESCORAMENTO EFICIENTE DE ACORDO COM A CARGA DE CADA TRECHO A SER CONCRETADO EM RELAÇÃO AOS NÍVEIS INFERIORES DE APOIO. A RETIRADA DE FORMAS E ESCORAMENTO SO PODE SER LIBERADA POR PROFISSIONAL ESPECIALISTA EM TECNOLOGIA DE MATERIAIS, A PARTIR DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA E DE MÓDULO DE ELASTICIDADE NO MÍNIMO E SOB CONSULTA AO ENGENHEIRO PROJETISTA DA ESTRUTURA. AS FORMAS DEVERÃO SER ESTANQUES PARA EVITAR A FUGA DA ÁGUA.
- A CURA DEVE SER RIGOROSAMENTE CONTROLADA E ESPECIALMENTE AS SUPERFÍCIES EXPOSTAS DEVEM SER COBERTAS COM TECIDOS DE CURA SATURADOS DE ÁGUA IMEDIATAMENTE APÓS O ADENSAMENTO E ASSIM MANTIDAS ATÉ QUE O CONCRETO ATINJA A RESISTÊNCIA MÍNIMA DE 15MPa.
- TODAS AS MEDIDAS E DIMENSÕES DEVEM SER CONFIRMADAS NA OBRA.
- ENCHIMENTOS VER PROJETO TÉCNICO.
- "*" MEDIDA A SER CONFIRMADA NA OBRA.

IMPORTANTE: 1) - O FATOR ÁGUA/CIMENTO BAIXO RESULTA EM CONCRETO POUCO TRABALHÁVEL, FAVORECENDO A OCORRÊNCIA DE FALHAS NA CONCRETAGEM. PORTANTO DEVERÁ SER ESTUDADA UMA DOSAGEM PREVENDO ADITIVO PARA MELHORAR A TRABALHABILIDADE DO CONCRETO.
2) - VER RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO ESTRUTURAL, SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO E PROJEÇÃO DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS DE CONCRETO ARMADO NA SANEPAR (REL. 031/2007 - DI - ANEXO 1).

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

PROJETO GEOTÉCNICO

EMPRESA	RELATÓRIO N.º	DATA

PROJETO BÁSICO

EMPRESA	RESP. TÉCNICO	DES. N.º	DATA
SANEPAR	MANUEL HELMFELT	01	05-2015

RESUMO DOS TUBOS PRÉ-MOLDADOS

TUBOS Ø	QUANTIDADE (m)
1	
2	
3	

RESUMO DOS PRÉ-MOLDADOS

DIVISÃO	ÁREA DE FORMAS (m²)	VOLUME DE CONCRETO (m³)
1		
2		
3		
4		

DIÂMETROS DE DOBRAMENTO

CA-50A - Ø < 20 mm	D = 5Ø
CA-50A - Ø ≥ 20 mm	D = 8Ø
CA-60B - Ø ≤ 5,0 mm	D = 6Ø

DETALHE DE EMENDAS ALTERNADAS P/OS FERROS CORRIDOS

IMPORTANTE: NOS DESENHOS DE ARMADURAS AS BARRAS ESTÃO DESENHADAS E COTADAS NOS SEUS TRECHOS RETOS SEM QUALQUER DESCONTO DE DIÂMETROS DE DOBRAMENTO.

Ø	6,3	8	10	12,5	16	20
A	40	50	65	80	100	125

CONVENÇÃO DOS FERROS

--- FERRO SUPERIOR
— FERRO INFERIOR

DETALHE GENÉRICO DOS GANCHOS

FERROS HORIZONTAIS

ESTRIBOS

FERROS VERTICAIS

GANCHOS

LASTRO DE CONCRETO SIMPLES 0,500m³

LAJES	REVESTIMENTO (Kg/m²)	SOBRECARGA ACIDENTAL (Kg/m²)	DIVISÃO	ÁREA DE FORMAS (m²)	VOLUME DE CONCRETO (m³)
			LAJE DO FUNDO	0,20	1,100
			PAREDES	44,30	3,460
			BLOCOS	6,70	0,770
TOTAL:				51,20	5,330

OBS.: (NÃO ESTÁ INCLUIDA A CARGA DEVIDO AO PESO PRÓPRIO DAS LAJES.)

CONCRETO $f_{ck} \geq 25MPa$ (VER ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO)

A	NOVO PROJETO	06-2015		
N				

SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná

MUNICÍPIO/SISTEMA: **SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR**

PROJETO/UNIDADE CONSTRUTIVA: **CENTRO DE RESERVAÇÃO AEROPORTO MICROGERAÇÃO HIDROENERGÉTICA BFT**

FORMAS: PLANTA, CORTES E DETALHES

FOLHA N.º: **01/02**

DATA: **AGOSTO/2015**

ESCALA: **INDICADA**

UNIDADE SANEPAR: **USPE** Unidade de Serviço de Projeto Especialista
RUA ENRIQUETA S/N - LINDOYBA - CEP: 81250-000 - PR (041) 3300-0000
GERENTE: ENZ LEUBA LUCIA CONTE DE OLIVEIRA CREA N.º: 16.630-0/PR
COORDENADOR GERAL DO PROJETO: ENZ ANTONIO BARROS
CREA N.º: 33.468-0/PR
RESP. TÉCNICO PROJETO: MANUEL HELMFELT ADEQUAÇÃO DESENHO: MANUEL HELMFELT
CREA N.º: 88.214/70
NÚMERO C. E. D.: SAA-0001-2643-ESTR-DE-MGHD1FORMA-001-RO-DWG
EMPRESA CONTRATADA: **Sistema Estruturas Ltda.**
RUA FREDERICO DE CASTILHO, 88 - JARDIM TANQUE - 83200-000 - ALTO ALEGRE - PR.
RESPONSÁVEL TÉCNICO PROJETO: ERROL TOEWS
CREA N.º: 4339-0/PR
DESENVOLVIMENTO/ADEQUAÇÃO: DANTE

PENALIDADE ESP.:

01	0,10
02	0,20
03	0,30
04	0,40
05	0,50
06	0,60
07	0,70
08	0,80
09	0,90
10	1,00
11	0,20
12	0,20
13	0,20
14	0,20
15	0,20
16	0,20
17	0,01

