

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

FERNANDA DE CARLI TONIAL

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO:
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS DO VALE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
SUL**

**PORTO ALEGRE
2014**

FERNANDA DE CARLI TONIAL

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO:
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS DO VALE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
SUL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr Marcelo Giulian Marques

PORTO ALEGRE

2014

FERNANDA DE CARLI TONIAL

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO:
ESTUDO DE CASO DO CAMPUS DO VALE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
SUL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr Marcelo Giulian Marques

Aprovado pela Banca Examinadora em janeiro de 2014.

Prof. Dr Marcelo Giulian Marques

Orientador – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr José Almir Rodrigues Pereira

Universidade Federal do Pará

Prof. Dr Dieter Wartchow

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra Daniela Guzzon Sanagiotto

Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr Paulo Kroeff de Souza

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

A minha família, pessoas indispensáveis em minha vida, por todo o apoio e incentivo, além de admiração e carinho, que foram alicerces importantes no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu querido Júlio, pelas inúmeras demonstrações de compreensão e afeto.

Ao Professor Marcelo Marques, pela orientação na execução das atividades, a dedicação e incentivo.

Ao Professor Paulo Kroeff, pelo incentivo, ajuda e a disposição em sempre contribuir para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Luís Teixeira de contribuição ímpar para a instrumentação do local de estudo e além dos inúmeros incentivos para a finalização desta pesquisa.

Pela atenção e ajuda dos colegas do Pavilhão Marítimo da UFRGS: Roberta, Max, Vilson, Leandro, Guilherme, Alexandre, Franco, Fernando, Bruno, Marcelo.

Aos funcionários da Prefeitura do Campus do Vale da UFRGS, em especial ao setor de hidráulica, pela disposição em contribuir para este trabalho. E aos demais servidores da UFRGS que possibilitaram o avanço desta pesquisa.

Ao CNPq e a Eletrobrás/LENHS que deram suporte para a implantação e desenvolvimento do trabalho.

A todas as pessoas que indiretamente ou diretamente influenciaram neste trabalho, com críticas, sugestões ou incentivo.

RESUMO

Tendo como motivação os altos gastos energéticos em estações de recalque de água, esta pesquisa está centrada na avaliação hidroenergética de estações de bombeamento que não utilizaram o conceito de eficiência energética como premissa na sua concepção. Para tanto, foi desenvolvida a avaliação da elevatória que abastece o anel viário do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O desenvolvimento do diagnóstico hidroenergético só foi possível ser realizado após a obtenção de informações documentais junto aos órgãos da Universidade; aquisição em campo de dados mecânicos, elétricos e hidráulicos como a obtenção da curva característica de consumo de água da área em estudo. Para a avaliação da estação em estudo, utilizaram-se os indicadores de desempenhos contíguos a um simulador hidráulico de redes de abastecimento. No simulador, foram desenvolvidos quatro diferentes cenários: Cenário I, buscou-se reproduzir as grandezas obtidas em campo visando validar o modelo gerado; Cenário II permitiu fazer um diagnóstico do comportamento e do consumo de energia na estação em estudo frente a novos valores de demanda de água; No Cenário III, foram propostas novas formas de se realizar o bombeamento de água na demanda atual e, na de final de plano, objetivando melhorar o desempenho e reduzir o consumo e o custo energético sem ser necessária nenhuma intervenção física no sistema existente; e no Cenário IV, foram sugeridas alterações de componentes físicos do sistema (adutora, grupo motobomba e implantação de sistema de acionamento e monitoramento) para possibilitar a implantação de leis guias de bombeamento mais complexas.

A identificação da curva de consumo de água foi um dos principais resultados obtidos nesta pesquisa, pois retratou as diferentes sazonalidades que a área de estudo está sujeita, durante um ano inteiro. Os cenários criados foram modelados considerando a curva de consumo anual. Pelos valores encontrados é possível afirmar que o custo final para cada 1000 m³ bombeados diminuiu em 33% do Cenário I para o Cenário III na tarifa Horó-Sazonal Verde, que é a tarifa mais aconselhável para o sistema em estudo. Porém mesmo tendo-se economizado com o custo da energia elétrica o Cenário III apresentou valores de indicadores de desempenho mais distantes do ideal teórico. Então, entende-se que a melhora dos indicadores de desempenho analisados, por serem índices de desempenho técnicos e não financeiros, não repercute necessariamente em economicidade para o sistema.

O Cenário IV foi o que apresentou os melhores valores tanto em termos de consumo de energia, quanto financeiros e nos índices de desempenho. A redução no consumo de

energia elétrica, neste cenário, foi da ordem de 60%, o custo final para cada 1000 m³ bombeados diminuiu em 70% e, as melhoras dos indicadores de desempenho foram de até 60%. Porém mesmo assim dependendo do material a ser utilizado na implantação da nova adutora pode não haver o retorno do investimento inicial.

Esta pesquisa salientou a importância da aplicação dos índices de desempenho atrelados à simulação hidráulica e a análise econômica para o desenvolvimento de diagnósticos hidroenergéticos em estações de recalque.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico hidroenergético. Estações de recalque de água. Indicadores de desempenho.

ABSTRACT

Having as a motivation the high energy costs of water booster stations, this research is focused on the evaluation of hydropower pumping stations that did not use the concept of energy efficiency as a basis in its design. Therefore, the evaluation of the station that supplies the Beltway off the Valley Campus of the Federal University of Rio Grande do Sul was developed.

The development of the hydropower diagnosis was only possible to be done after obtaining documentary information from the organs of the University; acquisition in the field of mechanical, electrical and hydraulic data and obtaining the characteristic curve of water consumption of the study area. For the evaluation of the station under study, we used the indicators contiguous to a hydraulic supply network simulator performance. In the simulator, four different scenarios were developed: The Scenario I sought to reproduce the magnitudes obtained in the field aiming to validate the model generated; Scenario II allowed to diagnose the behavior and the energy consumption in the study station in view of the new values of water demand; in Scenario III a, new way of performing the pumping of water from current demand was proposed and that, in the final plan, aiming to improve performance and reduce energy consumption and costs without requiring any physical intervention on the existing system. In Scenario IV, changes in physical components of the system (pipeline, pump unit and drive system deployment and monitoring) that enabled the implementation of more complex laws guiding, pumping were suggested.

One of the main results obtained in this study was the identification of the consumption of water curve, which portrayed the seasonality that study area is subject to for a whole year. The scenarios created were modeled considering the curve of annual consumption. From the values found we can say that the final cost per 1000 m³ pumped decreases by 33 % from Scenario I to Scenario III - using Horo-Sazonal Verde tariff, which is the most desirable for the system under study. But even having saved in the cost of electricity, Scenario III showed values of the performance indicators far from the theoretical ideal. It is understood that the improvement of the performance indicators analyzed, being indices of technical and not of financial performance, do not necessarily reflect an operational economy for the system.

Scenario IV showed the best values in terms of energy consumption, financial and performance ratios. The reduction in electricity consumption in this scenario was approximately 60 %, the final cost per 1000 m³ pumped decreases by 70 %, and the

improvement of the performance indicators were up 60 %. However, depending on the material used in the implementation of the new pipeline there can be no return on initial investment.

This research emphasized the importance of the application of performance indicators linked to hydraulic simulation and economic analysis for the development of hydropower diagnostics booster stations.

KEYWORDS: Hydropower diagnosis. Water booster stations. Performance indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Sistema de abastecimento de água (Fonte: BAHIA, 1998).	17
Figura 3.2 - Variação do custo total do sistema de recalque, segundo o diâmetro da adutora (Fonte: GOMES, 2001).	30
Figura 3.3 - Diagrama dos tipos de motores elétricos.	35
Figura 3.4 - Comparação da corrente exigida na partida quando acionadas por diferentes métodos... ..	36
Figura 3.5 - Ligações de partida de um motor de indução trifásico com partida direta (a), chave estrela-triângulo (b) e autotransformador (c).	38
Figura 3.6 - Esquema de uma chave soft-starter implementada com 6 tiristores	39
Figura 3.7 - Tipos de rotores das turbobombas.	43
Figura 3.8 - Tipos de difusores das turbobombas.	43
Figura 3.9 - Rotores aplicados as classificações radial, mista e axial, respectivamente.	44
Figura 3.10 - Apresentação padrão das curvas características de uma bomba.	45
Figura 3.11 - Configurações das instalações de bombeamento, bombas com sucção negativa (a) e bombas com sucção positiva ou afogada (b).	47
Figura 3.12 - Representação do comportamento da altura manométrica e geométrica com a vazão.	48
Figura 3.13 - Interseção da curva do sistema com a curva característica da bomba para definição do ponto de operação.	50
Figura 3.14 - Mudanças nas curvas do sistema conforme a configuração da instalação.	51
Figura 3.15 - Estrutura simplificada das tarifas de energia elétrica.	52
Figura 4.1 - Campus do Vale da UFRGS, em destaque o anel viário e o Setor 7.	69
Figura 4.2 - Desenho esquemático do local de estudo no Campus do Vale da UFRGS.	70
Figura 4.3 - Quatro conjuntos motobomba instalados na casa de maquinas do Campus do Vale da UFRGS.	72
Figura 4.4 - Imagem de satélite do sistema de recalque do Campus do Vale da UFRGS.	73
Figura 4.5 - Caixa para a aquisição de nível da água dos reservatórios.	74
Figura 4.6 - Caixa para a medição de nível fixada na porta de inspeção do reservatório RI.	74
Figura 4.7 - Medidores de pressão instalados na sucção e no recalque das bombas.	75
Figura 4.8 - Aparelho utilizado para medir a pressão na sucção e recalque da bomba.	75
Figura 4.9 - Analisador de energia elétrica com as quatro ponteiras e três garras.	76
Figura 4.10 - Analisador de energia instalado no painel elétrico de acionamento das motobombas.	76
Figura 4.11 - Medidor de pressão instalado na tubulação que abastece o reservatório RII.	77
Figura 4.12 - Caixa que contém o medidor de pressão hidrostático, o data logger e as baterias (à esquerda). A direita tampa para inspeção e limpeza do reservatório R1 na qual o caixa com o medidor de nível foi fixada.	78
Figura 4.13 - Vista frontal do painel (à esquerda) e distribuição dos medidores de vazão e nível no interior do painel (à direita).	79
Figura 4.14 - Distribuição dos equipamentos de coleta de dados na área de estudo.	81

Figura 4.15 - Manômetro inserido em uma derivação da adutora que liga o hidrometro até RI para verificar a pressão com que a água vem do DMAE ate o primeiro reservatório.....	82
Figura 4.16 - Situação precária do sistema de acionamento do conjunto MB3.	83
Figura 4.17 - Medidor de vazão ultrassônico instalado na tubulação que sai da casa de máquinas, para levantar a curva característica da bomba.....	84
Figura 4.18 - Verificação da rotação de trabalho do conjunto motobomba.	85
Figura 4.19 - Comparação da curva caracaterística teorica (fabricante) e a obtida no local.....	85
Figura 4.20 - Curva caracaterística teórica e as experimentais corrigidas no valor da vazão.	86
Figura 4.21 - Nova curva experimental dos conjuntos motobomba MB1 e MB2.....	86
Figura 5.1 - Combinação dos períodos letivos com a estação do ano e a aquisição dos dados.....	88
Figura 5.2 - Curva pressão por vazão teórica e experimental para a MB1 e MB2.....	90
Figura 5.3 - Comportamento do nível do reservatório RI durante os feriados.....	91
Figura 5.4 - Variação horária do nível do reservatório RI para dias sem feriados.....	92
Figura 5.5 - Comportamento do nível dos reservatórios RI e RII, para o dia de menor consumo e de maior consumo.	92
Figura 5.6 - Volume do reservatório RI máximos, médios e mínimos para cada dia da semana, exceto os feriados.	93
Figura 5.7 - Consumo para os três reservatório e o setor 4 durante os feriados.....	93
Figura 5.8 - Variação do nível do reservatório RII nos dias sem a presernça de feriados.	94
Figura 5.9 - Variação de nível do reservatório RII durante os feriados.	94
Figura 5.10 - Volume máximo, médio e mínimo demandado do reservatório RII exceto nos feriados.95	
Figura 5.11 - Varição do nível de água do reservatório RIII nos dias normais da semana.	96
Figura 5.12 - Variação do nível de água durante os feriados no interior do reservatório RIII.....	96
Figura 5.13 - Volume máximo, médio e mínimo que entrou no reservatório RIII, exceto nos feriados.	97
Figura 5.14 - Volume máximo, médio e mínimo demandado pelo Setor 4, exceto nos feriados.....	98
Figura 5.15 - Volume máximo, médio e mínimo demandado pelo centro do Campus, exceto nos feriados.....	98
Figura 5.16 - Curva de consumo de água no Campus nas segundas-feiras.....	99
Figura 5.17 - Curva de consumo de água no Campus nas terças-feiras.	99
Figura 5.18 - Curva de consumo de água no Campus nas quartas-feiras.....	100
Figura 5.19 - Curva de consumo de água no Campus nas quintas-feiras.....	100
Figura 5.20 - Curva de consumo de água no Campus nas sextas-feiras.....	100
Figura 5.21 - Volume consumido por hora no Campus aos sábados.	101
Figura 5.22 - Consumo de água no domingo pelo Campus.	101
Figura 5.23 - Consumo horário do Campus durante os feriados.....	101
Figura 5.24 - Variação de corrente no motor elétrico.	103
Figura 5.25: Efeitos da inversão das fases sobre o GMB-2.	105
Figura 6.1 – Imagem do sistema de recalque do anel viário do Campus do Vale no WaterGems.....	112
Figura 6.2 - Curvas de consumo semanal adimnesionalizada para dias normais e feriados.	113

Figura 6.3 - Média do consumo por estação do ano, obtido através das leituras do hidrômetro da Av. Bento Gonçalves, média dos últimos cinco anos.	114
Figura 6.4 - Valores dos coeficiente k_1 para cada dia da semana.....	114
Figura 6.5 - Curva semanal de consumo do campus, nas diferentes estações do ano para os dias normais.....	115
Figura 6.6 - Representação do comportamento atual do grupo motobomba MB-1.....	122
Figura 6.7 - Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII no Cenário I.	123
Figura 6.8 - Comportamento da Adutora-1 no Cenário I.	123
Figura 6.9 - Comportamento dos nós no Cenário I.	125
Figura 6.10 – Curvas do sistema versus curva das bombas estudadas.....	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Diâmetro mínimo segundo norma NTE- IFA.	22
Tabela 3.2 - Valores aproximados do coeficiente de perda de carga, K	24
Tabela 3.3 - Rugosidade absoluta dos tubos , ϵ , em mm.	26
Tabela 3.4 - Valores do coeficiente C para a fórmula de Hazen-Williams.	26
Tabela 3.5 - Valores do coeficiente C para tubos de ferro fundido sem revestimento interno.	27
Tabela 3.6 - Consumo de água para estabelecimentos públicos.	33
Tabela 3.7 - Tensão de Fornecimento, Grupo A.	54
Tabela 3.8 - Resumo do faturamento tarifário.	55
Tabela 4.1 - Dados do motor acoplado as bombas modelo JP-Plus fabricado pela WEG.	71
Tabela 4.2 - Dados de entrada do medidor de vazão ultrassônico conectado na entrada do RIII.	78
Tabela 4.3 - Resumo dos equipamentos que foram instalados na estação de recalque do Campus do Vale.	80
Tabela 4.4 - Resumo dos equipamentos utilizados de forma portátil para medições aleatórias.	80
Tabela 4.5 - Dados de entrada para parametrizar o medidor ultrassônico acoplado a adutora na saída da casa de maquinas.	84
Tabela 5.1 - Dias que foram atribuídos como sendo feriados para a análise dos dados.	89
Tabela 5.2 - Resumo dos dados aquisitados referentes ao FP e a potência ativa integralizada.	103
Tabela 6.1 -Dados físicos de entrada do reservatório RI e RII.	108
Tabela 6.2 - Dados físicos de entrada do reservatório RIII.	108
Tabela 6.3 - Dados de entrada para as adutoras do sistema estudado.	109
Tabela 6.4 - Consumo médio por estação do ano, dados hidrometrados.	113
Tabela 6.5 - Consumos por estação do ano para o Centro do Campus e o Setor 4.	115
Tabela 6.6 - Valores dos coeficientes mensais.	116
Tabela 6.7 - Comparação dos volumes diários para os dias normais e feriados.	116
Tabela 6.8 - Comapração dos volumes diários para o período letivos e de férias.	116
Tabela 6.9 - Novas vagas oferecidas nos vestibulares dos últimos 5 anos.	117
Tabela 6.10 – Consumos registrados pelo hidrômetro para o ano de 2011 e per capta.	117
Tabela 6.11- Projeção da população e das demandas para diferentes taxas de crescimento.	118
Tabela 6.12 – Controles para o Cenário I.	121
Tabela 6.13 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário I.	127
Tabela 6.14 - Resumo dos custo energético para o Cenário I, considerando pagamento da DU.	128
Tabela 6.15 - Indicadores de desempenho do Cenário I.	129
Tabela 6.16 - Resumo das demandas futuras, função da taxa de crescimento populacional.	130
Tabela 6.17 – Controles para o Cenário II.	131
Tabela 6.18 - Variação da pressão nos nós com consumo conforme a taxa de crescimento, Cenário II.	132

Tabela 6.19 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário II, para taxas de crescimento de 2%, 4% e 6% a.a.	133
Tabela 6.20 - Indicadores de desempenho do Cenário II para taxas de crescimento de 2%, 4% e 6% a.a.	134
Tabela 6.21 - Resumo das demandas inseridas nos nós para o Cenário III.....	135
Tabela 6.22 – Controles para o Cenário III, demanda atual.....	136
Tabela 6.23 - Variação da pressão nos nós com consumo no Cenário III.....	136
Tabela 6.24 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário III, demanda atual.	138
Tabela 6.25 – Indicadores de desempenho do Cenário III, demanda atual.	139
Tabela 6.26 - Peças singulares do novo sistema de recalque de água para o anel viário do Campus do Vale.	141
Tabela 6.27 – Valores para a configuração da curva do sistema.....	142
Tabela 6.28 - Dados de entrada no modelo referente ao GMB para o Cenário IV.	143
Tabela 6.29 - Dados de entrada para a Adutora-1 na nova configuração do sistema.....	143
Tabela 6.30 - Resumo dos consumos base inseridos no Cenário IV.....	144
Tabela 6.31 – Controles para o Cenário IV, demanda atual.....	144
Tabela 6.32 – Controles para o Cenário IV, demanda taxa de crescimento de 6% a.a.	145
Tabela 6.33 - Variação da pressão nos nós conforme a variação de consumos do Cenário IV.	146
Tabela 6.34 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário IV, para a demanda atual e para a taxa de crescimento de 6% a.a.	147
Tabela 6.35 - Indicadores de desempenho do Cenário IV para demanda atual e taxas de crescimento de 6% a.a.....	148
Tabela 6.36 – Previsão dos investimentos para a implantação do novo sistema de recalque no Campus com a adutora em FoFo.....	150
Tabela 6.37 – Previsão de custos com energia, manutenção e operação do atual sistema e do sistema com as modificações propostas.....	150
Tabela 6.38 – Previsão dos investimentos para a implantação do novo sistema de recalque no Campus com a adutora em PVC DEFoFo.....	151
Tabela 6.39 – Previsão de custos com energia, manutenção e operação do atual sistema e do sistema com as modificações propostas.....	152
Tabela 7.1 – Resultado da simulação para os cenários considerando a demanda igual a atual.	156
Tabela 7.2 – Resultado dos índices de desempenho para os cenários estudados com a deamanda atual.	157
Tabela 7.3 – Resultado da simulação para os cenários considerando um crescimento de 6% a.a.	158
Tabela 7.4 – Resultado dos índices de desempenho para os cenários estudados com a deamanda para taxa de crescimento de 6% a.a.	159

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO	15
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	15
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	15
2.3	PRESSUPOSTO	16
2.4	PREMISSA	16
2.5	DELIMITAÇÕES	16
2.6	LIMITAÇÕES	16
2.7	DELINEAMENTO	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
3.1.1	Captação	18
3.1.2	Adução.....	18
3.1.3	Tratamento.....	19
3.1.4	Reservação.....	19
3.1.5	Redes de distribuição.....	20
3.2	CONDIÇÕES HIDRÁULICAS PARA O PROJETO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	20
3.2.1	Pressões mínimas e máximas.....	20
3.2.2	Limite de velocidade nas tubulações	21
3.2.3	Diâmetro mínimo.....	22
3.2.4	Perdas de carga ou de energia.....	22
3.3	ANÁLISE ECONÔMICA	27
3.3.1	Custo de implantação da tubulação	27
3.3.2	Custo de operação.....	28
3.3.3	Custo total do sistema.....	28
3.4	CURVAS DE CONSUMO	31
3.4.1	Determinação do consumo pela leitura dos hidrômetros.....	32
3.4.2	Determinação do consumo pela leitura dos macromedidores.....	32
3.4.3	Determinação do consumo quando não existe medição	33
3.4.4	Variações e fatores que afetam o consumo.....	33
3.5	CONJUNTO MOTOBOMBA	34
3.5.1	Motores.....	34
3.5.2	Formas de partidas de motores de indução trifásicos	36
3.5.3	Máquinas de fluidos ou bombas	41
3.5.4	Dimensionamento do conjunto motobomba	46
3.5.5	Curva do sistema.....	50

3.6	TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	52
3.6.1	Definições e conceitos	53
3.6.2	Tensão de fornecimento.....	54
3.6.3	Estrutura tarifária	55
3.7	INDICADORES DE DESEMPENHO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	59
3.7.1	Consumo Específico de Energia Elétrica.....	59
3.7.2	Consumo Específico de Energia Normalizado	60
3.7.3	Consumo de energia reativa.....	60
3.7.4	Rendimento de Conjunto Motor bomba	61
3.7.5	Consumo específico por comprimento de adutora.....	61
3.7.6	Utilização da capacidade de bombeamento	61
3.7.7	Custos de energia elétrica	62
3.7.8	Consumo médio de energia elétrica.....	62
3.8	TRABALHOS JÁ DESENVOLVIDOS PARA O CONTROLE DOS GASTOS ENERGÉTICOS EM ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO.....	63
4.	PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA.....	67
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	67
4.2	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL ONDE SERÁ APLICADA A METODOLOGIA	68
4.3	DELIMITAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO E LEVANTAMENTO DOCUMENTAL.....	69
4.4	INSTRUMENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE RECALQUE.....	74
4.5	PRÉ-DIAGNÓSTICO DO SISTEMA	82
4.6	VERIFICAÇÃO DOS GRUPO MOTOBOMBA	83
5.	ANÁLISE DOS DADOS.....	88
5.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS ADQUIRIDOS	89
5.2	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO RESERVATÓRIO RI	90
5.3	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO RESERVATÓRIO RII.....	93
5.4	ANÁLISE DOS DADOS DO RESERVATÓRIO RIII	95
5.4.1	Consumo do Setor 4.....	97
5.4.2	Consumo do Centro do Campus do Vale.....	98
5.5	CONJUNTO MOTOBOMBA	102
5.5.1	Diagnóstico energético dos conjuntos motobomba	102
6.	MODELAGEM DO SISTEMA NO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA.....	106
6.1	O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA	106
6.2	DADOS DE ENTRADA NO MODELO	107
6.2.1	Informações físicas do sistema	107
6.2.2	Curvas de consumo do sistema.....	112

6.2.3	Custos energéticos	118
6.3	CENÁRIOS ESTUDADOS	119
6.3.1	Cenário I: Sistema atual.....	119
6.3.2	Cenário II: Sistema atual com demanda futura.....	129
6.3.3	Cenário III: Sistema atual com leis de bombeamento	135
6.3.4	Cenário IV: Sistema novo com a aplicação de leis de bombeamento	139
7.	CONCLUSÕES	153
8.	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	160
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
	APÊNDICE A - Curvas características do atual GMB.	164
	APÊNDICE B - Volumes mensais calculados versus volume mensal lido no hidrômetro.....	165
	APÊNDICE C - Resultados gráficos extraídos do simulador hidráulico para o Cenário II.....	166
	APÊNDICE D - Resultados gráficos do simulador hidráulico para o Cenário III.....	179
	APÊNDICE E - Resultados gráficos do simulador hidráulico para o Cenário IV	184
	Anexo A - Dimensional das bombas atualmente instaladas.....	193
	Anexo B - Consumo de água do Campus no últimos seis anos	194
	Anexo C - Tarifa praticada pela concessionária CEEE para a classe Convencional	195
	Anexo D - Tabela de tarifa praticada pela concessionária CEEE para a classe Horó-sazonal Verde.	196
	Anexo E - Curvas características das novas bombas	197
	Anexo F - Plantas do sistema hidráulico da área de estudo no Campus do Vale.....	200

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento urbano de água, as instalações elevatórias de água e esgoto são exemplos claros de projetos onerosos e que são imprescindíveis para a sociedade como um todo. Nos projetos que envolvem as instalações pressurizadas para a distribuição de água, os custos de investimento são elevados e os de exploração, que compreendem os gastos de operação e manutenção são, também, significativos. Em regra geral, os custos de exploração repercutem mais e esta repercussão maior tem se acentuado nos últimos anos, em virtude dos gastos energéticos, que são cada vez mais dispendiosos (GOMES, 2005).

O percentual de consumo elétrico do setor de saneamento, dentro da matriz energética brasileira, é significativo, considerando que, do consumo total de energia elétrica do Brasil, 3% ou 7 milhões de megawatt hora por ano são consumidos por este setor (ABAE, 2006). Dado que aponta o saneamento como sendo um campo fértil para o desenvolvimento de ações de redução do desperdício de energia elétrica.

A nível mundial, o impacto do setor de abastecimento urbano também revela ser de grande importância, conforme análise divulgada pela Alliance - Aliança para a conservação de energia, em 2002,

“entre dois e três por cento do consumo de energia do mundo é usado no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. O consumo de energia na maioria dos sistemas de água em todo o mundo poderia ser reduzido em pelo menos 25 por cento, por meio de ações de eficiência com melhor desempenho. (...) Infelizmente, tem sido dada uma atenção relativamente pequena à redução do uso de energia nos sistemas de água municipais.”

As principais operações de saneamento que utilizam energia elétrica são as estações elevatórias, cerca de 90% de seu consumo total. Em muitos casos, o processo é realizado por bombas impróprias, com reservatórios com volumes inadequados e sem equipamentos que otimizem a sua operação (SNIS, 2003). Isso causa o desperdício de energia elétrica e o dispêndio desnecessário de recursos para pagar custos de demanda e consumo em horário de ponta de energia, onde as tarifas são mais elevadas.

Segundo GOMES (2005) o fator complicador para os sistemas de abastecimento de água reside no fato de a curva de demanda de água ter seu pico por volta das 15 horas, e os reservatórios de distribuição serem dimensionados para o atendimento deste período. Assim,

no momento em que ocorre o aumento das taxas de energia, pela entrada no horário de ponta do consumo desta, os reservatórios de distribuição encontram-se com volume insuficiente para o abastecimento do sistema até às 21 horas e, então, as estações elevatórias acabam por operar dentro do horário de ponta de energia e, as companhias de saneamento por pagar valores elevados para consumir energia elétrica neste período.

Ações de combate às perdas ou uso inadequado de água e de energia nos sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário são, atualmente, medidas imprescindíveis e inadiáveis para garantir a sustentação econômica da grande maioria das empresas de saneamento existentes no Brasil e no mundo. Qualquer conjunto de ações a executar em um sistema de saneamento, visando melhorar sua eficiência, em termos de redução de perdas de água e energia, necessita de um estudo técnico, ambiental e econômico para verificar sua viabilidade. A viabilidade técnica e ambiental das ações físicas e operacionais, com vistas a melhorar a eficiência dos sistemas no setor de saneamento, é necessária, mas não é suficiente. É também necessário que haja um estudo de viabilidade econômica, que demonstre que os custos de investimentos e operação, aplicado para melhorar a eficiência do sistema, geram benefícios que podem garantir a sustentabilidade econômica da sua exploração (GOMES, 2005).

Buscando soluções ou meios para a minimização desta problemática, tanto no setor de saneamento como nas mais diversas áreas, surgiu o conceito de eficiência energética. TOLMASQUIM e PINGUELLI (1998) conceituam a eficiência energética como padrões de utilização da energia de modo que esta atenda às necessidades humanas com um mínimo de desperdício, visando à manutenção de suas fontes para as gerações futuras, preservando o meio ambiente, sem que isso comprometa a segurança e o conforto das pessoas envolvidas.

Entende-se que o índice de eficiência energética cresce quando é executado um serviço ou produzido um bem com uma quantidade de energia menor do que seria normalmente consumida, sem afetar a qualidade do bem ou do serviço, nem tampouco a segurança das pessoas envolvidas no processo. Ou seja, consome-se menos energia para um mesmo resultado final, obtendo assim maior rendimento. O conceito de eficiência energética não deve ser confundido com racionamento de energia ou racionalização forçada.

Frente aos aspectos aqui delineados, surgiu a motivação que levou ao desenvolvimento desse estudo que se propõem a analisar modificações que possam ser executadas em sistemas de recalque de água visando torná-las mais eficientes energeticamente. Por fim, esses conceitos são aplicados através de um estudo de caso.

2. OBJETIVO

Tendo como motivação os altos gastos energéticos em estações de recalque de água, esta pesquisa está centrada na avaliação hidroenergética de estações de recalque que não utilizaram o conceito de eficiência energética como premissas na sua concepção.

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal deste trabalho é identificar e analisar medidas a serem adotadas para melhorar a eficiência energética e hidráulica em estações de bombeamento que não consideraram este conceito quando da sua implantação.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Como objetivos secundários que dão subsídios para o desenvolvimento desta pesquisa buscou-se aplicar os conceitos de eficiência energética e hidráulica em um estudo de caso da estação de bombeamento que abastece o anel viário do Campus do Vale da UFRGS. Para possibilitar o desenvolvimento desta pesquisa, a partir da análise de parâmetros e índices de eficiência que representem o desempenho de estações de recalque, foi necessária a determinação de alguns parâmetros e aquisição de dados, entre eles podemos destacar:

- I. Obter informações cadastrais do sistema objeto da análise desta pesquisa, condensá-las e agrupá-las em um único trabalho;
- II. Conhecer a atual forma de operação do sistema em estudo;
- III. Levantar a curva de demanda de água da estação em estudo;
- IV. Interpretar a curva de demanda de água do local em análise, visando identificar as sazonalidades que interferem no consumo de água ao longo de um ano;
- V. Identificar o melhor enquadramento tarifário de energia elétrica, buscando garantir a sustentabilidade do sistema;
- VI. Propor e validar, através de software de simulação hidráulica, leis de bombeamento que permitam operar o sistema em questão da forma eficiente hidroenergeticamente;
- VII. Contribuir para o sistema de gestão financeiro e ambiental da universidade.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que é possível analisar e melhorar a eficiência energética e hidráulica de uma estação de bombeamento desde que se conheça ou se levante os parâmetros necessários para tal.

2.4 PREMISA

O trabalho tem por premissa que nas estações de bombeamento, devem-se estabelecer condições de eficiência energética e hidráulica, para reduzir os gastos energéticos.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise da estação de bombeamento do Campus do Vale da UFRGS, tendo-se fixado um horizonte de 30 anos para análise com o objetivo de se definir as melhorias que poderiam se feitas.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho o tipo de abastecimento (campus universitário), as características geométricas, o baixo nível de instrumentação da estação de recalque e a ausência de um banco de dados de micro medições, de grandezas elétricas, hidráulicas e mecânicas, que se possa dispor para diagnosticar e acompanhar evolução da estação de bombeamento existente.

2.7 DELINEAMENTO

O delineamento do trabalho seguiu a seguinte ordem:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição da metodologia;
- c) escolha do estudo de caso;
- d) coleta de dados;
- e) diagnóstico;
- f) análise das melhorias;
- e) conclusões.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados conceitos e definições referente a sistema de abastecimento de água, eficiência energética, consumo de energia e indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água. Também é apresentado alguns resumos de trabalhos que buscam otimizar o consumo de energia em estações de recalque.

3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O consumo de água se altera em função de uma série de fatores, tais como o clima, o padrão de vida da população, o sistema de fornecimento e cobrança (serviço medido ou não), a qualidade da água fornecida, o custo do sistema tarifário, a pressão na rede de distribuição, a existência ou não de redes de esgoto, o tipo de uso, entre outros.

De maneira geral, os sistemas de abastecimento urbano de água são compostos pelas unidades de captação, adução, tratamento, reservatórios e rede de distribuição. O objeto de estudo deste trabalho está limitado à adução, a estação de recalque e a reservação, conforme Figura 3.1.

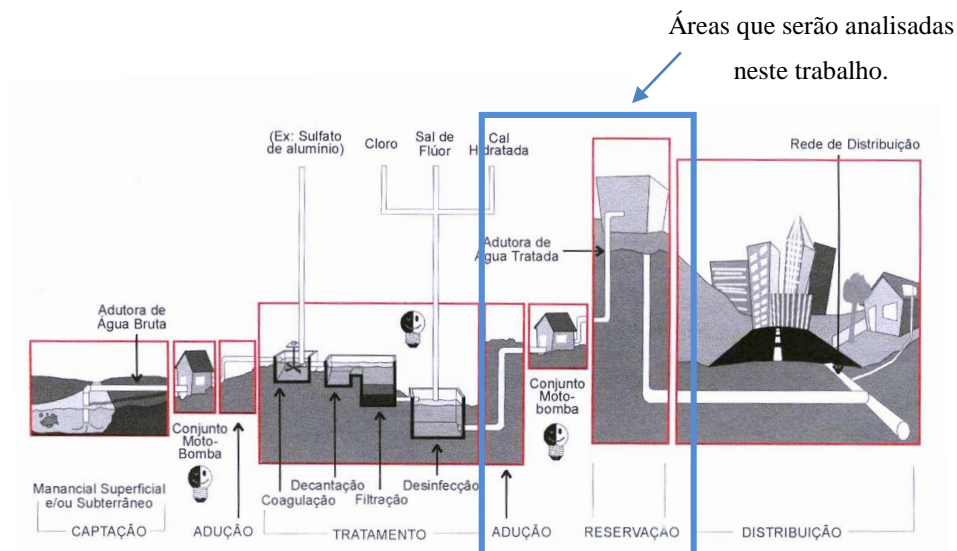


Figura 3.1 - Sistema de abastecimento de água (Fonte: BAHIA, 1998).

É importante destacar que há uma relação entre o consumo de água e o consumo de energia elétrica utilizada para disponibilizar esta água tratada para a população. O consumo energético em cada etapa do sistema de abastecimento deve ser analisado para possibilitar um programa de eficiência energética do setor, que pode adequar-se em cada situação em função

da concepção do sistema, do projeto adotado, da implantação executada e do modo gerencial da operação do sistema com reflexos nos valores finais das tarifas (BAHIA, 1998).

3.1.1 Captação

A captação de água é a unidade destinada a recolher água de rios, de lagos, do subsolo ou de mananciais, em quantidade necessária e suficiente para atender ao consumo dos usuários.

O conhecimento das alternativas de mananciais e sua escolha podem determinar um maior ou menor consumo de energia elétrica em função das opções de captação associadas. Para mananciais de superfície existem vários tipos de captação, cujas características são ditadas pelo porte e conformação do leito desses mananciais, bem como pela topografia e geologia locais. Geralmente são necessários dispositivos de tomada d'água, barragens de acumulação, mecanismo de controle de entrada d'água, tubulações e acessórios, poço de sucção das bombas e casa de bombas (BAHIA, 1998).

O consumo energético nesta etapa é, normalmente, o de maior impacto no consumo total de energia elétrica de um sistema de abastecimento público de água. No entanto, este consumo é função não só das opções existentes de mananciais, mas também do tipo de tecnologia e equipamento utilizados, dos níveis de controles dos sistemas e das condições operacionais (MAGNIN, 2004).

3.1.2 Adução

A adução é a operação de conduzir água desde o ponto de sua captação até a rede de distribuição, passando pela estação de tratamento e pelo (s) reservatório (s). Ou seja, a “adutora” é uma canalização destinada a conduzir água bruta e/ou água tratada entre as unidades de um sistema de abastecimento (MAGNIN, 2004).

Ao serem estudadas ou projetadas, as redes de adução necessitam de cuidados especiais a fim de se verificar a correta colocação de acessórios como válvulas de parada, de alívio, de descarga e ventosas, equipamentos estes que podem resultar em aumento de consumo nos processos de bombeamento d'água, principalmente, em função da perda de carga.

Levando em conta a energia utilizada, as adutoras podem ser classificadas em adutoras por gravidade ou por recalque.

A adução por gravidade dispensa, a princípio, o bombeamento da água, tornando-se energeticamente mais econômicas que a adução por recalque. Porém depende das características topográficas locais.

Por outro lado, a adução por recalque, ou através de bombeamento, exige um conjunto elevatório ou estação de bombeamento. A água é conduzida sob pressão de um ponto a outro mais elevado através de conjuntos motobomba e, conseqüentemente, com um consumo de energia associado (BAHIA,1998).

3.1.3 Tratamento

Através do tratamento, procede-se a eliminação de impurezas e/ou correção de impropriedades que tornam a água inadequada para o uso humano. Por meio do tratamento, fornece-se água à população com boa qualidade do ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico.

O consumo de energia elétrica, nesta etapa, está associado aos conjuntos de motores de acionamento de bombas para a movimentação dos volumes de água pelos diferentes tanques de purificação, além do acionamento de equipamentos mecânicos de agitação para preparo de soluções e reagentes, como também para facilitar os processos físico-químicos envolvidos (MAGNIN, 2004).

3.1.4 Reservação

Nos processos de abastecimento, os reservatórios têm como principais funções operar como reguladores da distribuição, atendendo a variações horárias do consumo (reserva de equilíbrio), promover condições de abastecimento contínuo durante períodos curtos de paralisação do abastecimento (reserva de emergência), armazenar água para combater incêndio e, condicionar as pressões disponíveis nas redes de distribuição (GOMES,2004).

Os reservatórios podem ser apoiados (ao nível do terreno, enterrados ou semi-enterrados), elevados (torres de água) e *standpipes*. Via de regra, os reservatórios são projetados com capacidade suficiente para armazenar um terço do consumo diário correspondente aos setores por eles abastecidos.

Sob o ponto de vista energético, deve-se, também, buscar uma compatibilização entre a reservação de água e o planejamento da operação, evitando-se a operação total ou parcial do sistema com o consumo de energia elétrica em horários de pico de energia (BAHIA, 1998).

3.1.5 Redes de distribuição

A rede de distribuição é o conjunto de tubulações, conexões e peças especiais, destinadas a conduzir água em quantidade, qualidade e pressão suficientes para o abastecimento dos diversos pontos de consumo.

As redes de distribuição são normalmente projetadas de forma a abastecer os pontos mais desfavoráveis com uma pressão mínima suficiente. Quando a pressão se situa numa faixa abaixo do satisfatório, o sistema encontra-se prejudicado, pois não conta com pressão mínima que permita ao usuário receber água em vazão suficiente, ou sequer receber água. A pressão insuficiente na rede ainda pode comprometer a qualidade da água fornecida, uma vez que infiltrações poderão ocorrer sendo a pressão externa à rede maior que a interna (BAHIA, 1998).

No caso oposto, quando a pressão for maior que o satisfatório, a rede estará mais propensa a vazamentos e, com isso, o desperdício de água será inevitável. Maior desperdício de água implicará, por sua vez, um maior gasto de energia elétrica para disponibilizar a quantidade excedente de água no sistema (MAGNIN, 2004). Então para se atender a população sem prejuízo a esta e de forma mais eficiente há condições hidráulicas pré-definidas que devem ser respeitadas. A próxima seção abordará este assunto.

3.2 CONDIÇÕES HIDRÁULICAS PARA O PROJETO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

3.2.1 Pressões mínimas e máximas

A magnitude das pressões hidráulicas efetivas que irão atuar na rede de distribuição exerce um papel fundamental no projeto de abastecimento urbano de água, repercutindo, significativamente, no custo de implementação e operação do sistema como também na qualidade do serviço.

No Brasil, é a norma da ABNT, NBR 12218 (1994), projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, que estabelece a pressão dinâmica mínima em qualquer ponto nas tubulações distribuidoras, a qual deve ser de 100 kPa (≈ 10 mca).

As pressões máximas, nas redes, também devem ser limitadas, pelos seguintes aspectos:

- I. Com maiores pressões requeridas, o custo energético de bombeamento aumentará já que este custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão.
- II. Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais caras por necessitarem de maiores pressões nominais.
- III. As possibilidades de ruptura nas tubulações aumentam com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas na rede.
- IV. As perdas físicas de água crescem com o aumento das pressões de serviço, pois a vazão nas fissuras ou juntas dos tubos aumenta com o acréscimo da pressão.
- V. As vazões, nos pontos de consumo, crescem com o aumento das pressões disponíveis.

A norma NBR12218 também estabelece a pressão máxima nas tubulações distribuidoras que deve ser de 500 kPa (50mca).

3.2.2 Limite de velocidade nas tubulações

Os limites de velocidade máxima admissíveis nas tubulações sob pressão são estabelecidos com o objetivo de compatibilizar o custo dos condutos, com a segurança das redes hidráulicas de distribuição.

Para o transporte por um conduto de uma determinada vazão, quanto maior for a velocidade de circulação da água, menor será o diâmetro necessário do tubo, o que conduz, a princípio, à seleção de uma tubulação de menor custo. No entanto, nem sempre é assim já que o acréscimo de velocidade ocasiona um maior risco de danos às tubulações. Os problemas produzidos pelos golpes de aríete nas tubulações, os desgastes dos tubos, dos elementos de conexão e das peças especiais, as vibrações na rede, as deficiências nos apoios dos tubos, aumento da perda de carga nas peças singulares (ver item 3.2.4), entre outros fatores, são fenômenos habituais das redes hidráulicas, que crescem com o aumento da velocidade de circulação da água.

Por esta razão, adotam-se limites para a velocidade máxima do escoamento nas tubulações, em função dos seus diâmetros, dos custos dos tubos e também do nível de risco que se queira admitir, com respeito a possíveis avarias nos condutos. Estes limites são fixados pelos projetistas, fundamentados em critérios empíricos adquiridos através da experiência prática.

A velocidade mínima é recomendada para que haja uma permanente circulação da água na rede como forma de não prejudicar a qualidade da água tratada que chegará aos consumidores (GOMES; 2004).

A norma da ABNT, NBR12218(1994), estabelece que a velocidade máxima nas tubulações deva ser de 3,5 m/s, e a mínima de 0,6 m/s.

3.2.3 Diâmetro mínimo

Nas redes de abastecimento de água, recomenda-se um diâmetro mínimo para as tubulações a fim de evitar que haja perdas excessivas no sistema, que possam comprometer a uniformidade de pressões e vazões disponíveis para os usuários.

A norma, NBR12218, estabelece um calibre mínimo de 50 mm para os diâmetros da rede urbana de distribuição.

A Tabela 3.1 apresenta valores mínimos de diâmetros em função do tamanho da população a abastecer, aconselhados pela norma europeia NTE-IFA (GOMES; 2004).

Tabela 3.1 - Diâmetro mínimo segundo norma NTE- IFA.

População (habitantes)	Tubulação de distribuição (mm)	Artérias (mm)
<1000	60	100
1000-6000	80	125
>6000	100	175

(Fonte: GOMES;2004)

3.2.4 Perdas de carga ou de energia

Parte da energia que os líquidos dispõem em regime dinâmico se dissipa devido ao efeito de sua viscosidade ou atrito interno, unido ao efeito da turbulência ou dos choques entres as partículas dos fluídos. Esta parte da energia dissipada, que se transforma em calor, denomina-se *perda de carga por atrito*, *perda de energia por atrito*, ou *perda de carga contínua ao longo do conduto*.

Em um escoamento uniforme e permanente de um fluido em um conduto, a perda de carga, existente entre duas seções, é proporcional à distância entre as mesmas, e a perda de carga unitária, decorrente da relação entre a perda total e o comprimento, permanece constante ao longo do conduto.

As perdas de carga localizadas são provocadas pelas conexões e peças especiais (curvas, tês, registros, válvulas, etc.) existentes nas adutoras e redes de tubulações, as quais produzem distorções mais ou menos bruscas nas seções do escoamento (GOMES; 2004).

A perda de carga contínua (função do atrito) depende das características físicas do fluido (viscosidade e massa específica) e das características geométricas do conduto. No caso das tubulações, estas características geométricas são o diâmetro interno, que repercute na velocidade do escoamento, e a rugosidade absoluta das paredes internas dos tubos.

3.2.4.1 Perdas localizadas

Essas perdas são denominadas locais, localizadas, acidentais ou singulares, pelo fato de decorrerem especificamente de pontos ou partes bem determinadas da tubulação.

A perda de carga localizada em uma singularidade, ou peça especial do conduto, pode ser avaliada como uma porcentagem de carga cinética, existente imediatamente a jusante do ponto onde se produz a perda.

O coeficiente da perda de carga “ k ” é determinado, experimentalmente, e, seu valor varia segundo o tipo e diâmetro da peça especial. A padronização dos valores de “ k ” é bastante complexa, tendo em vista que para cada peça existe uma grande variedade de modelos e de fabricantes. A Onde:

h_p – corresponde ao somatória das perdas de carga localizadas (m);

k – coeficiente de perda de carga;

V – velocidade média do escoamento (m/s);

g – gravidade (m/s²);

Tabela 3.2 fornece valores aproximados de “ k ” para as peças e perdas mais comuns que ocorrem na prática (AZEVEDO NETTO, 1998).

Uma expressão geral para o cálculo da perda de carga (AZEVEDO NETTO, 1998):

$$h_p = \sum k \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

h_p – corresponde ao somatória das perdas de carga localizadas (m);

k – coeficiente de perda de carga;

V – velocidade média do escoamento (m/s);

g – gravidade (m/s^2);

Tabela 3.2 - Valores aproximados do coeficiente de perda de carga, K

Peças	k	Peças	K
Ampliação gradual	0,30*	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor Venturi	2,50
Comportas abertas	1,00	Redução gradual	0,15*
Controlador de vazão	2,50	Registro de ângulo, aberto	5,00
Cotovelo de 90° raio curto	0,90	Registro de gaveta, aberto	0,20
Cotovelo de 90° raio longo	0,60	Registro globo, aberto	10,00
Cotovelo de 45°	0,40	Saída de canalização	1,00
Crivo	0,75	Tê, passagem direta	0,60
Curva de 90°, $r/D=1$	0,40	Tê, saída lateral	1,30
Curva de 45°	0,20	Tê, saída bilateral	1,80
Curva de retorno, $a = 180^\circ$	2,20	Válvula de bóia	6,00
Entrada normal	0,50	Válvula de pé	1,75
Entrada de borda	1,00	Válvula de retenção	2,75

*Com base na velocidade maior (seção menor)

(Fonte: Azevedo Netto; 1998)

3.2.4.2 Perdas contínuas

As perdas de carga por atrito em escoamentos permanentes e uniformes são determinadas por meio de fórmulas empíricas, que foram desenvolvidas para distintas condições experimentais.

Nos dimensionamentos de tubulações pressurizadas (cálculos de adutoras, redes de abastecimento, instalações prediais) sempre intervém uma equação empírica para representar as perdas de carga ao longo do conduto, em escoamentos permanente e uniforme. Portanto, o projetista deve escolher uma equação de perda de energia entre as inúmeras que já foram desenvolvidas, sendo as mais utilizadas as fórmulas de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams.

3.2.4.3 Fórmula universal

A fórmula a seguir, também conhecida como fórmula de Darcy-Weisbach, está descrita em função da vazão Q (m^3/s):

$$h_f = \beta L \frac{Q^2}{D^5} \quad 3.2$$

Onde:

h_f – corresponde as perdas de carga total na instalação (m);

L – comprimento da tubulação (m);

D – diâmetro interno da tubulação (m);

Q – vazão (m³/s);

β – variável de perdas, que segundo Darcy-Weisbach é igual a:

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g} \left(f + \frac{(\sum k)D}{L} \right) \quad 3.3$$

Onde:

$\sum k$ – somatório dos coeficientes k de perdas localizadas;

f – coeficiente de atrito do tubo;

O coeficiente de atrito “ f ” pode ser obtido diretamente pela fórmula de Swamee e Jain (1976):

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad 3.4$$

Onde:

ε – rugosidade absoluta, ver Tabela 3.3;

Re – número de Reynolds, que é dado por:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad 3.5$$

Onde:

V – velocidade média do escoamento (m/s);

ν – viscosidade cinemática do fluido (m²/s);

A Equação 3.4 é utilizada para $10^3 \leq Re \leq 10^8$ e $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$ (GOMES;2001).

Tabela 3.3 - Rugosidade absoluta dos tubos , ϵ , em mm.

Material	Tubos novos	Tubos velhos
Aço galvanizado	0,015 a 0,02	0,46
Aço revestido	0,04	0,05 a 0,12
Cimento-amianto	0,0025	-
Concreto bem acabado	0,03 a 0,10	-
Concreto ordinário	0,10 a 0,20	-
Ferro forjado	0,004 a 0,006	0,24
Ferro fundido	0,025 a 0,050	0,30 a 0,50
Plástico	0,001	0,001

(Fonte: GOMES; 2001)

3.2.4.4 *Formula de Hazen-Williams*

Entre as fórmulas empíricas é a mais utilizada pelos projetistas, cuja expressão é:

$$J = 10,65Q^{1,85}C^{-1,85}D^{-4,87} \quad 3.6$$

Onde:

J – perda de carga unitária (m/m);

Q – vazão (m³/s);

D – diâmetro (m);

C – coeficiente de rugosidade;

O coeficiente de rugosidade depende da natureza e do tempo de uso da tubulação. A Tabela 3.4 apresenta os valores de C , normalmente, utilizados em projetos. A Tabela 3.5 compara os efeitos do envelhecimento sobre o coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams em tubulações de ferro fundido sem revestimento interno.

Tabela 3.4 - Valores do coeficiente C para a fórmula de Hazen-Williams.

Material	Tubos novos	Tubos ~10 anos de uso	Tubos ~20 anos de uso
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Cimento-amianto	140	130	120
Concreto bem acabado	130	-	-
Concreto ordinário	130	120	110
Ferro fundido revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido revestimento argamassa de cimento	130	120	105
Plástico (PVC)	140	135	130

(Fonte: TSUTIYA, 2006b)

Tabela 3.5 - Valores do coeficiente C para tubos de ferro fundido sem revestimento interno.

DN (mm)		100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	750	900	1050	1500
Anos	*	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
	5	117	118	119	120	120	120	120	120	120	120	121	122	122	122
	10	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113	113	113
	15	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106	106	106
	20	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100	100	100
	25	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95
	30	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90	90	91
	35	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86	87	88
	40	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
	45	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
	50	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78

(Fonte: AZEVEDO NETTO, 1998) (*) Para tubulações muito bem executadas e com tubos de boa qualidade.

3.3 ANÁLISE ECONÔMICA

O custo total de um sistema de recalque é composto de duas partes distintas: uma referente aos custos de implantação do sistema, e a outra se refere aos custos operacionais.

Segundo GOMES (2001), os custos de implementação e de operação são antagônicos, ou seja, quando um aumenta o outro diminui e vice-versa. Ao se escolher um diâmetro menor para a adutora, haverá uma diminuição no seu custo de implantação, mas em contrapartida, o custo de operação (energético) será maior.

Assim sendo, faz-se necessário determinar um diâmetro ótimo para a tubulação de recalque que é o que acarreta em um menor custo global para o sistema, sendo composto pela soma do custo de implantação e o de operação. O custo de operação corresponde ao gasto de energia elétrica e o custo de implementação compreende a soma do custo dos tubos, das peças de conexão, do conjunto motobomba, e as despesas com a escavação e montagem (GOMES, 2001).

3.3.1 Custo de implantação da tubulação

Uma equação para a obtenção do custo de implantação da tubulação de recalque e sucção, retirada de GOMES (2001), é a Equação 3.7 que parte do princípio de que o custo de implantação da tubulação varia linearmente com o seu diâmetro):

$$C_{\text{implantação}} = \lambda DL$$

3.7

Onde:

λ – custo de implantação da tubulação, por metro de comprimento, e por metro de diâmetro (\$/m/m);

D – diâmetro tubulação (m);

L – comprimento da tubulação (m);

Outra forma mais precisa de se alcançar o custo necessário para a implantação do sistema é através do somatório dos custos envolvidos, como o valor por metro de vala escavada, por metro de terra necessária para aterrar a tubulação, o gasto para descartar o volume de terra que não será mais utilizada, e quando necessário re-pavimentação, o custo para realizá-la também deve ser computado.

3.3.2 Custo de operação

Uma maneira de expressar o custo anual da energia de bombeamento é dada pela Equação 3.8:

$$C_{energia} = \frac{9,81Q(H_g + h_f)}{\eta} \times N_b p \quad 3.8$$

Onde:

H_g – altura geométrica da elevação (m);

h_f – corresponde as perdas de carga total na instalação (m);

Q – vazão (m³/s);

N_b – número anual de horas de bombeamento (h);

p – preço pago pelo kWh de energia (R\$/kWh);

η – eficiência do conjunto motobomba;

Outra estimativa deste custo que também é utilizada por projetistas é a que considera como o gasto anual para a operação e manutenção do sistema ter a ordem de grandeza aproximada entre 2 e 5% do montante total envolvido para a instalação do sistema.

3.3.3 Custo total do sistema

O custo final de todo sistema se dá pela soma dos dois custos acima descritos, porém estes custos incidem em tempos distintos, já que o custo de implementação é fixo e atua no início do empreendimento, enquanto que o custo operacional (energético) incide ao longo da

vida útil do projeto. Neste caso, para tornar possível a soma dos dois custos, deve-se amortizar o custo atual de implantação e adicionar o custo anual de energia, ou calcular o valor presente (atualizado) do custo energético, adicionando-o, posteriormente, ao custo fixo de implantação.

O custo atualizado de energia é dado pelo produto entre o custo energético anual e o coeficiente de atualização da energia “ F_a ”, expresso por:

$$F_a = \frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad 3.9$$

Onde:

i – taxa de juros anual;

e – taxa de aumento anual de energia;

n – período de amortização (em anos), que normalmente se considera como sendo a vida útil da instalação;

Assim, o custo total do sistema de recalque (de implantação e de operação) pode ser expresso pela Equação 3.10).

$$C_{total} = \frac{9,81Q(H_g + h_f)N_b P}{\eta} \times F_a + C_{implantação} \quad 3.10$$

Onde:

H_g – altura geométrica da elevação (m);

h_f – corresponde as perdas de carga total na instalação (m);

N_b – número anual de horas de bombeamento (h);

p – preço pago pelo kWh de energia (R\$/kWh);

η – eficiência do conjunto motobomba;

F_a – coeficiente de atualização;

A primeira parcela da equação acima corresponde aos gastos atualizados com a energia, enquanto a segunda corresponde aos custos fixos de implantação do sistema. A Figura 3.2 mostra a relação dos custos, em função do diâmetro da adutora.

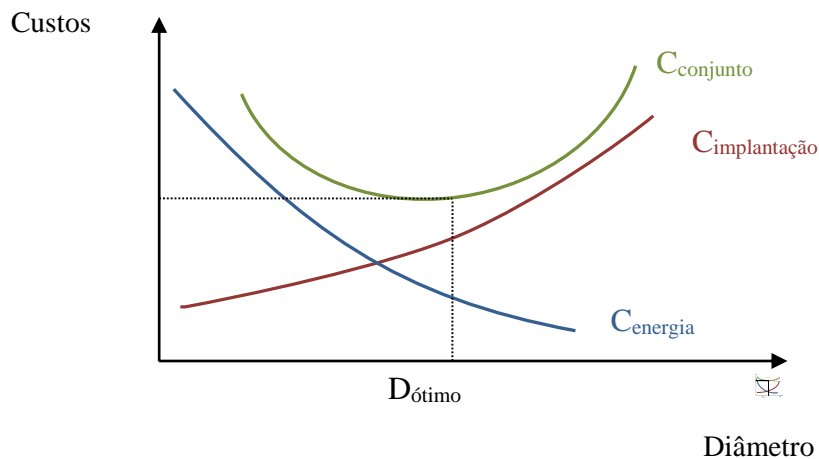


Figura 3.2 - Variação do custo total do sistema de recalque, segundo o diâmetro da adutora (Fonte: GOMES, 2001).

O custo total do sistema de recalque será mínimo quando a tangente à curva, que representa o custo total, for igual a zero.

Segundo GOMES (2001), o diâmetro mínimo (ótimo teórico) pode ser obtido através da equação a seguir:

$$D_{\text{ótimo}} = 1,913 \left(\frac{\beta p N_b F_a}{\lambda \eta} \right)^{0,166} \sqrt{Q} \quad 3.11$$

Onde:

β – variável de perdas segundo Darcy-Weisbach, conforme equação 3.3

p – preço pago pelo kWh de energia (R\$/kWh);

N_b – número anual de horas de bombeamento (h);

F_a – coeficiente de atualização;

λ – custo de implantação da tubulação, por metro de comprimento, e por metro de diâmetro (\$/m/m);

η – eficiência do conjunto motobomba;

Q – vazão (m³/s);

Como métodos expeditos para o encontro do diâmetro econômico, pode-se citar as fórmulas de Bresse e a equação da ABNT NBR 5626, que são muito usuais devido à praticidade da aplicação das mesmas.

Jaques Antoine Charles Bresse (1822-1883), um engenheiro francês propôs uma das primeiras fórmulas da hidráulica para o dimensionamento econômico de tubulações de recalque, e que ainda é usada:

$$D = k' \sqrt{Q} \quad 3.12$$

Onde:

Q – é a vazão em m^3/s ;

k' – é função da velocidade econômica da (V) na adutora e pode ser determinado

pela expressão $k' = \sqrt{\frac{4}{\pi V}}$ (TSUTIYA, 2006b);

A fórmula de Bresse tem aplicabilidade em sistemas com operação contínua, ou seja, 24 horas. Para o dimensionamento de sistemas que operam de forma intermitente, durante um determinado número de horas por dia, a ABNT, através da NBR 5626 (1998), recomenda a utilização da equação que segue:

$$D = 1,3 \left(\frac{n'}{24} \right)^{0,25} \sqrt{Q} \quad 3.13$$

Onde:

D – diâmetro econômico em m;

Q – vazão em m^3/s ;

n' – número de horas de bombeamento por dia;

Pela Equação 3.11 fica evidente que o custo de operação do sistema é dependente, entre outros fatores, de algumas características do conjunto motobomba como a eficiência. Quando esta tem um valor muito baixo o gasto energético irá aumentar, já que estas grandezas são inversamente proporcionais. Por isso, na próxima seção será abordado o funcionamento e como se dá o correto dimensionamento deste equipamento.

3.4 CURVAS DE CONSUMO

Segundo Tsutiya (2006b), para o planejamento e gerenciamento de sistemas de abastecimento de água, a previsão do consumo de água é um dos fatores de fundamental importância uma vez que a operação do sistema bem como a ampliação ou melhorias estão diretamente associados à demanda de água. O dimensionamento das tubulações, estruturas e equipamentos são função das vazões de água, que por sua vez dependem do consumo médio por habitante, da estimativa do número de habitantes, das variações de demanda e de outros fatores que podem influenciar no consumo.

A determinação deste consumo nem sempre é um processo simples, muitas vezes, pela falta de medições e informações que possam suprir o projetista durante a elaboração do

sistema. Para Tsutya (2006b), de um modo geral, o consumo de água pode ser obtido através dos métodos a seguir apresentados.

3.4.1 Determinação do consumo pela leitura dos hidrômetros

Leitura dos hidrômetros: com os valores de consumo registrado nos hidrômetros avalia-se o consumo médio efetivo por habitante através da equação abaixo.

$$q_e = \frac{V_c}{NE \times ND \times NH / L} \quad 3.14$$

Onde:

q_e – consumo efetivo per capita de água;

V_c – volume consumido medido pelos hidrômetros;

NE – número médio de economias;

ND – número de dias de medição pelo hidrômetro;

NH/L – número de habitantes por ligação;

Para a determinação do consumo per capita de água, deve ser incorporado ao consumo efetivo as perdas de água do sistema:

$$q = \frac{q_e}{1 - I} \quad 3.15$$

Onde:

q – consumo per capita;

q_e – consumo efetivo per capita de água;

I – índice de perdas do sistema (quando não é conhecido geralmente adota-se 20%).

Portanto o consumo final ou a demanda final de água será o consumo de cada habitante acrescido das perdas de água que variam em cada sistema, função do tipo de material da rede de distribuição, idade do sistema, se tem hidrometração, ente outros.

3.4.2 Determinação do consumo pela leitura dos macromedidores

Os macromedidores instalados na saída dos reservatórios permitem registrar o volume consumido em um intervalo de tempo pré-determinado, como de hora em hora. Neste caso, se for dividido os volumes consumidos pelo número de economias ou número de habitantes, obtém-se o consumo per capita.

3.4.3 Determinação do consumo quando não existe medição

Quando não há medições, pode-se adotar valor de consumo médio *per capita* de água e os seus coeficientes de variação de vazão encontrados em medições de setores ou sistema com características semelhantes. Dependendo também do tipo de segmento a ser atendido é possível obter o consumo a partir de fórmulas ou valores padrões encontrados em bibliografias de referência. Tsutyia (2006a) apresenta a Tabela 3.6, desenvolvida com base em literaturas nacionais e na NBR 7229/1982, em que consta o consumo de água para estabelecimentos públicos.

Tabela 3.6 - Consumo de água para estabelecimentos públicos.

Estabelecimento	Unidade	Consumo (l/unidade.dia)
Edifício público	pessoa	50
Quartel	pessoa	150
Escola pública	pessoa	50
Jardim público	m ²	1,5
Uso público geral	pessoa	25

(Fonte: TSUTYIA, 2006)

3.4.4 Variações e fatores que afetam o consumo

Muitos fatores afetam o consumo de água, mas os que se mostraram mais significativos foram: condições climáticas; hábitos e nível econômico da população; natureza da cidade (cidade com mais indústrias consomem mais água); a presença de medição da água pode diminuir em até 25% o consumo; o aumento de pressão gera um aumento no consumo também; e o preço da água (TSUTYIA, 2006).

O consumo de água varia continuamente, essa variação pode ser mais acentuada ou não em função também do sistema que está sendo abastecido, normalmente o consumo doméstico apresenta uma grande variação enquanto que para indústrias a variação é menor, estando os consumos comerciais e públicos na faixa intermediária.

De um modo geral, para o abastecimento de água de uma determinada área, ocorrem variações anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas do consumo de água:

- *Variação anual*: o consumo de água tende a crescer com o decorrer do tempo, devido ao aumento populacional e até mesmo devido a melhorias dos hábitos higiênicos ou desenvolvimento industrial;
- *Variação mensal*: nos meses de verão, o consumo supera o consumo médio, enquanto que no inverno, o consumo é menor;
- *Variação diária*: o consumo diário pode ser maior ou menor que o consumo médio diário anual, sendo que o consumo usualmente é maior no verão e menor no inverno. Para representar essa variação diária utiliza-se o coeficiente do dia de maior consumo, k_1 , calculado pela equação que segue:

$$k_1 = \frac{\text{maior consumo diário no ano}}{\text{consumo médio diário no ano}} \quad (3.16)$$

- *Variação horária*: o consumo varia com as horas do dia, geralmente maior consumo ocorre entre as 10 às 12 horas. A relação entre a maior vazão horária observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia, define o coeficiente da hora de maior consumo, k_2 :

$$k_2 = \frac{\text{maior consumo horário no dia}}{\text{consumo média do dia}} \quad (3.17)$$

- *Variação instantânea*: ocorre nas extremidades da rede, quando atendem a prédios desprovidos de reservatórios domiciliares.

3.5 CONJUNTO MOTOBOMBA

3.5.1 Motores

As máquinas motrizes ou motores são dispositivos que convertem dada modalidade de energia em trabalho de eixo ou trabalho mecânico. A potência de entrada pode ser da forma de energia térmica para os motores de combustão interna; de energia hidráulica para turbinas de mesmo nome; e na forma de energia elétrica para o acionamento de potência dos motores elétricos. Estes últimos são os mais utilizados devido à sua simplicidade, confiabilidade e relativos baixo custo de aquisição, manutenção e operação (MATOS, 1982).

Há diversos tipos de motores elétricos, os quais se dividem em três grandes famílias os motores de corrente contínua, motores de corrente alternada síncronos e motores de corrente alternada assíncronos, conforme diagrama a seguir.

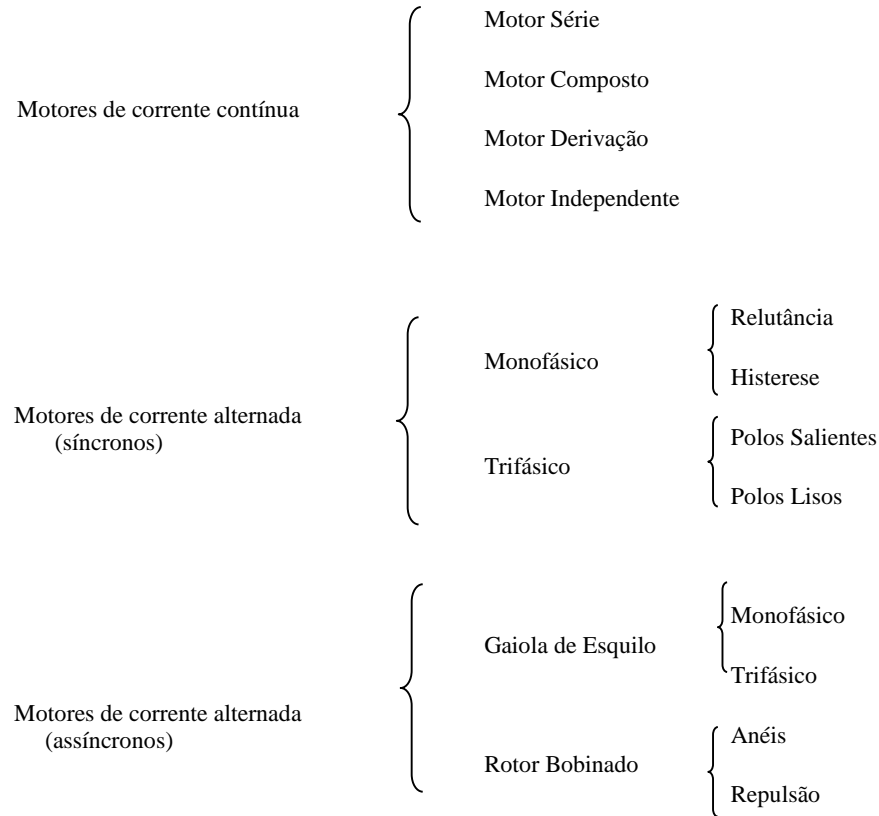


Figura 3.3 - Diagrama dos tipos de motores elétricos.

(Fonte: WEG, 2006)

O emprego de **motores de corrente contínua** se dá em aplicações que necessitam de ajustes precisos da velocidade de rotação ou em condições em que a energia elétrica fornecida é oriunda de baterias como no caso dos automóveis. Devido à sua construção, este tipo de motor tem sua aplicação limitada e é relativamente caro.

Já os **motores de corrente alternada síncronos** têm como característica velocidade de rotação rigorosamente constante e sincronizada, com a frequência da rede de alimentação, por isso do nome. Por esta característica, a sua utilização se dá em processos que não admitam variações de velocidade de rotação como relógios e sistemas de som. Em sistema de grandes potências, estes motores têm a vantagem de, além de produzir a energia mecânica, operar como capacitor síncrono corrigindo assim o fator de potência da linha. Porém são motores relativamente caros e não possuem partida direta (GOMES, 2009).

Os **motores assíncronos** são o tipo mais difundido. Sua grande utilização é atribuída as suas características operacionais, que permitem o acionamento da grande maioria das

máquinas e equipamentos, além de sua robustez, vida útil longa e o menor custo. Os motores assíncronos têm seu princípio de funcionamento baseado na indução eletromagnética, por isso são também denominados de motores de indução. A classe mais utilizada dos motores assíncronos são os motores de indução trifásicos e monofásicos que juntos representam 95% do total de motores elétricos instalados nos setores industrial, rural, comercial e residencial (GOMES, 2009). Justamente por ser o modelo de motor mais encontrado no setor de saneamento, ele será estudado com mais detalhe neste trabalho.

3.5.2 Formas de partidas de motores de indução trifásicos

A ligação de um motor elétrico é uma operação crítica, pois durante este processo podem ocorrer distúrbios na rede elétrica pela queda de tensão. É durante a partida que o motor e os componentes do sistema de acionamento são submetidos a condições severas, com picos elevados de corrente, temperatura do rotor elevadíssima, além de esforços mecânicos no eixo e acoplamento (GOMES, 2009).

Por isso em quase todas as concessionárias de fornecimento de energia elétrica permite-se a partida direta para motores de até 5 CV (3,72 kW), acima desta potência usam-se dispositivos que diminuem a tensão aplicada aos terminais dos motores e desta maneira limita-se a corrente de partida. A imagem da Figura 3.4 mostra como se dá a variação da corrente de partida conforme o método utilizado para o acionamento de um motor. Alguns dos dispositivos mais utilizados no sistema de partida de motores serão descritos a seguir (CREDER, 1995).

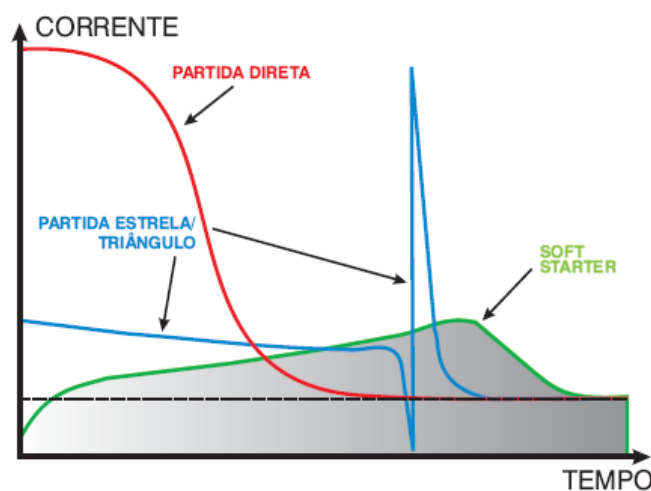


Figura 3.4 - Comparação da corrente exigida na partida quando acionadas por diferentes métodos.

(Fonte: WEG, 2006)

3.5.2.1 Partida direta

A partida direta se dá com o enrolamento do motor fechado em triângulo e o acionamento ocorre com a tensão elétrica nominal aplicada diretamente nas bobinas.

Como vantagens da partida direta podem-se citar: princípio de funcionamento bastante simples, utilização de poucos componentes, baixo custo, alto torque de partida que permite que o motor seja acionado a plena carga.

As desvantagens deste método são: alto pico de corrente na partida (em torno de 7 a 9 vezes a corrente nominal), elevada queda de tensão na rede de alimentação, aproximadamente 10 % que provoca interferência no sistema elétrico. Por ter alto torque de partida, esse método produz esforços mecânicos nos mancais e rolamento do motor, que aumenta o desgaste das peças e a necessidade de manutenção (GOMES, 2009).

3.5.2.2 Chave estrela-triângulo

É o método mais conhecido e mais simples de partida de motores trifásicos de indução com rotor em gaiola. Para que este método possa ser aplicado, o motor deve poder funcionar em regime normal na ligação triângulo, além de possuir seis terminais disponíveis para serem ligados em estrela no momento da partida até atingir uma rotação próxima da nominal, cerca de 90 %, quando comuta a ligação para triângulo. Logo, o ajuste de tempo de mudança estrela-triângulo deverá estar baseado neste fato. O uso de um tacômetro é essencial nesta tarefa na primeira vez que for testar o sistema com carga. A mudança da configuração para triângulo sem que o motor tenha atingido este percentual de rotação provocaria pico de corrente, praticamente, igual ao que teria se usasse partida direta. Se o motor em questão não preenche este quesito por conta da carga instalada, é conveniente que seja usado outro tipo de partida.

A tensão por fase na ligação estrela será $1/\sqrt{3}$ vezes menor que a tensão nominal do motor, conseqüentemente, o conjugado e a corrente de linha na partida ficam reduzidos a 1/3, quando na partida com plena tensão.

A Figura 3.5-(b) mostra a ligação estrela-triângulo com uma chave tripolar de três posições. Na posição central o motor está desligado, na posição para a esquerda está ligado em estrela e na posição para a direita está ligado em triângulo. Neste caso, o motor parte com a ligação estrela (tensão reduzida) e quando sua velocidade de rotação estiver em torno de

90 % da velocidade de rotação nominal, a chave deverá ser comutada para a ligação triângulo, onde o motor é alimentado com a tensão nominal.

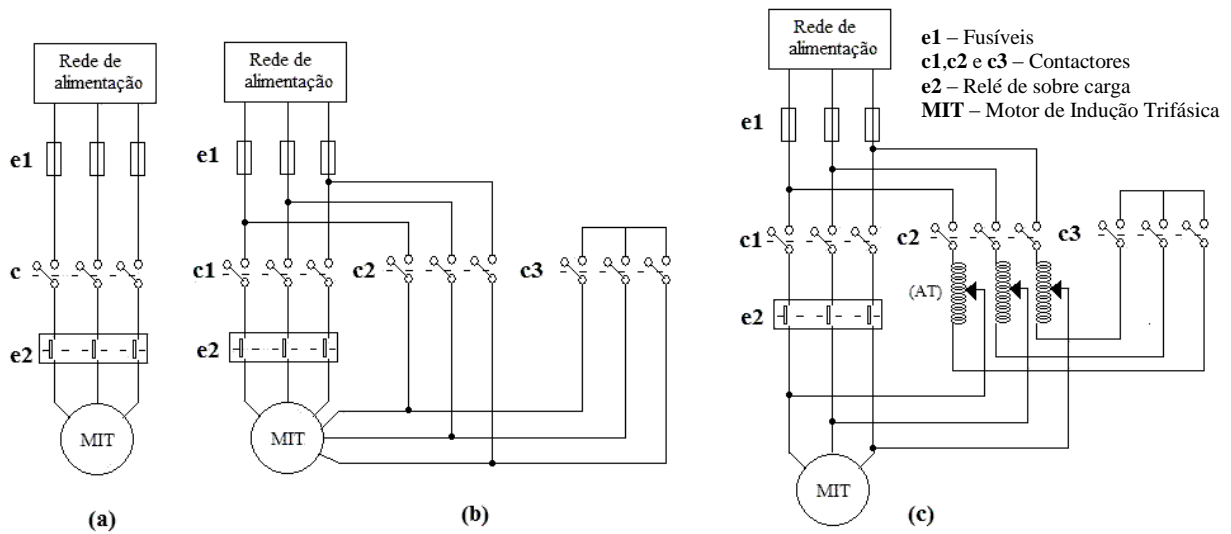


Figura 3.5 - Ligações de partida de um motor de indução trifásico com partida direta (a), chave estrela-triângulo (b) e autotransformador (c).

A principal vantagem desta chave de acionamento é a redução do pico de corrente da partida para aproximadamente 1/3 da partida direta. Além do baixo custo, e não haver um número limite de acionamentos.

Como desvantagem esse sistema é mais complexo que o anterior, o motor necessariamente deve ser religável em duas tensões, além de serem necessários no mínimo, seis terminais acessíveis na caixa de ligação e suas bobinas capacitadas a receber as várias tensões. A principal desvantagem é que a partida em estrela-triângulo só poderá ser usada quando a curva de conjugado do motor for suficientemente elevada, para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida.

3.5.2.3 Chave compensadora ou autotransformador

Nas chaves compensadoras, a corrente absorvida da linha é reduzida de acordo com o quadrado da relação de espiras do autotransformador, e a corrente no motor é reduzida segundo a relação de espiras. A Figura 3.5-c mostra o diagrama esquemático do circuito do diagrama principal de um autotransformador. Pode-se notar que há *tapes* que permitem o ajuste de tensão e da corrente absorvida pela simples comutação entre eles, normalmente, eles possuem o valor de 80 %, 65 % e 50 %. Uma vez escolhido o *tap* para partida, fecham-se os contactores **c3** e **c2** até que o processo de partida em tensão reduzida esteja completado. Em

seguida fecha-se o contactor **c₁**, enquanto o motor passa a ser alimentado a plena tensão, abrindo-se então os contactores **c₂** e **c₃** e retirando o autotransformador do circuito.

As principais vantagens desse acionamento é que para o *tap* de 65% a corrente de linha é aproximadamente igual à da chave estrela-triângulo, entretanto, na passagem da tensão reduzida para a tensão da rede, o motor não é desligado e o segundo pico é bem reduzido, visto que o autotransformador por curto tempo se torna uma reatância. É possível a variação do *tap* de 65 para 80% ou até para 90% da tensão da rede, a fim de que o motor possa partir satisfatoriamente.

A grande desvantagem é a limitação de sua frequência de manobras. Na chave compensadora automática é sempre necessário saber a sua frequência de manobra para determinar o autotransformador conveniente. A chave compensadora é bem mais cara do que a chave estrela-triângulo, devido ao autotransformador.

3.5.2.4 Chave Soft-starter

Segundo GOMES (2009), *soft-starter* são chaves que utilizam comandos microprocessados que controlam dispositivos semicondutores que ajustam a tensão enviada ao estator do motor. Por meio do ajuste do ângulo de disparo dos tiristores a tensão na partida é reduzida diminuindo os picos de corrente gerados pela inércia da carga mecânica, conforme apresentado na Figura 3.6. Para que a partida ocorra de modo suave, o usuário deve parametrizar a tensão inicial de modo que esta tenha o menor valor possível, mas que seja o suficiente para iniciar o movimento da carga. A partir deste instante a tensão subirá linearmente segundo um tempo também pré-definido até atingir o valor nominal.

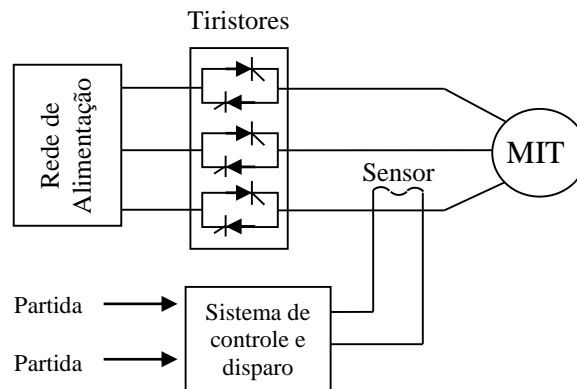


Figura 3.6 - Esquema de uma chave soft-starter implementada com 6 tiristores

Vantagens da chave *soft-starter*: montagem simples, ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido; pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado de partida; redução rápida de tensão a um nível ajustável (que pode ser útil para a redução de transientes hidráulicos em sistemas de bombeamento); proteção embutida no próprio equipamento contra a falta de fase, sobre corrente e subcorrente; permite o ajuste da potência do motor sem a alteração da frequência de tensão de alimentação; pode ser utilizadas para fazer paradas suaves (desaceleração).

As desvantagens deste método de acionamentos são: o custo, a necessidade de um ambiente ventilado e o cuidado de se projetar o painel de modo que o *soft-starter* possa ser desligado depois da partida do motor, evitando assim consumo permanente de energia elétrica.

3.5.2.5 *Conversor de frequência*

O funcionamento do conversor de frequência ocorre através da variação do fluxo magnético que é proporcional à variação da tensão e da frequência. Para se manter o torque constante é preciso manter também o fluxo magnético constante. Desta forma, terá que se variar a tensão conjuntamente com a frequência, essa variação é linear até a frequência nominal do motor.

Os inversores de frequência são formados basicamente por uma ponte retificadora e dois capacitores de filtro, que alimentam um barramento DC, que por sua vez, alimenta transistores IGBT's (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) que são comandados através de uma lógica de controle, ligando e desligando-os de modo a alternarem o sentido da corrente que circula pelo motor. Essa combinação de abertura e fechamento dos IGBT's é controlada a partir da estratégia PWM (*Pulse Width Modulation*), ou simplesmente modulação por largura de pulso. Esta estratégia permite a geração de ondas senoidais de frequência variável com resolução de até 0,01 Hz (RODRIGUES, 2007).

Vantagens: montagem simples; a corrente no motor é controlada de forma suave sem picos, pode-se partir com a corrente nominal. Permite variar a velocidade do motor em função da variação frequência da tensão. As proteções elétricas (sobrecorrente, supervisão trifásica, etc.) estão incorporadas no próprio equipamento o que reduz o número de componentes e o tamanho do painel. Corrige o fator de potência sendo ainda que sua aplicação para modulação da carga proporciona economia de energia, visto que reduzindo a frequência reduz-se a velocidade angular e conseqüentemente a potência demandada.

Desvantagens: custo elevado e interferências na rede elétrica de alimentação, produção de harmônicas, devido à alta frequência de chaveamento de seus componentes internos, necessitando o uso de filtros para correção.

3.5.3 Máquinas de fluidos ou bombas

Bombas hidráulicas são máquinas geratrizes hidráulicas, que conferem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto para outro. As bombas recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte desta energia ao fluido sob forma de energia de pressão, cinética ou ambas. Isto é, elas aumentam a pressão do líquido, a velocidade ou os dois (MATOS, 1982).

3.5.3.1 Classificação das máquinas de fluido

As bombas hidráulicas podem ser classificadas por três critérios distintos.

O primeiro se refere ao posicionamento do eixo da bomba com a posição do motor: eixo vertical quando o eixo que interliga a bomba ao motor se encontra na posição vertical ou eixo horizontal quando o eixo que faz a interligação motor bomba se encontra na posição horizontal. O primeiro modelo é mais facilmente empregado em poços subterrâneos profundos enquanto as bombas de eixo horizontal é o tipo construtivo mais utilizado por ser mais barato.

Se for utilizado como critério de classificação a posição do eixo da bomba com relação ao nível da água pode distingui-las em: bombas de sucção positiva: quando o eixo da bomba situa-se acima do nível do reservatório; bombas de sucção negativa: apresentam o eixo da bomba abaixo do nível do reservatório. Também são denominadas de bombas afogadas.

Porém se a classificação se der pela maneira como é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando sua pressão e/ou sua velocidade pode-se classificar as bombas em (MACINTYRE, 1987): Máquinas de deslocamento positivo ou volumétricas; Máquinas dinâmicas também chamadas de turbobombas ou hidrodinâmicas ou rotodinâmicas; Bombas especiais (bomba com ejetor, pulsômetros, bomba de emulsão de ar).

Atualmente as bombas mais utilizadas em sistemas de distribuição de água são as turbobombas. Já as bombas volumétricas são raramente utilizadas em sistemas de

abastecimento de água, a não ser em serviços cujas alturas manométricas são excepcionais e as vazões são reduzidas, fugindo da faixa de aplicação das turbobombas. Para TSUTIYA (2006b), foi graças ao advento da eletricidade e do motor elétrico, que as bombas centrífugas passaram a ter um predomínio em sistemas de abastecimento de água o que conferiu a estas um alto rendimento, custo menor de instalação, operação e manutenção. Por este motivo, na próxima secção será dada atenção especial a esta classe de turbobombas.

3.5.3.1.1 Bombas centrífugas ou turbobombas

Nas turbobombas, classificação da qual as bombas centrífugas fazem parte, há dois componentes construtivos fundamentais: um órgão rotatório dotado de pás, o rotor, e um órgão fixo denominado de difusor ou recuperador.

A finalidade do rotor é de transmitir a sua energia mecânica de rotação à massa líquida que o envolve, para que esta adquira aceleração e desta forma energia cinética. Já a funcionalidade do difusor é realizar a transformação da maior parte da elevada energia cinética, com que o líquido sai do rotor, em energia de pressão. Desse modo, ao atingir a boca de saída da bomba, o líquido é capaz de escoar com velocidade razoável, equilibrando a pressão que se opõe ao seu escoamento. Esta transformação é operada de acordo com o teorema de Bernoulli, pois o difusor sendo, em geral de seção gradativamente crescente, realiza uma contínua e progressiva diminuição da velocidade do líquido que por ele escoar, com o simultâneo aumento da pressão, de modo a que esta tenha valor elevado e a velocidade seja reduzida na ligação da bomba ao encanamento de recalque (MACINTYRE, 1987).

Esse deslocamento do fluido para a tubulação de recalque provoca uma depressão na entrada da bomba possibilitando o acesso de mais água e a continuidade do escoamento. Todavia, essa depressão tem que ser limitada, para evitar o processo de cavitação. Por causa disso, as alturas manométricas de sucção das turbobombas são, normalmente, inferiores a 6m (HELLER e PÁDUA, 2006).

Os tipos de rotores que podem ser encontrados são:

- I. Rotor Aberto: as pás ficam livres dos dois lados;
- II. Rotor Semiaberto: as pás são fechadas por um disco unilateral;
- III. Rotor Fechado: as pás ficam fechados dos dois lados. São os que apresentam maior rendimento.

A forma construtiva dos rotores podem ser visualizados na Figura 3.7.

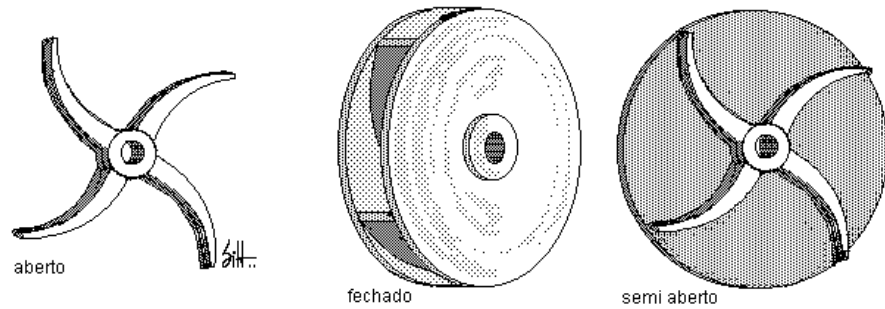
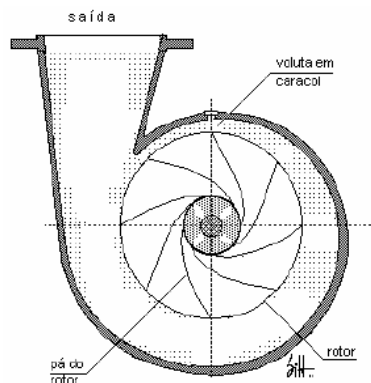


Figura 3.7 - Tipos de rotores das turbobombas.

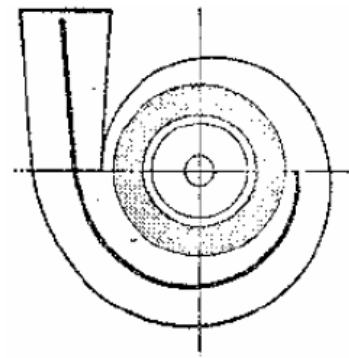
(Fonte: Dec, 2009)

Os difusores podem ser, ver Figura 3.8:

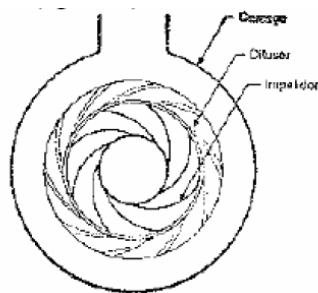
- I. De tubo reto troncônico, nas bombas axiais;
- II. De caixa com forma de caracol ou voluta, nos demais tipos de bombas, chamado de simplesmente de coletor ou caracol.



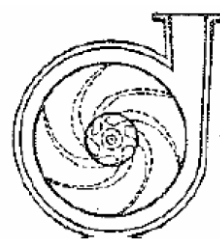
Caixa em caracol ou voluta



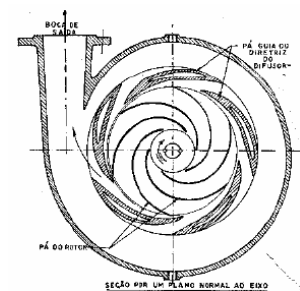
Carcaça em dupla voluta



Carcaça com pás difusoras



Carcaça concêntrica



Carcaça mista

Figura 3.8 - Tipos de difusores das turbobombas.

(Fonte: BATTISTON, 2006)

Segundo a trajetória do fluxo da água no rotor as bombas, podem ser distinguidas em:

- I. Radial: a trajetória do líquido é predominantemente radial (normal ao eixo), causada pela força centrífuga;
- II. Mista ou diagonal ou helicoidal: possui um escoamento diagonal ao eixo, provocado pelas forças de sustentação e centrífugas;

- III. Axial: a trajetória do líquido se faz segundo o eixo da bomba, provocada pela força de sustentação, gerada pelo perfil hidrodinâmico do rotor (HELLER e PÁDUA, 2006).

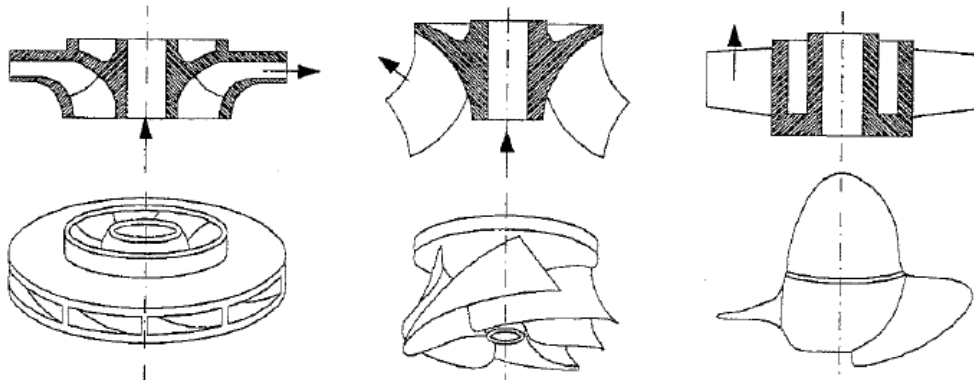


Figura 3.9 - Rotores aplicados as classificações radial, mista e axial, respectivamente.

(Fonte: BATTISTON, 2006)

3.5.3.1.1.1 *Curvas características*

Uma bomba se caracteriza, principalmente, pela sua capacidade de vazão e o respectivo valor de altura manométrica. Essa relação é geralmente representada por um gráfico que contém ainda outras informações importantes, como a velocidade de rotação, os diâmetros dos rotores que podem ocupar o mesmo modelo de carcaça, o rendimento da bomba, a potência motriz e a altura de aspiração. Ao conjunto de todas essas informações, dá-se o nome de curvas característica ou curvas de performance da bomba (GOMES, 2009). As curvas características são traçadas pelos fabricantes da bomba e são fundamentais para os projetistas que estão dimensionando uma estação elevatória. Na Figura 3.10 é apresentado um modelo de curva de desempenho típico.

Deve-se atentar ao fato de a bomba ser determinada para trabalhar em um determinado ponto de operação, ou seja, é projetada para elevar uma determinada vazão (Q) a uma altura manométrica total (H_m) em condições de máximo rendimento. À medida que o par Q e H_m se afasta da condição ótima de operação, o rendimento da bomba tende a cair.

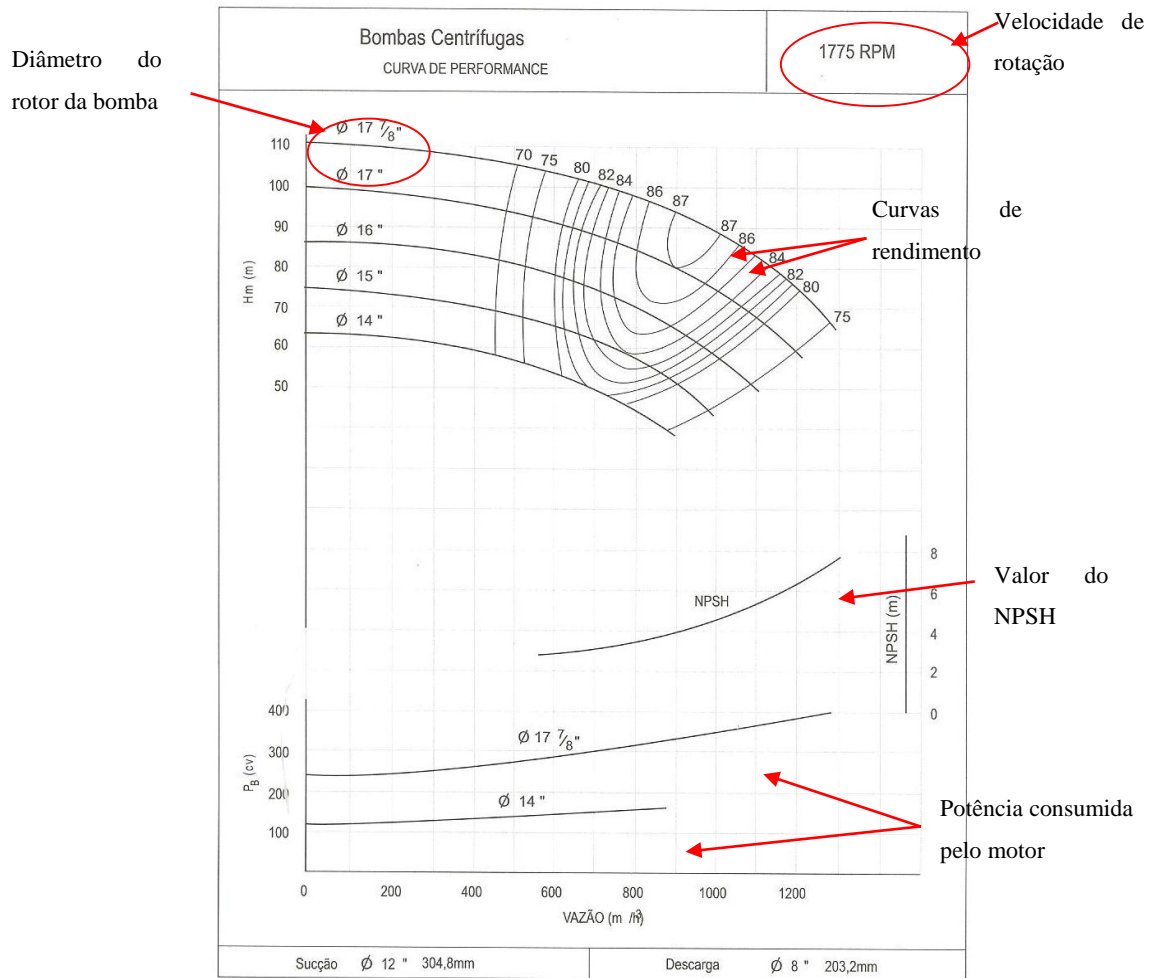


Figura 3.10 - Apresentação padrão das curvas características de uma bomba.

(Fonte: HELLER e PÁDUA, 2006)

Outro ponto merecedor de atenção é que o fabricante fornece as curvas de performance para uma determinada rotação específica, sendo que se houver alteração desse valor de rotação a forma geral das curvas características também se alterará (TSUTIYA, 2006a). Na próxima seção são abordados com mais detalhes, através da Lei de Semelhança, os efeitos da variação de rotação sobre as demais grandezas de uma bomba.

3.5.3.1.1.2 Lei de Semelhança

A Lei de Semelhança é utilizada para se determinar os efeitos da variação de velocidade de rotação da bomba sobre a vazão bombeada, a altura manométrica e a potência consumida (TSUTIYA, 2006a). A relação entre essas grandezas é:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \text{e} \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad 3.18$$

Onde:

P é a potência hidráulica;

N é o velocidade de rotação;

Q é a vazão bombeada;

H é a altura manométrica.

A Equação 3.18 revela que a vazão recalçada por uma bomba é diretamente proporcional à velocidade de rotação do seu eixo. Já a relação da rotação da bomba com a altura manométrica é quadrática. Quanto à potência, esta tem uma relação cúbica com a velocidade de rotação.

3.5.4 Dimensionamento do conjunto motobomba

Os parâmetros hidráulicos mais importantes no dimensionamento dos conjuntos motobomba são a vazão, a altura manométrica e geométrica, potência e rendimento.

3.5.4.1 Vazão

O volume de água que a bomba deve conduzir é um dado de projeto que para ser estimado depende de algumas particularidades do local em que a estação de bombeamento será implantada. Alguns dos fatores que devem ser levados em consideração são os tipos de consumidor que serão atendido, se é um bairro industrial ou residencial; se é um local de baixa ou alta renda; o clima do local, se há predominância de dias quentes ou dias frios; o alcance para o qual o projeto está previsto (vida útil do projeto) e para este alcance qual é a expectativa de crescimento do local atendido.

A vazão, representada por Q , é o volume de líquido bombeado por unidade de tempo e, normalmente, é expresso em m^3/h , m^3/s ou l/s (TSUTIYA, 2006a).

3.5.4.2 Altura geométrica e manométrica

A posição do eixo da bomba com relação ao nível de água do poço de sucção classifica o tipo de instalação. É denominada instalação de sucção positiva para a situação em que o eixo da bomba se localiza acima do nível da água, Figura 3.11 (a). Já para o caso contrário, quanto o nível do líquido no poço de sucção está abaixo da linha de centro da bomba, a sucção é dita negativa ou também denominada de bomba afogada (Figura 3.11 (b)).

Como a altura geométrica, H_g , representa a diferença entre os dois níveis que o fluido deve vencer (GOMES, 2009), dependendo do tipo da instalação de recalque a altura geométrica pode se dividir em altura geométrica de aspiração, H_{ga} , e altura geométrica de recalque, H_{gr} .

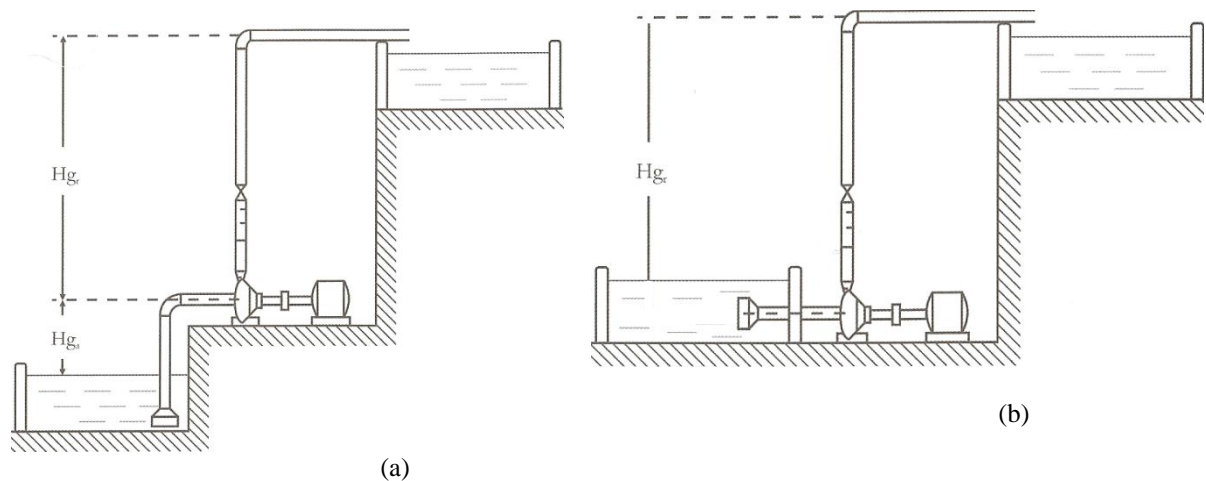


Figura 3.11 - Configurações das instalações de bombeamento, bombas com sucção negativa (a) e bombas com sucção positiva ou afogada (b).

(Fonte: GOMES, 2009)

Em instalações de sucção negativa, TSUTIYA (2006) define H_{ga} como a diferença entre as cotas do nível da água no poço de sucção e a linha de centro da bomba. Enquanto H_{gr} é a diferença entre o nível em que está a linha de centro da bomba e o nível do líquido, em que chega a tubulação de recalque (Figura 3.11 (a)).

Enquanto a altura geométrica representa a diferença de nível entre os pontos de análise, sendo esta uma medida fixa, a altura manométrica, H_m , representa as perdas de carga contínua e localizada (ver Seção 3.2.4), sendo esta uma função da vazão.

Para TSUTIYA (2006) a altura manométrica total, AMT, representa a carga que deve ser vencida pela bomba, quando o líquido deve ser bombeado. A determinação da AMT é

mais facilmente encontrada quando se aplica a Equação de Bernoulli entre os pontos de análise.

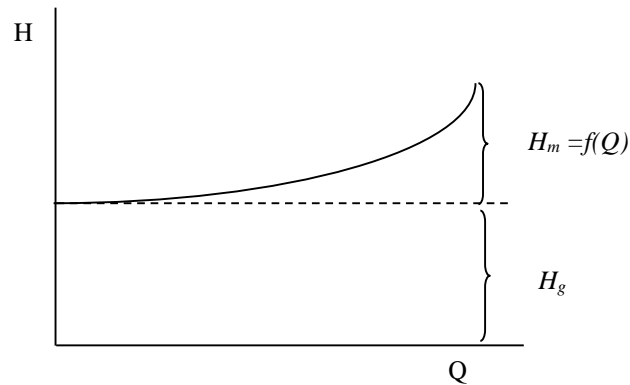


Figura 3.12 - Representação do comportamento da altura manométrica e geométrica com a vazão.

A equação de Bernoulli é um caso particular da Primeira Lei da Termodinâmica. Ela estabelece que nos escoamentos permanentes de fluidos incompressíveis e não viscosos, se ocorre um incremento na sua velocidade e, conseqüentemente, em sua energia cinética, haverá um decréscimo de igual valor na sua pressão ou energia potencial. Essa equação descrita em termos de energia por unidade de peso, Joule/Newton, resulta simplesmente em metros, m .

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = cte \quad 3.19$$

Onde:

P é a pressão em Pa;

γ é o peso específico do fluido em N/m^3 ;

V é a velocidade média do escoamento em m/s ;

g é a aceleração da gravidade em m/s^2 ;

z é a cota em relação ao nível de referência, m .

Aplicando a Equação 3.19, para fluidos ideais, em um ponto a montante da bomba, P1, o ponto P2 a jusante da bomba e considerando como sendo H_m a energia que a bomba irá fornecer ao líquido e h_f as perdas de carga do sistema, então a equação ficará com a seguinte configuração:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_m = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad 3.20$$

Se for isolada da Equação 3.20, o termo da altura manométrica, tem-se o valor da altura total que a bomba deve fornecer ao sistema para fazer com que o fluido atinja o ponto 2 (BAPTISTA e LARA, 2003).

$$H_m = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_f \quad 3.21$$

3.5.4.3 Potência e rendimento hidráulico

BAPTISTA e LARA (2003) descreveram a potência hidráulica para uma instalação de recalque como sendo o trabalho realizado sobre o fluido ao passar pela bomba em um segundo.

$$P_H = \gamma Q H_m \quad 3.22$$

Onde:

P_H é a potência hidráulica em W;

γ é o peso específico do fluido em N/m³;

Q é a vazão bombeada em m³/s;

H_m é a altura manométrica em m.

Como a unidade de trabalho mais usual para a potência é o cavalo vapor, cv, a Equação 3.22, para a esta unidade de medida de potência fica:

$$P_H = \frac{\gamma Q H_m}{75} \quad 3.23$$

Onde as demais unidades permanecem iguais, exceto:

γ dado em kgf/m³.

A potência hidráulica é, convenientemente, chamada de potência útil por ser a parcela que efetivamente gera o deslocamento do fluido. Para que a bomba forneça esta potência ela recebe do motor, através do seu eixo, a denominada potência motriz ou motora, P_m . Evidentemente a P_m deve ser maior que a P_H , uma vez que a conversão de uma energia para a outra envolve perdas inerentes ao processo. Estas perdas são expressas através do conceito de rendimento ou eficiência (GOMES, 2009).

A definição do rendimento para qualquer máquina é o quociente da energia por ela produzida pela energia a ela fornecida. No caso em específico de uma bomba, o rendimento, η_b é dada por P_H/P_m , ou seja:

$$\eta_b = \frac{P_H}{P_m} = \frac{\gamma Q H_m}{P_m} \quad 3.24$$

Assim como a bomba tem perdas ao transformar uma forma de energia em outra, o mesmo processo ocorre com o motor que está acoplado a bomba. Por tanto, para chegar ao

valor da potência final requerida da rede elétrica tem-se que considerar como o rendimento do conjunto motobomba:

$$\eta = \eta_m \eta_b \quad 3.25$$

Onde:

η é o rendimento do conjunto motobomba;

η_m é o rendimento do motor;

η_b é o rendimento da bomba.

Logo a potência da estação elevatória, em kW é dada por:

$$P = \frac{9,81QH_m}{\eta} \quad 3.26$$

Para saber qual será a potência requerida ao motor, é preciso antes conhecer a perda de carga que está atrelada às configurações do sistema. Esse dado é obtido através das curvas do sistema.

3.5.5 Curva do sistema

O ponto de operação de uma bomba é dependente das condições do sistema em que esta é instalada, ou seja, da posição e pressão a que a bomba é submetida, bem como das velocidades e perdas de carga na tubulação (HELLER e PÁDUA,2006). Para se determinar o ponto de operação de uma bomba é necessário desenhar a curva do sistema no mesmo gráfico da curva característica da bomba. O ponto de interseção das duas curvas é também o ponto de operação da bomba, conforme Figura 3.13.

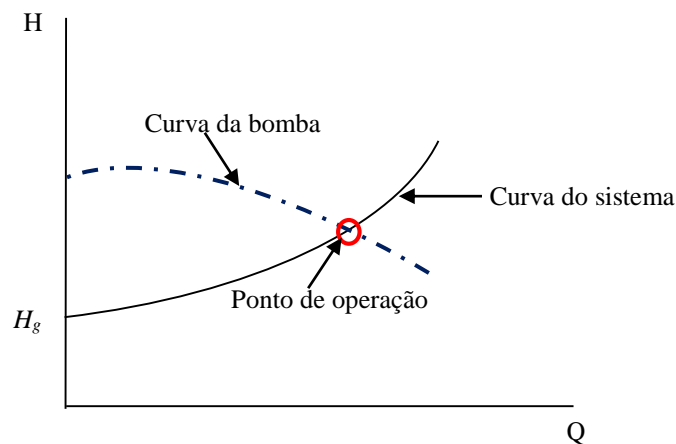


Figura 3.13 - Interseção da curva do sistema com a curva característica da bomba para definição do ponto de operação.

A curva do sistema é obtida através da aplicação da Equação 3.21, que é função da perda de carga, por isso sua construção só é possível depois de fixado o diâmetro e o material das linhas de aspiração e recalque. Na prática, tomam-se algumas vazões (Q) e calcula-se a altura geométrica (H_m) para cada uma delas (GOMES, 2009). Na Figura 3.14 ficam claras as mudanças no ponto de operação devido às configurações da instalação.

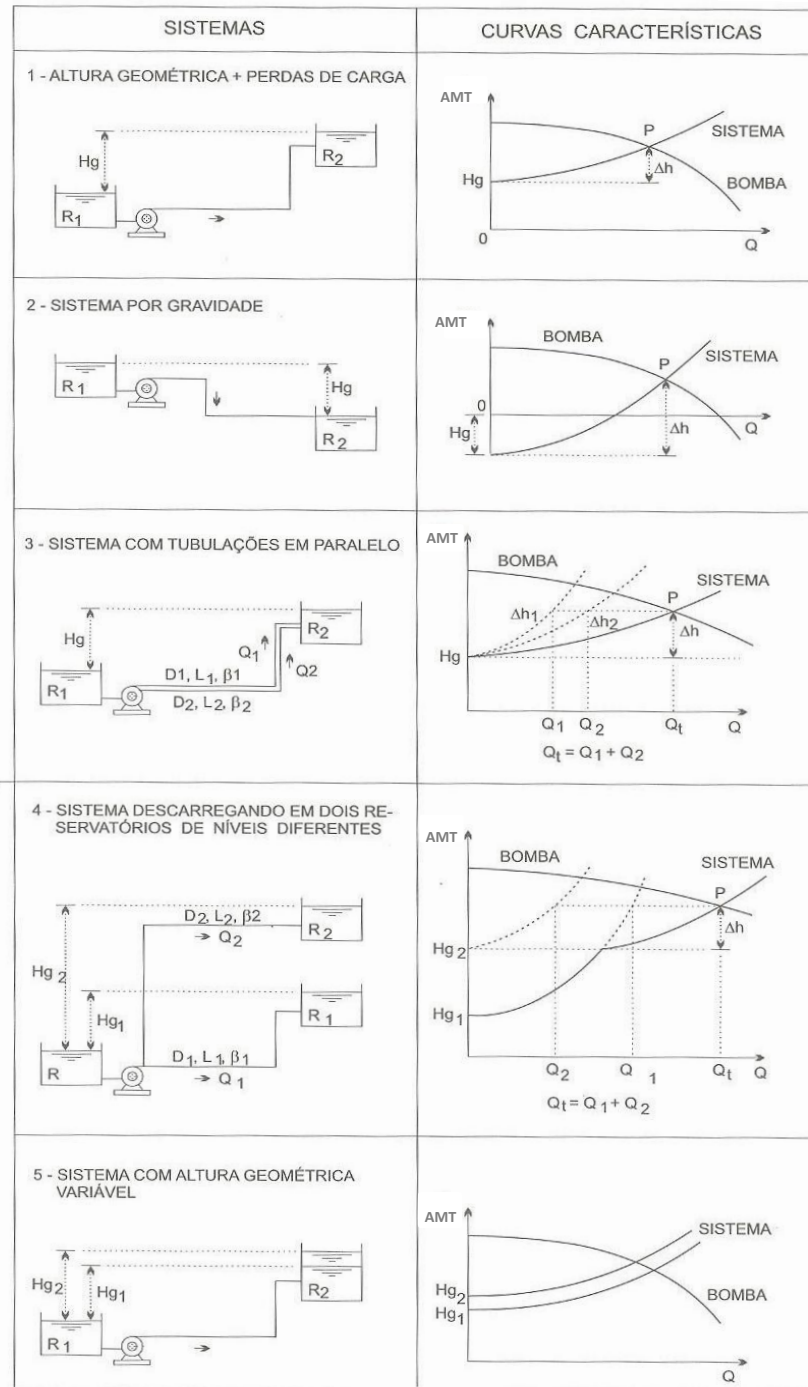


Figura 3.14 - Mudanças nas curvas do sistema conforme a configuração da instalação.

(Fonte: BAPTISTA e LARA, 2003)

3.6 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Compreender a estruturação do sistema tarifário brasileiro é tão importante quanto saber como se comportam as variáveis hidráulicas de um sistema de abastecimento de água, uma vez que a potência requerida para o bombeamento irá influenciar diretamente no custo final de toda operação do sistema.

O sistema tarifário de energia elétrica é um conjunto de normas e regulamentos que têm por finalidade estabelecer o valor monetário da eletricidade para diferentes classes e subclasses de unidades consumidoras. Atualmente o órgão regulamentador do sistema tarifário é a ANEEL (ANEEL, 2000).

Uma importante mudança no sistema tarifário brasileiro deu-se com a implantação da tarifa horo-sazonal. Ocorre muitas vezes que a curva de carga elétrica diária apresenta um pico de demanda no horário próximo às 18 horas, que aproxima o valor de potência consumida do valor de potência instalada, pondo em risco a segurança do sistema elétrico nacional. Para deslocar parte do consumo desse período para outros, a partir de 1986 foi introduzida no país a tarifa binômica horo-sazonal, por meio de sobretaxas da demanda e da energia durante esse período, que varia das 18 às 21 horas. É, também, desestimulado o uso da energia elétrica, por meio de tarifas maiores, no período considerado seco para os reservatórios das hidrelétricas, que vai de maio a novembro (SANTOS, 2006).

Com base nesta premissa, o sistema tarifário brasileiro está estruturado como esquematizado na Figura 3.15, a ser descrito na próxima seção. Para facilitar a compreensão da estruturação do sistema de tarifário faz-se necessário a introdução de definições de alguns termos importantes.

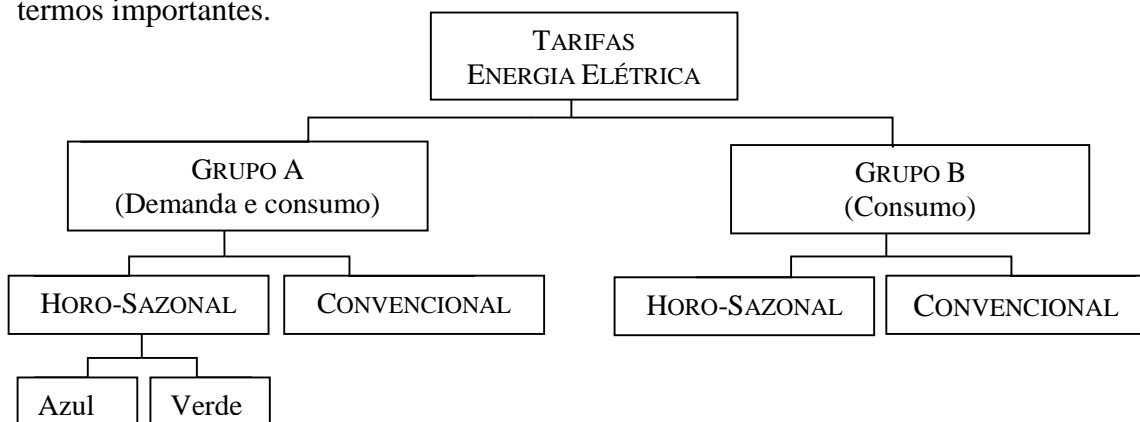


Figura 3.15 - Estrutura simplificada das tarifas de energia elétrica.

(Fonte: COSTA, 1998)

3.6.1 Definições e conceitos

Consumo de energia – corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período de consumo, normalmente 30 dias. É medido em quilowatt-hora (kWh) ou megawatt-hora (MWh), sendo as tarifas de consumo de energia fixadas em reais por megawatt-hora (R\$/MWh) e específicas nas contas mensais dos consumidores (ANEEL, 2005).

Demanda de potência medida – corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora. É medida em quilowatt, em intervalos de tempo especificado, normalmente 15 minutos e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, usualmente de 30 dias (ANEEL, 2005).

Demanda de potência contratada – é a potência a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada, durante o período de faturamento. É expressa em quilowatts, e as tarifas são expressas em reais por quilowatt (R\$/kW) (SANTOS,2006).

Horário de ponta – é o período definido pela concessionária e composto por três horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados definidos por lei federal. Normalmente é fixado numa faixa entre as 17 e 22 horas (COSTA, 1998).

Horário fora ponta – corresponde às horas complementares àquelas definidas no horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados e domingos (COSTA, 1998).

Período Seco – corresponde ao período de sete meses consecutivos iniciando-se em maio e finalizando-se em novembro de cada ano. É geralmente o período com pouca chuva (ANEEL, 2000).

Período Úmido – é o período de cinco meses consecutivos compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte. Estes períodos guardam uma relação direta com os períodos, em que ocorrem as variações de cheias dos reservatórios de água utilizados para a geração de energia elétrica (ANEEL, 2000).

Tarifa Monômnia – tarifa na qual, para o consumidor, somente é transparente o preço do consumo em kWh (nesta situação está embutido o custo da demanda) (COSTA, 1998).

Tarifa Binômnia – é a tarifa que se compõem de duas parcelas, sendo a primeira relativa à demanda e a segunda relativa ao consumo (COSTA, 1998).

3.6.2 Tensão de fornecimento

As condições gerais de fornecimento de energia elétrica são estabelecidas pela Resolução da ANEEL Número 414. Neste documento, as unidades consumidoras são divididas em grupos, distinguindo-se uns dos outros pelo nível de tensão de fornecimento, apresentando cada um deles valores definidos de tarifa. Este nível de tensão está relacionado com a carga instalada na unidade consumidora.

Para fins de faturamento, as unidades consumidoras são reunidas em dois grupos tarifários, definidos em função da tensão de fornecimento e como consequência em função da demanda (SANTOS, 2006).

3.6.2.1 Grupo A

Grupamento composto de unidades consumidoras e com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo, em caráter opcional, nos termos definidos na Resolução ANEEL nº 456.

Caracterizado pela estruturação tarifária binômica este Grupo é dividido nos subgrupos apresentados na tabela seguinte (SANTOS,2006).

Tabela 3.7 - Tensão de Fornecimento, Grupo A.

Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

(Fonte: SANTOS, 2006)

3.6.2.2 Grupo B

As tarifas do Grupo B destinam-se às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV e são estabelecidas para as seguintes classes e subclasses de consumo:

B1 Classe residencial e subclasse residencial baixa renda;

B2 Classe rural, abrangendo as subclasses como agropecuária, cooperativa de eletrificação, indústria rural, serviço público de irrigação;

B3 Outras classes: industrial, comercial, serviços e outras atividades, poder público, serviço público e consumo próprio;

B4 Classe iluminação pública.

As tarifas do Grupo B são estabelecidas somente para o componente de consumo de energia, considerando que o custo da demanda de potência está incorporado ao custo do fornecimento de energia em megawatt-hora (ANEEL, 2005).

3.6.3 Estrutura tarifária

A estrutura tarifária é um conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou à demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2000).

A Tabela 3.8 apresenta de forma simplificada as variáveis envolvidas para cada modalidade de faturamento tarifário.

Tabela 3.8 - Resumo do faturamento tarifário.

	Azul	Verde	Convencional
Demanda (kW)	Um preço para ponta Um preço para fora de ponta	Preço único	Preço único
Consumo (kWh)	Um preço – ponta – período úmido Um preço – fora de ponta – período úmido Um preço – ponta – período seco Um preço – fora de ponta – período seco		Preço único

(Fonte: SANTOS, 2006)

3.6.3.1 Estrutura tarifária convencional

Esta estrutura é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, independente, das horas de utilização do dia e dos períodos do ano (ANEEL, 2000).

A modalidade tarifária Convencional pode ser enquadrada como monômnia ou binômnia. Tarifa monômnia convencional é aplicada aos consumidores alimentados em baixa tensão e seu cálculo é feito com apenas uma parcela:

$$\text{Faturamento} = \text{Consumo Mensal (kWh)} \times \text{Tarifa Convencional}$$

Já a Tarifa Convencional do tipo binômia é aplicada para os consumidores do Grupo A, apresentando dois preços, um para a demanda e outro para o consumo:

Faturamento = Demanda máxima mensal (kW) x Tarifa de demanda + Consumo Mensal (kWh) x Tarifa de Consumo

O consumidor atendido em alta tensão pode optar pela estrutura tarifária convencional sempre que tiver contratado uma demanda inferior a 300 kW e se a tensão de fornecimento for inferior a 69 kV.

A demanda máxima mensal deve ser entendida como a demanda contratada, ou a demanda máxima medida, ou 85% da maior demanda registrada nos últimos onze meses, já o consumo mensal é o valor registrado no medidor de energia.

3.6.3.2 Estrutura tarifária horo-sazonal

Esta estrutura se caracteriza pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme especificação a seguir:

- I. **Tarifa Azul:** modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia (ANEEL, 2000).

A tarifa azul é aplicável compulsoriamente aos consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV e aqueles que independentes da faixa de alta tensão apresentem uma potência igual ou superior a 500 kW e opcionalmente aos atendidos com tensão menor do que 69 kV e apresentem uma demanda entre 50 e 500 kW, montada segundo um arranjo matemático, compreendendo quatro preços para a demanda e quatro preços para o consumo (COSTA, 1998):

Faturamento = Demanda máxima de ponta mensal (kW) x Tarifa de ponta + Demanda máxima fora da ponta mensal (kW) x Tarifa de demanda fora da ponta + Consumo mensal de ponta (kWh) x Tarifa de consumo de ponta + Consumo mensal fora da ponta (kWh) x Tarifa de consumo fora ponta.

- II. **Tarifa Verde:** modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma *única* tarifa de demanda de potência (ANEEL, 2000).

A tarifa verde é aplicável aos fornecimentos de tensão inferior a 69 kV e potência a partir de 50 kW, segundo um arranjo matemático que apresenta dois preços para a demanda e quatro para o consumo (COSTA, 1998):

Faturamento = Demanda máxima mensal (kW) x Tarifa de demanda + Consumo de ponta mensal (kWh) x Tarifa de consumo de ponta + Consumo mensal fora da ponta (kWh) x Tarifa de consumo fora ponta.

3.6.3.3 Fator de Potência e Reativo Excedente

Conforme definido na Resolução da ANEEL 414 de 2010:

Art. 95. O fator de potência de referência “f_R”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92.

Parágrafo único. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência, reativos que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos arts. 96 e 97, a serem adicionadas ao faturamento regular de unidades consumidoras do grupo A, incluídas aquelas que optarem por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B nos termos do art. 100.

Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o CUSD (Contrato de Uso do Sistema de Distribuição), os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as seguintes equações:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad 3.27$$

Onde:

E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “f_R”, no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM_T$ = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;

f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “T” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, observadas as definições dispostas nos incisos I e II do § 1º do Artigo 96;

VR_{ERE} = valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh);

§ 1º Para a apuração do ERE e DRE(p), deve-se considerar:

I – o período de 6 (seis) horas consecutivas, compreendido, a critério da distribuidora, entre 23h 30min e 6h 30min, apenas os fatores de potência “ f_T ” inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora “T”;

e
II – o período diário complementar ao definido no inciso I, apenas os fatores de potência “ f_T ” inferiores a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de 1 (uma) hora “T”.

$$D_{RE(p)} = \left[\text{MAX}_{T=1}^n \left(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF_{(p)} \right] \times VR_{DRE} \quad 3.28$$

Onde:

$D_{RE(p)}$ = valor, por posto tarifário “p”, correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “ f_R ” no período de faturamento, em Reais (R\$);

PAM_T = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “T”, durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

$PAF(p)$ = demanda de potência ativa faturável, em cada posto tarifário “p” no período de faturamento, em quilowatt (kW);

VR_{DRE} = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul e das TUSD-Consumidores-Livres, conforme esteja em vigor o Contrato de Fornecimento ou o CUSD, respectivamente;

MAX = função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto tarifário “p”;

T = indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;

p = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;

$n1$ = número de intervalos de integralização “T” do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta; e

$n2$ = número de intervalos de integralização “T”, por posto tarifário “p”, no período de faturamento.

§ 2º O período de 6 (seis) horas, definido no inciso I do § 1º, deve ser informado pela distribuidora aos respectivos consumidores com antecedência mínima de 1 (um) ciclo completo de faturamento.

§ 3º Na cobrança da demanda de potência reativa excedente, quando o VR_{DRE} for nulo, a distribuidora deve utilizar valor correspondente ao nível de tensão imediatamente inferior.

3.7 INDICADORES DE DESEMPENHO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo o Referencial Teórico para Cursos de Diagnóstico Hidroenergético desenvolvido pela rede de Laboratórios de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (REDE LENHS, 2013) os indicadores de desempenho podem ser utilizados para medir o desempenho atual e quantificar alterações na eficiência energética. Dessa forma, podem ser associados às metas de uma organização, tornando possível identificar pontos falhos e contribuindo na tomada de decisão da mesma em relação ao cumprimento de seus objetivos.

As principais fontes de consulta sobre indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água são o Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS) e a *International Water Association* (IWA) dada sua relevância no contexto nacional e mundial. Alguns dos principais indicadores de desempenhos utilizados em sistemas de abastecimento de água são listados a seguir. Porém é preciso destacar que um indicador de desempenho analisado individualmente tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. É importante que a avaliação de desempenho se faça atendendo simultaneamente aos principais pontos de vista relevantes, com apoio de um sistema de indicadores de desempenho. Logo, cada sistema de abastecimento de água é um caso particular e deverá contar com um mínimo de indicadores para estudo (Alegre et al., 2004 *apud* REDE LENHS, 2013).

3.7.1 Consumo Específico de Energia Elétrica

Segundo Gomes (2009) este é um dos indicadores mais comuns no setor de saneamento sendo utilizado para indicar a eficiência energética em sistemas de bombeamento de água bruta e tratada. Representa a quantidade média de energia requerida para elevar um metro cúbico de água por meio de instalações de bombeamento e é expresso em KWh/m³.

$$IN_{058} = \frac{\text{Consumo Total de Energia Elétrica em SAA (KWh)}}{\text{Volume da Água (Produzido Tratado/Importado)(m}^3\text{)}} \quad (3.29)$$

Apesar de útil para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, esse indicador não se presta a comparar o desempenho de estações de bombeamento distintas, sendo essa sua principal limitação. Isso pode ser explicado pelo fato de diferentes sistemas recalcam água a diferentes alturas manométricas, em diferentes configurações hidráulicas consumido assim diferentes quantidades de energia por mais que os rendimentos dos equipamentos possam ser iguais.

3.7.2 Consumo Específico de Energia Normalizado

No intuito de contornar a limitação do consumo específico de energia elétrica a IWA propôs o artifício de reduzir as alturas manométricas de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas (REDE LENHS, 2013). Desta forma surgiu o indicador chamado de Consumo de Energia Normalizado que é entendido como a quantidade média de energia gasta para elevar um metro cúbico de água a 100 m de altura manométrica por meio de instalações de bombeamento. Expressa-se em kWh/m³/100m.

$$Ph5 = \frac{\text{Consumo de Energia (KWh)}}{\text{Volume bombeado (m}^3\text{)} \times \left(\frac{\text{altura manométrica (m)}}{100}\right)} \quad (3.30)$$

Para uma determinada instalação este indicador varia linearmente e de forma inversamente proporcional com o rendimento do conjunto motor bomba, ou seja, na medida em que o rendimento aumenta o Consumo de Energia Normalizado, *Ph5*, diminui. Como referência este indicador é, normalmente, na ordem de 0,5 kWh/m³ para 100m, o que corresponde a uma eficiência média no bombeamento de 54% (GOMES, 2009).

3.7.3 Consumo de energia reativa

É a relação entre o consumo de energia reativa no bombeamento durante o período de referência e a energia total consumida nas estações elevatórias durante o período de referência $\times 100$.

$$Ph6 = \frac{\text{Consumo de Energia Reativa (KVArh)}}{\text{Consumo de Energia para Bombeamento (KWh)}} \times 100 \quad (3.31)$$

Este indicador pode ser calculado para períodos inferiores ao ano, mas, nesses casos, tanto as comparações internas como externas devem ser feitas com prudência. A energia reativa é habitualmente expressa em KVArh e o consumo de energia em kWh. Contudo, são equivalentes e a sua razão é adimensional portanto a unidade do indicador é %.

3.7.4 Rendimento de Conjunto Motor bomba

Este índice é proposto por REDE LENHS (2013). É calculado através do quociente entre a potência hidráulica e a potência elétrica, expresso em %. Influenciam nesse rendimento as perdas de carga nas instalações hidráulicas, consumo de energia reativa, cavitação etc.

$$\eta = \frac{\text{Peso específico da água (1000kgfm/m}^3) \times \text{Altura manométrica(m)} \times \text{Vazão(m}^3/\text{s)}}{\text{Potência Elétrica (cv)}} \quad (3.32)$$

3.7.5 Consumo específico por comprimento de adutora

Nos sistemas de bombeamento com longas adutoras é interessante avaliar o nível de significância das perdas de carga da instalação, para então compará-las com outras instalações e também para avaliações econômicas. Avaliado em kWh/m³/km.

$$CEE_L = \frac{\text{Consumo de Energia (KWh)}}{\text{Volume bombeado (m}^3) \times \text{Comprimento da adutora (km)}} \quad (3.33)$$

Conforme Gomes (2009) ao se decompor as parcelas referente às perdas de carga no cálculo do consumo energético linear, tornasse possível comparar o desempenho energético em termos de perdas de carga de diferentes instalações em uma mesma base:

$$CEE_{L-PC} = \frac{\text{Consumo de Energia (kWh)}}{\text{Volume bombeado (m}^3) \times \text{Comprimento (km)}} \times \left(1 - \frac{\text{Desnível geométrico (m)}}{\text{Altura manométrica (m)}}\right) \quad (3.34)$$

3.7.6 Utilização da capacidade de bombeamento

Somatório para todos os grupos motobomba instalados [(número de horas de funcionamento no dia de maior consumo energético durante o período de referência x potência nominal) / (potência nominal utilizável dos sistemas de bombeamento x 24)] x 100. Expresso em %.

$$Ph4 = \frac{\text{Consumo máximo diário de energia para bombeamento (kWh)}}{(\text{Capacidade máxima de bombeamento das EE (kW)} \times 24\text{h})} \times 100 \quad (3.35)$$

É recomendado que este indicador não seja calculado para períodos inferiores há um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior ao ano, as comparações internas devem ser feitas com cautela e devem ser evitadas comparações externas. Este indicador mede a capacidade de bombeamento remanescente no dia de maior consumo energético. No cálculo deste indicador

exclui-se a capacidade dos grupos motor bomba de reserva que não possam ser utilizados em simultâneo com os restantes.

Baixos valores do indicador podem indicar:

- Conjuntos moto-bomba superdimensionados, caso a curva de carga do dia de maior consumo seja relativamente suave, sem picos;
- Operação deficiente ou baixa capacidade de reservação, caso a curva de carga do dia de maior consumo apresente picos. Isso indica a necessidade de se utilizar a máxima capacidade de bombeamento durante curtos intervalos de tempo, de forma a suprir a demanda de água em horários de pico, o que poderia ser evitado caso este suprimento pudesse ser atendido por reservatórios.

Outro fator relacionado aos picos de demanda é a operação de conjuntos moto-bomba em modo “liga-desliga”, típica de sistemas operando com rotação constante, obrigando as bombas a operarem em um ponto fixo (REDE LENHS, 2013).

3.7.7 Custos de energia elétrica

É a relação entre o Custo total de energia elétrica e os custos correntes $\times 100$, durante o período de referência. Este indicador pode ser calculado para períodos inferiores ao ano, mas, nesses casos, tanto as comparações internas como externas devem ser feitas com prudência (REDE LENHS, 2013).

$$Fi10 = \frac{\text{Custos de Energia Elétrica (R\$)}}{\text{Custos Correntes (R\$)}} \times 100 \quad (3.36)$$

3.7.8 Consumo médio de energia elétrica

É a relação entre o valor total da conta de energia elétrica (R\$) pelo consumo total de energia elétrica (MWh), correspondente ao período de medição (R\$/MWh). O valor total de uma conta é resultado da soma das parcelas de consumo, demanda, multas por baixo fator de potência e por demanda de ultrapassagem, impostos e outros encargos.

$$\text{CUSTO}_{\text{EEL}} = \frac{\text{Valor total da conta de energia elétrica (R\$)}}{\text{consumo total de energia elétrica (KWh)}} \quad (3.37)$$

Para cada MWh consumido na realização efetiva de um determinado trabalho, incidem todos os demais custos, resultando em maior ou menor custo operacional da energia ativa utilizada. O custo médio por MWh consumido é um indicador de eficiência do uso da energia

sobre o qual refletem todos os custos de procedimentos operacionais, dimensionamento de equipamentos e forma de contratação do fornecimento de energia (REDE LENHS, 2013).

3.8 TRABALHOS JÁ DESENVOLVIDOS PARA O CONTROLE DOS GASTOS ENERGÉTICOS EM ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO

Devido ao alto percentual de consumo e gastos nas contas de energia elétrica das empresas de saneamento, foram desenvolvidos recentemente alguns estudos nesta temática.

ALMEIDA e ACCORSI (2006) ao buscar por soluções para a redução do consumo de energia da adutora de água bruta da cidade de São Lourenço do Sul no Rio Grande do Sul, administrada pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, ponderaram que o consumo exagerado de energia elétrica não era causado apenas pelo conjunto motobomba, mas sim pelo estado de degradação da tubulação da adutora em questão. Graças à diminuição da carga dinâmica obtida com a nova tubulação os dois motores de 125CV II pólos foram substituídos por motores de 75CV IV pólos. Juntamente com a troca dos motores houve também a substituição das bombas centrífugas o que resultou na redução média de aproximadamente 50% dos custos mensais da conta de energia elétrica.

RODRIGUES (2007) em sua tese de doutorado mostra a aplicabilidade ou não de inversores de frequência em estações de distribuição de água. O trabalho analisa duas estações de bombeamento da cidade de Campinas, São Paulo, que são operadas com a utilização de inversores de frequência. Ao final deste trabalho o autor propõe um fluxograma que tem por finalidade servir como uma ferramenta guia dos critérios que podem servir como parâmetros para a adoção de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de água. Os principais critérios que podem ser destacados são se a potência do conjunto motobomba é menor que 10CV, então, não é recomendado o uso de inversor de frequência. O segundo ponto crítico de análise é se o único objetivo esperado ao instalar-se um inversor de frequência for a obtenção da economia de energia elétrica, pode-se, em alguns casos, alcançá-lo sem a necessidade da aplicação do inversor e sim através do ajuste ao sistema de tarifação elétrica vigente e/ou alteração da rotina operacional da estação.

Para GOMES (2009) é possível se atingir uma eficiência hidroenergética nos sistemas de distribuição de água através de quatro diferentes intervenções:

Redução da altura manométrica de bombeamento: A altura manométrica que uma bomba deve ser capaz de vencer influencia diretamente na potência elétrica que será

consumida por esta bomba, conforme a Equação 3.22. Por isso o autor sugere uma diminuição deste valor através da troca de tubulação por uma de menor aspereza ou maior diâmetro; eliminação do ar do sistema seja pela instalação de ventosas ou dispositivos antivórtices; eliminação da perda de carga singulares desnecessárias por meio da reconfiguração geométrica da tubulação; redução da vazão de bombeamento com a incorporação de suprimentos alternativos de água mais econômico ou pela redução das perdas reais de água; e a limpeza e revestimento de tubulações através de dispositivos raspadores das paredes dos tubos (os *scrapers* ou *pigs*) que levam a valores menores do coeficiente C da equação de Hazen-Williams.

Melhoria no rendimento dos equipamentos: Para verificar com que valor de rendimento um conjunto motobomba está trabalhando é necessário obter a curva característica da bomba (obter *in lócus* e não utilizar a que o fabricante disponibiliza), obter a curva do sistema e realizar as medições de potência ativa. Com essas informações é possível calcular o rendimento que o equipamento está desenvolvendo. Caso este seja baixo, a simples substituição por um conjunto de alto rendimento nem sempre garante o surgimento de ganhos. Antes de tomar a decisão da troca do equipamento deve-se verificar se o conjunto motobomba está superdimensionado, subdimensionado ou bem dimensionado com relação à linha de recalque. A mesma observação deve ser feita para o motor com relação à bomba.

Modulação da carga com conversores de frequência: Os locais que não possuem reservatórios de jusante utilizam os conversores de frequência como mecanismos de modulação da carga, uma vez que a demanda de água é variável ao longo do dia. Estes equipamentos, cada vez mais difundidos no setor de saneamento, possuem diversas vantagens entre elas: a modulação da vazão através da variação da velocidade de rotação; o controle sobre a corrente de partida do motor; a eliminação do baixo fator de potência e a facilidade da comunicação em sistemas de controle automatizados. Porém nem sempre se justifica a instalação de conversores de frequência, por exemplo, os sistemas que possuem um desnível geométrico muito grande quando comparado com as perdas de cargas singulares podem não acarretar em um ganho significativo uma vez que a diminuição da rotação não reduz o desnível geométrico. Outro cuidado que se deve ter quando for aplicado o conversor de frequência é o sobreaquecimento que este provoca no motor podendo reduzir a vida útil do motor ou até mesmo queimá-lo.

Otimização da reservação com o aumento do bombeamento fora do horário de ponta: Para operar os reservatórios da forma mais otimizada é preciso ter um histórico amplo

que permita conhecer com precisão as curvas de consumo de água. Ter a curva de demanda do dia de maior consumo torna possível dimensionar corretamente o volume útil que o reservatório pode ter. Porém na prática as empresas apenas coletam os dados de vazão de entrada do reservatório, que não representam a curva de demanda.

No livro “*Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água*”, TSUTIYA (2006a) sugere realizar um diagnóstico energético através de diferentes etapas:

Redução do custo sem diminuição do consumo de energia elétrica: Para se obter apenas a redução do valor pago ao final do mês com a conta de energia elétrica, é necessário que o sistema tarifário seja estudado podendo assim contratar um correto serviço junto à empresa distribuidora. O autor recomenda também que se regularize a demanda contratada, que as instalações sem utilização sejam desativadas, que o fator de potência seja controlado e corrigido se necessário, que seja alterada a tensão de alimentação, que se faça uma melhoria no fator de carga e por fim que sejam controladas as leituras das contas de energia elétrica e negociado uma redução na tarifa elétrica;

Redução do custo pela diminuição do consumo de energia elétrica: A redução da potência consumida pelo conjunto motobomba pode ser alcançada através da diminuição da perda de carga do sistema, neste tópico autor sugere a troca das tubulações, pois a redução na perda de carga pelo atrito com as paredes e a diminuição do diâmetro útil pode trazer economia no consumo de energia elétrica de até 40%. Ainda para esta etapa é recomendada a melhoria nos rendimentos dos conjuntos motobomba e a redução do volume de água bombeada;

Redução do custo pela alteração do sistema operacional: É recomendado que seja alterado o sistema bombeamento-reservação quando este for ineficiente e que sejam utilizados variadores de rotação nas bombas;

Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento: Sistemas com um grau de monitoramento maior tornam possível o controle de grandezas que ajudam na tomada de decisão para operar o sistema, além de permitir que o atendimento da demanda ocorra de forma mais maleável. Algumas pesquisas realizadas na empresa de saneamento de São Paulo, a SABESP, revelaram que com a implantação da automação pode-se reduzir o custo com energia elétrica em até 25%;

Redução do custo pela geração de energia: É necessário se realizar um levantamento hidroenergético nos reservatórios que acumulam água bruta, algumas vezes estes possuem desnível e volume de água suficiente para a geração de energia. Outro aspecto a ser analisado é o uso de geradores à gás ou a óleo diesel para suprir o fornecimento de energia elétrica durante o horário de ponta.

4. PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste trabalho será estudada uma estação de bombeamento visando sugerir meios de torná-la e operá-la da forma mais eficiente frente ao uso de energia elétrica. Para tanto, a metodologia proposta consiste em, de posse dos dados hidráulicos, mecânicos e elétricos obtidos no local do estudo, desenvolver diferentes cenários que serão validados com o auxílio de simuladores hidráulicos para sistemas de distribuição de água.

Os cenários a serem desenvolvidos podem ser classificados dentro de dois grupos:

GRUPO I

Análise do estado da atual instalação e verificação de operações que possam gerar economia de energia e água sem que haja a necessidade de investimentos em troca de equipamentos ou material.

Esta análise seguirá a metodologia proposta por TSUTIYA (2006). Segundo o autor pode-se alcançar a redução nos gastos com a energia elétrica através de ações que ele classifica como administrativas que são:

- I. Correção da classe de faturamento;
- II. Regularização da demanda contratada;
- III. Alteração da estrutura tarifária;
- IV. Desativação das instalações sem utilização;
- V. Conferência de leitura da conta de energia elétrica;
- VI. Entendimentos com as companhias para redução da tarifa;

Além das ações administrativas também são propostas para este cenário formas mais eficazes de se atender à demanda da água.

GRUPO II

Análise de uma situação onde serão necessários alguns investimentos que permitam realizar a troca de equipamentos ou de materiais que sejam identificados como principais causadores da ineficiência da estação de recalque em estudo. Neste cenário também serão feitas algumas suposições que visam o melhor desempenho energético do sistema, como a

diminuição da potência dos equipamentos que pode ser alcançada pela melhoria no rendimento do conjunto motobomba, pela redução das perdas de carga ao longo da tubulação ou pela melhora no fator de carga da instalação (TSUTIYA, 2006).

4.2 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL ONDE SERÁ APLICADA A METODOLOGIA

Como método de pesquisa foi desenvolvido um estudo de caso realizado na estação de bombeamento do anel viário do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Segundo Turkienicz *et al.* (2004) *apud* Mendes (2006) o Campus do Vale é um dos quatro campi pertencentes à UFRGS. Ele compreende uma área de 665 hectares no morro Santana com faces voltadas para o município de Viamão e para as avenidas Bento Gonçalves e Protásio Alves do município de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul.

O Campus do Vale que em 2013 tinha uma população de 10.674 pessoas, teve a origem da sua ocupação no início do século passado com a implantação da Faculdade de Agronomia e, mais tarde, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas. A ocupação só se consolidou na década de 70, com a construção dos prédios destinados aos Institutos de Biociências, de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, de Filosofia e Ciências Humanas, de Física, de Geociência, de Informática, de Letras, de Matemática e de Química no interior do chamado anel viário (Figura 4.1).

O anel viário que é formado pelos setores 1, 2, 3 e 4 constitui o elemento mais emblemático, sob o ponto de vista urbanístico do Campus do Vale. Ele concentra mais de 80% das atividades universitárias entre alunos, professores e funcionários do Campus do Vale. A área construída no interior do anel é de 132.000 m², prevê-se uma expansão para 183.300 m², podendo ser expandida para a área adjacente (setor 10) para abrigar as futuras instalações da Universidade (MENDES, 2006).

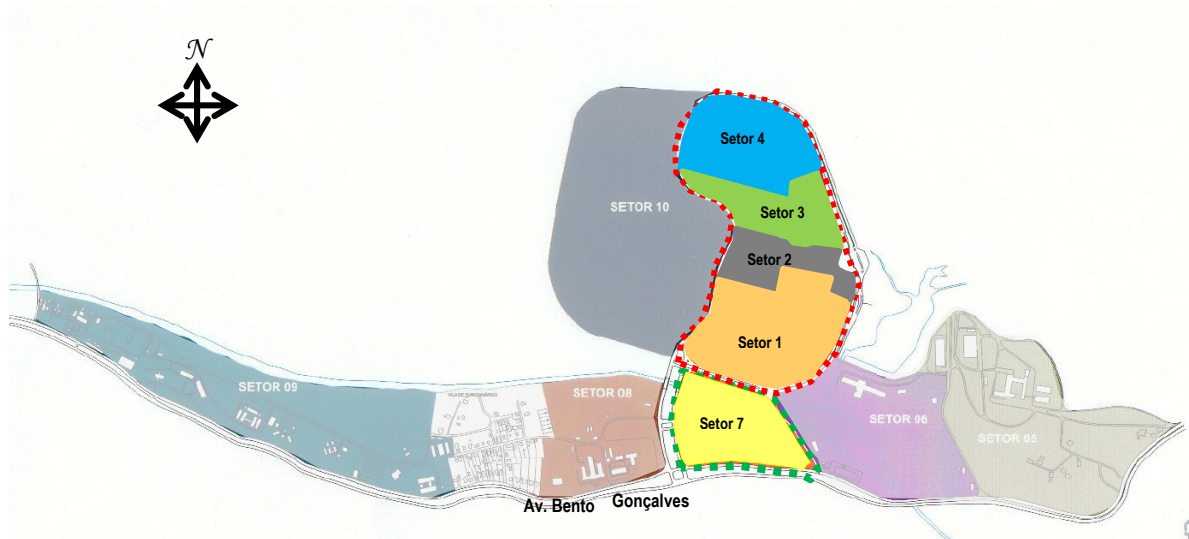


Figura 4.1 - Campus do Vale da UFRGS, em destaque o anel viário e o Setor 7.

(Fonte: UFRGS, 2010)

4.3 DELIMITAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO E LEVANTAMENTO DOCUMENTAL

O estudo limitou-se ao sistema de bombeamento que abastece o anel viário da Universidade e o Setor 7. O sistema em análise é composto pelo reservatório RI que está ligado a casa de máquinas, a qual recalca água para o reservatório apoiado RII que por gravidade abastece o Setor 4 e também o reservatório RIII que irá abastecer o restante do Campus do Vale, conforme desenho esquemático da Figura 4.2.

O levantamento documental foi considerado fundamental como etapa desta pesquisa para caracterizar o sistema hidráulico do Campus do Vale. Solicitações foram realizadas junto a Prefeitura do Campus do Vale e ao Departamento de Projetos e Obras (DPO), o material fornecido com os registros existentes da área em estudo está reproduzido no Anexo F. Os registros apresentados neste anexo são referentes aos reservatórios RI e RII e também apresenta uma planta com o traçado da adutora prevista no projeto de 1987. Não foi encontrada nenhuma documentação referente ao reservatório RIII e nem sobre as adutoras.

Durante o estudo percebeu-se a importância do conhecimento do sistema hidráulico do Campus do Vale que os técnicos do setor de hidráulica detém. Informações que serão perdidas no momento da aposentadoria destes profissionais, caso não seja tomada alguma medida que leve à documentação destas informações. Aparentemente não há documentações fundamentais para a manutenção do sistema como memoriais descritivos ou projetos *as built*.

A seguir serão descritas as unidades que fizeram parte do presente estudo.

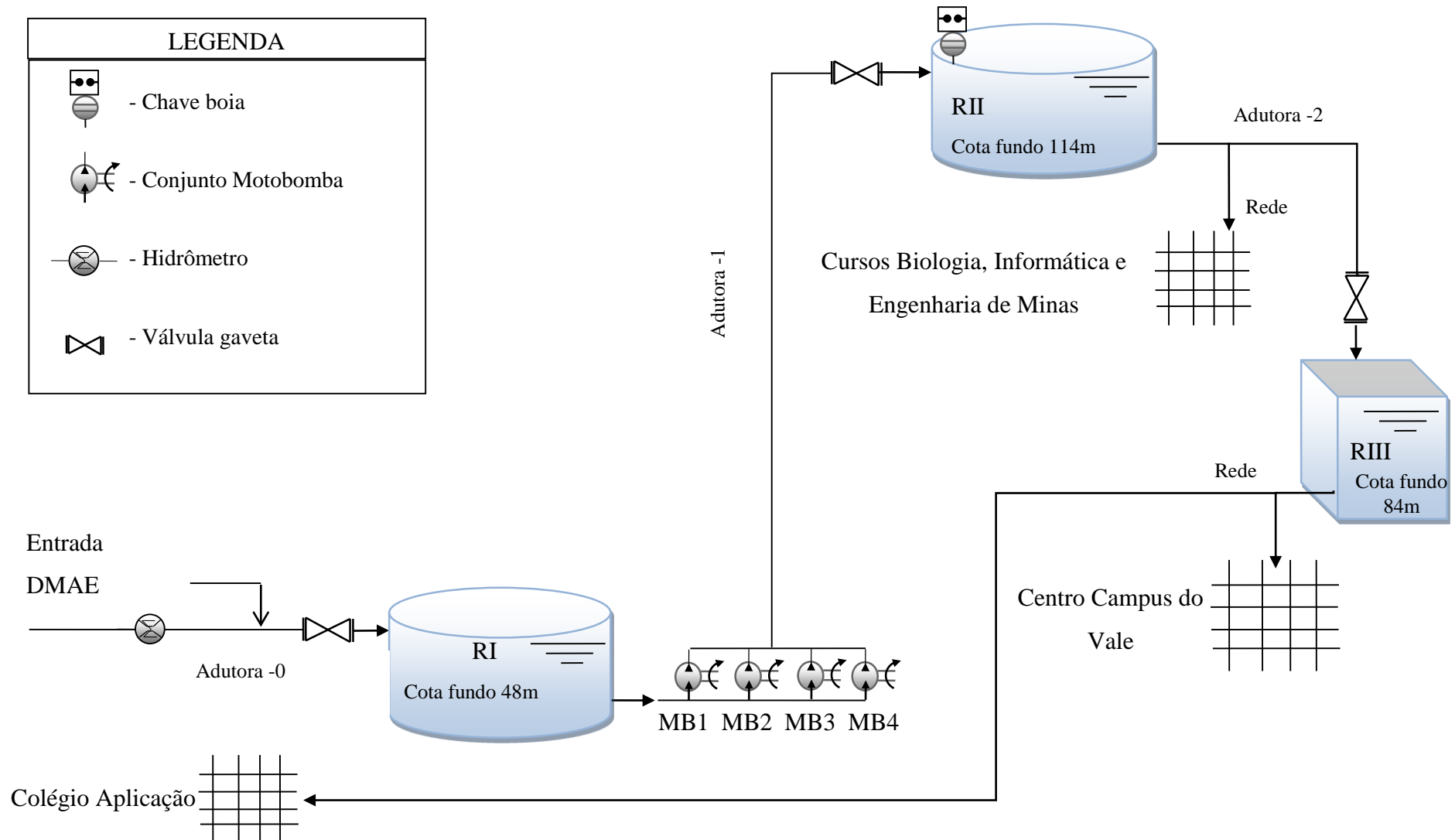


Figura 4.2 - Desenho esquemático do local de estudo no Campus do Vale da UFRGS.

O reservatório RI é abastecido diretamente pela rede de distribuição de água de Porto Alegre, de responsabilidade do DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto. A capacidade nominal de armazenamento do RI é de 700 m³ e o seu enchimento e controle de nível são feitos de forma manual através da abertura de uma válvula diariamente por um funcionário da universidade, através de uma inspeção visual e do uso da sua sensibilidade.

A água do reservatório RI é recalçada para o RII através da estação de bombeamento. A estação de bombeamento ou casa de máquinas possui quatro conjuntos motobomba instalados em paralelo (Figura 4.3), sendo que três destes quatro conjuntos motobombas foram trocados em janeiro de 2010. Os três novos conjuntos instalados são bombas centrífugas monoestágio monobloco série DN 65-25 fabricadas pela da Mark Grundfos com rotação específica de 3500 rpm e diâmetro do rotor igual a 251 mm, a curva característica encontra-se no APÊNDICE A. A estas bombas estão acoplados os motores da Weg modelo JP-Plus de 75HP de potência, cujas características são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dados do motor acoplado as bombas modelo JP-Plus fabricado pela WEG.

Potência	75 HP		
Número de pólos do motor	2		
Frequência de trabalho	60 Hz		
Conjugado	148 Nm		
Classe de isolamento	F		
Nível de ruído	80 dB(A)		
Modelo da carcaça	225S/M		
Fator de Serviço	1,15		
Inércia	0,44846 kgm ²		
Tempo máximo com motor bloqueado (Tr)	12 s		
Conjugado máximo (Cp/Cn)	240%		
Velocidade de rotação do motor	3560 rpm		
Tensão	220/380/440 V		
Corrente nominal (In)	171/99,0/85,5 A		
Corrente a vazio	52,0/30,1/26,0 A		
Relação da corrente de partida com a corrente nominal (Ip / In)	7,8		
Rendimento	Carregamento do motor		
	50	75	100
	92,6%	93,5%	93,8%
Fator de potência	0,80	0,87	0,90

A ativação das bombas pode ser realizada tanto de forma automática comandada por uma chave boia instalada no RII quanto de forma manual através do interruptor permanecendo ligada sem nenhum controle ou do nível RI (reservatório de sucção das bombas) ou do nível RII (reservatório que recebe a água recalçada). A partida se dá por uma chave compensadora também chamada de autotransformador.



Figura 4.3 - Quatro conjuntos motobomba instalados na casa de maquinas do Campus do Vale da UFRGS.

A atual forma de operação dos conjuntos não segue nenhuma programação, o único cuidado que é tomado é alternar a bomba que está em operação, ou seja, ora é ligado o conjunto motobomba MB1 ora é acionado o conjunto MB2, já que uma bomba, apenas, consegue suprir a demanda de água.

O reservatório RII fica a aproximadamente 1.000 metros do RI, em um terreno com cota igual 115, enquanto o fundo do reservatório se encontra na cota 114, (portanto o desnível aproximado entre o RI e RII é de 64m) e tem capacidade de armazenar 700m³. Neste reservatório há um controle de nível através da aplicação de uma chave boia que ao chegar ou nível máximo do reservatório manda um sinal elétrico que desliga automaticamente o conjunto motobomba evitando que o reservatório RII extravase.

As plantas apresentadas no Anexo F são referentes a uma das primeiras adutoras que foram executadas no Campus do Vale, cujo traçado original foi desenvolvido no projeto de 1983. Com o final da vida útil da adutora projetada em 1983 e a expansão do Campus do Vale a adutora foi deslocada, passando a acompanhar o anel viário que dá acesso ao campus, porém não foram encontrados registro ou plantas para esse novo traçado. Como não se possui informações do dimensionamento, material e traçado das atuais adutoras que ligam os reservatório RI, RII e RIII, todas as informações apresentadas nesta pesquisa referentes a estas adutoras foram obtidas graças aos relatos dos técnicos responsáveis pelo departamento de hidráulica do campus, que estiveram envolvidos com a manutenção e construção do sistema

nos últimos 20 anos. Por tanto o provável encaminhamento da adutora que liga o reservatório RI ao RII (Adutora-1) está apresentado na Figura 4.4.



Figura 4.4 - Imagem de satélite do sistema de recalque do Campus do Vale da UFRGS.

Do reservatório RII, que está na cota 115m, a água se desloca por gravidade para o reservatório RIII que se encontra na cota 84m. A adutora que faz a ligação entre esses dois reservatórios é uma adutora em marcha, que, ao mesmo tempo que alimenta o reservatório RIII, também abastece os prédios onde estão alocados os cursos de biologia, informática e engenharia de minas (Setor 4), representada na Figura 4.4 pela Adutora-2. A principal função do reservatório RIII é quebrar a pressão com que a água sai do reservatório RII, diminuindo, portanto a pressão com que é abastecido o centro do campus do Vale.

4.4 INSTRUMENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE RECALQUE

Pela Figura 4.4 pode-se constatar que o único equipamento existente, até então em todo o sistema de recalque do Campus do Vale, capaz de medir uma grandeza é o hidrômetro do DMAE com número de série J07SV00046 e ramal 878944, que está instalado na tubulação que vem da Avenida Bento Gonçalves.

Para o desenvolvimento da pesquisa e aplicação da metodologia foi necessária a instalação de diferentes instrumentos que permitissem o levantamento de dados *in loco*.

No reservatório RI foi instalado um medidor de nível hidrostático com o faixa útil de 0 a 5 mca e precisão de 0,1 %, acoplado a um *data logger* que foi programado para coletar e armazenar dados instantâneos lidos em intervalos de 5min. Para alimentar o *data logger* e o medidor de nível foram utilizadas duas baterias de 12V/18Ah ligadas em série. A Figura 4.5 mostra a foto da caixa que foi montada para abrigar os instrumentos e instalada nos três reservatórios que foram estudados. Na Figura 4.6 pode ser vista essa caixa fixada na porta de inspeção e limpeza do primeiro reservatório



Figura 4.5 - Caixa para a aquisição de nível da água dos reservatórios.



Figura 4.6 - Caixa para a medição de nível fixada na porta de inspeção do reservatório RI.

Para confrontar os dados das variações de nível dos reservatórios e poder estipular o consumo do reservatório RI foram instalados medidores de pressão juntamente ao flange de sucção da bomba e imediatamente abaixo do flange de recalque da bomba, Figura 4.7. O equipamento utilizado para obter o valor da pressão na sucção foi um *data logger* de pressão contínua com *display* que mede valores de -5 a 5 mca e precisão de 0,1% FE, já no recalque a faixa de medição do equipamento instalado foi de 0 a 300 mca e precisão de 0,1 % FE. Estes equipamentos foram programados para armazenar valores instantâneos adquiridos em intervalos de 5 min.



Figura 4.7 - Medidores de pressão instalados na sucção e no recalque das bombas.



Figura 4.8 - Aparelho utilizado para medir a pressão na sucção e recalque da bomba.

Ainda na casa de máquinas foram obtidos os valores referentes às grandezas elétricas. Para tanto utilizou-se um analisador de energia que mede potência ativa, potência reativa, potência aparente, o fator de potência da instalação, entre outras grandezas (Figura 4.9). A coleta dos dados das grandezas elétricas foi realizada com amostras gravadas a cada 15min. Na Figura 4.10 pode ser visto o analisador de energia instalado no painel elétrico conectado junto ao acionamento do conjunto motobomba B3.



Figura 4.9 - Analisador de energia elétrica com as quatro ponteiros e três garras.



Figura 4.10 - Analisador de energia instalado no painel elétrico de acionamento das motobombas.

No RII foi instalado um medidor de pressão juntamente a sua tubulação de entrada de água, Figura 4.11. A importância da instalação deste equipamento reside no fato de se poder conhecer com que pressão a água chega no abastecimento do RII. O instrumento utilizado para esta medida foi um *data logger* de pressão contínua com *display* que mede valores de 0 a 30 mca e precisão de 0,1% FE.



Figura 4.11 - Medidor de pressão instalado na tubulação que abastece o reservatório RII.

Juntamente ao fundo do reservatório RII também foi instalado um medidor de nível hidrostático capaz de ler níveis entre 0mca a 5mca, com uma precisão de 0,1% (ver Figura 4.12), que, assim como no reservatório RI, foi acoplado a um *data logger* e um par de baterias 12V/18Ah seguindo o mesmo padrão de montagem da Figura 4.5.

O último reservatório que faz parte do sistema de recalque em estudo é o RIII. Neste reservatório, assim como nos demais, foi instalado um medidor de nível hidrostático de 0 a 10 mca, precisão de 0,1% FE e conectado a um *data logger* e duas baterias em serie de 12V/18Ah (ver imagens dos equipamentos na Figura 4.5).



Figura 4.12 - Caixa que contém o medidor de pressão hidrostático, o data logger e as baterias (à esquerda). À direita tampa para inspeção e limpeza do reservatório R1 na qual o caixa com o medidor de nível foi fixada.

Como a adutora que liga o reservatório RII ao RIII possui uma derivação, que abastece o setor 4 do campus, foi colocado um medidor de vazão na tubulação de entrada do reservatório RIII para que fosse possível conhecer o volume de água que é consumido pelo setor 4 e também a curva de demanda de água do campus. Para abrigar o medidor de vazão e o de nível foi necessário adaptar um painel antigo (Figura 4.13) de forma que este envolvesse a tubulação que abastece o RIII protegendo assim os equipamentos tanto das intempéries do clima quanto de depredações.

O medidor de vazão ultrassônico foi programado para adquirir valores instantâneos de vazão e velocidade do fluido a cada 5 minutos. Uma particularidade que este equipamento tem com relação aos demais se refere na configuração dos parâmetros iniciais. Para que este equipamento funcione corretamente é necessário entrar com o valor do diâmetro externo da tubulação em análise, a espessura da tubulação, o material de qual é feita a tubulação, o fluido que está no interior da tubulação e a disposição das sondas ultrassônicas. Os dados de entrada deste aparelho para o presente estudo são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dados de entrada do medidor de vazão ultrassônico conectado na entrada do RIII.

Diâmetro externo da tubulação	110mm
Espessura estimada da tubulação	5 mm
Material da tubulação	PVC
Fluido	Água
Disposição da sonda	De forma a cursar 2 vezes pelo fluido



Figura 4.13 - Vista frontal do painel (à esquerda) e distribuição dos medidores de vazão e nível no interior do painel (à direita).

A Tabela 4.3 mostra um resumo de todos os equipamentos instalados no campus, enquanto na Figura 4.14 é apresentado um desenho esquemático com a distribuição dos equipamentos na estação de recalque do Campus do Vale.

É importante lembrar que todos os equipamentos foram sincronizados e programados para coletarem dados a cada 5 minutos exceto o analisador de energia que armazenava os dados no intervalo de 15 minutos, o que permite que seja realizada a comparação entre eles já que todos armazenaram os dados no mesmo instante.

Tabela 4.3 - Resumo dos equipamentos que foram instalados na estação de recalque do Campus do Vale.

Local	Equipamento	Faixa de operação	Precisão	Modelo/Marca	Imagem/Página
Casa de máquinas	Analizador de energia			MOD 3197/Hioki	Figura 4.10 / 76
	Data logger de pressão contínua com display (sucção da bomba)	-5 a 5 mca	0,1% FE	/Lamon	Figura 4.7 / 75
	Data logger de pressão contínua com display (recalque da bomba)	0 a 300 mca	0,1% FE	/Lamon	
RI	Medidor de nível hidrostático + Data logger	0 a 5 mca;	0,1% FE	/ Hidrotec + TXRX/Novus	Figura 4.6 / 74
RII	Medidor de nível hidrostático + Data logger	0 a 5 mca;	0,1% FE	/ Hidrotec + TXRX/Novus	Figura 4.12 / 78
	Data logger de pressão contínua com display	0 a 30 mca	0,1% FE	/Lamon	Figura 4.11 / 77
RIII	Medidor de nível hidrostático + Data logger	0 a 10 mca;	0,1% FE	/ Hidrotec + TXRX/Novus	Figura 4.12 / 78
	Medidor de vazão ultrassônico	até 5 m/s	2% FE	PT878/GE SENSING	

Tabela 4.4 - Resumo dos equipamentos utilizados de forma portátil para medições aleatórias.

Local	Equipamento	Faixa de operação	Modelo/Marca	Imagem/Página
Eixo motobomba	Tacômetro digital ótico		DT 2236 /Homis	Figura 4.18 / 85
Adutora-1 (logo após o barrilete de recalque)	Medidor espessura	Velocidade do som de 1000 a 999 m/s	TT 100/ Homis	
Na derivação da Adutora-0 após o hidrometro e antes do RI	Manômetro analógico	De 0 até 80 mca	Analogico/Instutemp	Figura 4.15 / 82

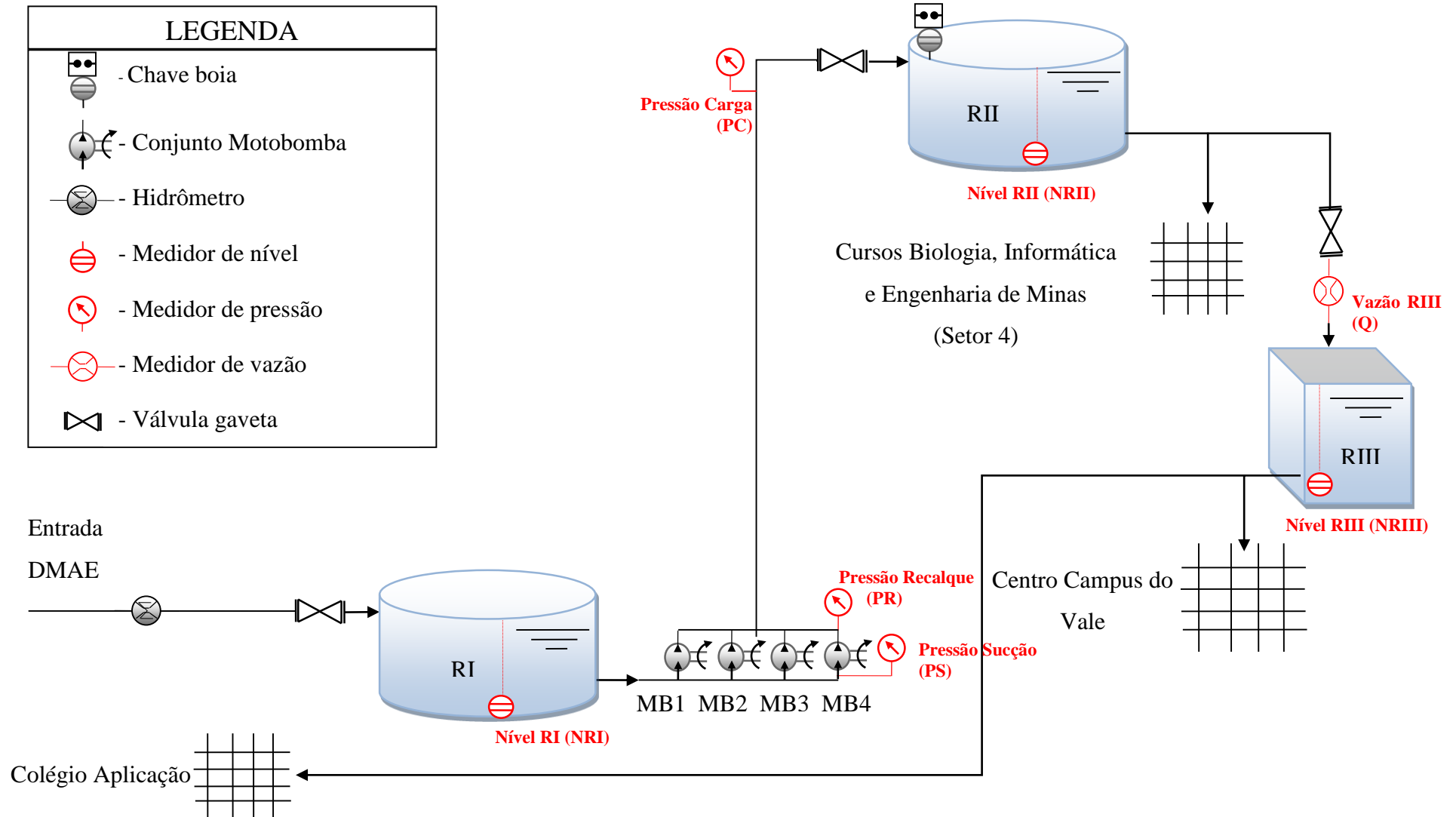


Figura 4.14 - Distribuição dos equipamentos de coleta de dados na área de estudo.

4.5 PRÉ-DIAGNÓSTICO DO SISTEMA

Em uma primeira inspeção do sistema de recalque de água do Campus do Vale da UFRGS foi possível verificar algumas incongruências:

- I. O abastecimento do primeiro reservatório é feito diariamente por um funcionário da UFRGS através da manobra manual de um registro gaveta, sem nenhum controle sobre o quanto foi aberto/fechado o registro e nem mesmo um cronograma para que essa ação ocorra. Caso o funcionário esqueça de abrir o registro e a bomba estiver ajustada para ligar automaticamente quando a chave boia que está no reservatório RII solicitar, poderá o sistema de recalque ficar operando com o nível de água no interior do reservatório RI abaixo do eixo da bomba provocando a entrada de ar em todo o sistema e a cavitação do conjunto. Se o problema for o oposto, caso o funcionário esqueça de fechar o registro que permite a entrada de água no interior do RI, o nível da água pode subir de maneira que a água escoe pelo ladrão do reservatório. Para nenhuma dessas duas situações existe um sistema de alarme ou de segurança que monitore e alerte sobre o mau funcionamento do sistema.
- II. A pressão com que a água abastece o reservatório RI, pressão esta que vem do sistema do DMAE, é de quase 40 mca, ver Figura 4.15. Como não há nenhuma válvula reguladora de pressão, as tentativas de colocação de uma chave boia no RI falharam pois elas não resistiram a pressão com que a água chega até o abastecimento do RI, segundo as informações dos técnicos da prefeitura do Campus.



Figura 4.15 - Manômetro inserido em uma derivação da adutora que liga o hidrometro até RI para verificar a pressão com que a água vem do DMAE ate o primeiro reservatório.

- III. A casa de máquinas do Campus do Vale está equipada com quatro conjuntos motobomba, sendo três novos (trocados em janeiro de 2010) e um antigo. Porém um conjunto apenas é o suficiente para atender a demanda de água sem ser necessário ficar ligado por tempo integral. Ou seja, neste sistema há três outros conjuntos que são uma redundância do sistema. Normalmente se

recomenda um conjunto operando e apenas um segundo como reserva em caso de alguma emergência.

- IV. Neste trabalho foram analisados apenas dois dos quatro conjuntos motobomba, pois a MB4 não possui ligação elétrica e a MB3 está conectada ao painel elétrico, porém sem a presença dos fusíveis. Conforme pode ser observado na Figura 4.16, os cabos de alimentação trifásica da MB3 encontram-se deteriorados parecendo ter havido um superaquecimento que quase provocou o derretimento completo da isolamento destes cabos.

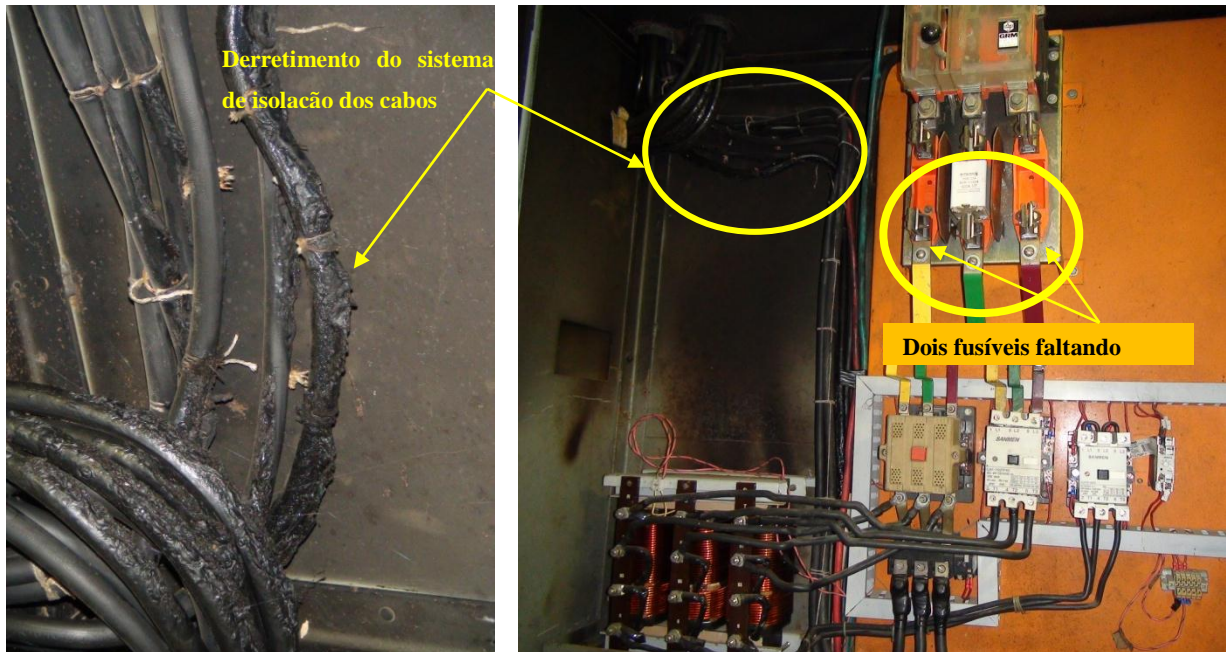


Figura 4.16 - Situação precária do sistema de acionamento do conjunto MB3.

Pelos itens acima mencionados é notória a necessidade de uma revitalização no atual sistema de abastecimento do anel viário do Campus do Vale. Com vistas a mostrar o quanto pode se alcançar em termos de consumo de energia, utilizou-se este sistema como o objeto desta pesquisa.

4.6 VERIFICAÇÃO DOS GRUPO MOTOBOMBA

Tão importante quanto se ter a estação de recalque instrumentada é também ter confiança nos dados que são obtidos dessa instrumentação. Visando essa validação dos dados obtidos como função dos grupos motobomba foi feita a verificação da curva característica da bomba com base na que o fabricante da bomba forneceu. Para averiguar a curva característica foram utilizados os, já citados, data logger de pressão contínua com display de -5 a 5 mca e de 0 a 300 mca no flange de sucção e de recalque das bombas, respectivamente (Figura 4.7). Para conhecer qual a vazão que era recalçada pelas bombas foi utilizado o medidor de vazão

ultrassônico que para esta medida foi instalado na Adutora-1 após o barrilete de recalque, na saída da casa de máquinas conforme apresentado na Figura 4.17.



Figura 4.17 - Medidor de vazão ultrassônico instalado na tubulação que sai da casa de máquinas, para levantar a curva característica da bomba.

O material do qual é feita a tubulação, assim como o diâmetro externo, a espessura da sua parede e se possui algum material revestindo a tubulação são parâmetros importantes e que interferem no valor que será lido pelo medidor de vazão ultrassônico. Buscando ter menos incertezas quanto a esses parâmetros foi utilizado, o medidor de espessura também ultrassônico que obteve o valor de 8,6 mm como sendo a espessura interna da tubulação adutora, onde foi instalado o medidor de vazão. Os demais dados que foram utilizados para parametrizar o medidor de vazão estão na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Dados de entrada para parametrizar o medidor ultrassônico acoplado a adutora na saída da casa de máquinas.

Diâmetro externo da tubulação	163mm
Espessura estimada da tubulação	8,6 mm
Material da tubulação	Ferro dúctil
Fluido	Água
Disposição da sonda	De forma a cursar 2 vezes pelo fluido

Além da pressão e da vazão também foi verificada a rotação na qual o conjunto estava trabalhando, para conferir com a que estava prevista no selo da bomba. Para tanto, foi utilizado um tacômetro ótico. Como mostra a Figura 4.18, a rotação de trabalho do conjunto tem uma diferença de menos de 2% do valor nominal do motor, de 3500 rpm para 3569 rpm. Esta diferença não é considerada significativa.



Figura 4.18 - Verificação da rotação de trabalho do conjunto motobomba.

Para obter diferentes valores de pressão e vazão foi necessário manobrar um registro gaveta existente a jusante da motobomba. Através do estrangulamento desse registro foram obtidos diferentes valores para este binômio que foram trabalhados segundo a Lei de Bernoulli e comparados com os valores que o fabricante forneceu, conforme Figura 4.19. O *shut off* da bomba não foi realizado pois a vibração do conjunto motobomba e o forte som de cavitação ficavam cada vez maior conforme se diminuía a vazão, então por motivos de segurança, e até mesmo para manter a integridade da estação de recalque, optou-se por não verificar a pressão que a bomba forneceria quando a vazão fosse igual a zero.

Curva característica teórica e experimental

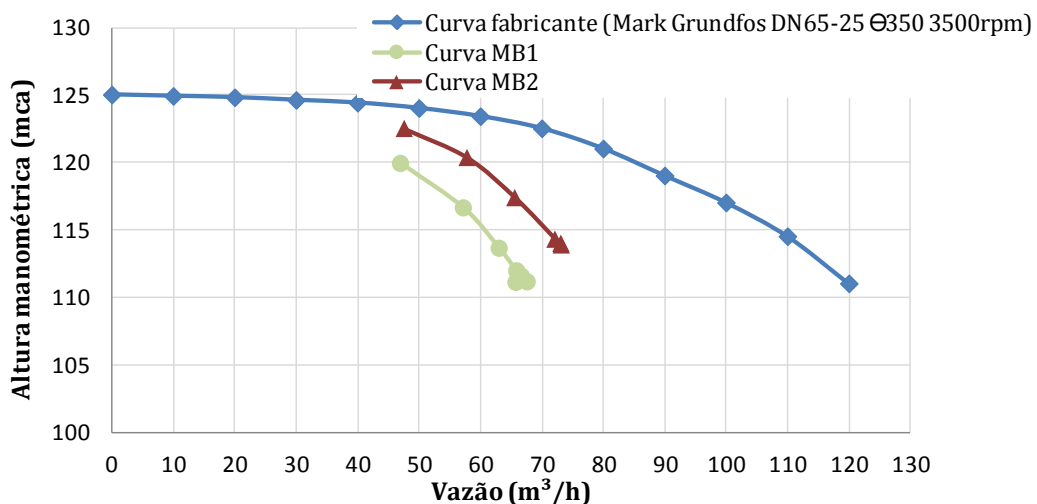


Figura 4.19 - Comparação da curva característica teórica (fabricante) e a obtida no local.

Como pode ser observado na Figura 4.19, as curvas características experimentais destoam da curva teórica, fornecida pelo fabricante em média em 42%, para o conjunto motobomba MB1 e em 35% para o conjunto MB2. Para efeito de comparação, foram somados 42% na vazão da MB1 lida pelo medidor ultrassônico e 35% na vazão do conjunto

MB2, o resultado desse aumento da vazão está apresentado na Figura 4.20, que demonstra que se aumentado a vazão obtida de forma experimental, as curvas características das bombas ficam similares a curva característica teórica.

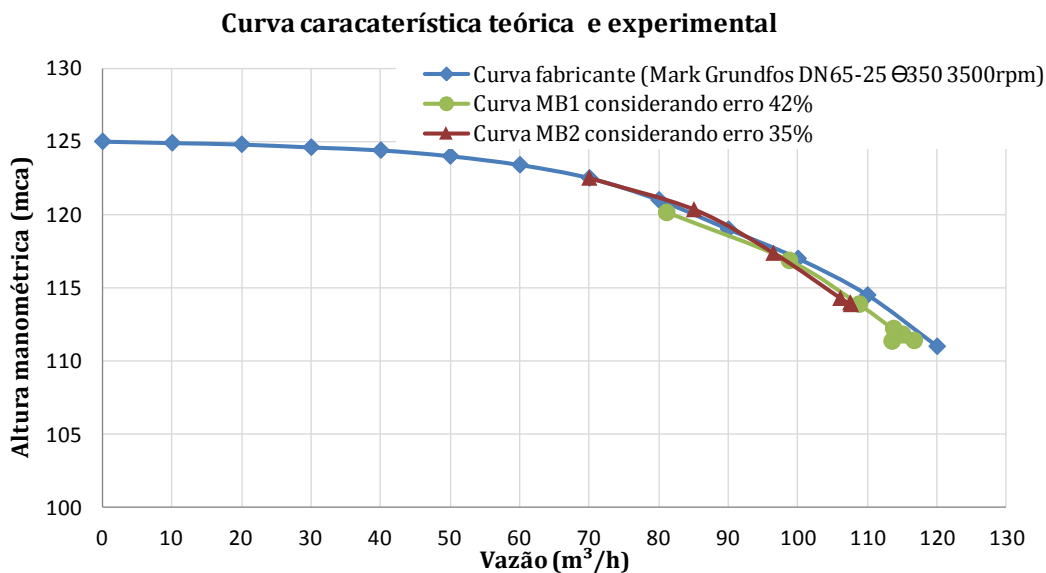


Figura 4.20 - Curva caracaterística teórica e as experimentais corrigidas no valor da vazão.

Então se assume como sendo a curva experimental a nova curva obtida da diminuição da vazão indicada pelo fabricante na curva teórica em 42% do valor da vazão para a mesma altura manométrica, quando considerada a bomba MB1 e em 35% quando considerada a vazão da MB2, Figura 4.21. Optou-se por definir desta forma a curva experimental uma vez que não foi possível gerar todos os pontos *in loco*, como por exemplo, o *shut off*.

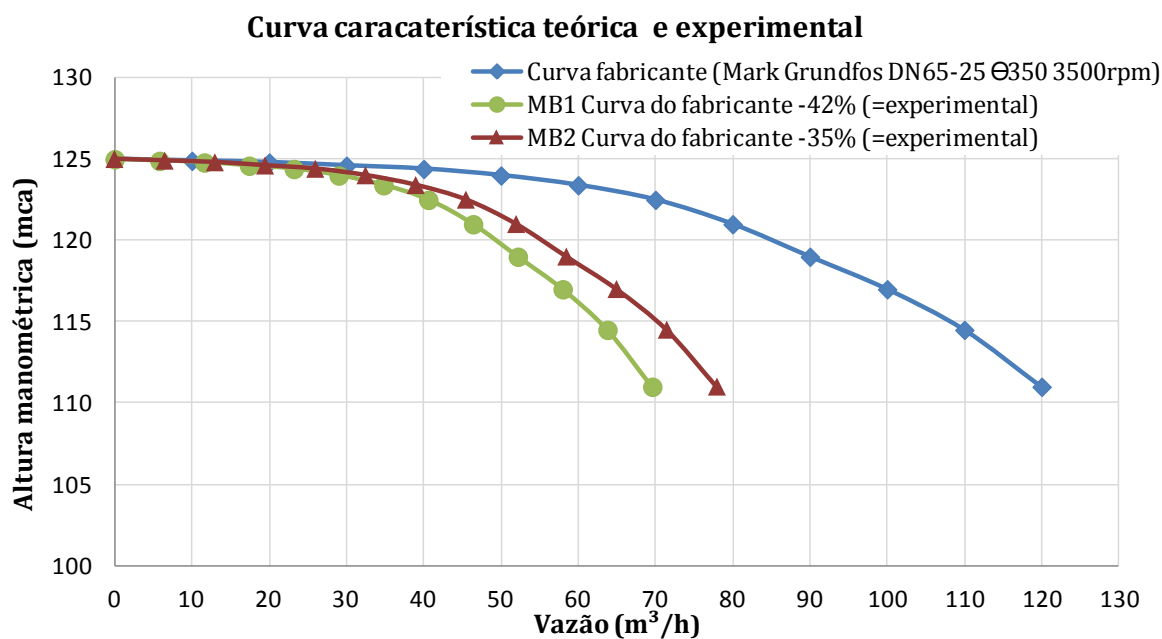


Figura 4.21 - Nova curva experimental dos conjuntos motobomba MB1 e MB2.

Como a diferença entre o valor encontrado na curva teórica e a curva experimental poderia ser devido a um erro de parametrização do medidor de vazão ultrassônico foi feita uma comparação com os valores de consumo mensal lidos no hidrômetro com valores calculados se considerarmos a curva de performance teórica e a experimental.

Foram fornecidos pela Superintendente de Infra-Estrutura da UFRGS (SUINFRA), as medições do volume consumido de água contabilizado pelo hidrômetro localizado na entrada da Av. Bento Gonçalves, referentes aos meses de dezembro a março. Ao ser comparado o consumo mensal lido no hidrômetro ora considerando a vazão bombeada calculada pela curva característica do fabricante ora utilizando a curva característica experimental (ver APÊNDICE B) pode-se ver como a diferença percentual seria maior se o valor do volume consumido fosse obtido utilizando-se a curva do fabricante ao invés da curva experimental.

Apesar de os dois métodos apresentarem diferenças do volume total mensal registrado no hidrômetro, optou-se por considerar, para as demais análises deste trabalho, a curva da bomba como sendo a curva experimental, por ter apresentado a menor diferença. A diferença percentual maior foi registrada no mês de dezembro, que apresentou um consumo atípico (a maior) que os demais meses.

5. ANÁLISE DOS DADOS

Os equipamentos para o levantamento dos dados de consumo no Campus do Vale da UFRGS começaram a ser instalados em agosto de 2010. Porém devido a alguns contratemplos e a dificuldade inicial de instalar, calibrar e sincronizar os equipamentos, a aquisição de fato dos dados teve início em 13 de outubro de 2010, tendo sido finalizada em 31 de março de 2011. Durante estes quase cinco meses de aquisição de dados foram registradas as sazonalidades do consumo nos meses de primavera e verão período letivo (meses de outubro, novembro e início de dezembro de 2010), verão período de férias escolares (final de dezembro, janeiro e fevereiro de 2011) e outono período letivo (final do mês de março de 2011). Na Figura 5.1 é apresentada a combinação da estação do ano, com os períodos letivos, períodos de férias e o início e fim da aquisição de dados.

Dia do mês	Legenda							
	agosto-10	setembro-10	outubro-10	novembro-10	dezembro-10	janeiro-11	fevereiro-11	março-11
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9	Início aulas 2º Semestre					Vestibular		
10						Vestibular		Início aulas 1º Semestre
11						Vestibular		
12						Vestibular		
13			Início das aquisições de dados					
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23					Término aulas 2º Semestre			
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								Fim das aquisições de dados

Figura 5.1 - Combinação dos períodos letivos com a estação do ano e a aquisição dos dados.

Nem sempre as aquisições dos dados ocorreram de forma efetiva, vários motivos contribuíram para esta não aquisição, entre eles: o atraso na entrega de um dos medidores de

pressão hidrostática por parte do fabricante; o término antecipado e imprevisto da carga das baterias; o mau funcionamento dos equipamentos em si; ou erro na programação.

5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS ADQUIRIDOS

Para a análise dos dados obtidos em campo foram feitas algumas definições/alterações que estão listadas a seguir:

DEFINIÇÃO DOS DIAS COM CONSUMOS ATÍPICOS

Os dados começaram a ser trabalhados de forma a se obter uma média horária para que fosse possível, como segundo passo, definir uma curva de demanda de água, e assim prever como se dá a variação do volume no interior dos reservatórios. Para tanto, foi realizada uma análise preliminar dos dados separando-os em dias da semana, finais de semana, dias da semana com feriado e finais de semana com feriado.

Os dias considerados feriados, véspera de feriado ou pós-feriados foram assim atribuídos ou por o serem ou por terem suas curvas representativas nos gráficos destoantes dos demais ou por antecederem e precederem feriados prolongados dentro da universidade. A Tabela 5.1 mostra os dias que foram atribuídos como feriados e o motivo para estarem em tal classificação.

Tabela 5.1 - Dias que foram atribuídos como sendo feriados para a análise dos dados.

	Dia do mês	Motivo
Segunda-feira	1 de novembro de 2010	Véspera de Finados (feriado prolongado)
	3 de janeiro de 2011	Pós final de ano
	7 de março de 2011	Véspera de Carnaval (feriado prolongado UFRGS)
Terça-feira	2 de novembro de 2010	Finados
	8 de março de 2011	Carnaval
Quarta-feira	9 de março de 2011	Quarta-feira de Cinzas
Quinta-feira	30 de dezembro de 2010	Véspera de final de ano
Sexta-feira	24 de dezembro de 2010	Véspera de Natal
	31 de dezembro de 2010	Final de ano
Sábado	25 de dezembro de 2010	Natal
Domingo	26 de dezembro de 2010	Pós Natal
	9 de janeiro de 2011	Início do concurso vestibular UFRGS

DEFINIÇÃO DO VOLUME CONSUMIDO PELO RI

Para o cálculo do volume consumido pelo RI foi correlacionada a variação do seu nível, transformando a variação do nível durante o intervalo de 5 minutos em volume, através da multiplicação pela área do reservatório. Sabendo-se então o volume de saída (pelo recalque da bomba) e a variação do volume (pela variação do nível) era possível saber o quanto entrava no reservatório RI. Este volume (que entrava) foi denominado como consumo do RI.

DEFINIÇÃO DA CURVA DE PERFORMANCE DA BOMBA (FUNÇÃO DA PRESSÃO)

O volume de saída do RI foi obtido através da leitura de pressão no recalque da bomba. Com esse valor utilizou-se a curva característica ajustada do conjunto motobomba em operação. Como o valor conhecido era o de pressão foi feita uma alteração na curva característica das bombas passando a deixar no eixo das abscissas os valores de pressão para então ajustar-se uma curva de tendência que permitisse gerar uma equação onde a incógnita fosse a vazão. A Figura 5.2 mostra o ajuste feito nas curvas características teórica e a experimental para cada motobomba analisada. Como uma única linha de tendência não apresentava uma boa correlação, as curvas características foram divididas em três parcelas, o que permitiu uma maior exatidão dos valores de correlação.

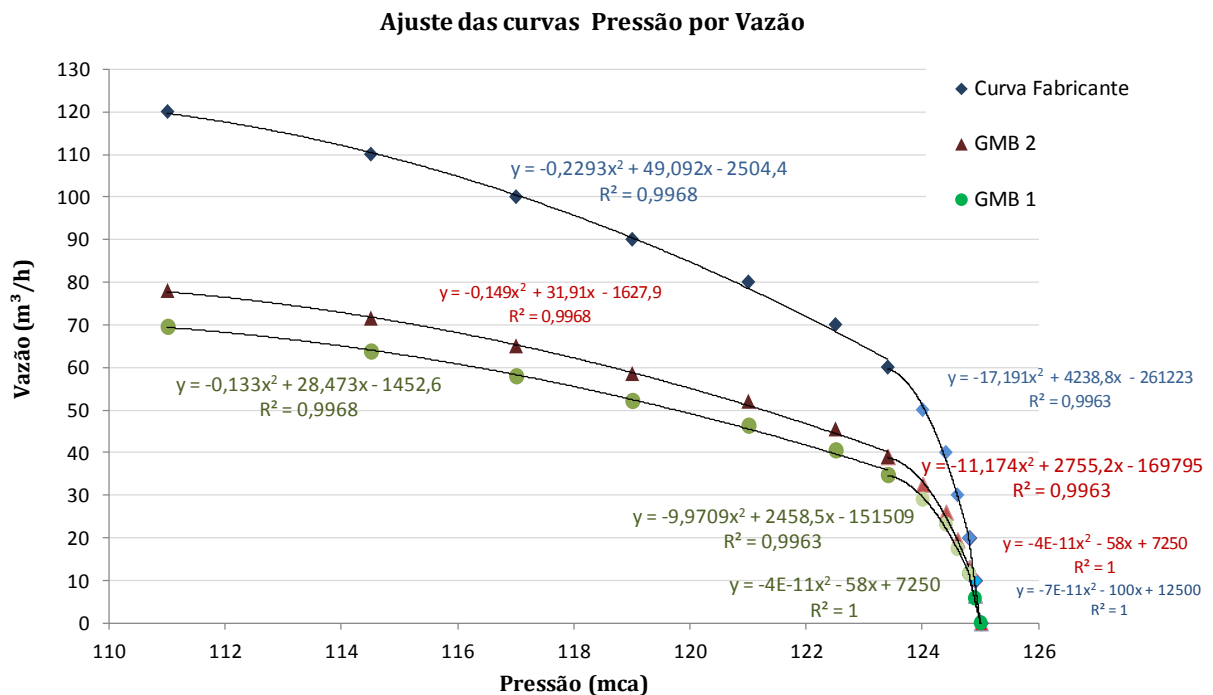


Figura 5.2 - Curva pressão por vazão teórica e experimental para a MB1 e MB2.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO RESERVATÓRIO RI

Objetivando identificar as mudanças nos consumos de água durante os dias ditos normais e os tidos como feriados, para que fosse possível dar um diagnóstico do comportamento do reservatório RI, foi instalado no seu interior um medidor de nível hidrostático. Através de uma análise comparativa entre os diversos feriados para o reservatório RI não é possível encontrar uma correlação ou mesmo uma tendência do comportamento do nível de água, Figura 5.3. Uma explicação para este fato pode ser a forma como se dá a alimentação do RI, que ocorre por um registro tipo gaveta com acionamento

manual, ou seja: como não há uma forma precisa sobre o quanto aberto ou fechado está o registro não é possível afirmar que este sempre abasteceu o reservatório na mesma taxa durante o período analisado.

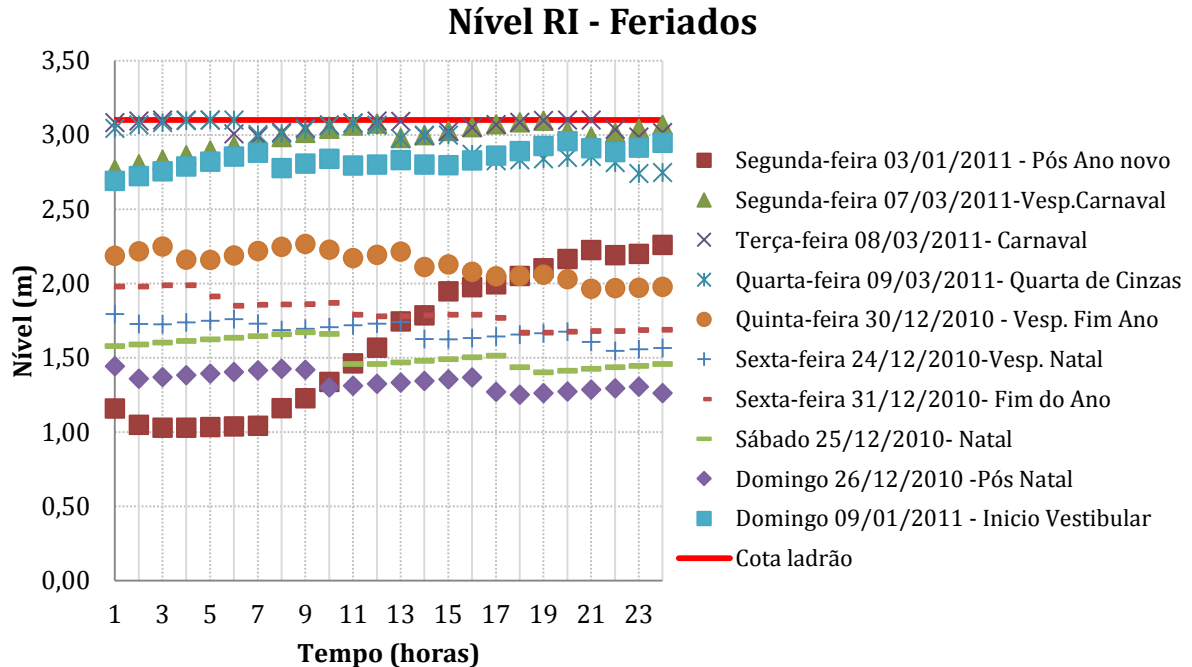


Figura 5.3 - Comportamento do nível do reservatório RI durante os feriados.

O comportamento do nível do reservatório RI com relação ao consumo da água para os dias considerados ordinários, ou seja, dias sem feriados, também não apresenta uma curva horária com picos definidos, o que se pode observar, no entanto, é um declínio no nível da água durante os horários de maior consumo, das 12 às 20 horas, como era esperado já que há uma maior demanda (vazão bombeada) e a vazão de entrada continua igual, Figura 5.4.

Apesar de não se ter obtida uma demanda horária definida para o primeiro dos três reservatórios analisados é possível afirmar que os menores volumes de saídas encontrados são durante os domingos atingindo o mínimo de 45 m³. Este volume tão baixo pode ser explicado pelo fato de este valor ter sido encontrado no dia dois de janeiro de 2011, ou seja, além de ser um domingo, onde o consumo esperado já é menor também era um domingo que sucedeu o final de ano. Para os demais domingos, o volume consumido médio foi igual a 172 m³.

Nível RI - Dias ordinários

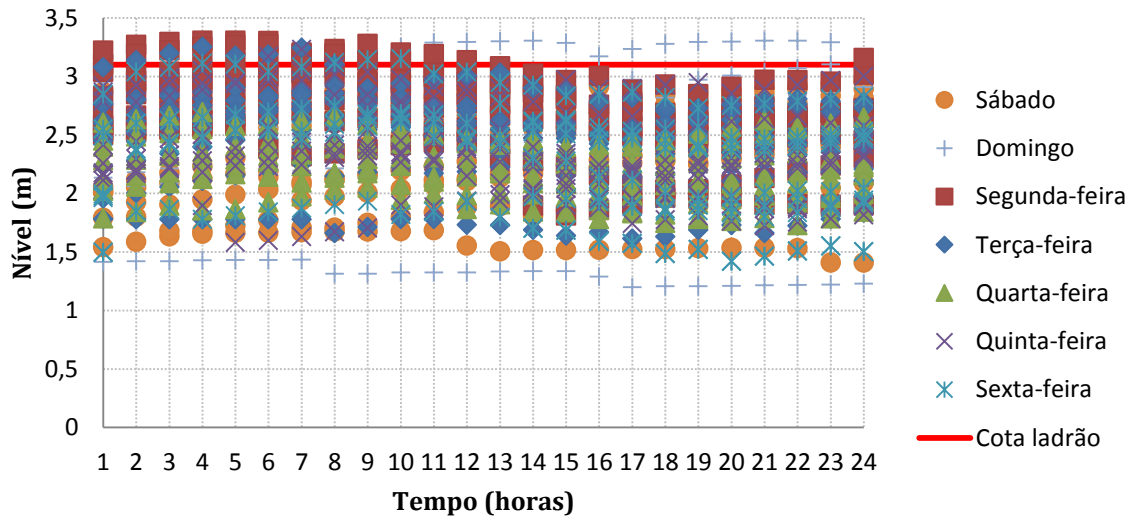


Figura 5.4 - Variação horária do nível do reservatório RI para dias sem feriados.

O maior volume de água consumido durante os registro dos dados ocorreu no dia três de janeiro de 2011 (segunda-feira) totalizando 320m³ consumidos. Como esse dia sucedeu o dia de menor consumo, o alto valor registrado de consumo justifica-se pelo fato do reservatório RI encontrar-se em um nível baixo, menor que 1,5 m (Figura 5.5) quando, normalmente, o nível que a operação o mantém é acima de 2,5 m, ou seja, para o RI atingir o nível normal de operação o volume de entrada foi acima do volume médio de consumo.

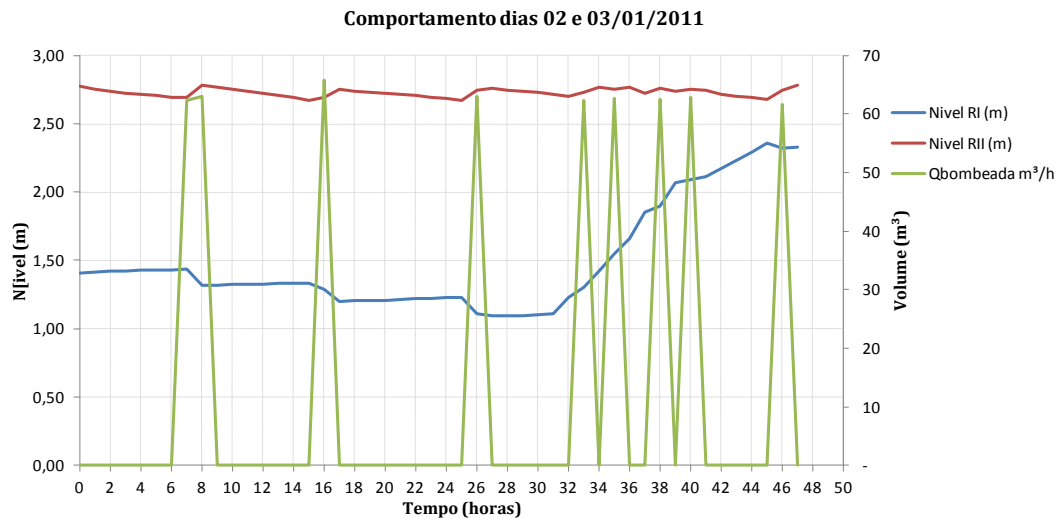


Figura 5.5 - Comportamento do nível dos reservatórios RI e RII, para o dia de menor consumo e de maior consumo.

Os consumos médios, máximos e mínimos para o RI estão representados no gráfico da Figura 5.6.

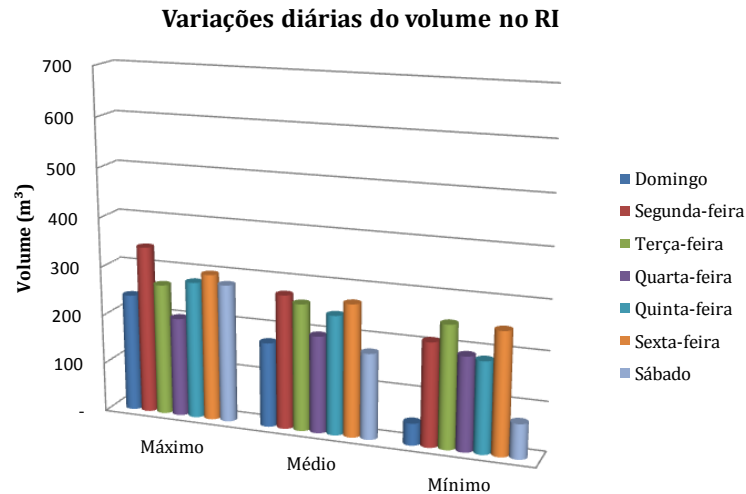


Figura 5.6 - Volume do reservatório RI máximos, médios e mínimos para cada dia da semana, exceto os feriados.

O consumo médio nos três reservatórios e do setor 4, para os dias considerados feriados podem ser visto na Figura 5.7.

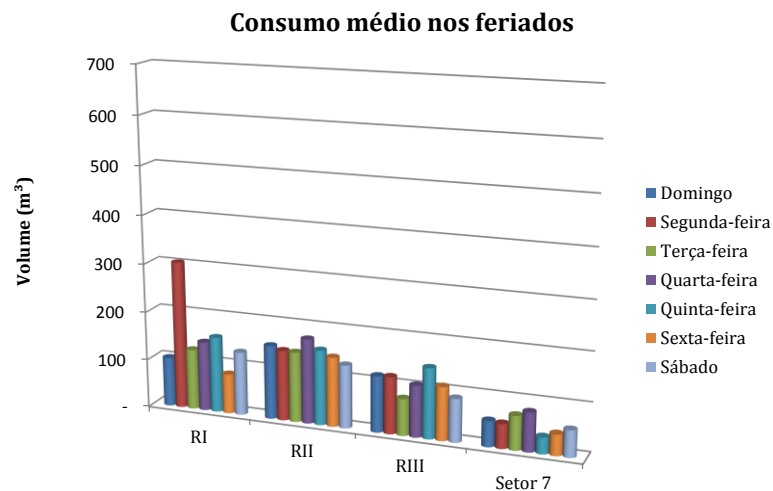


Figura 5.7 - Consumo para os três reservatório e o setor 4 durante os feriados.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO RESERVATÓRIO RII

Assim como no RI, o segundo reservatório analisado possuía em seu interior um medidor de nível hidrostático que permite afirmar, através da análise dos dados, que neste reservatório também não se obteve uma curva de demanda definida seja nos feriados ou nos dias sem a presença de feriado conforme demonstram as Figura 5.8 e Figura 5.9.

Nível RII - Dias ordinários

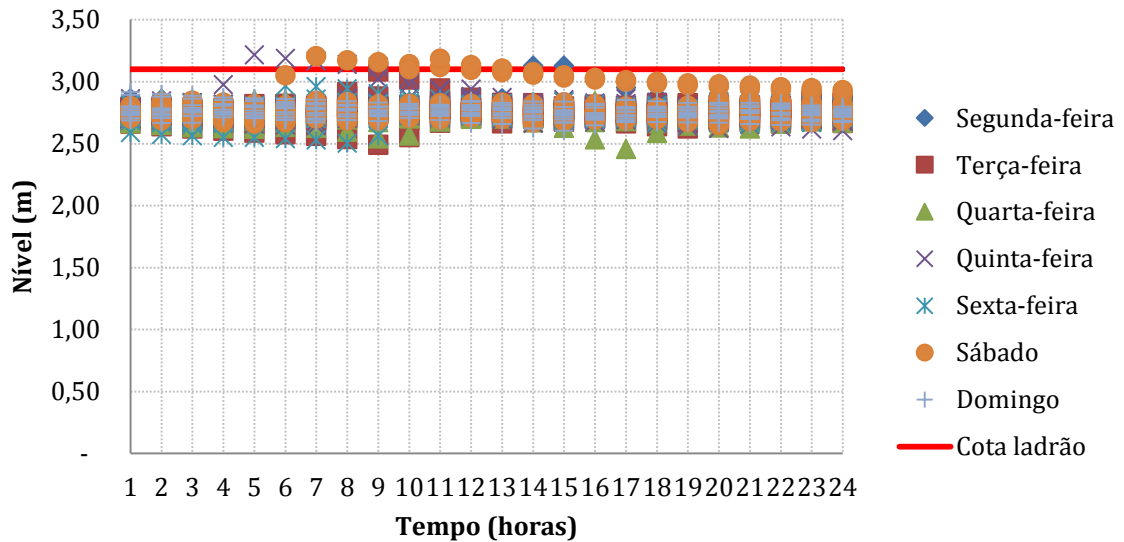


Figura 5.8 - Variação do nível do reservatório RII nos dias sem a presença de feriados.

O que chama a atenção nos gráficos é como é pequena a variação entre o nível máximo e mínimo que este reservatório se encontra operando, funcionando apenas como um reservatório de passagem. O maior nível registrado durante todo o período de amostra ficou registrado como 3,20 m, superando a cota do ladrão, e o nível mínimo registrado foi de 2,45 m o representaria uma variação de 0,75 m. Porém o real decréscimo encontrado no nível do RII é de apenas 0,12 m, para quando o acionamento da bomba é automático, ou seja, 12 cm é o quanto a chave boia permite que varie o nível do reservatório, o que representa um volume útil de 30 m³, 4% da capacidade total do reservatório.

Nível RII- Feriados

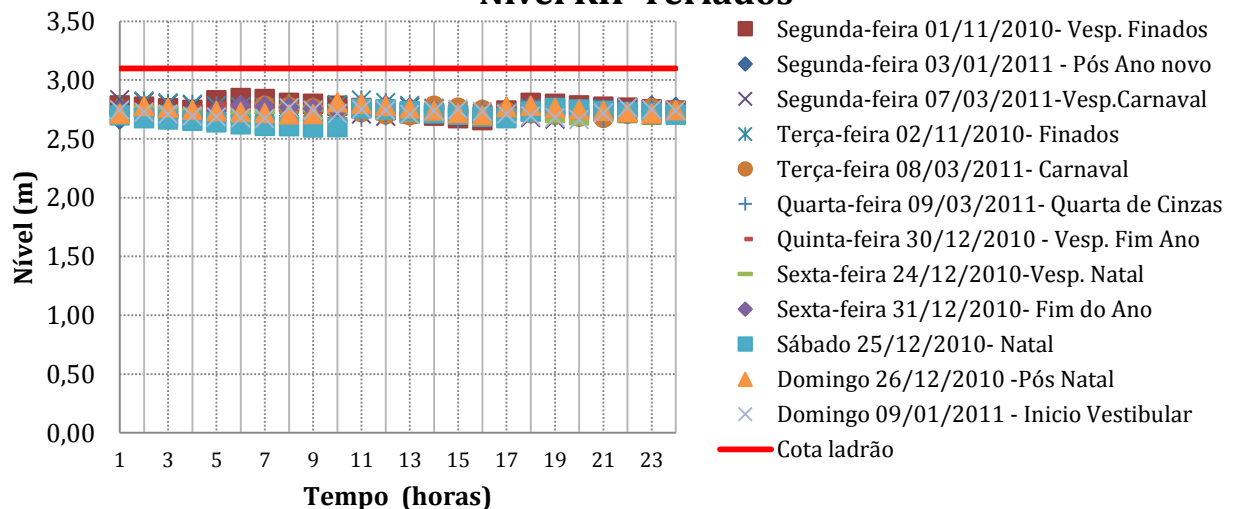


Figura 5.9 - Variação de nível do reservatório RII durante os feriados.

Com relação ao volume consumido no RII, verificou-se que a média geral da demanda, considerando todos os dias da semana que não apresentam feriados, foi de 203 m³. O máximo consumo registrado durante todo o período de análise foi de 302 m³ enquanto o menor volume ficou em torno de 81 m³, Figura 5.10.

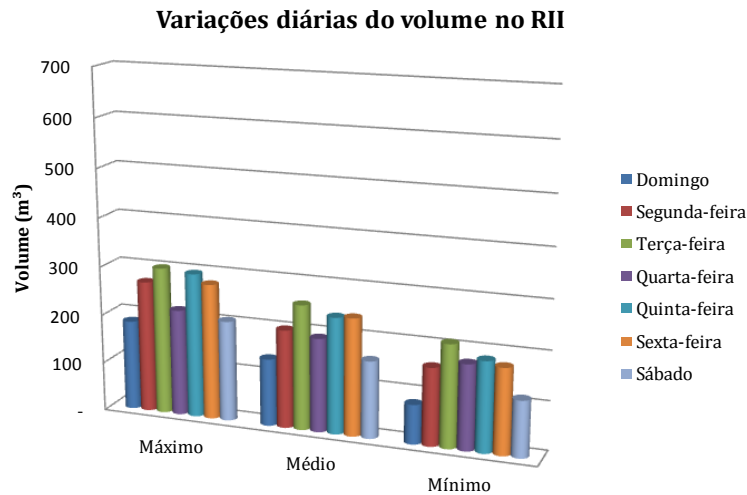


Figura 5.10 - Volume máximo, médio e mínimo demandado do reservatório RII exceto nos feriados.

5.4 ANÁLISE DOS DADOS DO RESERVATÓRIO RIII

O último reservatório que foi objeto deste estudo possuía além de um medidor de pressão hidrostática, para o monitoramento do seu nível, também um medidor de vazão ultrassônico que possibilitou registrar a vazão que o abastecia. A curva de demanda do reservatório RIII se diferenciou bastante quando comparada a curva dos demais reservatórios. Pela Figura 5.11 fica clara a declividade do nível de água, tendo um pequeno decaimento a partir das 7 horas, que fica bem mais acentuado das 12 às 16 horas quando volta a aumentar o nível estabilizando-se às 20 horas. Esta curva de demanda tão bem definida no seu formato pode ser explicada por este reservatório alimentar diretamente os consumidores finais, sem que haja um reservatório intermediário amortecendo o consumo.

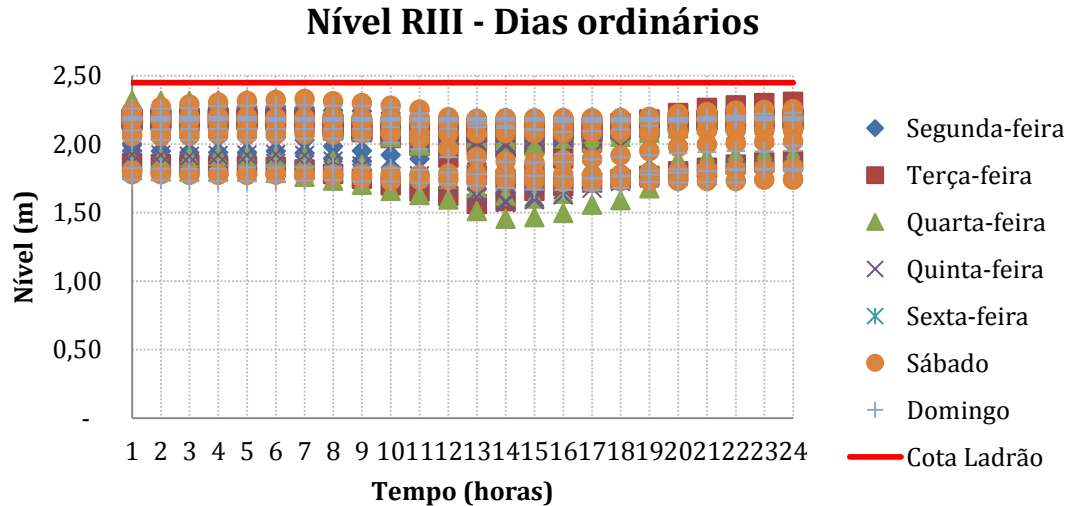


Figura 5.11 - Variação do nível de água do reservatório RIII nos dias normais da semana.

As leituras de nível da água do RIII tiradas durante os dias considerados feriados não possuíram o mesmo comportamento dos dias ordinários, Figura 5.12. Este comportamento linear quase invariável pode ser devido a ausência ou diminuição significativa de consumidor, neste caso dos alunos, professores e servidores, no centro do Campus do Vale.

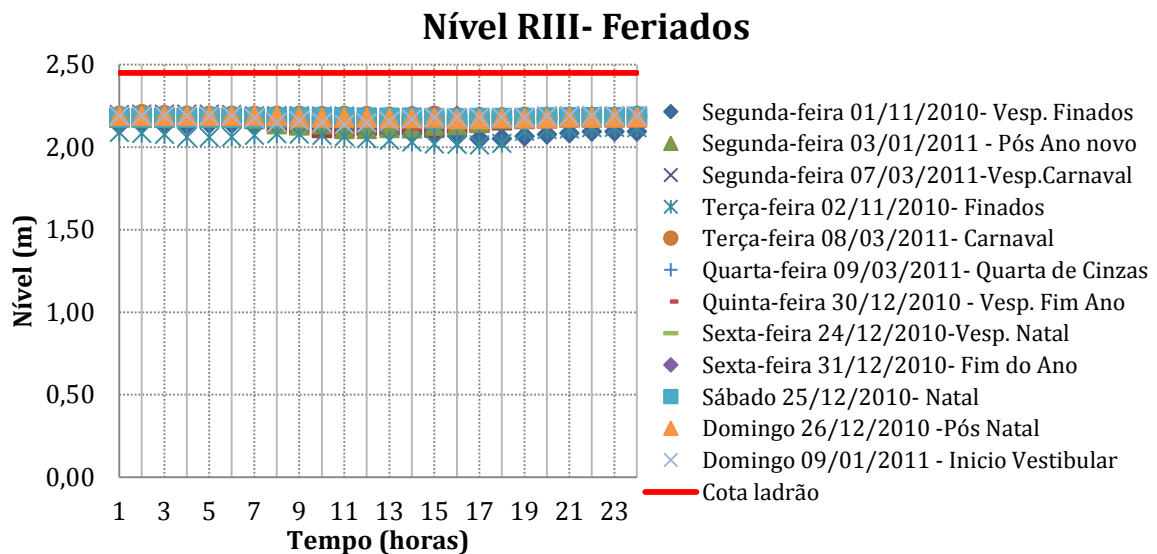


Figura 5.12 - Variação do nível de água durante os feriados no interior do reservatório RIII.

Da comparação dos volumes do RII e o RIII foram feitas as considerações que seguem:

- A multiplicação da vazão de entrada no RIII (registrado através do medidor de vazão ultrassônico) pelo tempo resultou no volume consumido pelo RIII;
- A diferença entre o volume que saiu do RII (verificado pela variação do nível do RII através do medidor hidrostático) e o volume que entrou no RIII (registrado pelo medidor de vazão ultrassônico) resultou no consumo do

Setor 4. Entenda-se aqui volume consumido, como sendo o consumo somada as perdas;

- A diferença entre a vazão que entra no RIII e a variação de nível do RIII resultou no volume consumido pelo Campus. Para a conversão da variação de nível em volume foi feita a multiplicação da variação do nível pela área do reservatório, e para transformar a vazão de entrada (registrada pelo medidor ultrassônico) em volume, foi multiplicada pelo tempo.

Com relação ao volume denominado de consumo do RIII, é possível afirmar que a média geral da demanda considerando todos os dias da semana que não apresentam feriados foi de 166 m³. O máximo consumo registrado durante todo o período de análise foi de 263 m³ enquanto o menor volume ficou em torno de 61 m³, Figura 5.13.

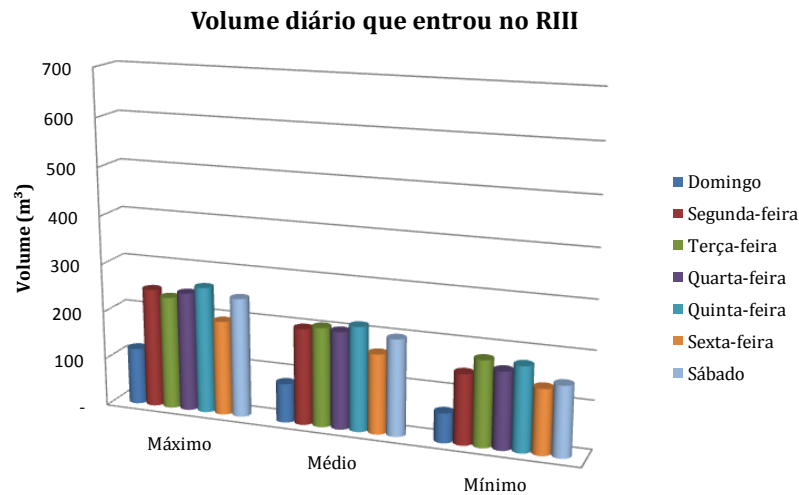


Figura 5.13 - Volume máximo, médio e mínimo que entrou no reservatório RIII, exceto nos feriados.

Os resultados para o consumo referente ao Setor 4 e ao centro do Campus do Vale são descritos a seguir.

5.4.1 Consumo do Setor 4

O setor 4, local onde estão instalados os cursos de Biologia, Informática e Engenharia de Minas, corresponde pelo consumo de 33% do volume consumido pelo RII. Pela análise da Figura 5.15, é possível verificar que o consumo médio desse setor é de aproximadamente 75 m³. Para o período total de amostras o maior volume consumido foi de 155 m³ e o menor volume, 23 m³, foi registrado em um domingo.

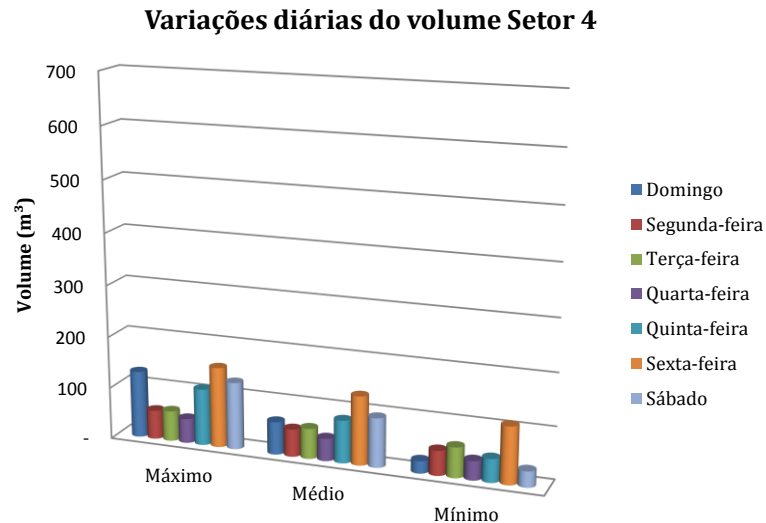


Figura 5.14 - Volume máximo, médio e mínimo demandado pelo Setor 4, exceto nos feriados.

5.4.2 Consumo do Centro do Campus do Vale

Na Figura 5.15 fica evidente que o consumo médio do centro do Campus é de aproximadamente 165 m³, com pequena diferença entre os dias da semana. Para o período total de amostras, o maior volume consumido foi de 240 m³ e o menor volume, 62 m³, foi registrado em um domingo.

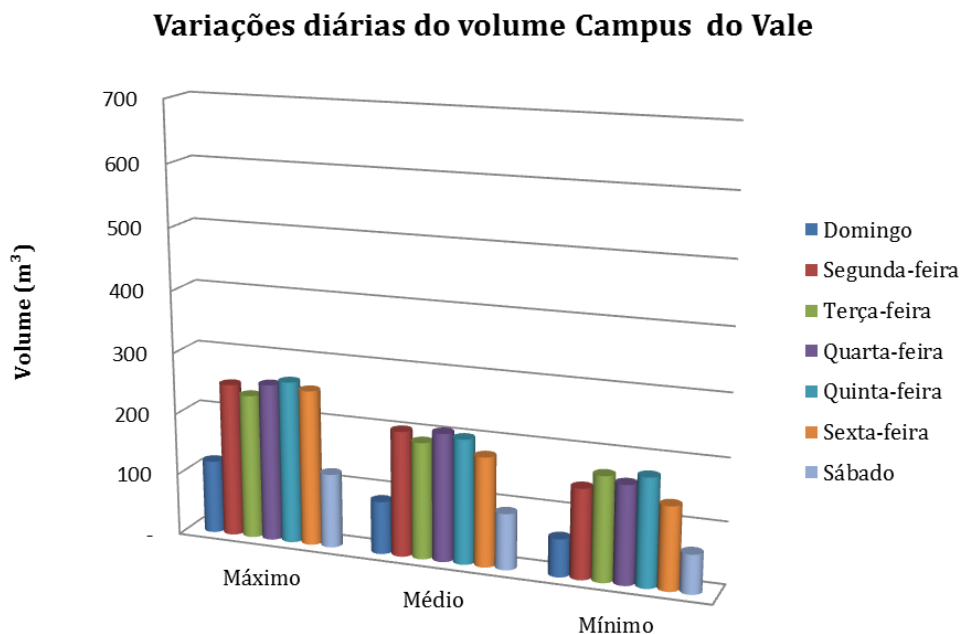


Figura 5.15 - Volume máximo, médio e mínimo demandado pelo centro do Campus, exceto nos feriados.

Com a variação da vazão de entrada e a de nível no RIII foi possível gerar as curvas de demandas para cada dia da semana, Figura 5.16 a Figura 5.23.

Consumo Campus - Segunda feira

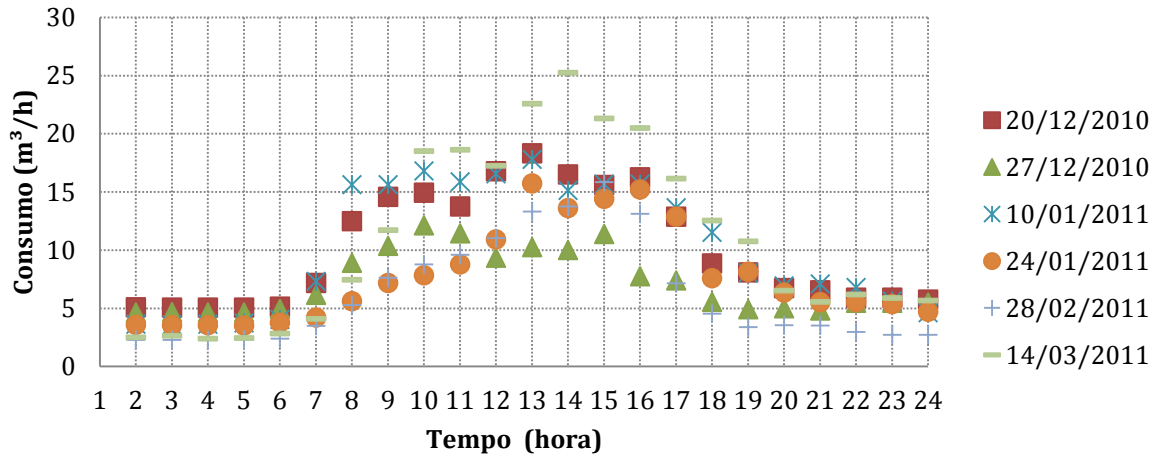


Figura 5.16 - Curva de consumo de água no Campus nas segundas-feiras.

Consumo Campus - Terça feira

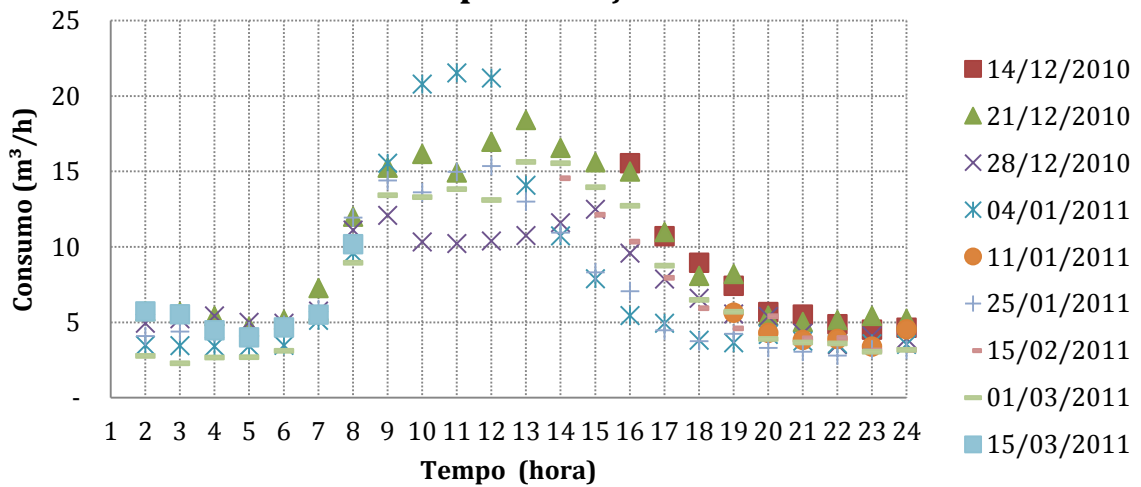


Figura 5.17 - Curva de consumo de água no Campus nas terças-feiras.

Consumo Campus - Quarta- feira

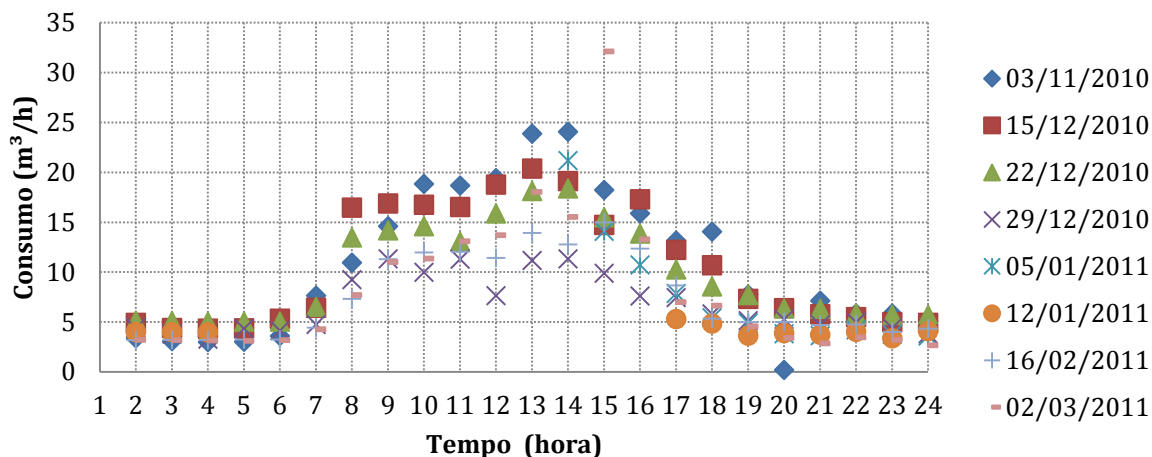


Figura 5.18 - Curva de consumo de água no Campus nas quartas-feiras.

Consumo Campus - Quinta- feira

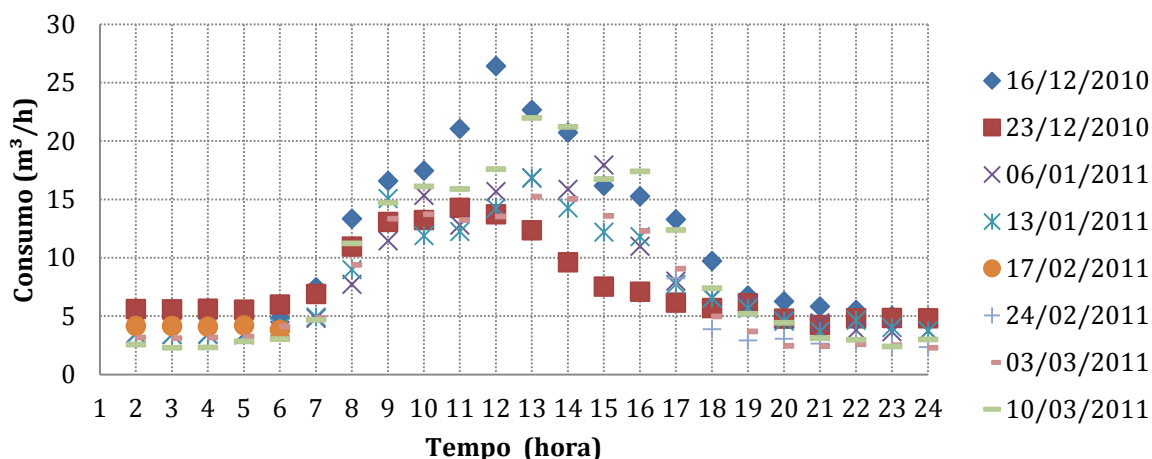


Figura 5.19 - Curva de consumo de água no Campus nas quintas-feiras.

Consumo Campus - Sexta- feira

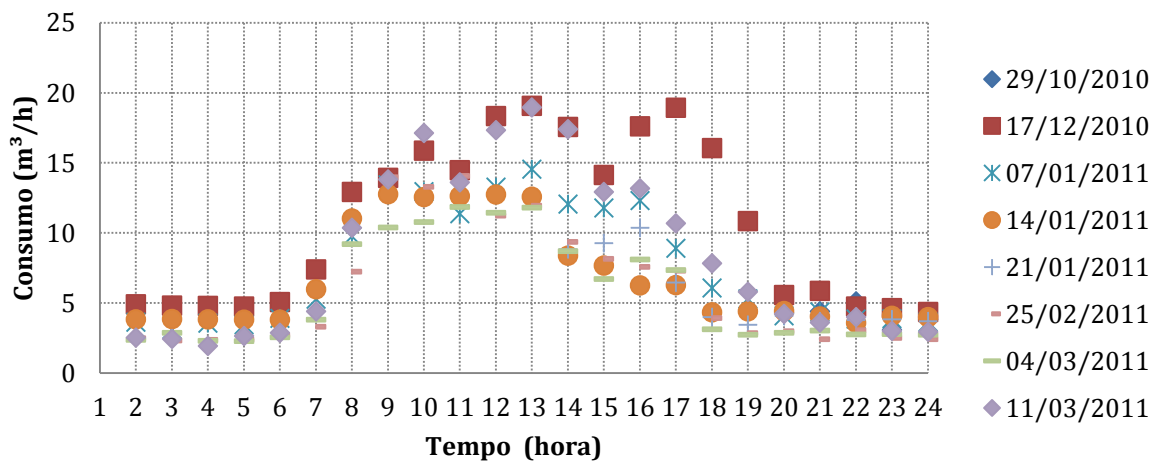


Figura 5.20 - Curva de consumo de água no Campus nas sextas-feiras.

Consumo Campus - Sábado

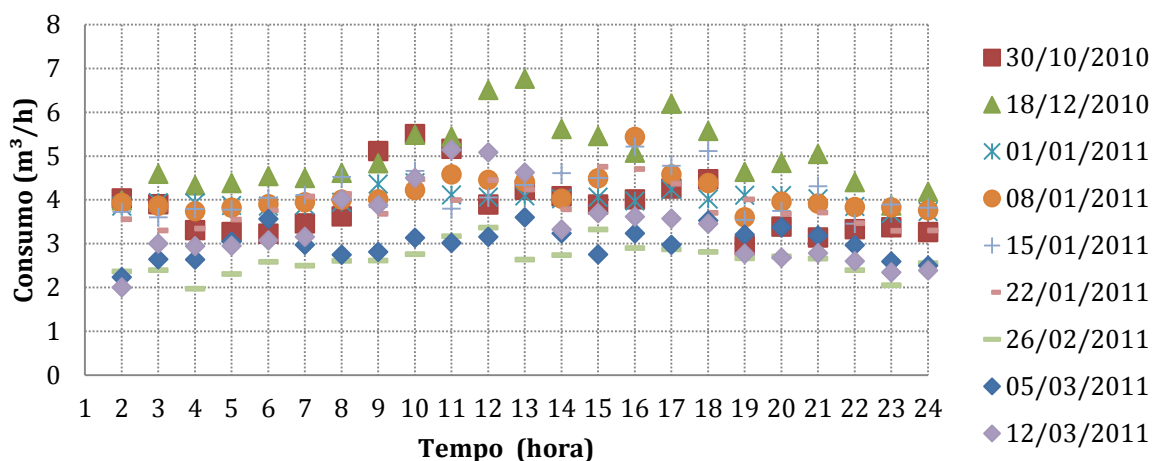


Figura 5.21 - Volume consumido por hora no Campus aos sábados.

Consumo Campus - Domingo

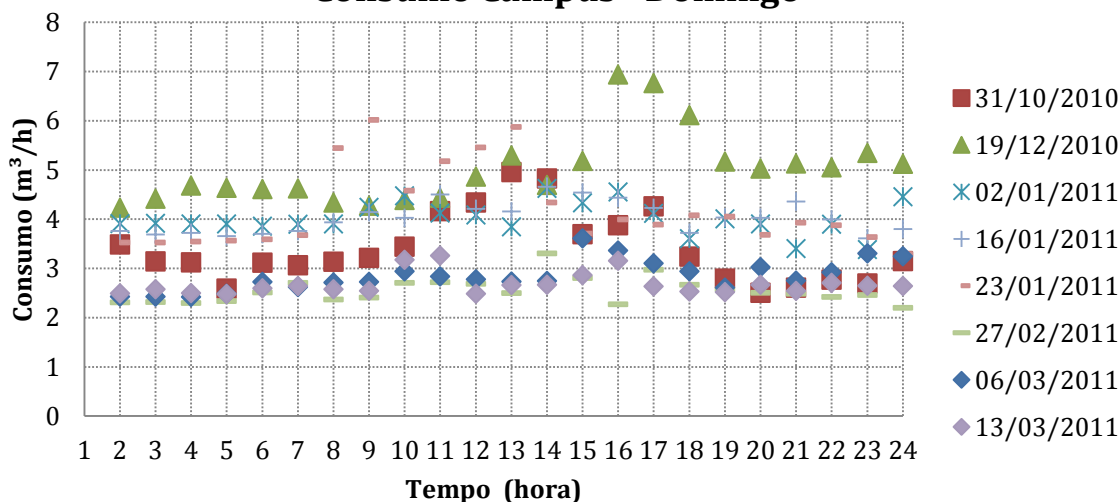


Figura 5.22 - Consumo de água no domingo pelo Campus.

Consumo Campus - Feriados

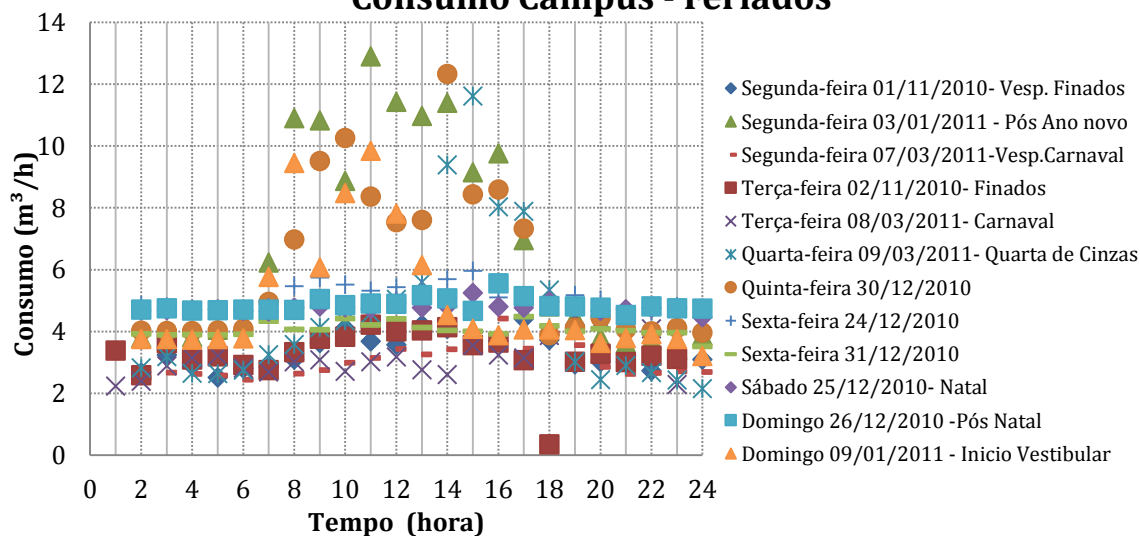


Figura 5.23 - Consumo horário do Campus durante os feriados.

5.5 CONJUNTO MOTOBOMBA

Como já mencionado, os conjuntos motobombas podem ser acionados ou de forma manual, pelo acionamento direto, ou de forma automática através do comando de uma chave boia instalada no reservatório RII. O que foi verificado ao longo deste estudo é que em média, quando as bombas estão sendo comandadas de forma automática, ocorrem para os dias normais 7 acionamentos diários representando um tempo médio ligada de 100 minutos por dia, na grande maioria das vezes, a bomba permanece ligada por apenas 15 minutos durante cada acionamento. Para os finais de semana e feriados são realizados em média 4 acionamentos diários, que correspondem a 79 minutos diários da motobomba ligada.

As bombas estão acopladas a motores elétricos de indução tipo gaiola, conforme especificações apresentadas na Tabela 4.1. O próximo item mostra o comportamento dos dois conjuntos motobombas analisados frente às grandezas elétricas.

5.5.1 Diagnóstico energético dos conjuntos motobomba

O diagnóstico hidroenergético revelou que o conjunto motobomba que estiver operando permanece acionado poucos minutos por dia, mesmo se somado todos os acionamentos diários. Com o objetivo de monitorar o comportamento das MB1 e MB2 foi instalado o analisador de energia, Figura 4.10, que coletou dados com intervalo de 15 minutos.

Como existe um padrão bem definido com relação às grandezas elétricas, a seguir serão mostrados os valores de forma gráfica dos dados coletados entre os dias 23 a 25 de dezembro de 2010, pois durante este intervalo de dados o tempo de amostragem foi menor, com uma taxa de aquisição com variação de 1 minuto. Esta taxa de aquisição menor permite uma melhor visualização de pontos críticos dos dados elétricos, como a corrente na partida.

A princípio, para a realização de um diagnóstico hidroenergético em um sistema de bombeamento é primordial se conhecer o diagrama unifilar elétrico da estação elevatória em estudo. Infelizmente não se teve acesso ao diagrama da estação do Campus do Vale. Porém mesmo sem o projeto elétrico é possível afirmar que a partida ocorre por um autotransformador compensador, que regula o pico de corrente em até 60%. Ao ser acionado, o motor demanda da rede uma corrente muito maior que a nominal, no caso do motor em estudo a corrente de partida pode ser 7,8 vezes maior que a corrente nominal, Tabela 4.1. Se a

partida dos motores ocorresse de forma direta a corrente durante a partida poderia atingir 780 A ($7,8 I_{nominal}$). Como o acionamento dos motores é realizado por uma chave compensadora a corrente na partida é reduzida em 60%, atingindo um máximo de 468 A nos instantes iniciais do acionamento, e depois se mantendo em 100 A que é valor nominal da corrente do motor, Figura 5.24.

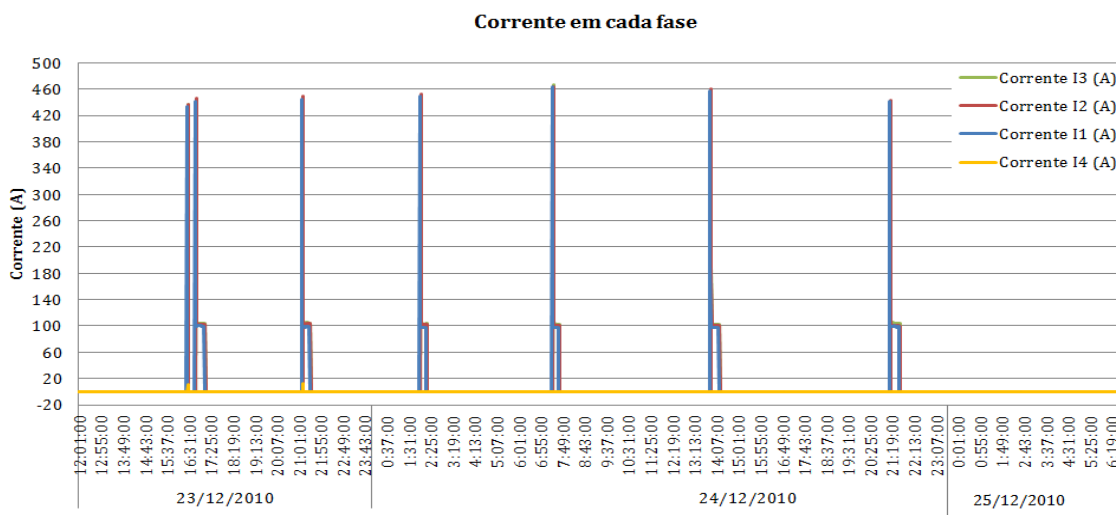


Figura 5.24 - Variação de corrente no motor elétrico.

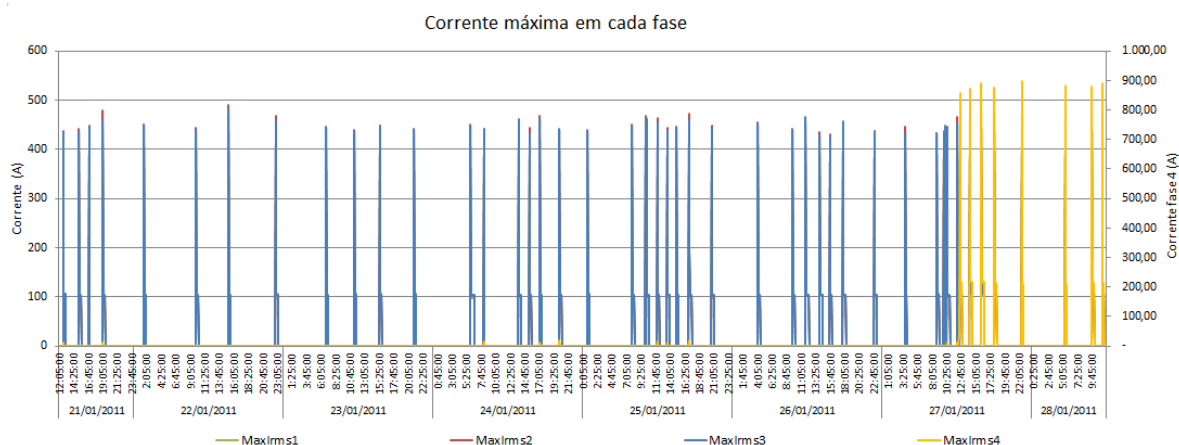
Ao serem acionados os motores provocam interferências, as principais são mudança no valor do fator de potência (FP), a geração de harmônica e o desequilíbrio entre fases. Por norma, Resolução n° 456 da ANEEL, o valor do FP não pode ser inferior a 0,92, caso isso ocorra o usuário deverá pagar multa para a concessionária de energia. Na Tabela 5.2 são apresentados os valores registrados pelo analisador de energia para o fator de potência e para a potência ativa integralizada.

Tabela 5.2 - Resumo dos dados aquisitados referentes ao FP e a potência ativa integralizada.

Intervalo das aquisições	Fator de Potência			Potência Ativa Integralizada (kW)			Bomba em operação
	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Moda	
29/10/2010 a 04/11/2010	1,00	0,99	0,86	79,00	48,33	59,33	Motor-Bomba-1
04/11/2010 a 12/11/2010	1,00	0,99	0,86	80,67	50,02	58,00	
12/11/2010 a 26/11/2010	1,00	0,99	0,86	78,00	45,91	19,33	
26/11/2010 a 08/12/2010	1,00	0,99	0,86	78,33	46,41	19,33	
10/11/2010 a 17/11/2010	1,00	0,99	0,86	78,67	49,71	58,00	
17/12/2010 a 23/12/2010	1,00	0,99	0,86	79,33	49,00	58,00	
23/12/2010 a 01/01/2011	1,00	0,99	0,86	156,56	55,66	58,00	
05/01/2011 a 10/01/2011	1,00	0,99	0,86	79,33	50,46	58,00	Motor-bomba-2
11/01/2011 a 21/01/2011	1,00	0,97	0,86	79,67	51,03	59,00	
21/01/2011 a 28/01/2011	1,00	0,98	0,28	80,33	43,33	38,67	
02/02/2011 a 15/02/2011	1,00	0,95	0,29	26,67	15,75	12,33	
15/02/2011 a 23/02/2011	1,00	0,95	0,28	27,67	16,78	20,00	
23/02/2011 a 01/03/2011	1,00	0,95	0,28	27,67	16,78	20,00	
02/03/2011 a 15/03/2011	1,00	0,95	0,29	26,67	15,75	12,33	
18/03/2011 a 23/03/2011	1,00	0,93	0,29	26,67	17,24	21,00	

Ao observar os valores constantes nesta tabela, verifica-se que o fator de potência mínimo sempre ficou abaixo do menor valor aceito pela concessionária isento de multas (0,92) tendo sido igual a 0,86 quando era acionado o grupo Motor-bomba -1 e Motor-bomba -2 (os primeiros valores registrados para o MB-2 eram iguais a 0,86 depois ocorreu a diminuição para 0,27 conforme explicação a seguir).

Seguindo a análise dos dados constantes da Tabela 5.2 observa-se que o primeiro período que passou a ser utilizado o GMB-2 para o recalque da água (dia 21 até 28 de janeiro) se difere, dos demais períodos que também tinha o GMB-2 em operação. Na coluna de potência ativa integralizada o máximo valor de potência foi de aproximada 80 kW, valor compatível com o dados do GMB-1, porém depois esse valor diminui para entorno de 27 kW, o mesmo ocorreu com o fator de potência. Essa diminuição pode ser explicada pelo equívoco cometido durante uma manutenção no sistema elétrico do Campus do Vale, onde, segundo relato dos funcionários da prefeitura do Campus, ao ser religada a alimentação do Campus uma das fases foi ligada invertida. Essa informação é confirmada pela Figura 5.25, que mostra o registro do momento em que a 4ª fase estava sem energia e após passou a registrar corrente (ver linha amarela da figura na hora 12:45 do dia 27 de janeiro de 2011). Os reflexos dessa inversão de fases são também mostrados nas figuras seguintes na qual o fator de potência que até então apresentava um valor de 0,86 passou a ser registrado como 0,27. Da mesma forma para a potência ativa que diminuiu os picos máximos de 80 kW para nem 40 kW. Devido à inversão das fases o analisador de energia parou de medir corretamente os dados elétricos. Para que os dados adquiridos pelo analisador voltassem a ser confiáveis deveria ter sido retirado o aparelho do painel elétrico e reprogramados os parâmetros internos. Como esse problema não foi identificado na época em que estavam ocorrendo as medições os dados elétricos que foram adquiridos após o dia 27 de janeiro de 2011 foram desconsiderados nesta pesquisa, visto que não são dados condizentes com a realidade.



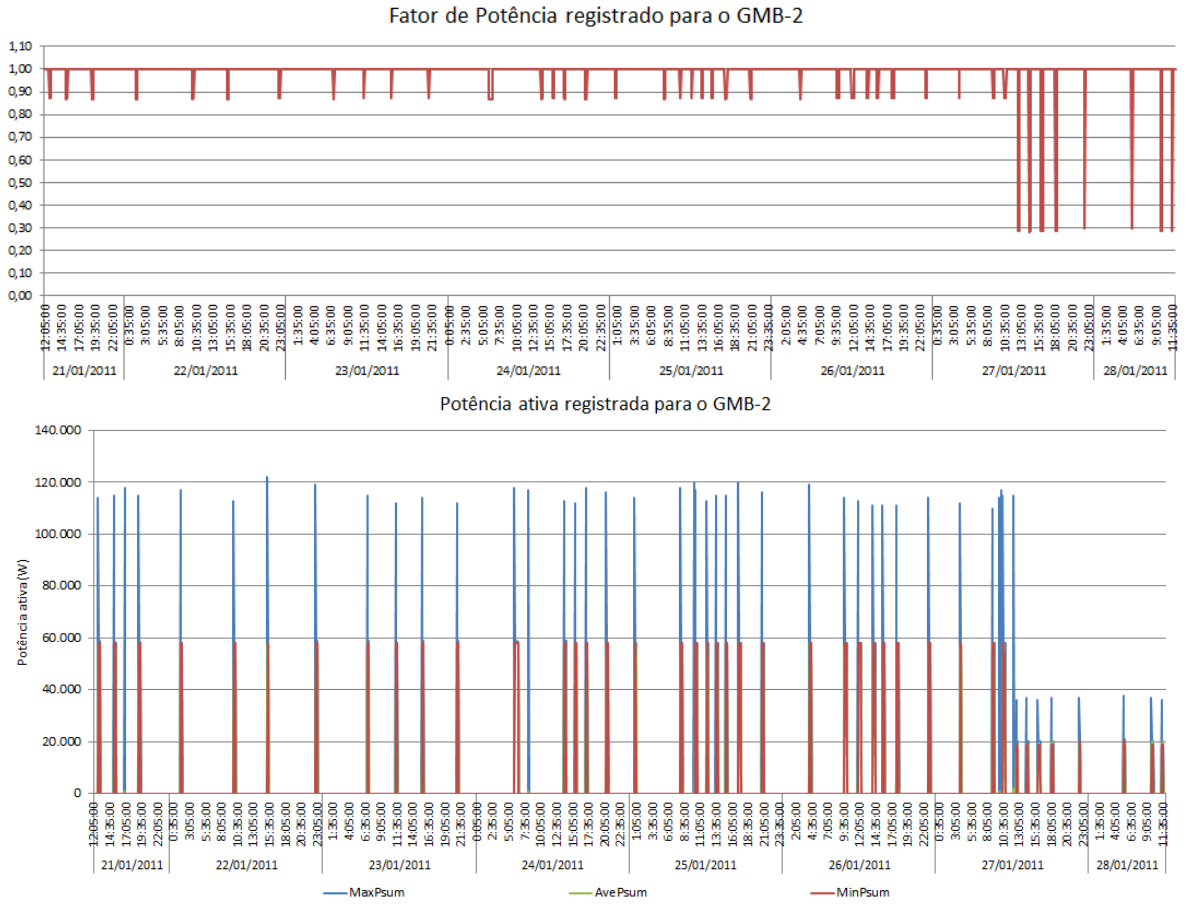


Figura 5.25: Efeitos da inversão das fases sobre o GMB-2.

6. MODELAGEM DO SISTEMA NO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Após a coleta e análise dos dados, utilizou-se o software de simulação hidráulica WaterGems V8 XM Edition para o desenvolvimento de diversos cenários que procuram reproduzir os dados obtidos em campo para calibração inicial do modelo, também permitem avaliar os efeitos econômicos e hidráulicos ao se operar o atual sistema de uma forma diferente, além de possibilitar o desenvolvimento de novos cenários que demonstram os ganhos que podem ser alcançados através de uma maior automatização deste sistema considerando sempre os efeitos do aumento da população do Campus do Vale.

6.1 O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

O WaterGems é um modelo hidráulico de sistemas pressurizados de redes de distribuição de água, concebido com o objetivo de simular, durante um determinado período de tempo, os valores de vazão nos dutos, pressão nos nós, níveis de água nos reservatórios, custo de energia do bombeamento, e os parâmetros de qualidade da água em toda a rede de distribuição. Permite a representação de sistemas compostos por redes de tubulações (malhadas ou ramificadas), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e/ou variável.

O WaterGems contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, onde se destacam como principais características: cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning; consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.; modelagem de bombas de velocidade constante ou variável; cálculo do custo do consumo energético relativo ao bombeamento; modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de retenção, reguladoras de pressão e de vazão; modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura do nível de água; múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo.

A possibilidade da criação de diferentes cenários dentro do mesmo arquivo do WaterGems mostrou-se uma ferramenta bastante útil no desenvolvimento deste trabalho. Diversos cenários de operação com variadas possibilidades de combinação entre os elementos componentes do sistema, as diversas variáveis e incertezas que são constituintes da sua complexa estrutura foram simulados, analisados e ajustados, necessitando-se repetir muitas

vezes essa rotina para se obter as condições de otimização pretendidas para a operação do sistema.

6.2 DADOS DE ENTRADA NO MODELO

Para a correta representação do sistema de abastecimento do Campus através do software de simulação hidráulica foram inseridas no modelo as seguintes informações:

- *Informações físicas do sistema:* Dados altimétricos do sistema, geométrico dos reservatórios e curva das bombas existentes;
- *Curvas de consumo:* Através dos dados obtidos em campo foram geradas curvas de consumo semanais que permitiram reproduzir as sazonalidades do sistema em questão;
- *Custos energéticos:* Foram verificados em cada cenário criado os prováveis custos com a conta de energia elétrica que seriam obtidos utilizando-se os valores pagos no atual padrão da tarifa de energia na qual o Campus do Vale da UFRGS está enquadrado;
- *Controles do sistema:* Controle para o acionamento das bombas e controle de nível dos reservatórios. Os grupos de controles inseridos variam entre os diferentes cenários.

A seguir serão detalhados os dados de entradas do modelo.

6.2.1 Informações físicas do sistema

Os dados altimétricos utilizados para a modelagem do sistema foram retirados das informações de satélite através do software livre Google Earth que utiliza projeção cilíndrica simples (*datum WGS84*) como banco de imagens, recolhidos pela missão SRTM¹. Neste trabalho foram utilizadas as imagens registradas em 24 de fevereiro de 2010.

O primeiro reservatório inserido no software de simulação hidráulica foi o chamado entrada DMAE. Este reservatório simula o abastecimento do Campus do Vale pela rede do DMAE, e por tanto consiste em um reservatório de nível infinito que sempre terá água para o

¹ A Missão Topográfica Radar Shuttle (sigla em inglês SRTM) é uma missão espacial para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução.

abastecimento do RI. Por ser um reservatório de nível infinito a única informação necessária é a cota do nível da água que foi atribuída igual a 100m. O valor da cota que foi colocada neste reservatório procura representar o atual problema enfrentado pela operação do Campus que é a elevada pressão no registro de entrada (em torno de 50 mca), não permitindo, segundo relato dos operadores, que sejam instalados registro-boias para o controle da entrada de água no RI.

Na Tabela 6.1 seguem as informações referentes ao reservatório RI e RII que foram inseridas no modelo. A cota, como mencionada, foi obtida pela imagem de satélite, já as informações do formato do reservatório foram extraídas das plantas do projeto original fornecida pela administração do Campus, tendo sido confirmadas as informações com medição no local.

Tabela 6.1 -Dados físicos de entrada do reservatório RI e RII.

	Reservatório RI	Reservatório RII
Cota do terreno	48 m	114 m
Formato do reservatório	Cilindrico	Cilindrico
Diâmetro do reservatório	18 m	18 m
Nível operacional mínimo do reservatório	0,75 m	0,75 m
Nível inicial do reservatório	1,15 m	1,15 m
Nível máximo do reservatório (cota antes do extravasor)	2,90 m	2,90 m

Já com relação ao reservatório RIII não foram encontradas plantas que pudessem subsidiar as informações sobre este reservatório, portanto foram utilizadas as informações obtidas através de medição do próprio reservatório, conforme apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Dados físicos de entrada do reservatório RIII.

Cota do terreno	84 m
Formato do reservatório	Retangular
Área do reservatório	50 m ²
Nível operacional mínimo do reservatório	0,30 m
Nível inicial do reservatório	1,30 m
Nível máximo do reservatório (cota antes do extravasor)	2,80 m

As bombas inseridas no modelo foram as existentes e instaladas no local que são três novos conjuntos tipo centrífugas mono estágio monobloco série DN 65-25 fabricadas pela Mark Grundfos, com rotação específica de 3500 rpm, a curva característica encontra-se no APÊNDICE A. A estas bombas estão acoplados os motores da Weg modelo JP-Plus de 75HP de potência, cujas características são apresentadas na Tabela 4.1. Apesar de estarem instalados três conjuntos junto apenas um grupo operativo é o suficiente para atender a demanda, ficando os demais como reserva. No modelo assim foram inserido, um operativo e os demais desligados.

Com relação às adutoras que foram inseridas no modelo as informações relativas a cada uma constam na Tabela 6.3. Como já mencionado não existem registros das adutoras, por tanto para definir o comprimento de cada uma foram utilizados os relatos que os operadores e técnicos de hidráulica da UFRGS forneceram. Com a informação do possível caminhamento das adutoras, utilizou-se a imagem de satélite para definir o comprimento aproximado de cada uma. Da mesma forma, para definir o diâmetro e material da tubulação, obteve-se informações com os técnicos da manutenção. Já o diâmetro externo e a espessura da parede da tubulação foram os mesmos utilizados para a parametrização do medidor de vazão ultrassônico cujos valores foram apresentados nas Tabela 4.5 e Tabela 4.2.

Tabela 6.3 - Dados de entrada para as adutoras do sistema estudado.

	Adutora-0	Adutora-1	Adutora-2
Comprimento total (L)	427 m	1062m	245 / 422 m
*Diâmetro externo (DE)	163mm	163mm	274 / 163
*Espessura das paredes (e)	8,6mm	8,6mm	11 / 5mm
*Diâmetro interno ($Di = DE - 2e$)	145,8 mm	145,8 mm	252 / 150 mm
*Material	Ferro fundido	Ferro fundido	PVC Vinilfer/ PVC
*Coeficiente de rugosidade Hazen W (C)	100	100	135 / 135
*Somatório da perda de carga singular ($\sum k$)	-	598	-

*Podem ter variações nos valores conforme o cenário simulado.

Conforme ressalva Tsutiya (2006b) tubulações com um elevado tempo de uso sofrem alterações no valor do coeficiente de rugosidade. Nesta pesquisa, foi considerado que as tubulações existentes tem mais de 15 anos de implantação. Os valores do coeficiente de rugosidade foram extraídos da Tabela 3.4 para a adutora em PVC e da Tabela 3.5 para a tubulação de ferro fundido.

A perda de carga singular para a Adutora-0 não foi inserida no modelo uma vez que esta adutora não era objeto deste estudo. Para encontrar a perda de carga singular da Adutora-1 foi aplicada a equação de Bernoulli (Equação 3.20) nos pontos iniciais e finais desta adutora onde se tinham medições de pressão. Os pontos considerados para a aplicação da equação de Bernoulli podem ser melhor visualizados no desenho esquemático da Figura 4.14 onde o ponto 1 é representado pelo PR (transdutor de pressão instalado no diâmetro de recalque do conjunto motobomba, ver Figura 4.7) e o ponto 2 está representado pelo PC (transdutor para a medição da carga na tubulação de entrada no RII, ver Figura 4.11).

Os valores utilizados na Equação 3.20 para os termos de pressão e velocidade foram os valores médios registrados no intervalo das 18 horas e 50 minutos até as 19 horas e 45 minutos do dia 12 de novembro de 2010. Optou-se por trabalhar com os dados deste intervalo

por corresponder um intervalo de tempo grande no qual a bomba ficou ligada, quase uma hora seguida de bombeamento, quando o normal era a bomba permanecer ligada por aproximadamente vinte minutos. Os dados de entrada da equação são:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_m = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

- Z_1 igual a cota do PR, 47 m;
- P_1 valor médio de pressão lida no PR, 115,50 mca;
- V_1 função do diâmetro do recalque da bomba igual a 65 mm (conforme informações catálogo fabricante, Anexo A) e da vazão bombeada no intervalo considerado cujo valor lido na curva teórica resulta na vazão média de 0,017 m³/s. Então V_1 igual a 5,19 m/s;
- H_m igual a zero, pois o pontos que foram aplicados a equação são a jusante da bomba;
- Z_2 igual a cota do PC, 111 m;
- P_2 valor médio de pressão lida no PC, 5,94 mca;
- V_2 função do diâmetro da tubulação de entrada do RII bomba igual a 145,8 mm e da vazão bombeada, 0,017 m³/s. Então V_2 igual a 1,03 m/s;
- γ igual a 9.792,34 N/m³;
- g igual a 9,81 m/s².

Isolando o h_f a equação resulta no valor para a perda de carga total no trecho em análise igual a 46,95 m. Como o objetivo é encontrar apenas a parcela da perda de carga correspondente à perda singular é aplicada a fórmula empírica de Hazen-Williams (Equação 3.6)) para a identificação e dedução da perda de carga linear. Os valores utilizados são:

$$J = 10,65Q^{1,85}C^{-1,85}D^{-4,87}$$

- Q vazão média de 0,017 m³/s;
- C coeficiente para tubulações de ferro fundido com 15 anos de uso, 100;
- D diâmetro interno da Adutora-1, 0,1458 m.

A perda de carga unitária, J , resultou em 0,0137 m/m, o que ao longo dos 1.062 m da adutora representam 14,53 m de perda de carga linear. Então diminuindo esse valor encontrado do h_f calculado anteriormente o valor para h_p deve ser igual a 32,41 m.

Neste momento, alguns dados já chamam a atenção como a elevada perda de carga total apresentada neste sistema. Se o desnível geométrico encontrado entre os reservatório RI e RII é de 67,8 m e o valor da perda de carga total foi de aproximadamente 47 m isso significa que 58% da energia que a bomba fornece ao sistema é utilizada, para vencer o desnível geométrico e o restante é perdido ou devido às peças especiais ou devido à rugosidade da tubulação. Ao seguir o cálculo, verifica-se que, se confirmar o valor atribuído para o diâmetro interno da tubulação (158 mm) se o coeficiente de rugosidade C também estiver corretamente

enquadrado (100) apenas 14 m são perdidos devidos ao atrito do fluido com as paredes da tubulação ficando as peças singulares responsáveis pela perda de 32,41 m.

As perdas de carga contínuas costumam ter um valor maior que as perdas localizadas, por isso muitas vezes estas nem são consideradas pelos projetistas no dimensionamento de novas adutoras ou redes (TSUTIYA, 2006). Como para a verificação do consumo de energia atual do sistema do campus não faz diferença se essa perda é devida a singularidades ou a perda linear, optou-se por manter os demais dados da forma já apresentada e encontrar o valor do coeficiente k que represente neste sistema uma perda igual a 37,17 m, para tanto se utilizou a expressão geral da perda de carga Equação 3.1). Os valores utilizados no cálculo do somatório do coeficiente k são

$$h_p = \sum k \frac{V^2}{2g}$$

- h_p perda de carga localizada, 32,41 m;
- V função do diâmetro da tubulação igual a 145,8 mm e da vazão bombeada, 0,017 m³/s. Então V igual a 1,03 m/s;
- g igual a 9,81 m/s².

Isolando-se o termo $\sum k$ da equação, encontra-se o valor de 597,99, que é um valor bem elevado para o coeficiente das peças singulares, principalmente, para a adutora em estudo que tem uma extensão pequena.

Por fim com relação à Adutora-2, conforme as informações contidas nas plantas dos reservatórios, ela sai para a distribuição em DN 250 e material PVC, porém antes de abastecer o RIII há uma mudança no diâmetro da tubulação uma vez que na entrada do RIII já é feita por tubulação de PVC DN 100. Como não foi possível identificar o local que ocorre essa transição arbitrou-se que a adutora vem em DN 250 até o início do estacionamento do setor 4 e após a adutora tem seu diâmetro reduzido. Ainda com relação à Adutora-2, não foi atribuído um valor para o coeficiente de perda de carga uma vez que a velocidade nesta tubulação é muito baixa, na ordem de 0,44m/s, o representaria uma perda de carga singular insignificante.

O consumo do centro do Campus e do setor 4 foram inseridos no modelo por dois nós de consumo, assim denominados. O modelo simulado tendo a imagem de satélite de fundo é apresentado na Figura 6.1.

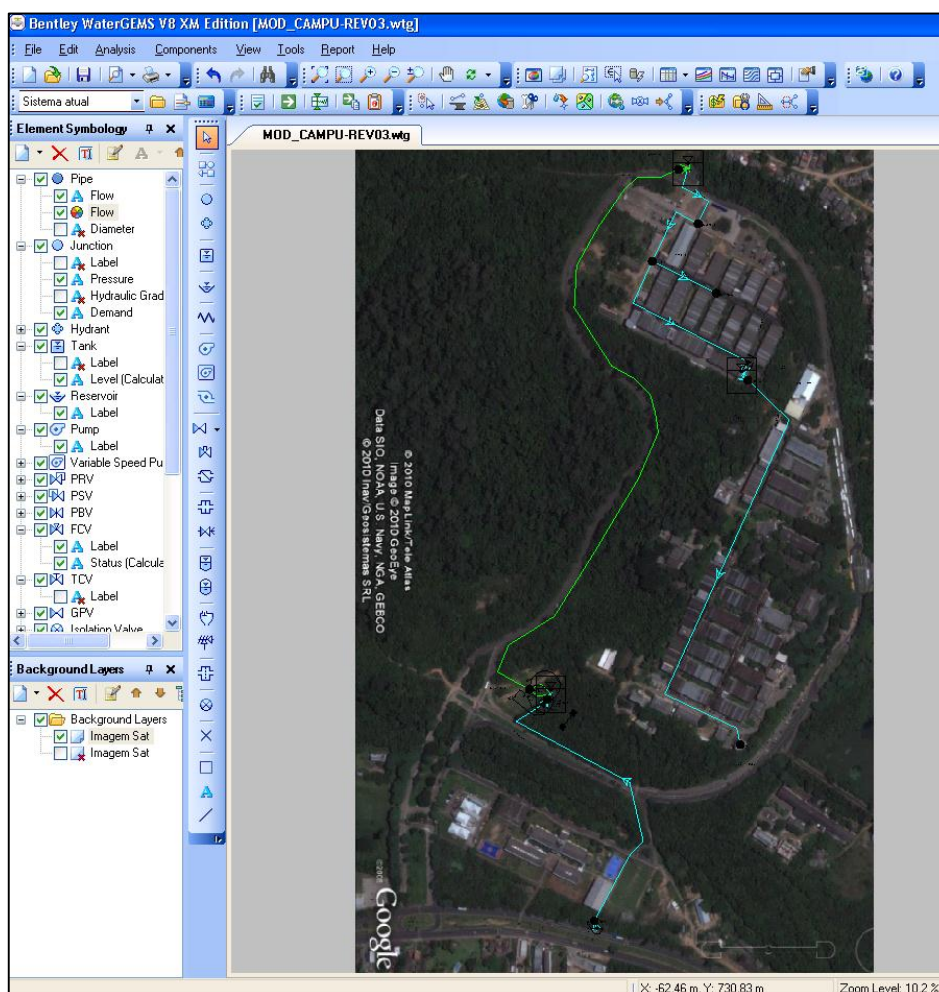


Figura 6.1 – Imagem do sistema de recalque do anel viário do Campus do Vale no WaterGems.

6.2.2 Curvas de consumo do sistema

6.2.2.1 Curvas de consumo atuais

Para a obtenção da curva de consumo típica do campus do Vale, os dados foram agrupados em dias normais e feriados. Para os dois grupos procederam-se da seguinte forma:

- I. Os dados foram separados pelo dia da semana que pertenciam (domingo, segunda-feira...);
- II. Com os dados separados por dia da semana foram feitas médias horárias;
- III. Então cada dia da semana passou a ter 24 valores médios horários;
- IV. Uniram-se novamente os valores médios de domingo até sábado e extraiu-se o máximo valor horário registrado;

- V. A partir da relação entre os valores horários médios (passo III) pelo máximo valor encontrado em todos os dias da semana (passo IV) foi obtida a curva de consumo semanal adimensionalizada, Figura 6.2.

Para o grupo de dados classificados como dias normais o máximo valor encontrado das médias horárias foi de $17,66 \text{ m}^3/\text{h}$, o total semanal de dias normais é de 1.158 m^3 , a média dos valores médios horários é de $6,90 \text{ m}^3/\text{h}$ e o desvio padrão é de 3,85. Já o grupo dos dias de feriado, o máximo valor consumido por hora é de $12,33 \text{ m}^3/\text{h}$, o total semanal de dias feriados é de 775 m^3 , a média dos valores médio horário é de $4,61 \text{ m}^3/\text{h}$ e o desvio padrão é de 1,09.

Na Figura 6.2 são apresentadas as curvas típicas semanais adimensionalizadas para os dias normais e feriados. Pela análise da figura é possível verificar que as quartas-feiras e quintas-feiras são os dias com maior consumo de água no campus do Vale.

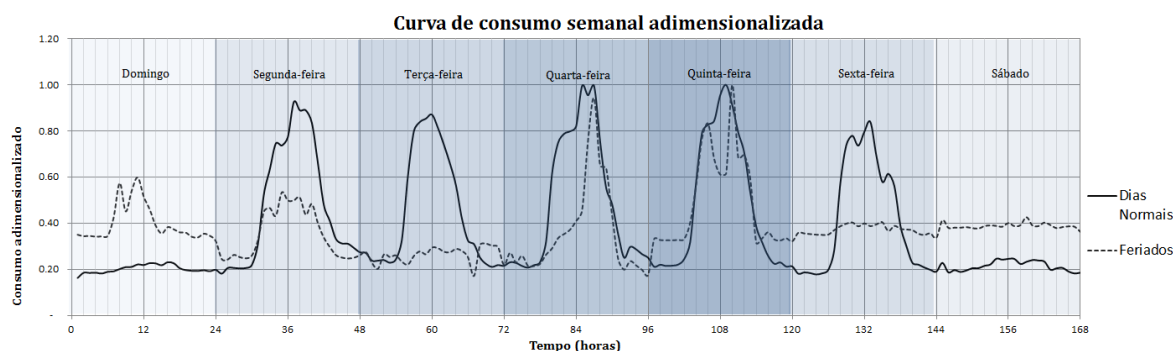


Figura 6.2 - Curvas de consumo semanal adimensionalizada para dias normais e feriados.

Uma vez definida a forma típica da curva de consumo, Figura 6.2, faz-se necessário definir também os valores extremos, máximos e mínimos, a serem utilizados na modelagem matemática. O consumo de água varia em função da estação do ano, dos coeficientes do dia de maior consumo (k_1) e em especial para universidades também reflete no consumo os meses letivos e os de férias.

Para a verificação das mudanças de consumo de água ocasionadas devido à estação do ano no sistema estudado foram utilizados os dados da leitura do hidrômetro da entrada do Campus na Av. Bento Gonçalves, por ter o maior período de registro. Deste banco, utilizaram-se os valores de consumo mensal dos últimos cinco anos. Os meses foram agrupados conforme a estação do ano a qual pertenciam e através da média dos últimos anos obteve-se os valores de consumo mensal por estação, que estão apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Consumo médio por estação do ano, dados hidrometrados.

		2007	2008	2009	2010	2011	Média das estações ($\text{m}^3/\text{mês}$)
Média meses primavera	(Out até Dez)	6.233	8.086	6.809	7.781	6.405	7.063
Média meses verão	(Jan até Mar)	5.545	6.561	6.264	6.083	6.172	6.125
Média meses outono	(Abr até Jun)	7.440	8.426	7.858	7.928	10.429	8.416
Média meses inverno	(Jul até Set)	6.210	8.359	7.391	13.400	7.758	8.623
Consumo Total ano		76.286	94.294	84.964	105.576	92.296	90.683

Ao contrário do que poderia se esperar os meses de verão não são os meses com o maior consumo de água no campus, este fato é explicado, porque o período letivo geralmente inicia na segunda semana do mês de março que é o último mês do verão, portanto, o período com as maiores temperaturas quase não coincide com o período letivo da universidade. Já os meses de maior consumo são os de inverno seguido dos de outono, conforme a Figura 6.3.

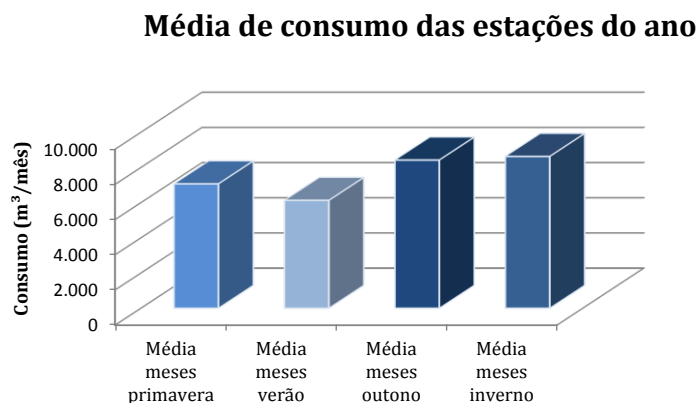


Figura 6.3 - Média do consumo por estação do ano, obtido através das leituras do hidrômetro da Av. Bento Gonçalves, média dos últimos cinco anos.

Outro parâmetro encontrado para avaliar o consumo do campus foram os valores do coeficiente do dia de maior consumo (k_1) para cada dia da semana. Para o cálculo do k_1 foram utilizados os dados obtidos em campo que foram separados por dia da semana e agrupados em dias normais ou feriados, portanto a relação entre o máximo consumo diário com o consumo diário médio resultou nos valores de k_1 apresentados na Figura 6.4.

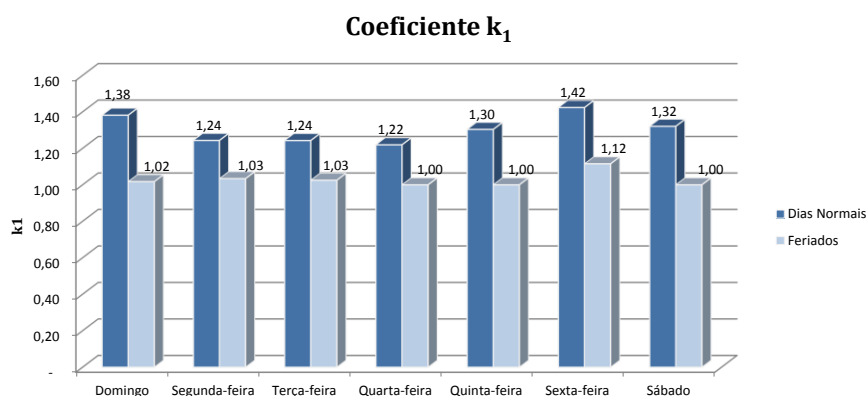


Figura 6.4 - Valores dos coeficiente k_1 para cada dia da semana.

Por fim, as curvas de consumo semanal para cada estação do ano foram obtidas pela relação entre o consumo médio por estação do ano (última coluna da Tabela 6.4) pelo coeficiente de ajuste. O coeficiente de ajuste é quatro vezes o somatório da multiplicação da curva típica (adimensionalizada) pelos respectivos coeficientes k_1 .

O valor encontrado para o coeficiente de ajuste bem como o consumo total por estação do ano estão na Tabela 6.5, que também apresenta o consumo individual para o Centro do Campus e para o Setor 4 que são, respectivamente, 67% do consumo total e 33% do consumo total. A relação entre o consumo total e o consumo de cada setor foi obtida através dos dados medidos no local e apresentado no item 5.4.1.

Tabela 6.5 - Consumos por estação do ano para o Centro do Campus e o Setor 4.

	Média estações do ano (m ³ /mês)	Coeficiente de ajuste	Consumo por estação do ano					
			Total		Centro Campus		Setor 4	
			m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Média meses primavera	7.063	339,41	20,81	5,78	13,94	3,87	6,87	1,91
Média meses verão	6.125		18,05	5,01	12,09	3,36	5,96	1,65
Média meses outono	8.416		24,80	6,89	16,61	4,61	8,18	2,27
Média meses inverno	8.623		25,41	7,06	17,02	4,73	8,38	2,33
		Média	22,27	6,18	14,92	4,14	7,35	2,04

Na Figura 6.5 é apresentada a curva semanal de consumo de água para os dias normais em função das estações do ano.

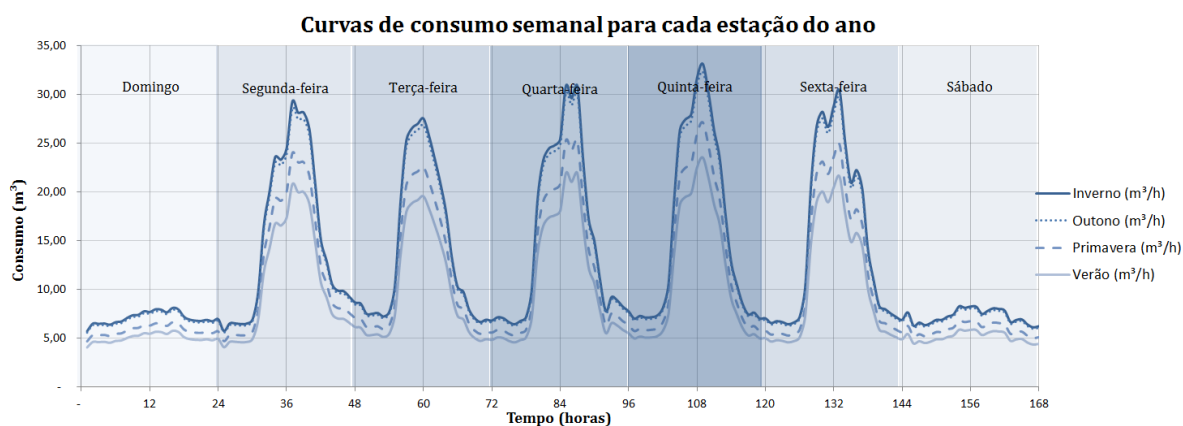


Figura 6.5 - Curva semanal de consumo do campus, nas diferentes estações do ano para os dias normais.

A Tabela 6.5 define os valores de demanda que terão os pontos de consumo (ou nós como são usualmente chamado no modelo de simulação hidráulica) para o Setor 4 e Centro do Campus cujos valores serão iguais a 2,04 l/s e 4,15 l/s, respectivamente, para os cenários que simularem a demanda atual.

No software de simulação hidráulica os valores das demandas dos nós são fixos, portanto para representar as sazonalidades existentes no sistema é inserido no modelo além do coeficiente k_1 para cada dia da semana (Figura 6.4), o coeficiente de consumo variável por mês. Para calcular o coeficiente mensal, utilizaram-se os valores encontrados de consumo total por estação do ano (quinta coluna da Tabela 6.5) dividido pela sua própria média, que é de 6,18 l/s. O valor encontrado para cada mês está apresentado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Valores dos coeficientes mensais.

		Coeficiente Mensal
Média meses primavera	(Out até Dez)	0,93
Média meses verão	(Jan até Mar)	0,81
Média meses outono	(Abr até Jun)	1,11
Média meses inverno	(Jul até Set)	1,14

A seguir são demonstrados os diferenciais entre os volumes demandados no período de férias ou em feriados quando comparados com dias normais ou períodos letivos. Comparando os valores de consumo dos dias considerados feriados com os dias normais, verifica-se que em média o consumo nos feriados é 75% do consumo dos dias normais. Porém nos finais de semana com feriados, os valores médios foram maiores que nos finais de semanas que não coincidiram com um feriado. Na Tabela 6.7 são apresentados os valores de consumo diário médio e os percentuais de cada dia da semana.

Tabela 6.7 - Comparação dos volumes diários para os dias normais e feriados.

Volume diário médio	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Dias normais (m ³)	85,48	204,07	189,06	209,49	201,96	177,36	91,02
Feriados (m ³)	117,84	75,71	77,69	105,89	144,84	109,95	114,89
Feriados/Dias normais (%)	138%	37%	41%	51%	72%	62%	126%

Da mesma forma foi feita a comparação dos dias normais no período letivo e no período de férias, os resultados estão apresentados na Tabela 6.8. Na média, sem considerar os finais de semana, o consumo no período de férias é 75% do valor consumido no período letivo.

Tabela 6.8 - Comparação dos volumes diários para o período letivos e de férias.

Volume médio diário	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Dias Letivos (m ³)	87,90	241,37	234,97	244,20	220,32	196,36	98,68
Férias (m ³)	84,03	164,85	177,58	170,25	183,61	153,82	87,19
Férias/Dias letivos (%)	96%	68%	76%	70%	83%	78%	88%
	Média dias da semana			75%	Média Geral		80%

6.2.2.2 *Projeção das demandas*

Até então esta pesquisa trabalhou com as demandas atuais procurando definir consumos e a forma da curva típica de consumo. Mas também há a necessidade de avaliar como o sistema atual irá se comportar com o aumento da demanda, além de se propor leis de bombeamento que não prejudiquem o fornecimento de água para a demanda futura. Como forma para definir a nova demanda do sistema, relacionou-se o crescimento populacional com o aumento da demanda.

Buscaram-se informações a respeito da expectativa do crescimento do Campus do Vale junto aos órgãos da Universidade e também na internet. A informação mais relevante encontrada que mostra uma das formas do crescimento populacional foi o número de vagas novas oferecido no vestibular a cada ano, apresentada na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Novas vagas oferecidas nos vestibulares dos últimos 5 anos.

Ano do Vestibular	Vagas Oferecidas	Crescimento comparativo com ano anterior	
		Número de Vagas	%
2007	4212		
2008	4312	100	2%
2009	4556	244	5%
2010	4961	405	8%
2011	5018	57	1%
2012	5290	272	5%
2013	5424	134	2%
	Média	202	4%

Fonte: UFRGS, 2013

Em média desde o vestibular do ano de 2007 até o de 2013, o crescimento no número de novas vagas oferecidas foi de 4%. Como este é apenas um dos indicadores do possível crescimento que a Universidade possa vir a ter nos próximos anos, e como informações mais precisas não foram obtidas, trabalhou-se com essa possível taxa de 4% ao ano e para ter uma maior sensibilidade arbitraram-se outras duas taxas de crescimento intermediárias 2% e 6% aa.

Partindo da população inicial, de que no ano de 2012 entre servidores e professores o Campus do Vale conta com 1.304 profissionais e com mais 9.370 alunos inscritos nessa unidade, tem-se uma população total de 10.674 habitantes. As informações acima citadas referentes à população da Universidade foram fornecidas pela coordenadora de planejamento da PROGRAD (Pró-reitora de Graduação).

Para o cálculo do per capita, utilizaram-se os dados da leitura do hidrômetro locado na Av. Bento Gonçalves número 9802. No Anexo B, estão os consumos registrados pelo hidrômetro nos últimos seis anos, já na Tabela 6.10 é apresentado o cálculo para o consumo per capita médio, máximo e mínimo.

Tabela 6.10 – Consumos registrados pelo hidrômetro para o ano de 2011 e per capita.

Consumo médio	Consumo máximo	Consumo mínimo	População abastecida	Per capita médio	Per capita máximo	Per capita mínimo
m ³	m ³	m ³	hab	l.hab/dia	l.hab/dia	l.hab/dia
7.557	12.299	5.244	10.674	23,60	38,41	16,38

Para a projeção das demandas futuras, utilizou-se o consumo per capita médio, 23,60 l/hab.dia, associado as três taxas de crescimento estudadas, o que resulta no volume consumido por mês. Para a obtenção da vazão de demanda final do sistema, o valor de volume por mês é dividido pelo fator de correção.

Tabela 6.11- Projeção da população e das demandas para diferentes taxas de crescimento.

Per capita Médio		23,6 (l/hab.dia)			Coeficiente de correção 339,27							
Ano	Populaç hab	Taxa cresct a.a.	Volume consumido		Populaç hab	Taxa cresct a.a.	Volume consumido		População	Taxa cresct a.a.	Volume consumido	
			m ³ /mês	l/s			m ³ /mês	l/s	hab		m ³ /mês	l/s
2012 Atual	10.674		7.557	6,19	10.674		7.557	6,19	10.674		7.557	6,19
2013	11.111	4%	7.867	6,44	10.887	2%	7.708	6,31	11.314	6%	8.011	6,56
2014	11.567	4%	8.189	6,70	11.105	2%	7.863	6,44	11.993	6%	8.491	6,95
2015	12.041	4%	8.525	6,98	11.327	2%	8.020	6,57	12.713	6%	9.001	7,37
2016	12.534	4%	8.874	7,27	11.554	2%	8.180	6,70	13.476	6%	9.541	7,81
2017	13.048	4%	9.238	7,56	11.785	2%	8.344	6,83	14.284	6%	10.113	8,28
2018	13.582	4%	9.616	7,87	12.021	2%	8.511	6,97	15.141	6%	10.720	8,78
2019	14.139	4%	10.010	8,20	12.261	2%	8.681	7,11	16.050	6%	11.363	9,30
2020	14.718	4%	10.421	8,53	12.506	2%	8.854	7,25	17.013	6%	12.045	9,86
2021	15.321	4%	10.848	8,88	12.756	2%	9.032	7,39	18.033	6%	12.768	10,45
2022	15.949	4%	11.292	9,25	13.012	2%	9.212	7,54	19.116	6%	13.534	11,08
2023	16.603	4%	11.755	9,62	13.272	2%	9.396	7,69	20.262	6%	14.346	11,75
2024	17.283	4%	12.236	10,02	13.537	2%	9.584	7,85	21.478	6%	15.207	12,45
2025	17.991	4%	12.738	10,43	13.808	2%	9.776	8,00	22.767	6%	16.119	13,20
2026	18.729	4%	13.260	10,86	14.084	2%	9.972	8,16	24.133	6%	17.086	13,99
2027	19.496	4%	13.803	11,30	14.366	2%	10.171	8,33	25.581	6%	18.111	14,83
2028	20.295	4%	14.369	11,76	14.653	2%	10.374	8,49	27.116	6%	19.198	15,72
2029	21.127	4%	14.958	12,25	14.946	2%	10.582	8,66	28.743	6%	20.350	16,66
2030	21.992	4%	15.571	12,75	15.245	2%	10.794	8,84	30.467	6%	21.571	17,66
2031	22.894	4%	16.209	13,27	15.550	2%	11.009	9,01	32.295	6%	22.865	18,72
2032 Final	23.832	4%	16.873	13,81	15.861	2%	11.230	9,19	34.233	6%	24.237	19,84

Partindo da população atual, ano 2012, igual a 10.674 consumidores o que em termos de consumo representa 6,19 l/s tem-se para o ano de 2032, as taxas de crescimento de 2%, 4% e 6% a.a. uma população a ser abastecida de 15.861 consumidores, 23.832 consumidores e 34.233 consumidores e demandas totais igual a 9,19 l/s, 13,81 l/s e 19,84 l/s, respectivamente.

6.2.3 Custos energéticos

Até o momento do fechamento do trabalho não foram obtidas as contas de energia elétrica do Campus do Vale da UFRGS. Porém as informações que foram fornecidas pelos técnicos da SUINFRA, de forma informal, são de que há um único ponto de entrada para a alimentação do Campus do Vale, ou seja, toda a energia que é consumida desde a Faculdade

de Agronomia até o Instituto de Pesquisas Hidráulica, incluindo o anel viário, tem uma única entrada e uma única medição do consumo elétrico. Também foi informado que energia elétrica é recebida em média tensão e que na tarifa há cobrança de uma demanda única, porém não houve a confirmação de em qual classe tarifária o Campus estaria classificado.

Portanto, para atingir um dos objetivos desta pesquisa, que era a verificação e otimização gastos energéticos reais que o sistema de bombeamento em estudo representava para a Universidade, utilizaram-se as poucas informações conseguidas para tentar reproduzir os custos de bombeamento do anel viário.

Cruzando as informações conseguidas na Universidade sobre a forma de cobrança da conta de energia elétrica com as definições apresentadas no item 3.6-Tarifação de Energia Elétrica, por eliminação as únicas tarifas que pagam pela demanda são as do Grupo A. As tarifas do Grupo A podem ser do tipo Convencional, Horo-sazonal Verde e Horo-sazonal Azul. Como a Horo-sazonal Azul tem valor de demanda variável conforme o período seco ou húmido, foi descartada, já que a informação era que a demanda era única ao longo do ano. Então, neste estudo, para a obtenção do custo do bombeamento serão desenvolvidos os cenários considerando tanto a tarifa Convencional quanto a Horo-sazonal Verde pertencente ao Grupo A, tipo Poderes Públicos. Nos Anexo C e Anexo D são apresentados os valores praticados pela distribuidora de energia elétrica, que atende ao Campus do Vale, a CEEE – Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica.

6.3 CENÁRIOS ESTUDADOS

Para a aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa foram desenvolvidos diversos cenários que buscam reproduzir a atual forma de operação do sistema e permitem fazer a avaliação hidroenergética das novas formas de operação a serem propostas.

Os cenários desenvolvidos tiveram 8760 horas de duração o que representa um ano inteiro, o intervalo entre os cálculos hidráulicos foram de 0,20 horas, e o intervalo para a apresentação do resultado também foi de 0,20 horas.

6.3.1 Cenário I: Sistema atual

Neste cenário, buscou-se reproduzir as condições do atual sistema de bombeamento do Campus do Vale, para tanto utilizaram-se os dados medidos em campo permitindo assim

gerar um modelo hidráulico confiável que servirá de base para o desenvolvimento dos demais cenários.

Os objetivos deste cenário são calibrar o modelo hidráulico com as informações adquiridas *in loco* e diagnosticar hidroenergeticamente o atual sistema.

6.3.1.1 Informações físicas do Cenário I

As informações físicas deste primeiro cenário são as anteriormente apresentadas, onde os dados de entrada dos reservatórios podem ver vistos nas Tabela 6.1 e Tabela 6.2 e para as adutoras as informações foram apresentadas na Tabela 6.3.

Com relação à bomba foi simulada com apenas uma bomba em operação tendo sido inserida no modelo a curva característica experimental corrigida da MB-1. Os dados do conjunto motobomba inserido no modelo foram:

Pontos para a geração da Curva característica da MB-1		Ponto de maior rendimento da bomba	
Q (l/s)	AMT (m)	Q (l/s)	η
0	125	17,22	36%
16,00	116	Eficiência do motor	
19,33	111	92,8%	

O valor de 36% para a eficiência da bomba foi calculada com base na potência lida no analisador de energia, 58 kW (Tabela 5.2) e pela Equação 3.26.

6.3.1.2 Demanda e consumo do Cenário I

No software de simulação hidráulico foram inseridos dois nós com consumo, o nó chamado Setor4 e o nó Centro Campus. Como demonstrado no item 6.2.2 e apresentado na Tabela 6.5, o consumo atual total do anel viário do Campus do Vale é de 6,18 l/s, sendo 2,04 l/s para abastecer o Setor 4 e 4,14 l/s para o Centro do Campus.

6.3.1.3 Controles do Cenário I

Para representar a atual forma de bombeamento de água foram inseridos no software os seguintes controles:

Tabela 6.12 – Controles para o Cenário I.

Cod. Cont	Controle	Descrição
LC77	IF {"RII" Hydraulic Grade <= 116,77 m} THEN {"MB-1" Pump Status = On }	Simula o funcionamento da chave boia instalada no RII, ligando a bomba 12cm abaixo do nível máximo do RII.
LC79	IF {"RII" Hydraulic Grade >= 116,89 m} THEN {"MB-1" Pump Status = Off }	Simula o funcionamento da chave boia instalada no RII, desligando a bomba no nível máximo do RII.
LC100	IF {"Clock Time" >= 8:00 } And {"Clock Time" <= 13:00 } Or {"Clock Time" >= 15:00 } And {"Clock Time" <= 17:00 } THEN {"FCV-3" FCV Setting = 50,00 L/s} ELSE {"FCV-3" FCV Status = Closed }	Simula o enchimento do RI através da abertura manual do registro de entrada, feito por um funcionário da Universidade. Note que os horários de abertura estão no intervalo do turno de trabalho dos técnicos da prefeitura do Vale.
LC112	IF {"RIII" Hydraulic Grade <= 86,60 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Inactive }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento do registro boia no interior do RIII que em média tem uma variação de nível igual a 8%.
LC187	IF {"RIII" Hydraulic Grade >= 86,79 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Closed }	

6.3.1.4 Resultados do Cenário I

Os objetivos da criação do Cenário I é, primeiramente, calibrar o modelo, portanto os resultados desta simulação devem reproduzir os dados adquiridos em campo e através destes resultados é possível fazer o diagnóstico hidroenergético do atual sistema de bombeamento de água do anel viário do Campus do Vale.

Na Figura 6.6 é apresentado o resultado do modelo hidráulico para o grupo motobomba MB-1. A forma de apresentação dos resultados obtidos para a bomba será a mesma em todas as simulações visando facilitar a comparação entre cenários, para tanto, as grandezas apresentadas nos gráficos dos grupos motobomba são a vazão de bombeamento (em l/s) e a potência consumida pelo grupo (em kW).

Todos os cenários foram desenvolvidos considerando um tempo de simulações igual a um ano, ou seja com duração de 8760 horas, para que dessa forma fosse possível avaliar todas as sazonalidades que interferem no valor de consumo de água (período letivo e não letivo, estações do ano, k_1) e no preço da energia elétrica (horário de pico, período seco ou húmido). Para novamente facilitar a análise entre os cenários todos os resultados são apresentados em dois gráficos, o primeiro apresenta o resultado da simulação para um ano inteiro onde é possível visualizar as sazonalidades anuais, enquanto no segundo é selecionado um período de tempo menor (geralmente de 72 horas consecutivas), para que se possam visualizar as variações diárias e horárias. Quando o período para a apresentação dos resultados coincide com as primeiras 72 horas de simulação, não são considerados para a análise os valores das primeiras 48 horas, pois elas são diretamente influenciadas pelos parâmetros de entrada como,

por exemplo, o nível inicial dos reservatórios, que para todas as simulações são programados para iniciar no nível médio.

Com relação ao conjunto motor-bomba MB-1 no Cenário I, nota-se que mesmo com as sazonalidades deste sistema o comportamento da bomba varia muito pouco ao longo dos meses do ano. Pelo segundo gráfico, é possível verificar que a bomba no modelo está operando da mesma forma que no atual sistema: ela liga aproximadamente 6 vezes ao dia, permanece ligada por menos de 20 minutos nos meses de menor consumo e até aproximadamente 1 hora para os meses com maior demanda de água, o que na média apresentaria 4,30. A vazão de recalçada é 17,5 l/s e a cada acionamento da bomba é consumida uma potência média de 58 kW.

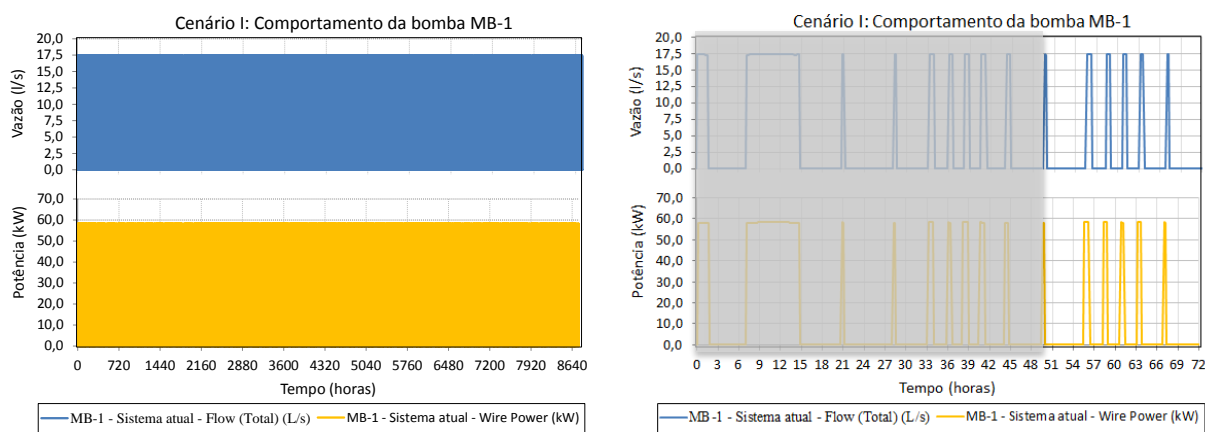


Figura 6.6 - Representação do comportamento atual do grupo motobomba MB-1.

Para a verificação dos reservatórios foram escolhidas as grandezas carga hidráulica (em metros) e volume percentual (em %), a primeira permite verificar a diferença de carga em cada reservatório enquanto a segunda mostra o aproveitamento do volume dos reservatórios. Pela Figura 6.7 é nítida a variação de carga hidráulica de cada reservatório devido à diferença de cota em que cada um se encontra instalado. Analisando mais de perto, através do segundo gráfico, os primeiros dias do mês de abril (2424 horas) é visível a pouca variação de volume que estes reservatórios apresentam mesmo nos meses de maior consumo, não chegando a diminuir mais do que 10% da capacidade de cada um.

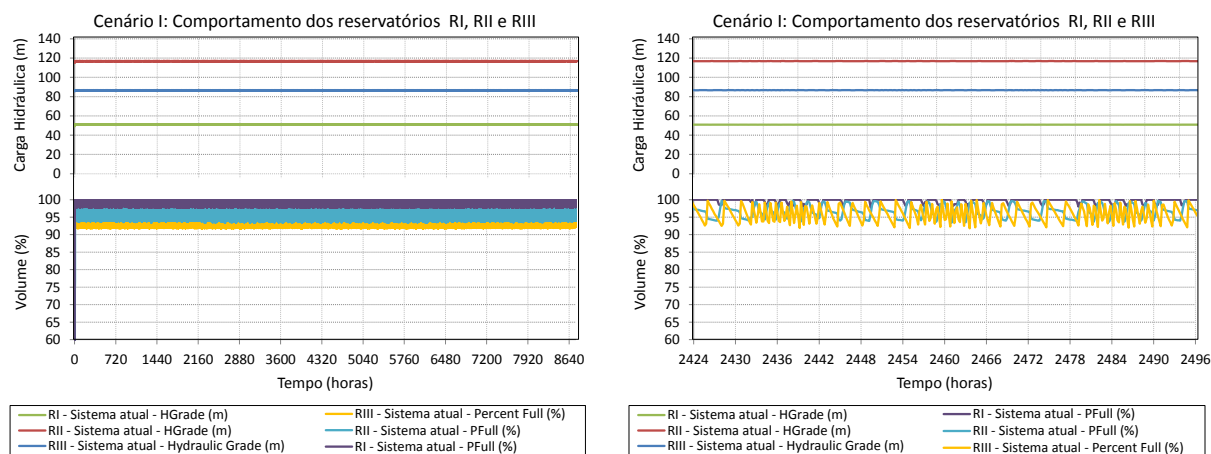


Figura 6.7 - Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII no Cenário I.

Na adutora, foram selecionados como parâmetros de verificação a vazão que passa pela adutora (em l/s), a velocidade do fluido na adutora (m/s) e a perda de carga (em m). Na Figura 6.8 são apresentados os resultados para a Adutora-1, onde é possível visualizar que por ela ser uma adutora que trabalha sem ter o consumo ligado diretamente a ela não há variações de forma nos resultados, não refletindo o formato da curva de consumo na vazão que passa pela adutora. A perda de carga é elevada, aproximadamente 47 m, o que, como dito anteriormente, representa 40% do desnível geométrico do sistema. Já a velocidade máxima registrada de 1,10 m/s não é considerada grande, está no intervalo estabelecido pela norma e é próxima a velocidade apontada como a econômica por diversos autores (1,00 m/s).

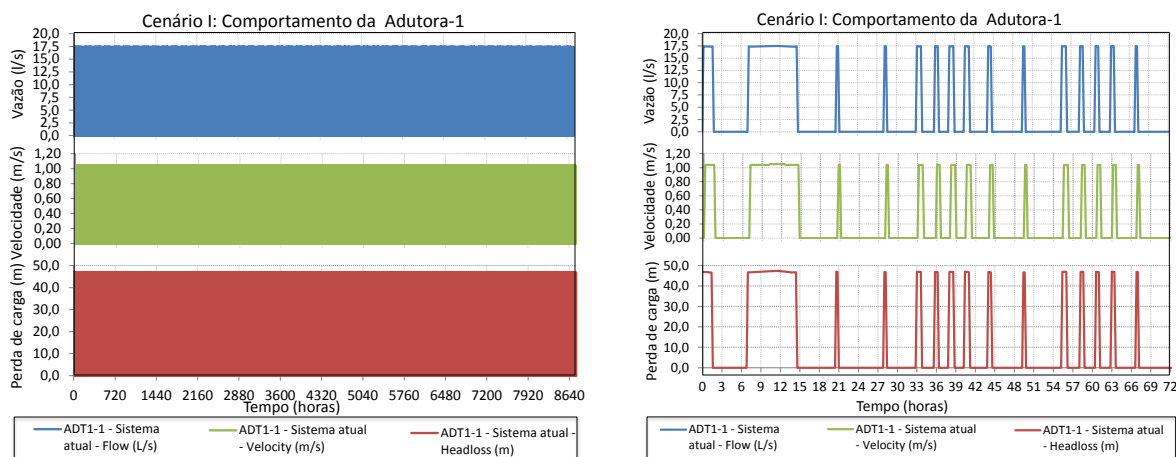
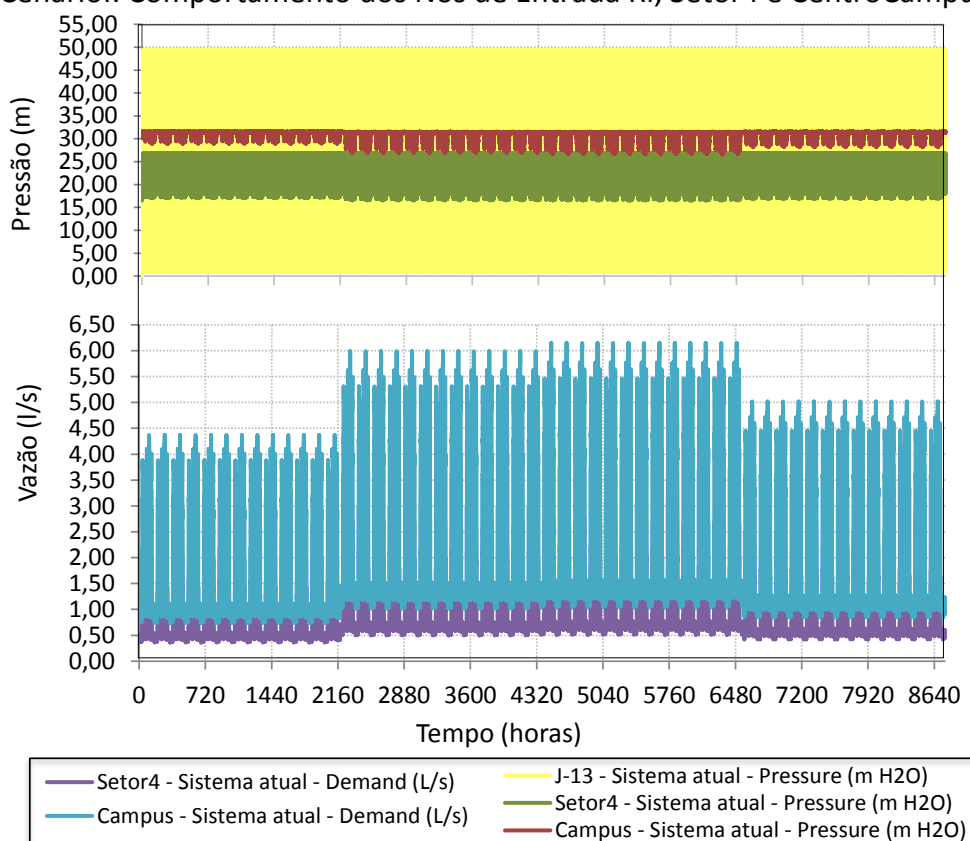


Figura 6.8 - Comportamento da Adutora-1 no Cenário I.

Para a finalização da verificação hidráulica de cada cenário serão apresentados alguns parâmetros visando diagnosticar se a demanda de água é sempre atendida, com que pressão ela é atendida e a variação da demanda com o tempo. Para isso os parâmetros escolhidos foram, pressão (em mca) e vazão (em l/s).

Na Figura 6.9, o nó J-13 representa a pressão com que o reservatório RI é abastecido, aproximadamente 50 mca valor este encontrado em campo e relato pelos técnicos da Universidade como sendo um dos problemas para manutenção de um registro-boia no reservatório, o que poderia permitir que o controle do nível fosse feito de forma não manual como é atualmente. Nos demais nós, a pressão se mostra satisfatória ficando em média na ordem de 30 mca para o Centro do Campus e em 20 mca no Setor 4, estando, portanto, dentro dos valores recomendados por norma. O atendimento da demanda para os meses de maior consumo, visualizar no segundo gráfico, apresenta o valor mínimo de 1,25 l/s no nó que representa o consumo no Centro do Campus e o máximo igual a 6 l/s. Enquanto o consumo do Setor 4 tem o menor valor igual a 0,55 l/s e o máximo de aproximadamente 3 l/s.

Cenário1: Comportamento dos Nós de Entrada RI, Setor4 e CentroCampus



Cenário I: Comportamento dos Nós de Entrada RI, Setor4 e CentroCampus

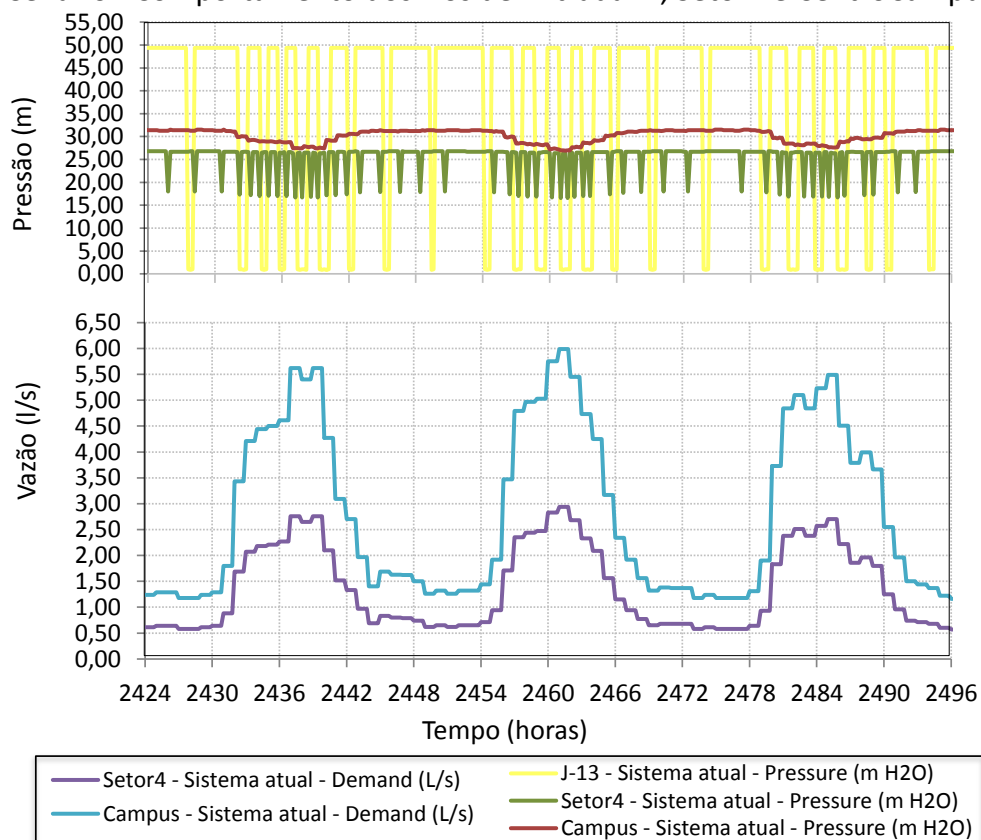


Figura 6.9 - Comportamento dos nós no Cenário I.

O diagnóstico para este cenário é que apesar de ele atender a demanda com volume e pressão o suficiente há uma perda de carga muito grande na Adutora-1, o que faz com que a altura manométrica total da bomba seja o dobro do desnível geométrico, aumentando desta forma a potência do conjunto motor-bomba. Outro ponto é o não aproveitamento dos volumes dos reservatórios do sistema, que trabalham, praticamente, todo o tempo variando nem 10% da sua capacidade.

Com relação ao consumo de energia como não foi obtida a conta de energia elétrica da UFRGS são feitas a seguintes considerações:

- I. O sistema foi avaliado tanto se estivesse enquadrado na classe Convencional quanto na Horo-Sazonal Verde (HSV) ambos do Grupo A4 Subclasse Poderes Públicos.
- II. A demanda de energia elétrica contratada foi atribuída como igual 91% do máximo valor integralizado de potência (em intervalos de 15 minutos) registrado pelo analisador de energia, que foi de 80 kW (Tabela 5.2), resultando em 73 kW de demanda contratada. O índice de 91% se deve a

tolerância que a concessionária permite antes de aplicar a multa pela ultrapassagem do valor contratado.

- III. Com relação à demanda de ultrapassagem ela não foi incluída no cálculo do custo energético, porém ao final dos resultados deste cenário é feita uma consideração a respeito do efeito que a demanda de ultrapassagem pode ter sobre as contas de energia elétrica.
- IV. A taxa cobrada pela inadequação no fator de potência não foi considerada no custo final dos cenários uma vez que na maioria das amostras válidas (Tabela 5.2) o FP ficou acima do mínimo permitido por lei, 0,92, e os intervalos nos quais foi possível identificar que ele estava abaixo do valor normalizado não foram grandes o suficiente para refletir ou alterar os valores finais.

Os resultados considerando um ano inteiro de simulação estão na Tabela 6.13. A comparação feita entre as duas classes de tarifa elétrica consideradas nesta pesquisa mostram claramente que o simples enquadramento tarifário correto pode fazer com que ocorra uma diminuição na conta de energia. Note que esta medida apesar de não refletir na diminuição do consumo de energia é apontada por Tsutiya (2006) como sendo uma medida importante, pois garante a sustentabilidade de empresas de saneamento. Ao se analisar os primeiros custos energéticos presentes nesta tabela, item 6 – Custo com consumo de energia sem demanda, a tarifa Convencional se mostra mais vantajosa que a Horo-Sazonal Verde. Isso pode ser explicado pelas sazonalidades no valor da tarifa Horo-Sazonal que varia com o horário do dia e a os períodos secos ou úmidos, enquanto na Convencional há um valor único para o ano todo. Porém ao incidir o custo da demanda, mesmo sem demanda de ultrapassagem (DU), o enquadramento na tarifa HSV é a mais vantajosa. O peso da demanda contratada é tão significativo na tarifa Convencional que o valor pago durante um ano de consumo de energia é menos da metade do valor despendido para o pagamento também anual da demanda contratada. A situação inversa ocorre na HSV. Por isso o sistema tarifário mais adequado será o que tiver o menor valor para o somatório do custo de consumo e de demanda de energia.

Para o sistema em estudo, a tarifa Horo-Sazonal Verde demonstrou ser mais vantajosa. Ao ser escolhida a HSV ao invés da Convencional o custo por unidade de volume bombeado é de R\$ 0,28 por m³ contra R\$ 0,44 por m³, respectivamente, o que ao longo de um ano representa R\$ 15.473 a menos na conta de energia, ou seja, uma economia de 36% ao se escolher a tarifa Horo-Sazonal Verde.

Tabela 6.13 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário I.

		Tarifa Convencional	Tarifa HVS	HSV- Convencional
1-Tempo de uso	(horas)	1.572,20	1.572,20	0,00
2-Tempo de uso	(%)	17,90	17,90	0,00
3-Volume total bombeado	(m ³)	98.286,26	98.286,26	0,00
4-Consumo de energia médio	(kW)	58,00	58,00	0,00
5-Energia total usada	(kWh)	91.263,40	91.263,40	0,00
6-Custo com consumo de energia sem demanda	(R\$/ano)	12.859,00	21.561,70	8.702,70
7-Consumo de energia diário	(kWh/dia)	250,00	250,00	0,00
8-Demanda contratada	(kW)	73,00	73,00	0,00
9-Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	-26,03
10-Custo total Demanda	(R\$/Ano)	30.178,20	7.375,92	-22.802,28
11-Máximo valor de demanda lido	(kW)	73,00	73,00	0,00
12-Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	0,00	0,00	0,00
13-Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	-78,09
14-Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	0,00	0,00	0,00
15-Custo total de energia (consumo + demanda)	(R\$/Ano)	43.037,20	28.937,62	-14.099,58
16-Custo energia por dia	(R\$/dia)	117,91	79,28	-38,63
17-Custo final para cada 1000 m ³ bombeado	(R\$/1000m ³)	437,88	294,42	-143,45

Como um dos objetivos propostos nesta pesquisa era demonstrar os ganhos que podem ser alcançados quando se tem conhecimento da demanda de energia elétrica do sistema que se deseja enquadrar, para desta forma, contratar corretamente a energia é feita uma comparação a seguir utilizando os valores de consumo de energia obtidos para atual forma de bombeamento considerando desta vez, gastos com a demanda de ultrapassagem. Na Tabela 6.13, o item 8- Demanda Contratada foi de 73 kW, para a verificação a seguir é utilizado, apenas para efeitos comparativos deste trabalho, o valor da demanda contratada como sendo igual a potência de trabalho que o motor consome após a partida, 58 kW (Tabela 5.2). Os demais valores da Tabela 6.14 permaneceram iguais ao da tabela anterior até o item 8 o que altera por consequência os resultados dos itens seguintes a este.

Os novos resultados apontam que ao se reduzir o valor da demanda contratada em 15 kW o custo anual da demanda na tarifa Convencional tem uma redução de R\$ 6.200 (item 10 da Tabela 6.13 menos o item 10 da Tabela 6.14). Porém o valor pago pela demanda de ultrapassagem, considerando que em todos os meses do ano foram registrado os 22 kW excedentes, é de R\$ 27.284, item 14 da Tabela 6.14. Ou seja, o que poderia a primeira vista parecer mais vantajoso, diminuir o valor de demanda contratada, ao ocasionar DU gerou um custo a mais de aproximadamente 27 mil Reais na tarifa Convencional. O mesmo ocorre na HSV que no final de um ano geraria um gasto desnecessário de aproximadamente 5 mil Reais, unicamente por estar com um valor de demanda contrata inferior ao lido.

Por fim é possível afirmar que para o sistema em estudo, nesta pesquisa, mesmo pagando multa pela DU a tarifa Horo-Sazonal Verde se mostrou mais atrativa que a Convencional.

Tabela 6.14 - Resumo dos custo energético para o Cenário I, considerando pagamento da DU.

		Tarifa Convencional	Tarifa HVS	HSV-Convencional
1-Tempo de uso	(horas)	1.572,20	1.572,20	0,00
2-Tempo de uso	(%)	17,90	17,90	0,00
3-Volume total bombeado	(m ³)	98.286,26	98.286,26	0,00
4-Consumo de energia médio	(kW)	58,00	58,00	0,00
5-Energia total usada	(kWh)	91.263,40	91.263,40	0,00
6-Custo com consumo de energia sem demanda	(R\$/ano)	12.859,00	21.561,70	8.702,70
7-Consumo de energia diário	(kWh/dia)	250,00	250,00	0,00
8-Demanda contratada	(kW)	58,00	58,00	0,00
9-Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	-26,03
10-Custo total Demanda	(R\$/Ano)	23.977,20	5.860,32	-18.116,88
11-Máximo valor de demanda lido	(kW)	80,00	80,00	0,00
12-Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	22,00	22,00	0,00
13-Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	-78,09
14-Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	27.284,40	6.668,64	-20.615,76
15-Custo total de energia (consumo + demanda)	(R\$/Ano)	64.120,60	34.090,66	-30.029,94
16-Custo energia por dia	(R\$/dia)	175,67	93,40	-82,27
17-Custo final para cada 1000 m ³ bombeado	(R\$/1000m ³)	652,39	346,85	-305,54

Como última análise que visa diagnosticar a atual forma de bombeamento do anel viário são apresentados, na Tabela 6.15, os valores encontrados para os indicadores de desempenho. Conforme introduzidos no item 3.7 - Indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água, os indicadores de desempenho permitiram desenvolver uma análise hidroenergética do sistema atual além da avaliar as sugestões dos cenários desenvolvidos. Os índices que serão utilizados nesta pesquisa são os índices de desempenho: Consumo Específico de Energia Elétrica (IN₀₅₈), Consumo Específico Normalizado de Energia (Ph5), Rendimento de Conjunto Motobomba (η) e Consumo Específico por Comprimento de Adutora (CEE_L). Os demais índices Consumo de Energia Reativa (Ph6), Utilização da Capacidade de Bombeamento (Ph4), Custos de Energia Elétrica (Fi10) e Consumo Médio de Energia Elétrica (CUSTO_{REL}) não foram utilizados por serem indicadores que não era possível simular seu comportamento técnico ou monetário nas projeções futuras, uma vez que o comportamento futuro foi avaliado via programa de simulação hidráulica.

Como critério para a avaliação dos índices de desempenho é desenvolvido para cada índice um valor de referência. Para o cálculo do valor de referência foi utilizada a equação do cálculo da potência (Equação 3.26) considerando um sistema ideal, ou seja, foi feita uma

consideração hipotética que sugere que o rendimento do conjunto motobomba é igual a 100 %, portanto toda energia elétrica seria convertida em energia mecânica e que a altura manométrica total é igual ao desnível geométrico o que significa dizer que não existem perdas no transporte da água. Sabe-se que esse valor ideal teórico não é alcançável, pois todo processo de conversão de energia envolve perdas por menores que possam ser. Porém a importância do valor de referência está em permitir avaliar o quanto distante está o valor do índice de desempenho calculado pelo modelo hidráulico do valor ideal teórico.

Tabela 6.15 - Indicadores de desempenho do Cenário I.

Dados de entrada		Valores do modelo	Valor ideal teórico	
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06	
Desnível Geométrico	m	67,80	67,80	
Altura Manométrica Total	mca	115,00	67,80	
Rendimento da bomba	%	36%	100%	
Vazão	m ³ /s	0,0175	0,0175	
Volume bombeado por ano	m ³ /ano	98.286,26	98.286,26	
Tempo de bombeamento	h/ano	1.572,20	1.572,20	
Potência média (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kW	58,20	11,64	
Energia consumida (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kWh	91.132,60	18.299,72	
Indicadores	Fonte (Sigla)	Valor encontrado	Valores de referência	
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m ³	0,929	0,186
Consumo Específico Normalizado de Energia	IWA (Ph5)	kWh/m ³ /100m	0,807	0,275
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	20,28	74,97
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEE _L)	kWh/m ³ /m	0,874	0,175

Os resultados encontrados mostram como os índices calculados estão longe do valor de referência, o que já era esperado para este cenário, dada a baixa eficiência da bomba além da elevada perda de carga na Adutora-1.

6.3.2 Cenário II: Sistema atual com demanda futura

Este cenário teve como base o Cenário I, o que o diferencia do cenário anterior é a demanda de água do sistema. Os demais dados do modelo como curva da bomba, nível dos reservatórios, controle do sistema, tarifas elétricas permaneceram iguais ao cenário anterior.

O objetivo deste cenário é verificar o comportamento do atual sistema com o aumento da população a ser abastecida através de um diagnóstico hidroenergético.

6.3.2.1 Informações físicas do Cenário II

Todas as informações físicas configuradas para o Cenário I foram mantidas no Cenário II.

6.3.2.2 Demanda e consumo do Cenário II

O diferencial do cenário anterior para este é a variação na demanda dos nós do modelo, sendo que a projeção das demandas foi desenvolvida com base na expectativa de crescimento da Universidade.

Devido às incertezas sobre qual será o real crescimento da população abastecida no Campus do Vale, as demandas futuras utilizadas, nesta pesquisa, foram desenvolvidas considerando três diferentes taxas de aumento, o que garante uma maior sensibilidade sobre o comportamento do atual sistema frente às novas demandas. As taxas de crescimento populacional utilizadas, 2%, 4% e 6% a.a., foram desenvolvidas no item 6.2.2.2 - Projeção das demandas. Estas taxas refletem no aumento da demanda dos nós com consumo, nó Setor4 e Centro Campus. Na Tabela 6.16, é apresentado o resumo das demandas futuras para cada taxa analisada.

Tabela 6.16 - Resumo das demandas futuras, função da taxa de crescimento populacional.

Ano	2013		2033	
	Atual	Taxa 2%	Taxa 4%	Taxa 6%
Setor 4 (l/s)	2,04	3,03	4,56	6,55
CentroCampus (l/s)	4,15	6,16	9,26	13,30
Total (l/s)	6,19	9,19	13,81	19,84

6.3.2.3 Controles do Cenário II

Como o objetivo deste cenário era avaliar os impactos do aumento da demanda sem alterar a atual forma de operação do sistema em estudo, procurou-se manter os mesmos controles inseridos no cenário anterior. Porém verificou-se pelas simulações hidráulicas que com os controles da Tabela 6.12 o reservatório RI ficava vazio algumas horas por dia nos meses com maior consumo de água. Para evitar que isso ocorresse o controle de código LC100 da Tabela 6.12 foi substituído pelo controle LC178 apresentado na Tabela 6.17. Os demais controles permaneceram iguais.

Tabela 6.17 – Controles para o Cenário II.

Cod. Cont	Controle	Descrição
LC178	IF {"Clock Time" >= 7:00 } And {"Clock Time" <= 18:00 } THEN {"FCV-3" FCV Setting = 60,00 L/s} ELSE {"FCV-3" FCV Status = Closed }	Simula o enchimento do RI através da abertura manual do registro de entrada, feito por um funcionário da Universidade. Note que os horários de abertura estão no intervalo do turno de trabalho dos técnicos da prefeitura do Vale.

6.3.2.4 Resultados do Cenário II

A metodologia de análise dos resultados adotada nesta pesquisa será a mesma para todos os cenários desenvolvidos: com os dados de saída do modelo hidráulico serão apresentados os valores para os indicadores de desempenho e também será feita uma análise comparativa entre as classes tarifárias buscando identificar qual acarretará menor dispêndio monetário, para um ano de análise. Os resultados gráficos extraídos do modelo de simulação hidráulica estão apresentados no APÊNDICE C.

Comparando os resultados para cada taxa de crescimento simulada neste cenário, observa-se que ao se atribuir um aumento na demanda não houve alteração do ponto de trabalho da bomba esta apenas passou a trabalhar maior número de horas por dia, não mudando por tanto a potência demandada (kW), mas sim o consumo de energia (kWh). Conseqüentemente também ocasiona um aumento no número de vezes que a bomba é acionada por dia sendo 8, 9 e 10, para a taxa de 2%, 4% e 6% a.a. respectivamente. Além de ser acionada mais vezes por dia a quantidade de horas que ela permanece em operação também aumento de 26,50% do tempo ligada na taxa de 2% para 40% do tempo na taxa de 4% e 58,90% das horas do ano na taxa de 6% de aumento da população.

O reservatório RIII apresenta um baixo aproveitamento do seu volume útil, continua a variar apenas 10% da sua capacidade, isto ocorre por causa da forma como o atual registro-boia está configurado. É nítido, neste cenário, que o RIII funciona unicamente como reservatório de passagem e quebra de pressão, pois todo aumento da demanda teve reflexo nas variações de volume do RII, que nos meses de maior consumo baixava o volume em 40% da capacidade, e no RI que em alguns meses do permanece até mesmo vazio. Note que mesmo com a alteração no controle sobre a abertura do registro que abastece o RI (ficando o registro totalmente aberto das 7 horas da manhã até as 6 horas da tarde) ele não consegue se recuperar. Portanto, este cenário mostra que a atual forma de operação do RI não atende a um aumento da população em 6% a.a. ou mais, sem que seja instalado um controlador de nível, pois se o

registro permanecer aberto 24 horas por dia no período da madrugada iria extravasar a água do RI.

Com relação à Adutora-1 como a bomba não alterou o ponto de operação todas as grandezas (vazão, velocidade, perda de carga) da adutora permaneceram inalteradas em comparação ao cenário anterior. Por fim, a demanda e as pressões nos nós de consumo tiveram as variações apresentadas na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 - Variação da pressão nos nós com consumo conforme a taxa de crescimento, Cenário II.

Ano	Taxa 2%		Taxa 4%		Taxa 6%	
	P máx	P mín	P máx	P mín	P máx	P mín
Setor 4 (mca)	26,8	15,5	26,8	13,9	26,8	11,1
CentroCampus (mca)	31,7	28,7	31,6	25,5	31,5	19,6

Na Tabela 6.19 é possível verificar para cada item a diferença que o aumento da demanda traz no sistema, como a vazão total bombeada, número de horas de bombeamento de cada, gastos financeiros com a conta de energia elétrica, além da energia necessária para recalcar um metro cúbico de água.

Neste cenário não foi considerada demanda de ultrapassagem (DU) por consequência não incidiu na fatura de energia o custo por DU. O que chama a atenção é que para as duas primeiras taxas de crescimento da demanda (2% e 4%) a tarifa Horo-Sazonal Verde tem um custo energético total menor, porém para a taxa de 6% de aumento da população é mais indicada a contratação na tarifa Convencional. Isso ocorre porque não houve aumento na potência da bomba, já que essa sempre trabalha no mesmo ponto de operação, portanto também não é necessário aumentar o valor da demanda contratada, porém em contra partida o valor do consumo de energia aumentou o que torna a tarifa Convencional mais atrativa que a Horo-Sazonal Verde.

Os índices de desempenho para o segundo cenário está na Tabela 6.20, que segue longe dos valores de referência o que era esperado uma vez que nenhuma alteração para a otimização no sistema foi feita.

Tabela 6.19 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário II, para taxas de crescimento de 2%, 4% e 6% a.a..

		Taxa 2%			Taxa 4%			Taxa 6%		
		Tarifa Convenc.	Tarifa HSV	HS Verde - Convencional	Tarifa Convenc.	Tarifa HSV	HS Verde - Convencional I	Tarifa Convenc.	Tarifa HSV	HS Verde - Convenc.
1-Tempo de uso	(horas)	2.323,80	2.323,80	0,00	3.505,40	3.505,40	0,00	5.159,00	5.159,00	0,00
2-Tempo de uso	(%)	26,50	26,50	0,00	40,00	40,00	0,00	58,90	58,90	0,00
3-Volume total bombeado	(m ³)	145.609,88	145.609,88	0,00	219.658,89	219.658,89	0,00	315.536,05	315.536,05	0,00
4-Consumo de energia médio	(kW)	58,20	58,20	0,00	58,20	58,20	0,00	56,80	56,80	0,00
5-Energia total usada	(kWh)	135.182,30	135.182,30	0,00	203.926,50	203.926,50	0,00	293.075,40	293.075,40	0,00
6-Custo com consumo de energia sem demanda	(R\$/ano)	19.047,20	31.391,40	12.344,20	28.733,20	45.576,70	16.843,50	41.294,30	77.177,50	35.883,20
7-Consumo de energia diário	(kWh/dia)	370,40	370,40	0,00	558,70	558,70	0,00	802,90	802,90	0,00
8-Demanda contratada	(kW)	73,00	73,00	0,00	73,00	73,00	0,00	73,00	73,00	0,00
9-Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	-26,03	34,45	8,42	-26,03	34,45	8,42	-26,03
10-Custo total Demanda	(R\$/Ano)	30.178,20	7.375,92	-22.802,28	30.178,20	7.375,92	-22.802,28	30.178,20	7.375,92	-22.802,28
11-Máximo valor de demanda lido	(kW)	73,00	73,00	0,00	73,00	73,00	0,00	73,00	73,00	0,00
12-Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	-78,09	103,35	25,26	-78,09	103,35	25,26	-78,09
14-Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-Custo total de energia (consumo + demanda)	(R\$/Ano)	49.225,40	38.767,32	-10.458,08	58.911,40	52.952,62	-5.958,78	71.472,50	84.553,42	13.080,92
16-Custo energia por dia	(R\$/dia)	134,86	106,21	-28,65	161,40	145,08	-16,33	195,82	231,65	35,84
17-Custo final para cada 1000 m ³ bombeado	(R\$/1000m ³)	338,06	266,24	-71,82	268,19	241,07	-27,13	226,51	267,97	41,46

Tabela 6.20 - Indicadores de desempenho do Cenário II para taxas de crescimento de 2%, 4% e 6% a.a..

Dados de entrada			Taxa 2%		Taxa 4%		Taxa 6%	
			Valores do modelo	Valor ideal teórico	Valores do modelo	Valor ideal teórico	Valores do modelo	Valor ideal teórico
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	
Desnível Geométrico	m	67,80	67,80	67,80	67,80	67,80	67,80	
Altura Manométrica Total	mca	115,00	67,80	115,00	67,80	115,00	67,80	
Rendimento da bomba	%	36%	100%	36%	100%	36%	100%	
Vazão	m ³ /s	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175	
Volume bombeado por ano	m ³ /ano	145.609,88	145.609,88	219.658,89	219.658,89	315.536,05	315.536,05	
Tempo de bombeamento	h/ano	2.323,80	2.323,80	3.505,40	3.505,40	5.159,00	5.159,00	
Potência média (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kW	58,20	11,64	58,20	11,64	56,80	11,64	
Energia consumida (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kWh	135.182,30	27.048,02	203.926,50	40.801,33	293.075,40	60.048,52	
Indicadores	Fonte (Sigla)		Valores encontrados	Valores de referência	Valores encontrados	Valores de referência	Valores encontrados	Valores de referência
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m ³	0,928	0,186	0,928	0,186	0,929	0,190
Consumo Específico Normalizado de Energia	IWA (Ph5)	kWh/m ³ /100m	0,807	0,274	0,807	0,274	0,808	0,281
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	20,28	74,97	20,28	74,97	20,28	74,97
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEE _L)	kWh/m ³ /m	0,874	0,175	0,874	0,175	0,875	0,179

6.3.3 Cenário III: Sistema atual com leis de bombeamento

Para este cenário são sugeridas novas formas de recalcar a água que alimenta o anel viário do Campus do Vale sem ser necessária a troca de equipamentos ou material. As intervenções feitas têm por objetivo aproveitar melhor o volume dos reservatórios e evitar o bombeamento no horário de ponta visando atender de forma mais eficiente do ponto de vista elétrico e econômico, tanto a demanda atual quanto futura.

6.3.3.1 Informações físicas do Cenário III

Todas as informações físicas configuradas para o Cenário I e Cenário II foram mantidas.

6.3.3.2 Demanda e consumo do Cenário III

Para a verificação dos parâmetros neste cenário a simulação foi desenvolvida utilizando as duas demandas mais extremas que são demanda para o consumo atual e a demanda considerando uma taxa de crescimento de 6% ao ano, Tabela 6.21.

Tabela 6.21 - Resumo das demandas inseridas nos nós para o Cenário III.

Ano	2013	2033
	Atual	Taxa 6%
Setor 4 (l/s)	2,04	6,55
CentroCampus (l/s)	4,15	13,30
Total (l/s)	6,19	19,84

6.3.3.3 Controles do Cenário III

Os controles utilizados no Cenário III estão apresentados nas Tabela 6.22. O objetivo dos controles é permitir a reprodução de registros e chaves boias instalados no interior dos reservatórios, visando assim aproveitar ao máximo o volume dos reservatórios, e simular a não operação dos GMB após o período das 18 horas evitando com isso o bombeamento no horário de ponta da energia elétrica.

Tabela 6.22 – Controles para o Cenário III, demanda atual.

Cod. Cont	Controle	Descrição
LC211	IF {"Clock Time" >= 7:00 } And {"Clock Time" <= 18:00 } And {"RII" Hydraulic Grade <= 115,75 m} THEN {"MB-1" Pump Status = On }	Desliga o GMB junto com a saída dos técnicos da Universidade evitando que o GMB opere no horário de ponta. Simula o funcionamento de uma chave boia instalada no RII, ligando a bomba no nível que representa 46% da capacidade. PQ
LC169	IF {"Clock Time" >= 8:00 } And {"Clock Time" <= 9:00 } Or {"Clock Time" >= 11:30 } And {"Clock Time" <= 12:30 } Or {"Clock Time" >= 17:00 } And {"Clock Time" <= 18:00 } THEN {"FCV-5" FCV Setting = 60,00 L/s} ELSE {"FCV-5" FCV Status = Closed }	Simula o enchimento do RI através da abertura manual do registro de entrada, feito por um funcionário da Universidade. Note que os horários de abertura estão no intervalo do turno de trabalho dos técnicos da prefeitura do Vale.
LC116	IF {"RIII" Hydraulic Grade >= 86,70 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Closed }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento de um registro boia no interior do RIII, que permite uma variação do volume igual a 70%. PQ
LC154	IF {"RIII" Hydraulic Grade <= 84,50 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Inactive }	

6.3.3.4 Resultados do Cenário III

Os resultados gráficos extraídos do modelo de simulação hidráulica estão apresentados no APÊNDICE D.

O melhor resultado encontrado no Cenário III, para a atual demanda foi ao não se bombear no horário de ponta e ao definir como nível máximo para o RII, o valor de cota igual a 115,75 m, o que representa utilizar 46,51% da sua capacidade. O RI que é abastecido pela abertura manual do registro por um funcionário do Campus do Vale, teve uma variação de nível de até 35% da sua capacidade total. Já o RIII foi o que melhor teve sua capacidade aproveitada variando 90% da sua capacidade. Os percentuais do volume dos reservatórios que devem ser utilizados foram obtidos via simulação hidráulica e são os valores, que após mais de 6 diferentes variações do ponto de referencia, inseridas de forma manual, refletiram em menores consumo de energia e melhorias nos indicadores de desempenho.

Neste cenário, o GMB teve de 3 a 4 acionamentos diários, no intervalo das 7 horas até às 18 horas, portanto não é acionado no horário de ponta da energia. Não há alteração do ponto de operação da bomba e, portanto da potência consumida. Os valores encontrados para as pressões têm-se demonstrado satisfatórias estando dentro do aconselhável por norma. A variação de pressão dos nós com consumo está apresentada na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 - Variação da pressão nos nós com consumo no Cenário III.

Ano	Demanda atual	
	P máx	P mín
Setor 4 (mca)	25,1	15,2
CentroCampus (mca)	31,6	27,8

Já os resultados para este terceiro cenário considerando um aumento na demanda revelam que, como já identificado no Cenário II, quando a taxa de crescimento for igual a 6%a.a. o aumento do consumo é tal que não é mais possível operar o RI da forma como vem sendo feito (abertura manual do registro de entrada por funcionários da Universidade), pois o intervalo do dia correspondente a duração da jornada de trabalho seria insuficiente para que o volume do RI recuperasse a demanda que foi retirada durante a madrugada.

Como um dos objetivos deste cenário era evitar que o GMB entrasse em operação durante o horário de ponta do consumo de energia, e devido ao baixo nível de instrumentação existente no sistema de recalque em estudo, sendo a bomba acionada apenas por um comando de nível instalado no RII, para que esta não seja acionada no intervalo das 18 horas até as 21 horas a sugestão propostas anteriormente, para a demanda atual, foi que um funcionário do Campus do Vale desligasse manualmente o conjunto motor-bomba as 18 horas, horário de final do turno dos servidores da prefeitura do campus, e religasse às 7 horas do dia seguinte. Este procedimento evitaria que a bomba pudesse operar no intervalo do dia de maior custo da energia elétrica. Porém como o intervalo das 18 horas até as 7 horas é um período muito longo sem bombeamento ao ser religada, o GMB não consegue recuperar o nível dos reservatórios e atender a demanda de forma segura, comprometendo desta forma o fornecimento de água. Essa verificação também foi feita em termos do volume consumido *versus* volume bombeado. O volume consumido durante um ano inteiro considerando a maior demanda, ou seja, população igual a 34.233 habitantes (taxa de 6%a.a. até o ano de 2032), totaliza 317.321 m³, se para este mesmo ano a bomba ficasse ligada durante o horário de expediente dos servidores do campus, das 7 horas até as 18 horas, serão 11 horas de bombeamento diário contínuo, que para a vazão da atual bomba 63 m³/h, representaria ao longo de um ano um volume bombeado igual a 251.499 m³ que é um valor muito inferior ao volume consumido, então para este consumo não é possível se propor o desligamento do GMB por um intervalo tão grande. A proposição feita de operar a bomba juntamente com o turno dos funcionários da Universidade é válida até uma população de 29.197 habitantes, considerando o mesmo valor de per capita (23,6 l/hab.dia).

Outras formas de recalcar a água foram simuladas neste cenário, inclusive a operação em paralelo de dois grupos motobomba, porém em algumas variações na forma de operação do sistema estudadas via modelagem hidráulica não garantiram a não operação do grupo motobomba no horário de ponta, pois o software de simulação hidráulico utilizado prioriza o atendimento da demanda em detrimento aos controles. Então algumas situações modeladas acabaram por necessitar de uma potência instalada e/ou consumida maior, o que resulta em

um custo final da conta de energia elétrica maior que o valor encontrado na simulação do Cenário II para a mesma taxa de crescimento da população, 6 % a.a..

Portanto, assume-se que quando a população atingir uma demanda média mensal igual a 24.237 m³ a forma de operação atualmente praticada nesta estação é a que repercute em um menor dispêndio financeiro para a conta de energia elétrica. Por este motivo para ser possível propor leis de bombeamento que gerem maior eficiência energética e diminuição dos custos energéticos, é necessário supor um maior nível de instrumentação como a instalação de controladores de nível para o abastecimento do RI e do RII, além de um comando automático para o acionamento do GMB fora do horário de ponta.

Então a análise dos índices de desempenho será desenvolvida, neste cenário, apenas para a simulação que utilizou como demanda o valor do atual consumo. Os valores encontrados em termos de consumo e custos energéticos estão expostos na Tabela 6.24 e os valores dos índices de desempenho aparecem na Tabela 6.25. A Tabela 6.24 retrata que a tarifa Horó Sazonal Verde continua a ser a que repercute em menores gastos com a conta de energia elétrica, o custo de 1000 m³ bombeado é R\$ 231 mais barato na tarifa horó sazonal ao comparado com a tarifa Convencional o que ao longo de um ano representaria uma economia de mais de 23 mil Reais.

Tabela 6.24 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário III, demanda atual.

		Demanda Atual		
		Tarifa Convencional	Tarifa HSV	HSV-Convencional
1-Tempo de uso	(horas)	1.599,20	1.599,20	0,00
2-Tempo de uso	(%)	18,30	18,30	0,00
3-Volume total bombeado	(m ³)	101.100,42	101.100,42	0,00
4-Consumo de energia médio	(kW)	58,60	58,60	
5-Energia total usada	(kWh)	93.681,10	93.681,10	0,00
6-Custo com consumo de energia sem demanda	(R\$/ano)	13.199,70	12.639,40	-560,30
7-Consumo de energia diário	(kWh/dia)	256,70	256,70	0,00
8-Demanda contratada	(kW)	73,00	73,00	0,00
9-Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	-26,03
10-Custo total Demanda	(R\$/Ano)	30.178,20	7.375,92	-22.802,28
11-Máximo valor de demanda lido	(kW)	73,00	73,00	0,00
12-Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	0,00	0,00	0,00
13-Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	-78,09
14-Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	0,00	0,00	0,00
15-Custo total de energia (consumo + demanda)	(R\$/Ano)	43.377,90	20.015,32	-23.362,58
16-Custo energia por dia	(R\$/dia)	118,84	54,84	-64,01
17-Custo final para cada 1000 m ³ bombeado	(R\$/1000m ³)	429,06	197,97	-231,08

Com relação aos indicadores de desempenho foi identificada uma pequena melhora, quando comparado aos valores encontrados no Cenário I, em todos os índices com exceção do índice Rendimento de Conjunto Motobomba (LENHS, η) o que era esperado uma vez que não foram feitas alterações físicas no atual sistema, apenas alterações operacionais.

Tabela 6.25 – Indicadores de desempenho do Cenário III, demanda atual.

Dados de entrada		Valores do modelo	Valor ideal teórico	
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06	
Desnível Geométrico	m	67,80	67,80	
Altura Manométrica Total	mca	115,00	67,80	
Rendimento da bomba	%	36%	100%	
Vazão	m ³ /s	0,0175	0,0175	
Volume bombeado por ano	m ³ /ano	101.100,42	101.100,42	
Tempo de bombeamento	h/ano	1.599,20	1.599,20	
Potência média (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kW	58,60	11,64	
Energia consumida (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kWh	93.681,10	18.613,99	
Indicadores	Fonte (Sigla)	Valor encontrado	Valores de referência	
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m ³	0,927	0,184
Consumo Específico Normalizado de Energia	IWA (Ph5)	kWh/m ³ /100m	0,806	0,272
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	20,28	74,97
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEE _L)	kWh/m ³ /m	0,873	0,173

6.3.4 Cenário IV: Sistema novo com a aplicação de leis de bombeamento

Para o último cenário analisado, é feito o dimensionado de um novo sistema através da troca da Adutora-1 e do redimensionamento dos conjuntos motobombas diminuindo a altura manométrica total da bomba e, portanto, a potência consumida e instalada. Ainda é considerado neste cenário que a estação de bombeamento em análise possui um maior nível de instrumentação o que permite operá-la a partir de leis de bombeamento. O objetivo deste cenário é demonstrar que além do correto dimensionamento do sistema é necessário prever leis de operação que possam garantir a maior eficiência de sistemas de recalque.

6.3.4.1 Informações físicas do Cenário IV

Como proposta para a diminuição do consumo de energia elétrica desta pesquisa, sugere-se que a Adutora-1 seja substituída devido ao seu alto valor de perda de carga total identificado no local. Esta perda pode estar sendo causada por inúmeros fatores como um

registro que não esteja plenamente aberto, alteração do diâmetro da adutora que possam provocar estrangulamento ou pela diminuição da seção útil da tubulação devido a encrustamentos decorrentes do envelhecimento.

Como não foi possível identificar qual a causa da elevada altura manométrica desta instalação, para este cenário propõem-se redimensionar a Adutora-1 e se necessário substituir o atual conjunto motobomba. Os dados e considerações a respeito da nova adutora são:

- A nova adutora seguirá paralela a Adutora-1 e a atual adutora será considerada como inativa neste cenário;
- A vazão de dimensionamento da nova adutora é de 19,84 l/s, que foi a máxima vazão de consumo do sistema considerando uma taxa de crescimento populacional igual a 6% a.a. no ano de 2032.
- Optou-se por manter o mesmo material da atual adutora que é ferro fundido dúctil classe K9, por este material suportar pressões maiores que as tubulações feitas por material plástico (com o PVC ou PVCDEFoFo), dado que só o desnível geométrico do sistema já é de 64 metros sendo que as pressões de trabalho para o PVCDEFoFo é de 100 mca;
- Para a definição do diâmetro da nova adutora, utilizou-se a fórmula da ABNT NBR-5626 (Equação 3.13), como segue:

$$D = 1,3 \left(\frac{n'}{24} \right)^{0,25} \sqrt{Q}$$

- Q vazão média de 0,01984 m³/s;
- n' número de horas de bombeamento diárias, testado para 21 horas que exclui a operação nas 3 horas ponta do consumo de energia. Testado também para 12 horas que considera 2 turnos de operação de seis horas cada;

Utilizando a fórmula da ABNT, os diâmetros apontados como econômicos são 177 mm e 154 mm utilizando 21 horas e 12 horas de operação, respectivamente. Adotou-se o diâmetro comercial nominal igual a 150 mm, que para o material utilizado ferro fundido dúctil classe K9 tem diâmetro interno igual a 153 mm e coeficiente de rugosidade de 130 (Fonte SAINT GOBAIN, 2012).

Com relação à perda de carga singular foram consideradas as peças existentes no barrilete de recalque e na entrada do RII, também foram inseridas curvas ao longo da adutora

sempre que uma inflexão maior que 3° ocorria além de 3 registros que permitem ter segmentações na adutora fazendo com que apenas uma parte dela precise ser esvaziada em caso de alguma manutenção, uma vez que o volume de água no interior da adutora quando esta está plenamente cheia é de 18 m³. Na Tabela 6.26 são apresentadas as peças singulares consideradas na nova Adutora-1, sendo o novo somatório de K igual a 17,12, quando na atual adutora este valor era de 597,99.

Tabela 6.26 - Peças singulares do novo sistema de recalque de água para o anel viário do Campus do Vale.

Peça	Quant.	K	ΣK
Barrilete Sucção			
Saída de canalização DN 200	1	1,00	1,00
Curva de 90° DN 200	1	0,40	0,40
Tê passagem direta DN 200	3	0,60	1,80
Redução excêntrica DN 80	1	0,30	0,30
Registro de gaveta aberto DN 80	1	0,20	0,20
Junção DN 80	1	0,40	0,40
Total			4,10
Barrilete de Recalque			
Ampliação gradual DN 75	1	0,30	0,30
Junção DN 75	1	0,40	0,40
Junta de desmontagem DN 75	1	0,20	0,20
Registro de gaveta aberto DN 75	1	0,20	0,20
Válvula de retenção DN 75	1	2,50	2,50
Curva 45° DN 75	1	0,20	0,20
Tê passagem de lado DN 75	1	1,30	1,30
Tê passagem direta DN 150	3	0,60	1,80
Curva 45° DN 150	1	0,20	0,20
Total			7,10
Adutora-1			
Válvula Borboleta DN 150	3	0,24	0,72
Curva 45° DN 150	7	0,20	1,40
Curva de 90° DN 150	1	0,40	0,40
Total			2,52
Entrada RII			
Registro de gaveta aberto DN 150	2	0,20	0,40
Tê passagem bilateral DN 150	1	1,80	1,80
Curva de 90° DN 150	3	0,40	1,20
Total			3,40

As condições geométricas do sistema são:

$$H_{g_{\text{máx}}} = \text{Cota do tubo de entrada no RII} - \text{Mínima cota do RI}$$

$$H_{g_{\text{máx}}} = 116,95 - 48,75 = 68,20 \text{ m}$$

$$H_{g_{\text{mín}}} = \text{Cota do tubo de entrada no RII} - \text{Máxima cota do RI}$$

$$H_{g_{\text{mín}}} = 116,95 - 50,90 = 66,05 \text{ m}$$

Para a determinação das curvas do sistema máxima e mínima, foi utilizada as vazões correspondentes a $-30\% Q_{\text{rec}}$, Q_{rec} e $+30\% Q_{\text{rec}}$. Para cada uma das vazões foram obtidas

pressões corresponde a AMT, sempre realizando simulações para as condições de $H_{G_{máx}}$ e $H_{G_{mín}}$. A Tabela 6.27 apresenta os dados obtidos.

Tabela 6.27 – Valores para a configuração da curva do sistema.

Ponto	Q		Perda sing (m)	C	Perda linear	AMT $H_{G_{máx}}$		AMT $H_{G_{mín}}$	
	(l/s)	(m ³ /h)				(H _G máx 68,2m)		(H _G mín 66,05m)	
-30% Q_{nom}	13,89	50,00	3,18	130	4,75	76,13		73,98	
Q_{nom}	19,84	71,42	6,48	130	9,19	83,87		81,72	
+30% Q_{nom}	25,79	92,85	10,95	130	14,93	94,08		91,93	
					FF +20 anos	AMT	$H_{G_{máx}}$	AMT	$H_{G_{mín}}$ Tubo
-30% Q_{nom}	13,89	50,00	3,18	100	7,72	79,09	Tubo	Antigo	Antigo
Q_{nom}	19,84	71,42	6,48	100	14,93	89,61		87,46	
+30% Q_{nom}	25,79	92,85	10,95	100	24,26	103,41		101,26	

Na Figura 6.10 estão reproduzidas as curvas do sistema considerando a desnível geométrico máximo, mínimo e o efeito do envelhecimento da tubulação sobre o sistema. Sobre as curvas do sistema foram traçadas as curvas das bombas estudadas. É possível identificar que, com as alterações feitas no sistema, a perda de carga diminui de tal forma que não é mais possível aproveitar o atual GMB, pois estes têm uma AMT muito maior que a necessário. Para tanto foram selecionados outros GMB que atendam ao novo ponto de trabalho, a curva de performance das bombas selecionadas estão no Anexo E - Curvas características das novas bombas. Foi escolhida como paradigma para a simulação do último cenário a bomba do fabricante KSB modelo Megabloc 50-200 rotor 219 mm e rotação nominal de 3500 rpm por ser a que apresentou melhor rendimento no ponto de trabalho.

Uma observação é necessária ser feita com relação à bomba escolhida, sabe-se que ao ser dimensionada uma bomba para uma instalação, deve-se procurar sempre por uma bomba que tenha o ponto de trabalho imediatamente a direita do ponto ótimo de rendimento, uma vez que a curva da instalação com o passar do tempo sofre alteração tendendo para a esquerda. Porém para o ponto de trabalho do sistema em estudo não foram encontrados modelos de bombas que atendessem ao requisito acima e tivessem um rendimento maior que o encontrado pelo conjunto motobomba selecionado. Por este motivo, julgou-se ser a bomba da KSB Megabloc a que apresentaria melhores resultados para o sistema.

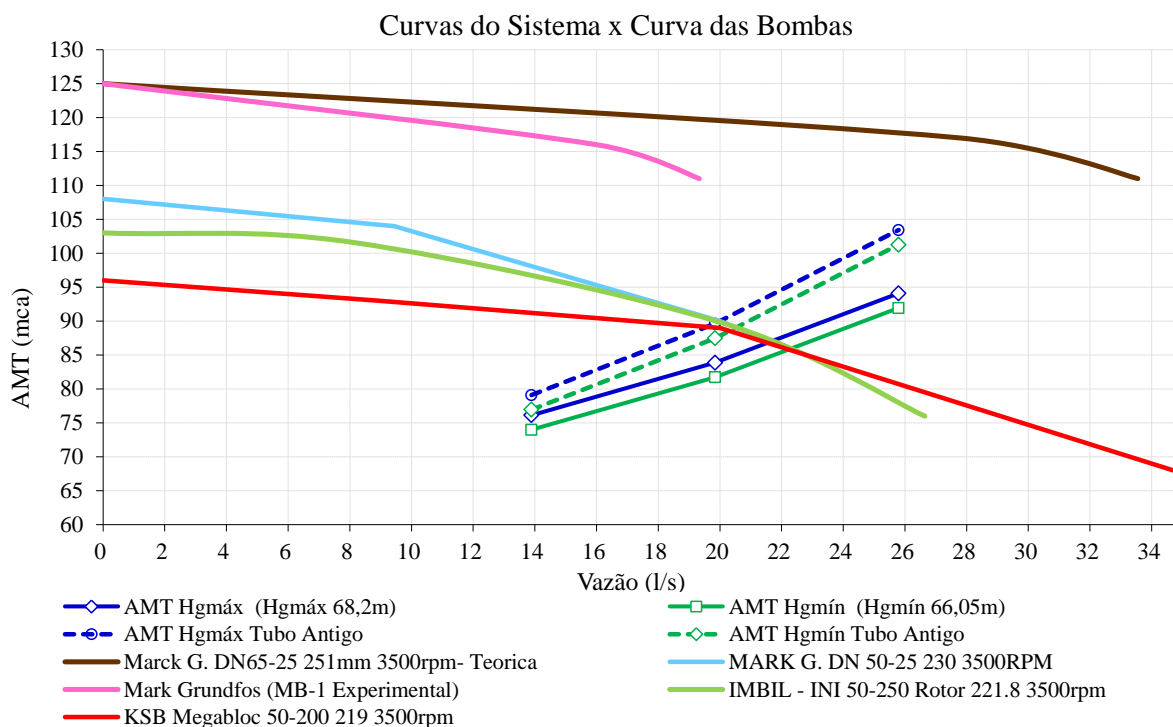


Figura 6.10 – Curvas do sistema versus curva das bombas estudadas.

Então em resumo como dados de entrada no modelo as informações físicas que sofreram alteração foram: os dados do novo GMB (Tabela 6.28) conforme informações do fabricante e as informações da Adutora-1, Tabela 6.29. Os demais dados permaneceram iguais ao valor constante no item 6.2.1 Informações físicas do sistema.

Tabela 6.28 - Dados de entrada no modelo referente ao GMB para o Cenário IV.

Pontos para a geração da Curva característica da MB-1		Ponto de maior rendimento da bomba	
Q (l/s)	AMT (m)	Q (l/s)	η
0	95	27,78	75%
20,00	89	Eficiência do motor	
37,50	64	93%	

Tabela 6.29 - Dados de entrada para a Adutora-1 na nova configuração do sistema.

Adutora-1	
Comprimento total (L)	1062m
Diametro externo (DE)	163mm
Espessura das paredes (e)	8,6mm
Diâmetro interno ($D_i = DE - 2e$)	153 mm
Material	Ferro fundido
Coefficiente de rugosidade Hazen W (C) (novo /+20anos)	130 /100
Somatório da perda de carga singular ($\sum k$)	17,12 ($k_{equivalente}$ 109,18)

Para que os controles assim pudessem ser implantados no sistema real é feita a suposição que ao ser reestruturada a estação de bombeamento do anel viário, esta passe a

contar com o acionamento dos GMB via chave *soft-starter*, integradas a novos controladores de nível a serem instalados nos reservatórios.

6.3.4.2 Demanda e consumo do Cenário IV

Para a verificação dos parâmetros neste cenário foram configuradas as duas vazões mais extremas que são a atual vazão e a vazão considerando uma taxa de crescimento de 6% ao ano, Tabela 6.30.

Tabela 6.30 - Resumo dos consumos base inseridos no Cenário IV.

Ano	2013	2032
	Atual	Taxa 6%
Setor 4 (l/s)	2,04	6,55
CentroCampus (l/s)	4,15	13,30
Total (l/s)	6,19	19,84

6.3.4.3 Controles do Cenário IV

Os controles utilizados no Cenário IV estão apresentados na Tabela 6.31. O objetivo dos controles é permitir simular o funcionamento de controladores de nível a serem instalados no interior dos reservatórios, visando assim aproveitar ao máximo o volume dos reservatórios. Os controles também irão simular a operação dos GMB, não entrando em operação no horário de ponta (18 horas às 21 horas), além de evitar que os reservatórios extravasem.

Tabela 6.31 – Controles para o Cenário IV, demanda atual.

Cod. Cont	Controle	Descrição
LC79	IF {"RII" Hydraulic Grade >= 116,89 m} THEN {"MB-1" Pump Status = Off }	Simula o funcionamento da chave boia instalada no RII, desliga o GMB quando o RII atingir o nível máximo
LC145	IF {"RII" Hydraulic Grade <= 115,50 m} THEN {"MB-1" Pump Status = On }	Simula o funcionamento de uma chave boia instalada no RII, ligando a bomba no nível que representa 30% da capacidade útil
LC149	IF {"Clock Time" >= 18:00 } And {"Clock Time" <= 21:00 } THEN {"MB-1" Pump Status = Off }	Desliga os GMB no horário de ponta do consumo de energia elétrica.
LC116	IF {"RIII" Hydraulic Grade >= 86,70 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Closed }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento de um registro boia no interior do RIII, que permite uma variação do volume igual a 70%.
LC154	IF {"RIII" Hydraulic Grade <= 85,00 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Inactive }	
LC186	IF {"RI" Hydraulic Grade <= 49,40 m} THEN {"TCV-4" TCV Status = Inactive }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento de um registro boia no interior do RI, que permite uma variação do volume igual a 70%.
LC187	IF {"RI" Hydraulic Grade >= 50,85 m} THEN {"TCV-4" TCV Status = Closed }	

Tabela 6.32 – Controles para o Cenário IV, demanda taxa de crescimento de 6% a.a..

Cod. Cont	Controle	Descrição
LC116	IF {"RIII" Hydraulic Grade >= 86,70 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Closed }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento de um registro boia no interior do RIII, que permite uma variação do volume igual a 70%.
LC154	F {"RIII" Hydraulic Grade <= 85,00 m} THEN {"TCV-3" TCV Status = Inactive }	
LC186	IF {"RI" Hydraulic Grade <= 49,40 m} THEN {"TCV-4" TCV Status = Inactive }	A associação destes dois comandos simula o funcionamento de um registro boia no interior do RI, que permite uma variação do volume igual a 70%.
LC187	IF {"RI" Hydraulic Grade >= 50,85 m} THEN {"TCV-4" TCV Status = Closed }	
LC149	IF {"Clock Time" >= 18:00 } And {"Clock Time" <= 21:00 } THEN {"MB-1" Pump Status = Off } PRIORITY 5	Desliga os GMB no horário de ponta do consumo de energia elétrica
LC79	IF {"RII" Hydraulic Grade >= 116,89 m} THEN {"MB-1" Pump Status = Off }	Simula o funcionamento de um sensor de nível instalado no RII. Desliga o GMB quando o RII atingir o nível máximo
LC145	IF {"RII" Hydraulic Grade <= 115,89 m} THEN {"MB-1" Pump Status = On }	Simula o funcionamento de um sensor de nível instalado no RII, ligando a bomba no nível que representa 50% da capacidade
LC191	IF {"Clock Time" = 6:00 } Or {"Clock Time" = 16:00 } And {"RII" Hydraulic Grade <= 116,89 m} THEN {"MB-1" Pump Status = On };;	Controle que permite que o reservatório RII inicie o dia cheio e que tenha volume o suficiente para desligar as bombas no horário de ponta da energia elétrica.

6.3.4.4 Resultados do Cenário IV

Os resultados gráficos extraídos do modelo de simulação hidráulica estão apresentados no APÊNDICE E.

Os resultados da simulação considerando a demanda atual são que: o sistema é atendido com apenas um acionamento diário, com duração média de 3,6 horas; a potência consumida diminuiu para 27 kW da mesma forma que a potência instalada passou a ser 33 kW; todos os reservatórios têm o seu volume aproveitado variando o volume de 100% até 30% da capacidade total, onde 30% foi estipulado como margem de segurança para garantir o fornecimento de água mesmo em alguma eventualidade; com relação a nova adutora instalada esta passou a ter uma perda de carga total inferior a 20 m ou seja metade da perda de carga da antiga adutora; e por fim as pressões nos nós de consumo permanecem satisfatórias estão dentro do intervalo estabelecido por norma, Tabela 6.33.

Para a simulação com a demanda relativa à taxa de crescimento igual a 6% a.a. os resultados são que: serão necessários pelo menos três acionamentos diários do GMB, com duração total de 13 horas por dia; a potência consumida diminuiu devido à mudança do ponto de operação da bomba que foi ocasionado pela variação do coeficiente de rugosidade; os reservatórios atendem a demanda continuando com um volume de segurança igual a tem 30% da sua capacidade; a vazão de bombeamento diminuiu devido a alteração do ponto de

operação da bomba o que resultou em uma menor velocidade do fluido na Adutora-1; já com relação às pressões se mantém acima no intervalo adequado.

Tabela 6.33 - Variação da pressão nos nós conforme a variação de consumos do Cenário IV.

Ano	Demanda Atual		Taxa 6%	
	P máx	P mín	P máx	P mín
Setor 4 (mca)	26,8	15,2	26,8	10,8
CentroCampus (mca)	31,7	29,1	31,5	24,3

Analisando-se os dados de consumo de energia, este cenário foi o que apresentou o maior ganho de todos, isso se deve a substituição da Adutora-1 que diminuindo a AMT diminuiu a potência das bombas. Da mesma forma que para os anteriores, neste cenário não foi considerada demanda de ultrapassagem (DU), por consequência, não incidiu no valor de energia o custo por DU. Comparando as duas tarifas simuladas, neste cenário, é possível afirmar que: a tarifa Horo-Sazonal Verde tem um custo energético total menor nas duas demandas estudadas. O custo final para cada 1000 m³ bombeado considerando a tarifa Horo-Sazonal Verde é de R\$ 93 e R\$ 81 para a demanda atual e para a demanda com crescimento populacional de 6% a.a., respectivamente. O decréscimo no custo final para cada 1000 m³ bombeado na demanda com taxa de crescimento populacional pode ser explicado pela alteração do ponto de trabalho da bomba, que por sua vez ocorreu devido a alteração do coeficiente de rugosidade (ver curva do sistema sobre curva da bomba no APÊNDICE E), que induziu a diminuição do consumo médio de energia conforme item 4 da Tabela 6.34.

Por fim, este cenário também foi o que apresentou melhores resultados para os índices de desempenho chegando o mais próximo dos valores ideais teóricos, Tabela 6.35, o que era esperado uma vez que além do sistema de recalque em análise ter sofrido alterações físicas, também foram propostas leis guias de bombeamento que permitiram um melhor aproveitamento de todos os componentes do sistema.

Tabela 6.34 - Resumo dos valores de consumo e custo energético para o Cenário IV, para a demanda atual e para a taxa de crescimento de 6% a.a..

		Demanda Atual			Taxa 6% a.a.		
		Tarifa Convenc.	Tarifa HSV	HS Verde - Convencional	Tarifa Convenc.	Tarifa HSV	HS Verde – Convenc.
1-Tempo de uso	(horas)	1.329,00	1.329,00	1.329,00	4.811,20	4.811,20	0,00
2-Tempo de uso	(%)	15,20	15,20	15,20	54,90	54,90	0,00
3-Volume total bombeado	(m³)	97.599,40	97.599,40	97.599,40	309.815,93	309.815,93	0,00
4-Consumo de energia médio	(kW)	27,30	27,30	27,30	24,20	24,20	0,00
5-Energia total usada	(kWh)	36.313,50	36.313,50	36.313,50	116.460,60	116.460,60	0,00
6-Custo com consumo de energia sem demanda	(R\$/ano)	5.116,60	5.755,20	5.116,60	16.409,30	21.789,80	5.380,50
7-Consumo de energia diário	(kWh/dia)	99,50	99,50	99,50	319,10	319,10	0,00
8-Demanda contratada	(kW)	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	0,00
9-Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	34,45	34,45	8,42	-26,03
10-Custo total Demanda	(R\$/Ano)	13.642,20	3.334,32	13.642,20	13.642,20	3.334,32	-10.307,88
11-Máximo valor de demanda lido	(kW)						0,00
12-Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	103,35	103,35	25,26	-78,09
14-Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-Custo total de energia (consumo + demanda)	(R\$/Ano)	18.758,80	9.089,52	18.758,80	30.051,50	25.124,12	-4.927,38
16-Custo energia por dia	(R\$/dia)	51,39	24,90	51,39	82,33	68,83	-13,50
17-Custo final para cada 1000 m³ bombeado	(R\$/1000m³)	192,20	93,13	192,20	97,00	81,09	-15,90

Tabela 6.35 - Indicadores de desempenho do Cenário IV para demanda atual e taxas de crescimento de 6% a.a..

Dados de entrada		Demanda Atual		Taxa 6%		
		Valores do modelo	Valor ideal teórico	Valores do modelo	Valor ideal teórico	
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06	1,06	1,06	
Desnível Geométrico	m	67,80	67,80	67,80	67,80	
Altura Manométrica Total	mca	90,00	67,80	90,00	67,80	
Rendimento da bomba	%	65%	100%	65%	100%	
Vazão	m ³ /s	0,0190	0,0190	0,0190	0,0190	
Volume bombeado por ano	m ³ /ano	97.599,40	97.599,40	309.815,93	309.815,93	
Tempo de bombeamento	h/ano	1.329,00	1.329,00	4.811,20	4.811,20	
Potência média (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kW	27,30	12,64	24,20	12,64	
Energia consumida (Dado do modelo <i>versus</i> Ideal teórica)	kWh	36.313,50	16.794,89	116.460,60	60.800,30	
Indicadores	Fonte (Sigla)		Valor encontrado	Valores de referência	Valor encontrado	Valores de referência
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m ³	0,372	0,172	0,376	0,196
Consumo Específico Normalizado de Energia	IWA (Ph5)	kWh/m ³ /100m	0,413	0,254	0,418	0,289
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	38,11	74,97	38,11	74,97
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEE _L)	kWh/m ³ /m	0,350	0,162	0,354	0,185

6.3.4.5 Estimativa de custos para a nova configuração do sistema

Os valores resultantes para a instalação de uma nova Adutora-1, substituição dos atuais GMB, do barrilete de sucção e de recalque, a implantação de controladores de nível e equipamentos de acionamento das bombas (neste foi considerar o custo de uma *soft-starter*) são apresentados na Tabela 6.37, em que também é feita uma análise, em valor presente, dos gastos com energia no sistema atual e no sistema com as alterações propostas nesta pesquisa.

Para a obtenção do custo final foram utilizados:

- I. Valores de investimentos dos novos GMB das estações de bombeamento foram obtidos através de cotação feita para os representantes da bomba escolhida como paradigma;
- II. Os valores de investimentos a realizar nas linhas de recalque resultaram da aplicação dos valores unitários (R\$/m) praticados atualmente em Porto Alegre;
- III. Os investimentos para a instalação dos GMB e da nova adutora bem como dos itens acessórios (medidores de nível e acionamento dos GMB) foram considerados como estando inclusos na taxa de 30% do custo dos GMB mais tubulação;
- IV. Os custos operacionais anuais (operação e manutenção), exclusive a energia elétrica, foram assumidos como sendo iguais a 5% do investimento para o sistema existente e 2% para o sistema proposto, o que representa uma despesa de R\$ 1.798,45/mês e R\$ 179,38/ mês, respectivamente;
- V. Os valores anuais dos gastos com energia elétrica foram obtidos das simulações considerando o consumo de energia para o ano zero como sendo o necessário para atender a demanda atual e a energia consumida no último ano igual ao consumo quando a população tiver crescido a uma taxa igual a 6%a.a. até o ano de 2032. Para os anos intermediários, foi considerado um valor incremental anual igual à diferença entre o valor no ano zero e a do último ano.
- VI. Para o cálculo do valor presente do custo da energia elétrica, utilizou-se a Equação 3.9, considerando o taxa de juros (i) anual igual a 12% e a taxa de aumento da energia elétrica (e) igual a 6%a.a.. Já o valor presente da manutenção e operação do sistema foi calculado ano a ano partir da equação 6.1, onde a taxa de juros manteve-se em 12%a.a..

$$F_{VP} = \frac{1}{(1 + i)^n} \quad 6.1$$

Tabela 6.36 – Previsão dos investimentos para a implantação do novo sistema de recalque no Campus com a adutora em FoFo.

	Investimentos (R\$)		
	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Conjunto motobomba	2 unidades	R\$ 13.182,00	R\$ 26.364,00
Tubulação de FoFo	1062 m	R\$ 287,81	R\$ 305.657,70
Acessórios e Instalação	30%		R\$ 99.606,51
		Total	R\$ 431.628,22

Tabela 6.37 – Previsão de custos com energia, manutenção e operação do atual sistema e do sistema com as modificações propostas.

Ano	EBA Custos (R\$)				Investimentos
	Sist Atual		Sist Novo		
	Energia Elétrica	Oper/Man (5% Inv.)	Energia Elétrica	Oper/Man (2% Inv.)	
0					431.628,22
1	21.562	21.581,41	9.090	8.632,56	
2	24.877	21.581,41	9.933	8.632,56	
3	28.192	21.581,41	10.777	8.632,56	
4	31.508	21.581,41	11.621	8.632,56	
5	34.823	21.581,41	12.465	8.632,56	
6	38.138	21.581,41	13.309	8.632,56	
7	41.454	21.581,41	14.153	8.632,56	
8	44.769	21.581,41	14.997	8.632,56	
9	48.085	21.581,41	15.841	8.632,56	
10	51.400	21.581,41	16.685	8.632,56	
11	54.715	21.581,41	17.529	8.632,56	
12	58.031	21.581,41	18.373	8.632,56	
13	61.346	21.581,41	19.217	8.632,56	
14	64.661	21.581,41	20.061	8.632,56	
15	67.977	21.581,41	20.904	8.632,56	
16	71.292	21.581,41	21.748	8.632,56	
17	74.607	21.581,41	22.592	8.632,56	
18	77.923	21.581,41	23.436	8.632,56	
19	81.238	21.581,41	24.280	8.632,56	
20	84.553	21.581,41	25.124	8.632,56	
21	87.869	21.581,41	25.968	8.632,56	
22	91.184	21.581,41	26.812	8.632,56	
23	94.499	21.581,41	27.656	8.632,56	
24	97.815	21.581,41	28.500	8.632,56	
25	101.130	21.581,41	29.344	8.632,56	
26	104.446	21.581,41	30.188	8.632,56	
27	107.761	21.581,41	31.032	8.632,56	
28	111.076	21.581,41	31.876	8.632,56	
29	114.392	21.581,41	32.719	8.632,56	
30	117.707	21.581,41	33.563	8.632,56	
VALOR PRESENTE	343.227,00	173.121,89	104.673,41	69.248,76	431.628,22

CUSTO COMPARATIVO: (343.227,00 + 173.121,89) - (104.673,41 + 69.248,76 + 431.628,22) = -89.201,49

O estudo financeiro revela que mesmo com a diminuição no consumo e, portanto, nos gastos financeiros com a energia elétrica, para 30 anos de operação do novo sistema, não é

obtido retorno do capital. O que torna tão elevado o custo do investimento inicial é o preço da adutora de ferro fundido. A opção do material da adutora em ferro foi feita à luz da segurança do sistema, uma vez que neste trabalho, não foi avaliado o efeito que o transiente hidráulico teria. Porém, acredita-se que se uma análise mais detalhada fosse desenvolvida considerando as pressões máximas e mínimas que o sistema em estudo está sujeito é possível substituir o material da Adutora-1 por PVC DEFoFo o que reduziria o investimento inicial em 33% (Tabela 6.38), considerando o preço por metro do PVC DEFoFo DN 150 igual a R\$ 186,00 (preço praticado em Porto Alegre em outubro/2013).

Tabela 6.38 – Previsão dos investimentos para a implantação do novo sistema de recalque no Campus com a adutora em PVC DEFoFo.

	Investimentos (R\$)		
	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Conjunto motobomba	2 unidades	R\$ 13.182,00	R\$ 26.364,00
Tubulação de PVC DEFoFo	1062 m	R\$ 186,00	R\$ 197.532,00
Acessórios e Instalação	30%		R\$ 67.168,80
		Total	R\$ 291.064,80

Ao se implantar a Adutora-1 em PVC, ao invés de ferro, sabe-se que a potência diminuiria ainda mais, uma vez que o PVC oferece menos atrito para o fluido, porém mesmo utilizando-se, para fins comparativos, os valores de consumo de energia apresentados na Tabela 6.37, os custo final para um período igual a 30 anos mostra que o investimento inicial é recuperado e ainda apresenta folga, Tabela 6.39.

Tabela 6.39 – Previsão de custos com energia, manutenção e operação do atual sistema e do sistema com as modificações propostas.

Ano	EBA Custos (R\$)				
	Energia Elétrica	Oper/Man	Energia Elétrica	Oper/Man	Investimentos
	Sist Atual	5% Inv.	Sist Nova	2,0% Inv.	
0					291.064,80
1	21.562	14.553,24	9.090	5.821,30	
2	24.877	14.553,24	9.933	5.821,30	
3	28.192	14.553,24	10.777	5.821,30	
4	31.508	14.553,24	11.621	5.821,30	
5	34.823	14.553,24	12.465	5.821,30	
6	38.138	14.553,24	13.309	5.821,30	
7	41.454	14.553,24	14.153	5.821,30	
8	44.769	14.553,24	14.997	5.821,30	
9	48.085	14.553,24	15.841	5.821,30	
10	51.400	14.553,24	16.685	5.821,30	
11	54.715	14.553,24	17.529	5.821,30	
12	58.031	14.553,24	18.373	5.821,30	
13	61.346	14.553,24	19.217	5.821,30	
14	64.661	14.553,24	20.061	5.821,30	
15	67.977	14.553,24	20.904	5.821,30	
16	71.292	14.553,24	21.748	5.821,30	
17	74.607	14.553,24	22.592	5.821,30	
18	77.923	14.553,24	23.436	5.821,30	
19	81.238	14.553,24	24.280	5.821,30	
20	84.553	14.553,24	25.124	5.821,30	
21	87.869	14.553,24	25.968	5.821,30	
22	91.184	14.553,24	26.812	5.821,30	
23	94.499	14.553,24	27.656	5.821,30	
24	97.815	14.553,24	28.500	5.821,30	
25	101.130	14.553,24	29.344	5.821,30	
26	104.446	14.553,24	30.188	5.821,30	
27	107.761	14.553,24	31.032	5.821,30	
28	111.076	14.553,24	31.876	5.821,30	
29	114.392	14.553,24	32.719	5.821,30	
30	117.707	14.553,24	33.563	5.821,30	
VALOR PRESENTE	343.227,00	116.743,27	104.673,41	46.697,31	291.064,80

CUSTO COMPARATIVO: (343.227,00 + 116.743,27) - (104.673,41 + 46.697,31 + 291.064,80) = 17.534,75

7. CONCLUSÕES

Os dados obtidos em campo, a criação de quatro cenários comparativos e a análise dos indicadores de desempenho permitiram desenvolver o diagnóstico hidroenergético para a estação de bombeamento do anel viário do Campus do Vale.

Com o diagnóstico foi possível identificar os pontos críticos descritos a seguir.

A determinação da curva de demanda como função das sazonalidades de consumo pela qual a área em estudo está sujeita é de fundamental importância para um correto diagnóstico hidroenergético. O período de inverno é o que tem um consumo mais elevado, os feriados e fim de semana tem uma demanda média de aproximadamente 15% da demanda em um dia letivo e o consumo per capita médio encontrado para a área em estudo foi de 23,6 l/hab.dia.

Na Adutora-1, que trabalha ligada ao recalque, foi identificado um valor muito elevado para a perda de carga, porém, neste trabalho, não foi possível verificar se a grande perda de carga é devido a perdas lineares ou singulares. Independente de qual parcela tem um peso maior o que fica claro é que há um grande desperdício de energia que poderia ser evitado. Em termos de consumo de energia, poderia haver uma diminuição da ordem de 176.614 kW o que corresponde a 59.409 mil Reais para o ano de 2032, valor obtido da comparação entre o Cenário II e Cenário IV na taxa de crescimento de 6% a.a..

O baixo nível de instrumentação acarreta tanto o desperdício de energia como de água, em função do RI não contar com um sistema de controle de nível o que ocasiona com frequência o extravasamento da água. Os resultados encontrados no Cenário II permitem afirmar também que a estação em estudo não atenderia a um consumo médio mensal superior a 24.237 m³ (consumo correspondente ao ano de 2032 na taxa de crescimento de 6% a.a.), se for mantida a atual forma de bombeamento, sem controle automatizado para o abastecimento do reservatório RI, sendo necessárias, portanto, algumas intervenções na atual estação. Com relação ao acionamento dos GMB se constatou que o revezamento entre os acionamentos dos GMB não é prática usual, apesar de estes estarem ligados em paralelo devendo funcionar um como reserva do outro. Também se identificou que não há controle algum para evitar que as bombas sejam operadas no horário de ponta de energia elétrica.

Ao se propor a substituição da Adutora-1, implicou na troca do GMB e, desta forma, também foram sugeridas as instalações de instrumentos que permitam uma maior automatização na estação de recalque objeto desta pesquisa. Com um sistema mais autônomo,

novas formas de operação seriam passíveis de serem implantadas (Cenário IV) resultando em um sistema mais econômico e eficiente. Os resultados encontrados em termos de consumo de energia e em função dos índices de desempenho estão apresentados nas Tabela 7.1 e Tabela 7.2, respectivamente, para os cenários estudados com a demanda atual.

Conforme os dados da Tabela 7.1, conclui-se que: mesmo o tempo de bombeamento no Cenário III sendo superior ao tempo encontrado no Cenário I o custo final para cada 1000 m³ bombeados diminui em 33% do Cenário I para o Cenário III na tarifa Horo-Sazonal Verde que é a tarifa mais aconselhável para o sistema em estudo. O que difere estes cenários é apenas a forma de bombear a água (leis de bombeamento), aproveitando melhor o volume dos reservatórios e evitando que o GMB opere no horário de ponta da energia elétrica. Ao analisar os índices de desempenho (Tabela 7.2) do Cenário I e do Cenário III, identificou-se que mesmo tendo economizado com o custo da energia elétrica o Cenário III apresentou valores de indicadores mais distantes do ideal teórico, uma diferença absoluta pequena. Então se entende que a melhora dos indicadores de desempenho analisados, por serem índices de desempenho técnicos e não financeiros, não repercute necessariamente em economicidade para o sistema.

O Cenário IV é o que apresenta os melhores valores tanto em termos de consumo de energia, financeiros e nos índices de desempenho. Na comparação do Cenário I com o Cenário IV, o tempo de bombeamento diminui em 15% e o custo final para cada 1000 m³ bombeado diminui em 68%, ao comparar na tarifa Horo-Sazonal Verde. Com relação aos índices de desempenho, todos apresentaram melhoras da ordem de 44% a 56%, ficando mais próximos do valor ideal teórico.

Por fim são apresentados, nas Tabela 7.3 e Tabela 7.4, os resumos dos resultados para as demandas em 2032 considerando a taxa de crescimento populacional igual a 6% a.a.. Os resultados encontrados apontam que o tempo de bombeamento diminuiu em 7% no Cenário IV em comparação ao Cenário II enquanto o consumo de energia teve uma redução de 60%, essa diferença tão acentuada se deve às leis de bombeamento e principalmente à reformulação que foi proposta para o sistema o que permitiu diminuir as perdas de carga na adutora e por tanto diminuiu a potência dos grupos motobombas. O custo final para cada 1000 m³ bombeados diminuí em 70% do Cenário II para o Cenário IV na tarifa Horo-Sazonal. Com relação aos índices de desempenho da Tabela 7.4, é notório que a melhora nos valores dos indicadores de desempenho se mantiveram para os cenários com demandas futuras, sendo que os valores ficaram mais próximos do valor ideal de 46% até 60%, na relação dos índices do Cenário IV com os índices do Cenário II.

Mesmo o Cenário IV apresentando indicadores de desempenho mais próximos dos indicadores ideais teóricos, diminuição no consumo e nos gastos com a energia elétrica o estudo financeiro revela que, para 30 anos de operação do novo sistema, não é obtido retorno do capital ao se implantar a Adutora-1 utilizando como material o ferro fundido. Este fato traz à tona a importância de, ao se desenvolver projetos em sistemas de recalque, desenvolver paralelamente a este a análise econômica e, principalmente, fazer a avaliação hidroenergética da estação de recalque, ainda em nível de projeto.

Conclui-se que, o desenvolvimento deste trabalho, permitiu se delinear uma curva característica de consumo de água para o Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dado essencial e imprescindível, para a correta implantação de um diagnóstico hidroenergético e de leis guias para o bombeamento de água. Os cenários criados e modelados, via simulador hidráulico, possibilitaram verificar o alcance da estação de recalque do Campus do Vale, o consumo anual de energia elétrica frente ao aumento da demanda de água, o melhor enquadramento tarifário, propor e validar diferentes formas de recalque da água e obter dados para a aplicação dos indicadores de desempenho de estações de recalque. Estes mesmos procedimentos podem ser aplicados em outras estações de bombeamento de água nas quais se deseja desenvolver um diagnóstico hidroenergético.

Esta pesquisa salientou a importância da aplicação dos índices de desempenho atrelados à simulação hidráulica e a análise econômica para o desenvolvimento de diagnósticos hidroenergéticos em estações de recalque, além de enfatizar a necessidade de que se aplique o conceito de eficiência energética e hidráulica desde a fase de projeto. No caso de estações de bombeamento em que este conceito não foi contemplado, se deve aplicá-lo quando forem efetuadas manutenções, recuperações ou reabilitação das mesmas desenvolvendo-se desta forma um plano de ações capaz de permitir que a mesma fique economicamente viável e eficiente energeticamente e hidraulicamente.

Tabela 7.1 – Resultado da simulação para os cenários considerando a demanda igual a atual.

		Cenário I Demanda Atual			Cenário III Demanda Atual			Cenário IV Demanda Atual		
		Tarifa Convencional	Tarifa Horo-Sazonal Verde	HS Verde - Convencional	Tarifa Convencional	Tarifa Horo-Sazonal Verde	HS Verde - Convencional	Tarifa Convencional	Tarifa Horo-Sazonal Verde	HS Verde - Convencional
1 - Tempo de uso	(horas)	1.572,20	1.572,20	-	1.599,20	1.599,20	-	1.329,00	1.329,00	-
2 - Tempo de uso	(%)	17,90	17,90	-	18,30	18,30	-	15,20	15,20	-
3 - Volume total bombeado	(m³)	98.286,26	98.286,26	-	101.100,42	101.100,42	-	97.599,40	97.599,40	-
4 - Consumo de energia médio	(kW)	58,00	58,00	-	58,60	58,60	-	27,30	27,30	-
5 - Energia total usada	(kWh)	91.263,40	91.263,40	-	93.681,10	93.681,10	-	36.313,50	36.313,50	-
6 - Custo com consumo de energia	(R\$/ano)	12.859,00	21.561,70	8.702,70	13.199,70	12.639,40	- 560,30	5.116,60	5.755,20	638,60
7 - Consumo de energia diário	(kWh/dia)	250,00	250,00	-	256,70	256,70	-	99,50	99,50	-
8 - Demanda contratada	(kW)	73,00	73,00	-	73,00	73,00	-	33,00	33,00	-
9 - Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	- 26,03	34,45	8,42	- 26,03	34,45	8,42	- 26,03
10 - Custo total Demanda	(R\$/Ano)	30.178,20	7.375,92	- 22.802,28	30.178,20	7.375,92	- 22.802,28	13.642,20	3.334,32	- 10.307,88
11 - Máximo valor de demanda lido	(kW)	73,00	73,00	-	73,00	73,00	-	-	-	-
12 - Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 - Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	- 78,09	103,35	25,26	- 78,09	103,35	25,26	- 78,09
14 - Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 - Custo total de energia	(R\$/Ano)	43.037,20	28.937,62	- 14.099,58	43.377,90	20.015,32	- 23.362,58	18.758,80	9.089,52	- 9.669,28
16 - Custo energia por dia	(R\$/dia)	117,91	79,28	- 38,63	118,84	54,84	- 64,01	51,39	24,90	- 26,49
17 - Custo final para cada 1000 m³ bombeado	(R\$ /1000 m³)	437,88	294,42	- 143,45	429,06	197,97	- 231,08	192,20	93,13	- 99,07

Tabela 7.2 – Resultado dos índices de desempenho para os cenários estudados com a deamanda atual.

Dados de entrada		Cenário I –Demanda Atual			Cenario III –Demanda Atual			Cenario IV –Demanda Atual			
		Valores do modelo	Valor ideal teórico		Valores do modelo	Valor ideal teórico		Valores do modelo	Valor ideal teórico		
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06		1,06	1,06		1,06	1,06		
Desnivel Geometrico	m	67,80	67,80		67,80	67,80		67,80	67,80		
Altura Manométrica Total	mca	115,00	67,80		115,00	67,80		90,00	67,80		
Rendimento da bomba	%	0,36	1,00		0,36	1,00		0,65	1,00		
Vazão	m³/s	0,02	0,02		0,02	0,02		0,02	0,02		
Volume bombeado por ano	m³/ano	98.286,26	98.286,26		101.100,42	101.100,42		97.599,40	97.599,40		
Tempo de bombeamento	h/ano	1.572,20	1.572,20		1.599,20	1.599,20		1.329,00	1.329,00		
Potência média (Dado do modelo versus Ideal teórica)	kW	58,00	11,64		58,60	11,64		27,30	12,64		
Energia consumida (Dado do modelo versus Ideal teórica)	kWh	91.263,40	18.299,72		93.681,10	18.613,99		36.313,50	16.794,89		
Indicadores	Fonte (Sigla)		Valor encontrado (a)	Valores de referência (b)	(a/b)	Valor encontrado (a)	Valores de referência (b)	(a/b)	Valor encontrado (a)	Valores de referência (b)	(a/b)
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m³	0,9285	0,1862	4,9871	0,9266	0,1841	5,0328	0,3721	0,1721	2,1622
Consumo Específico Normalizado de Energia Elétrica	IWA (Ph5)	kWh/m³/100m	0,8074	0,2746	2,9402	0,8058	0,2716	2,9672	0,4134	0,2538	1,6288
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	20,2766	74,9744	0,2704	20,2766	74,9744	0,2704	38,1122	74,9744	0,5083
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEEL)	kWh/m³/m	0,8743	0,1753	4,9871	0,8725	0,1734	5,0328	0,3503	0,1620	2,1622

Tabela 7.3 – Resultado da simulação para os cenários considerando um crescimento de 6% a.a.

		Cenário II Taxa 6% a.a.			Cenário IV Taxa 6% a.a.		
		Tarifa Convencional	Tarifa Sazonal Verde	Horo- Verde - HS Convencional	Tarifa Convencional	Tarifa Sazonal Verde	Horo- Verde - HS Convencional
1 - Tempo de uso	(horas)	5.159,00	5.159,00	-	4.811,20	4.811,20	-
2 - Tempo de uso	(%)	58,90	58,90	-	54,90	54,90	-
3 - Volume total bombeado	(m ³)	315.536,05	315.536,05	-	309.815,93	309.815,93	-
4 - Consumo de energia médio	(kW)	56,80	56,80	-	24,20	24,20	-
5 - Energia total usada	(kWh)	293.075,40	293.075,40	-	116.460,60	116.460,60	-
6 - Custo com consumo de energia	(R\$/ano)	41.294,30	77.177,50	35.883,20	16.409,30	21.789,80	5.380,50
7 - Consumo de energia diário	(kWh/dia)	802,90	802,90	-	319,10	319,10	-
8 - Demanda contratada	(kW)	73,00	73,00	-	33,00	33,00	-
9 - Custo Demanda	(R\$/kW)	34,45	8,42	- 26,03	34,45	8,42	- 26,03
10 - Custo total Demanda	(R\$/Ano)	30.178,20	7.375,92	- 22.802,28	13.642,20	3.334,32	- 10.307,88
11 - Máximo valor de demanda lido	(kW)	73,00	73,00	-	-	-	-
12 - Demanda Ultrapassagem (DU)	(kW)	-	-	-	-	-	-
13 - Custo da demanda de ultrapassagem	(R\$/kW)	103,35	25,26	- 78,09	103,35	25,26	- 78,09
14 - Custo anual com a DU	(R\$/Ano)	-	-	-	-	-	-
15 - Custo total de energia	(R\$/Ano)	71.472,50	84.553,42	13.080,92	30.051,50	25.124,12	- 4.927,38
16 - Custo energia por dia	(R\$/dia)	195,82	231,65	35,84	82,33	68,83	- 13,50
17 - Custo final para cada 1000 m ³ bombeado	(R\$ /1000 m ³)	226,51	267,97	41,46	97,00	81,09	- 15,90

Tabela 7.4 – Resultado dos índices de desempenho para os cenários estudados com a deamanda para taxa de crescimento de 6%a.a..

Dados de entrada		Cenário II –Taxa 6%			Cenario IV –Taxa 6%			
		Valores encontrados no modelo	Valor ideal teórico		Valores encontrados no modelo	Valor ideal teórico		
Comprimento Adutora-1	km	1,06	1,06		1,06	1,06		
Desnivel Geometrico	m	67,80	67,80		67,80	67,80		
Altura Manométrica Total	mca	115,00	67,80		90,00	67,80		
Rendimento da bomba	%	0,36	1,00		0,65	1,00		
Vazão	m³/s	0,02	0,02		0,02	0,02		
Volume bombeado por ano	m³/ano	315.536,05	315.536,05		309.815,93	309.815,93		
Tempo de bombeamento	h/ano	5.159,00	5.159,00		4.811,20	4.811,20		
Potência média (Dado do modelo versus Ideal teórica)	kW	56,80	11,64		24,20	12,64		
Energia consumida (Dado do modelo versus Ideal teórica)	kWh	293.075,40	60.048,52		116.460,60	60.800,30		
Indicadores	Fonte (Sigla)		Valor encontrado (a)	Valores de referência (b)	(a/b)	Valor encontrado (a)	Valores de referência (b)	(a/b)
Consumo Específico de Energia Elétrica	SNIS (IN058)	kWh/m³	0,9288	0,1903	4,8806	0,3759	0,1962	1,9155
Consumo Específico Normalizado de Energia Elétrica	IWA (Ph5)	kWh/m³/100m	0,8077	0,2807	2,8775	0,4177	0,2894	1,4430
Rendimento de Conjunto Motobomba	LENHS (η)	%	20,2766	74,9744	0,2704	38,1122	74,9744	0,5083
Consumo Específico por Comprimento de Adutora	LENHS (CEEL)	kWh/m³/m	0,8746	0,1792	4,8806	0,3540	0,1848	1,9155

8. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Visando contribuir com as demais pesquisas a serem realizadas nesta mesma linha são apontadas algumas recomendações:

- I. Utilização e aquisição de dados de consumo de água em todas as estações do ano, objetivando adquirir a curva de consumo por estação, uma vez que neste estudo a curva de consumo foi levantamento em campo em duas estações, sendo nas demais estações reproduzida em seu formato e tendo o volume consumido igual ao registrado no hidrômetro da rua Bento Gonçalves;
- II. Correlacionar o consumo em função da temperatura do dia;
- III. Buscar identificar se há vazamentos ou fugas de água no local de estudo;
- IV. Para sistemas de bombeamento muito antigo recomenda-se que sejam feitas medições que auxiliem na escolha do valor do coeficiente de rugosidade a ser usado;
- V. As futuras pesquisas que utilizaram a estação de bombeamento do Campus do Vale devem buscar identificar a causa da elevada distorção entre a curva de performance da bomba dada pelo fabricante e a curva experimental obtida;
- VI. Para trabalhos a serem desenvolvidos tendo como área de estudo o sistema aqui estudado recomenda-se que sejam feitas segmentações nas adutoras, principalmente na Adutora-1 que trabalha ligada ao recalque, para a identificação de qual parcela da perda de carga (linear ou singular) está provocando uma altura manométrica total tão elevada. Caso não seja identificada nenhuma peça singular ou alteração de diâmetro ao longo da adutora que possam provocar algum tipo de estrangulamento, então a possível causa da grande perda de carga pode ser atribuída à diminuição da seção útil da tubulação devido a encrustamentos decorrentes do envelhecimento e de manutenção inadequada nas adutoras.
- VII. Verificar as melhoras encontradas ao se propor novas leis guias de bombeamento, valendo-se de técnicas de otimização como programação linear, não linear e dinâmica e/ou algoritmos genéticos.
- VIII. Identificar novos índices ou correlacionar os índices operacionais existente com índices econômicos que possibilitem avaliar tanto hidroenergeticamente como financeiramente estações de recalque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

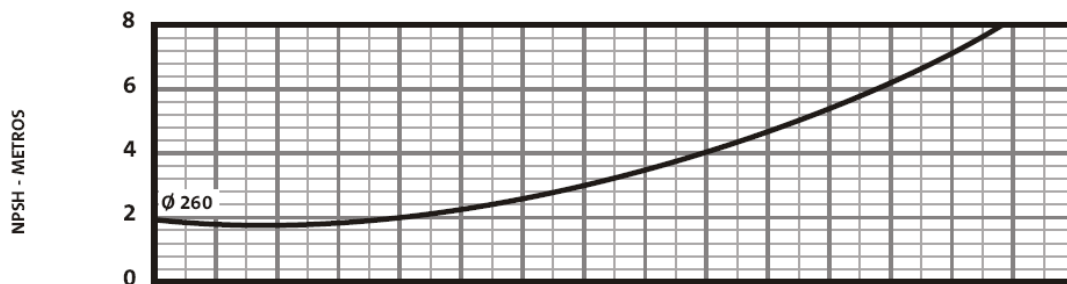
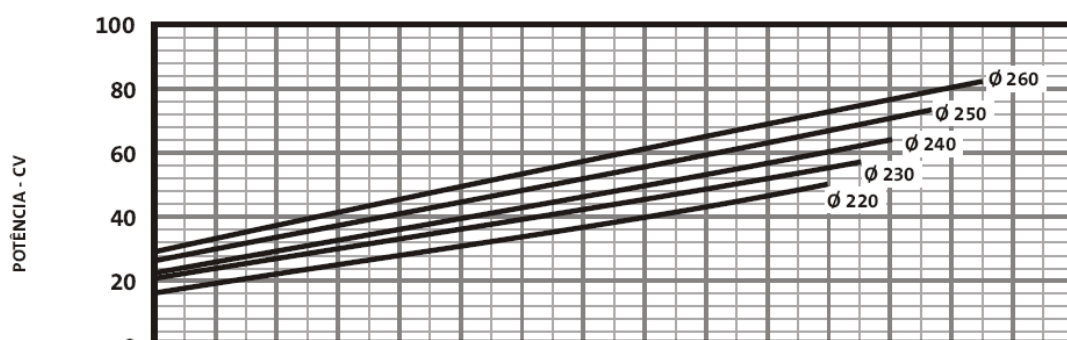
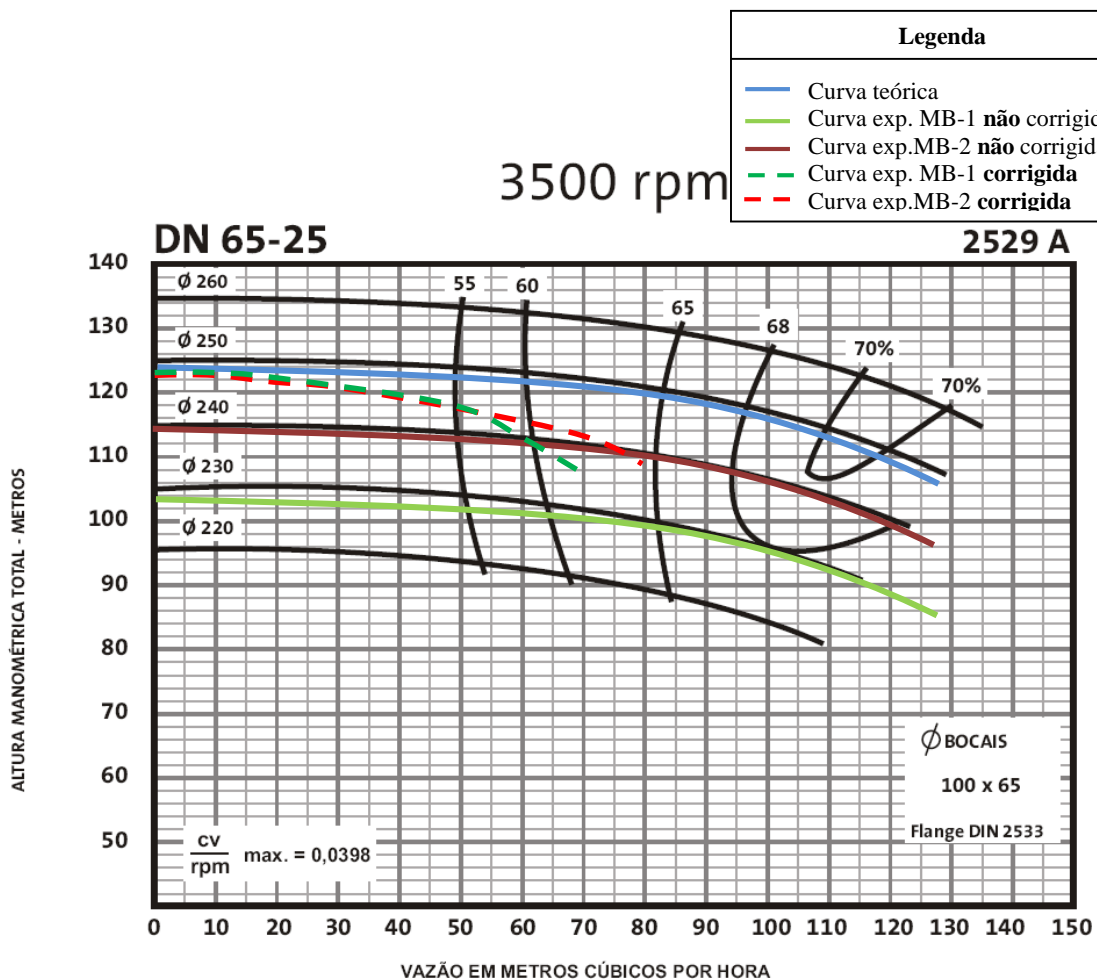
- ABAE- Associação Brasileira Água e Energia. *Perspectivas para água e energia no Brasil*; 2006. Disponível em: <[http:// www.abae.org](http://www.abae.org) >. Acesso em novembro de 2008.
- ALLIANCE – Aliança para Conservação de Energia. Água e Energia. *Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais*; 2002. Disponível em: <http://www.abae.org/> Acesso em: dezembro de 2008.
- ALMEIDA, J. F. e ACCORSI, A.C. *Substituição de trecho de adutora resulta em economia de 50% na conta de energia elétrica*; São Lourenço do Sul: CORSAN, 2006.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: maio de 2013.
- ANEEL. *Cadernos Temáticos ANELL: Tarifas de fornecimento de energia elétrica; 2005*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em julho de 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: *Instalação predial de água fria*. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1994.
- AZEVEDO NETTO, J.M. et al. *Manual de Hidráulica*; São Paulo: 8ª Edição, 1998; Pag. 122-125.
- BAHIA, S. R. et al. *Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento*; Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1998; Cap. 2.
- BAPTISTA, M. e LARA, M. *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*; Belo Horizonte: UFMG, 2003.
- BATTISTON, C.C. *Bombas hidráulicas*; Porto Alegre; 2006.
- BRAGA, N. C. *Transformadores e Fator de Potência*, Revista Eletrônica Total nº 134, 2009. Disponível em <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1120>>, acessado em dezembro de 2010.
- CREDER, H. *Instalações elétricas*; Rio de Janeiro: LTC S.A. 1995. Cap. 6.
- COSTA, G.J.C. *Iluminação econômica: cálculo e avaliação*; Porto Alegre: Edipucrs, 1998. Cap. 2.

- DEC- Departamento de Engenharia Civil, *Notas de aula*, 2009. Disponível em <<http://www.dec.ufcg.edu.br>> acessado em Abril de 2010
- GOMES, H .P. *Eficiência hidráulica e energética em saneamento: Análise econômica de projetos*; Rio de Janeiro:ABES, 2005; Cap.1-5.
- _____.*Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias*; João Pessoa: UFPB, 2004; Cap. 1-3.
- _____.*Dimensionamento Econômicos de Instalações de Recalque*. Engenharia Sanitária e Ambiental; Rio de Janeiro, 2001, v.6,n.3; Pag. 108-114.
- _____. (organizador) *Sistemas de bombeamento - Eficiência energética*; João Pessoa: Editora UFPB, 2009.
- HELLER, L. e PÁDUA, V.L. *Abastecimento de água para consumo humano*; Rio de Janeiro: Editora UFMG, 2006.
- HENN, E.L. *Máquinas de fluido*; Santa Maria: Editora UFSM; 2001.
- KLEIN, S.P. Eficiência no uso de energia elétrica no sistema de abastecimento de água de Novo Hamburgo; 2004.
- MACINTYRE, A.J. *Bombas e instalações de bombeamento*; Rio de Janeiro: Editora Guanabara; 1987.
- MAGNIN, Gerard et al. *Gestão Energética Municipal*, 2º Ed; Rio de Janeiro: ELETROBRAS/IBAM, 2004.
- MATHEUS, R. *Conversores de frequência e soft-starters*; Várzea Grande: EJM Engenharia; 2005. Disponível em < www.ejm.com.br>, acessado em fevereiro de 2010.
- MATOS, E.E. *Bombas Centrífugas*; Rio de Janeiro: Petrobras, 1982.
- MENEZES, T. V. et al. Avaliação de projeto de eficiência energética envolvendo qualidade de energia: Estudo de caso da COMUSA,2007.
- MENDES, C.F. Estudo exploratório de programas de uso racional de água em instituições de ensino superior e a pré-implantação no anel viário do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul Dissertação (Mestrado), 2006.
- PROCEL SANEAR. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no Setor de Saneamento*. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/procel/site/areadeatuacao/saneamento>>. Acesso em agosto de 2008.
- REDE LENHS. *Referencial teórico para o curso de diagnóstico hidroenergético*. Capítulo 13. Campo Grande, 2013.

- RODRIGUES, W. *Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água*; Campinas: Universidade Estadual de Campinas Tese (Doutorado), 2007.
- SANTOS, A.H.M. et al. *Conservação de Energia, Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações*; Itajubá, FUPAI, 2006; Cap. 5.
- SAINT GOBAIN, Catálogo do fabricante. Disponível em < <http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/>> acessado em Junho de 2012.
- SNIS – Sistema Nacional de Informação em Saneamento. *Programa de modernização do setor de saneamento, 2003*. Disponível em: <<http://www.snisl.gov.br>>; Acessado em novembro 2008.
- TSUTIYA, M. T. *Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água*; São Paulo: ABES, 2006.
- _____. *Abastecimento de água*; São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- TOLMASQUIM, M.T. e PINGUELLI, R. L. *Tendências da eficiência energética no Brasil*, ENERGE/COPPE/UFRJ, 1998.
- VICENTE, R.V. *Modelo de Operação para centros de controle de sistemas de abastecimento de água Estudo de caso: Sistema adutor metropolitano de São Paulo*; São Paulo, 2005.
- WEG, *Motores: Motores elétricos*; Catálogo do fabricante, 2006. Disponível em <<http://www.weg.net/files/products/4-44.pdf>> acessado em Junho de 2010.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2010. Disponível em <<http://www.ufrgs.br>> acessado em Julho de 2013.
- _____. *Soft-Starters SSW-03 e SSW-04*; Catálogo do fabricante, Disponível em <<http://www.weg.net>> acessado em Junho de 2010.

APÊNDICE A - Curvas características do atual GMB.

Motobomba atual: Série DN65-25 Monobloco da fabricante Mark Grundfos.



Modelo do rotor 4607

APÊNDICE B - Volumes mensais calculados versus volume mensal lido no hidrômetro

Volume calculado a partir da curva característica das MB1 e MB2 sem ajuste e comparado com o volume lido no hidrômetro.

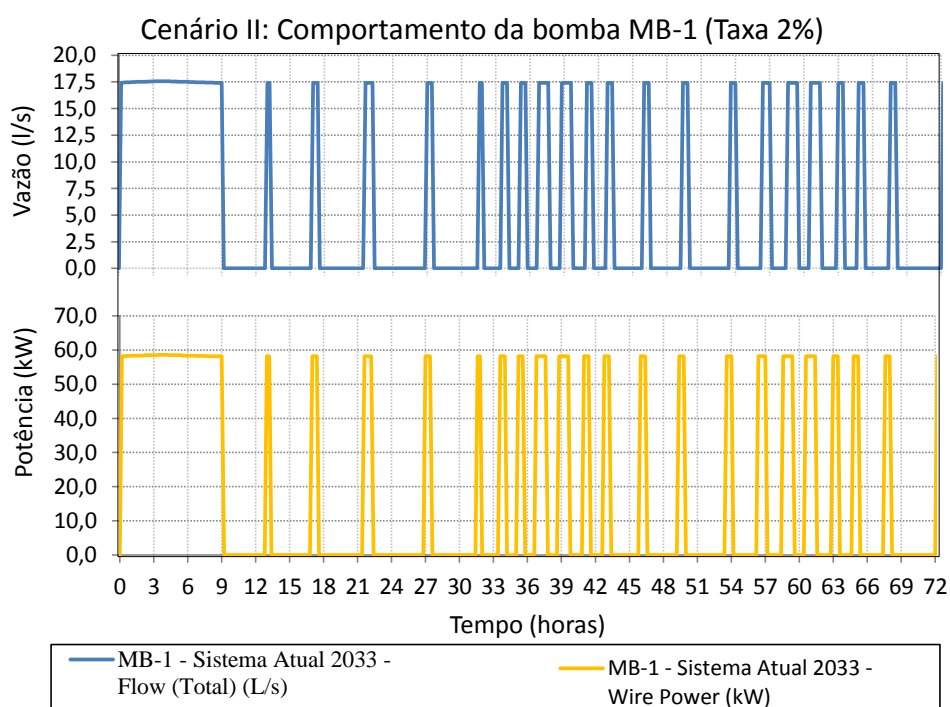
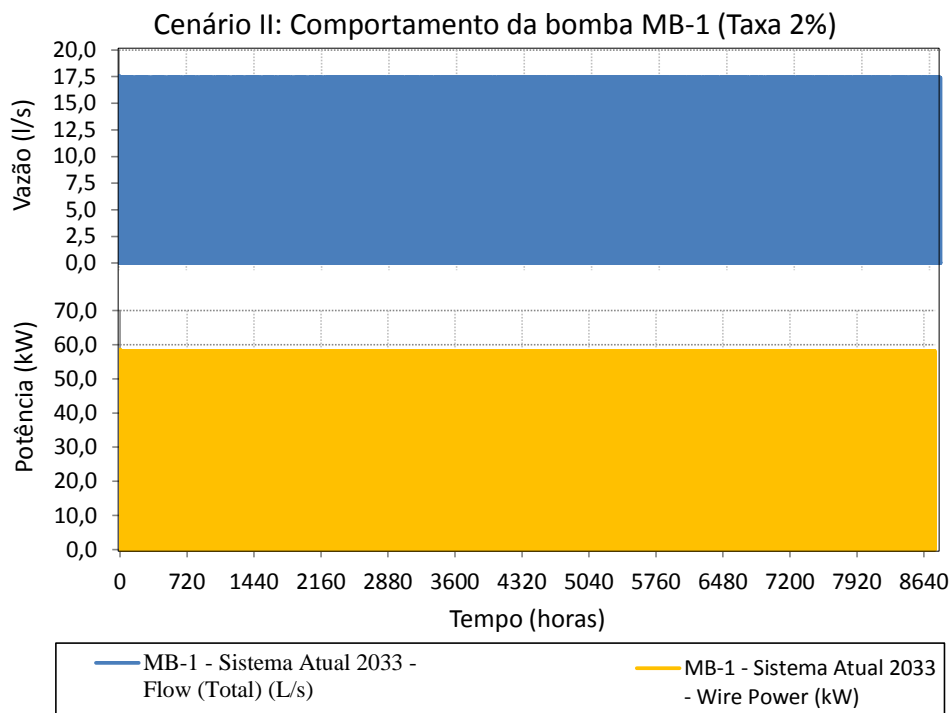
Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³
Dezembro 2010		Janeiro 2011		Fevereiro 2011		Março 2011	
15/12/2010	277,27	01/01/2011	108,34	16/02/2011	288,85	03/03/2011	315,29
16/12/2010	328,57	02/01/2011	63,89	17/02/2011	371,46	04/03/2011	318,11
24/12/2010	145,59	03/01/2011	487,86	18/02/2011	331,03	05/03/2011	337,86
25/12/2010	117,60			19/02/2011	195,35	06/03/2011	209,88
26/12/2010	136,05			20/02/2011	265,25	07/03/2011	220,41
27/12/2010	383,66			21/02/2011	284,95	08/03/2011	152,88
28/12/2010	322,89			22/02/2011	354,84	09/03/2011	185,33
29/12/2010	243,44			24/02/2011	326,83	10/03/2011	241,63
30/12/2010	208,28			25/02/2011	255,16	11/03/2011	373,18
31/12/2010	89,55			26/02/2011	200,05	12/03/2011	337,27
				27/02/2011	334,08	13/03/2011	175,09
				28/02/2011	246,88	14/03/2011	427,24
Somatório	2.252,88		660,10		3.454,73		3.294,18
Consumo médio dia	225,29		220,03		287,89		274,52
Numero dias no mês	31		30		28		31
Total consumo mês	6.983,94		6.600,95		8.061,03		8.509,97
Leitura hidrômetro	8.010		5.244		6.239		7.034
Erro	-15%		21%		23%		17%

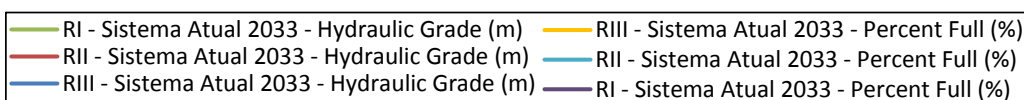
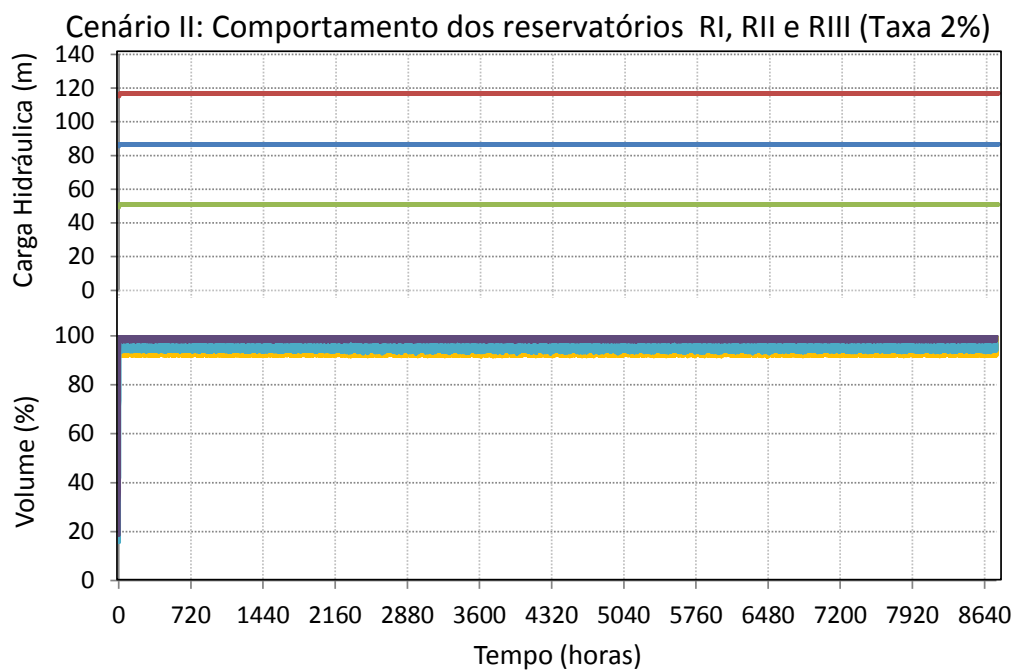
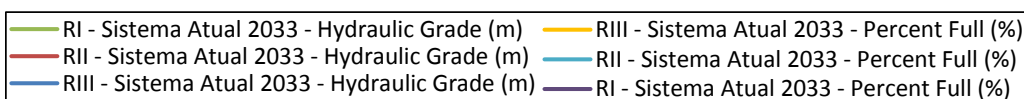
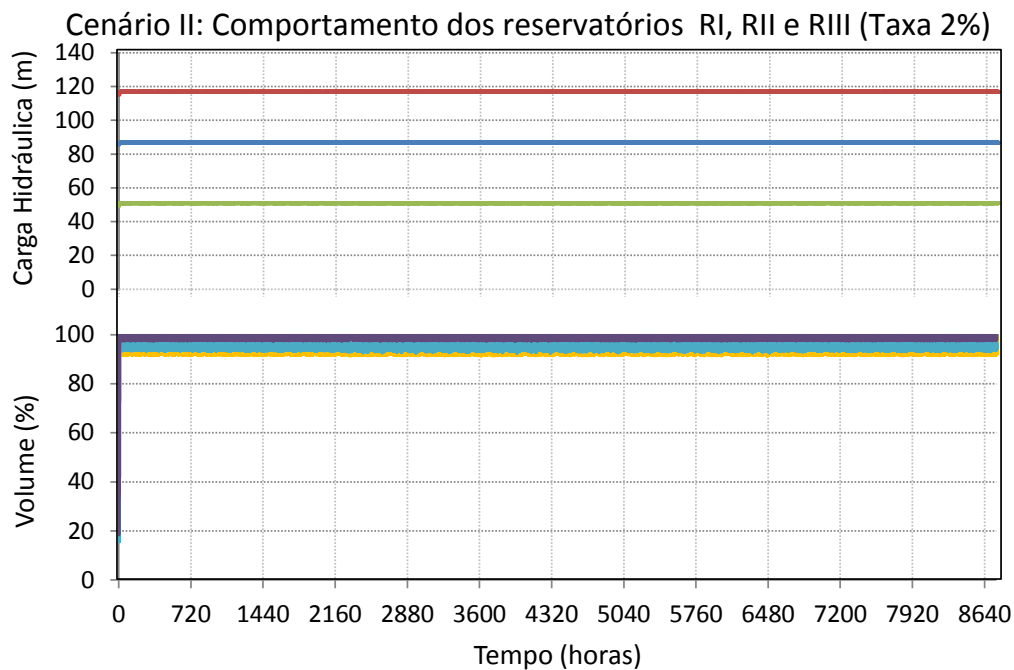
Volume calculado a partir da curva característica das motobombas MB1 e MB2 ajustadas em 42% e 35%, respectivamente, a menos que a vazão fornecida pela curva de performance do fabricante.

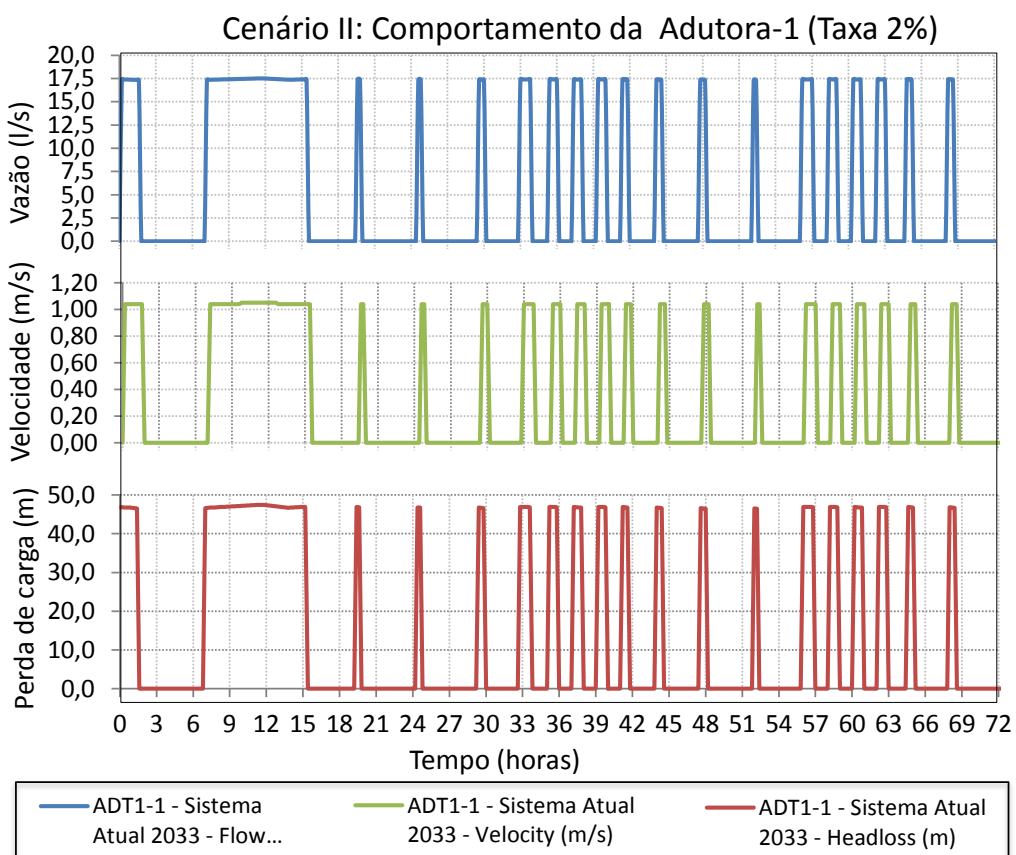
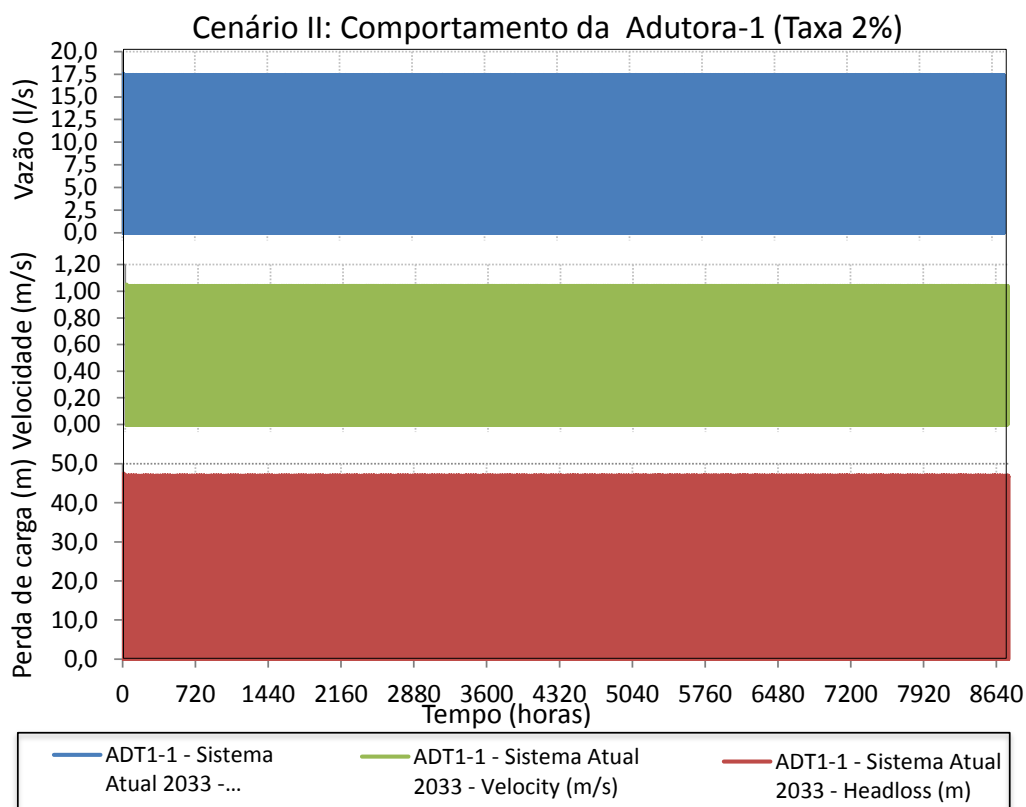
Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³	Dia	Volume total m ³
Dezembro 2010		Janeiro 2011		Fevereiro 2011		Março 2011	
15/12/2010	198,96	01/01/2011	70,58	16/02/2011	201,52	03/03/2011	257,18
16/12/2010	229,09	02/01/2011	44,42	17/02/2011	279,08	04/03/2011	260,43
24/12/2010	104,17	03/01/2011	419,94	18/02/2011	247,70	05/03/2011	280,42
25/12/2010	92,28			19/02/2011	162,58	06/03/2011	200,07
26/12/2010	101,75			20/02/2011	208,32	07/03/2011	188,66
27/12/2010	326,09			21/02/2011	210,68	08/03/2011	124,39
28/12/2010	248,83			22/02/2011	267,17	09/03/2011	143,28
29/12/2010	190,66			24/02/2011	260,84	10/03/2011	185,31
30/12/2010	156,20			25/02/2011	193,78	11/03/2011	298,19
31/12/2010	59,49			26/02/2011	169,75	12/03/2011	264,78
				27/02/2011	239,27	13/03/2011	168,56
				28/02/2011	211,92	14/03/2011	341,20
Somatório	1.707,53		534,95		2.652,61		2.712,47
Consumo médio dia	170,75		178,32		221,05		226,04
Numero dias no mês	31		30		28		31
Total consumo mês	5.293,34		5.349,46		6.189,42		7.007,20
Leitura hidrômetro	8.010		5.244		6.239		7.034
Erro	-51%		2%		-1%		0%

APÊNDICE C - Resultados gráficos extraídos do simulador hidráulico para o Cenário II

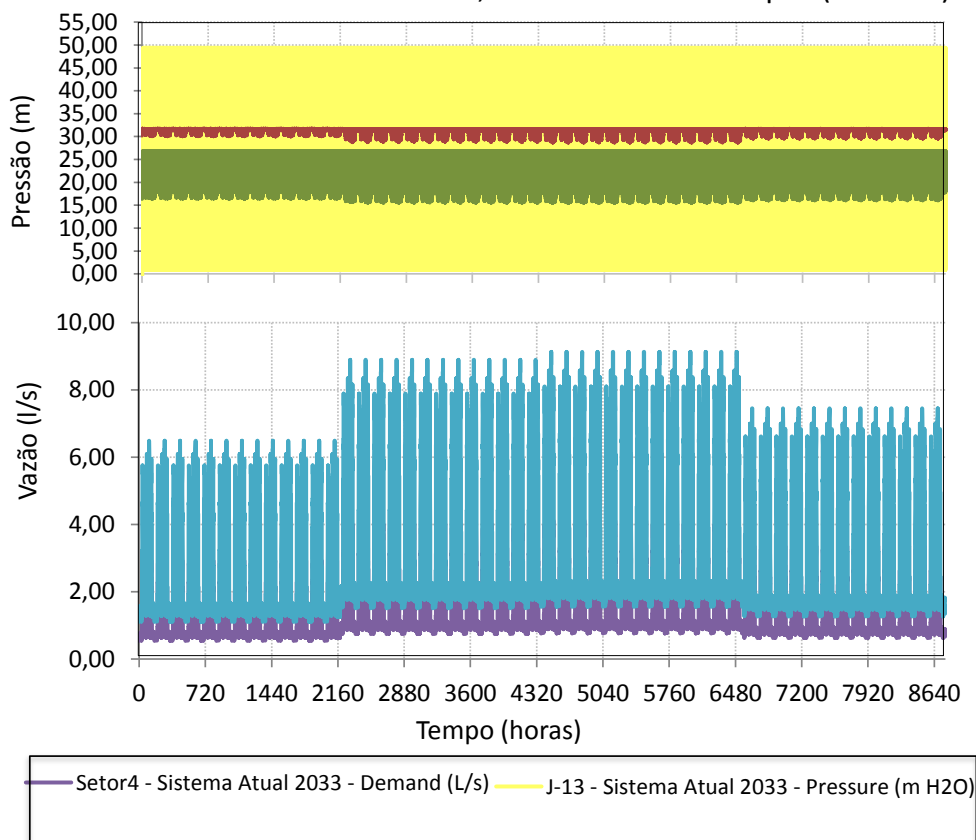
Resultado, para o ano de 2033, considerando a taxa de crescimento da demanda igual a 2% a.a.



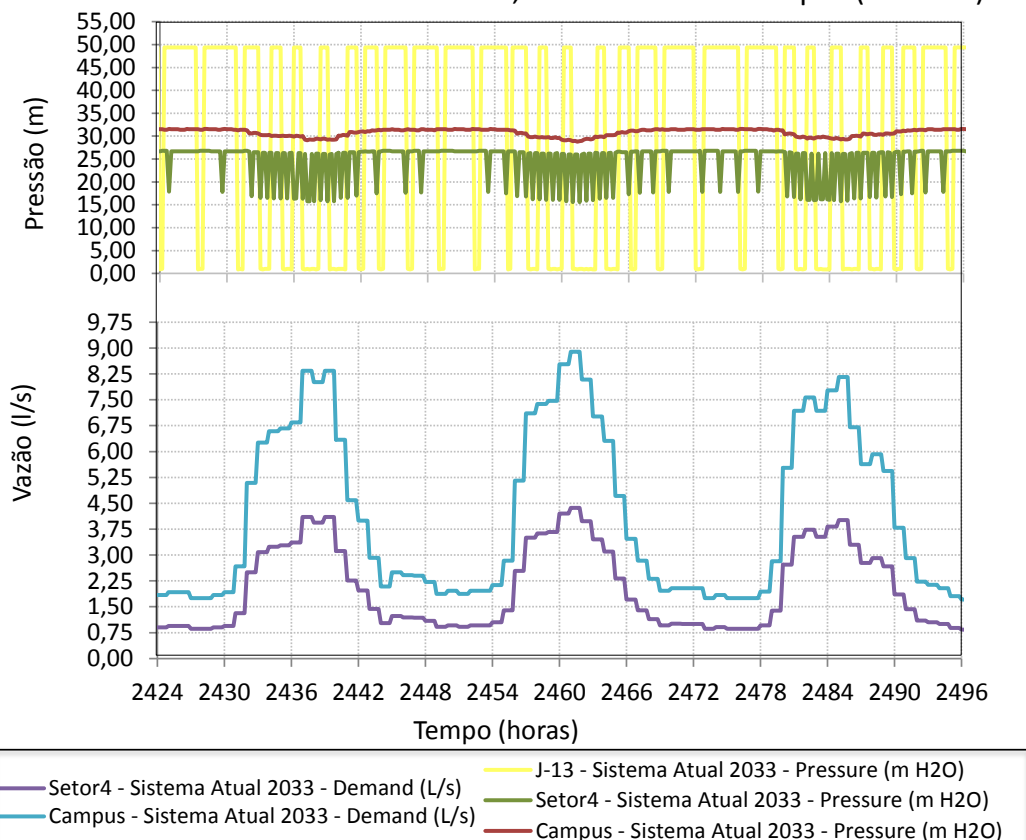




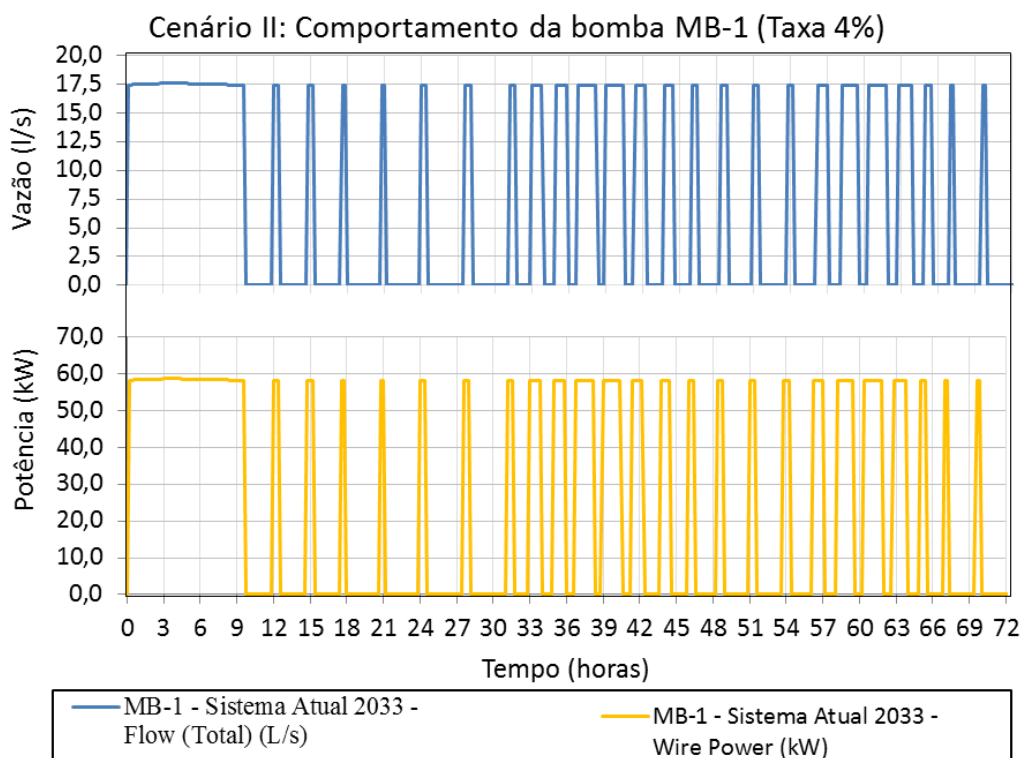
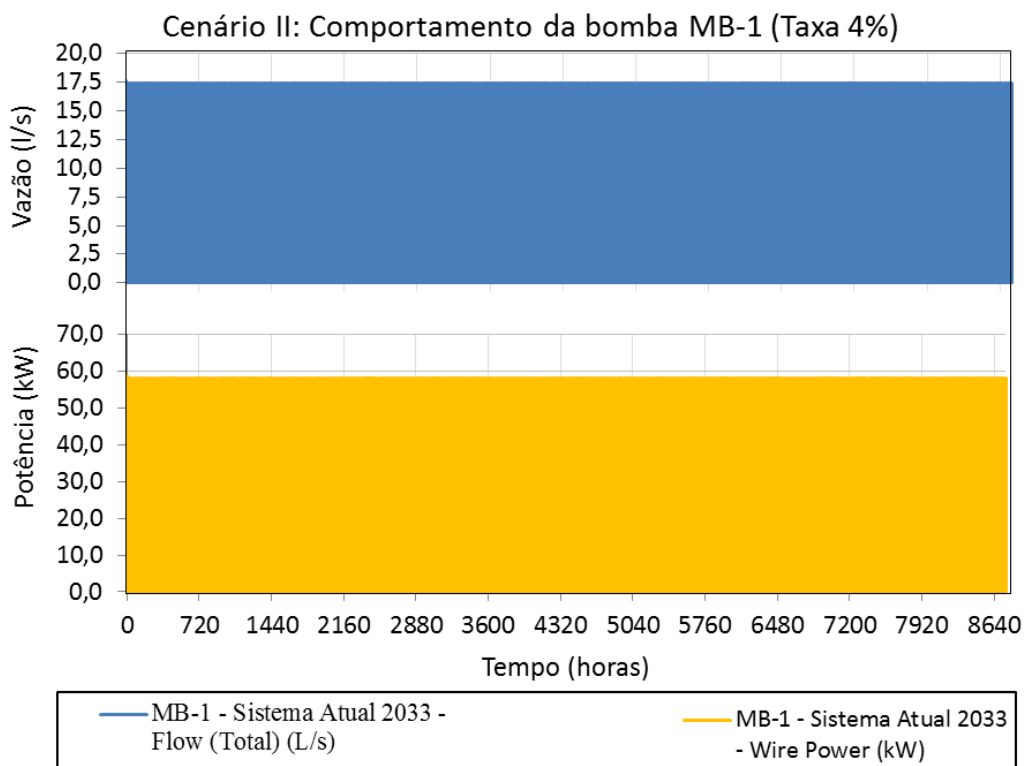
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 2%)

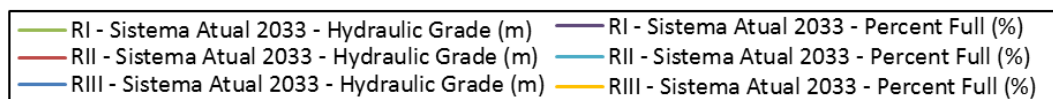
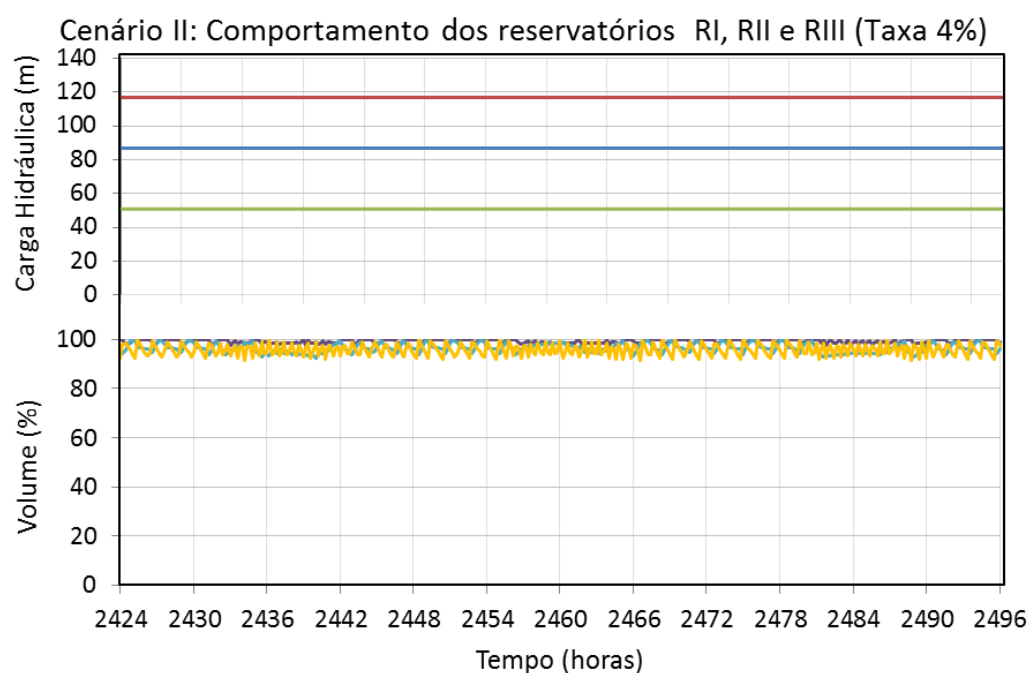
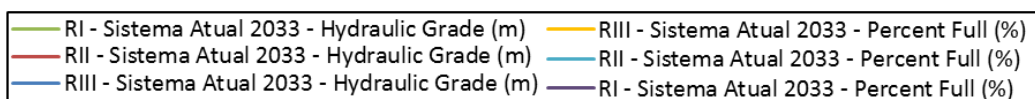
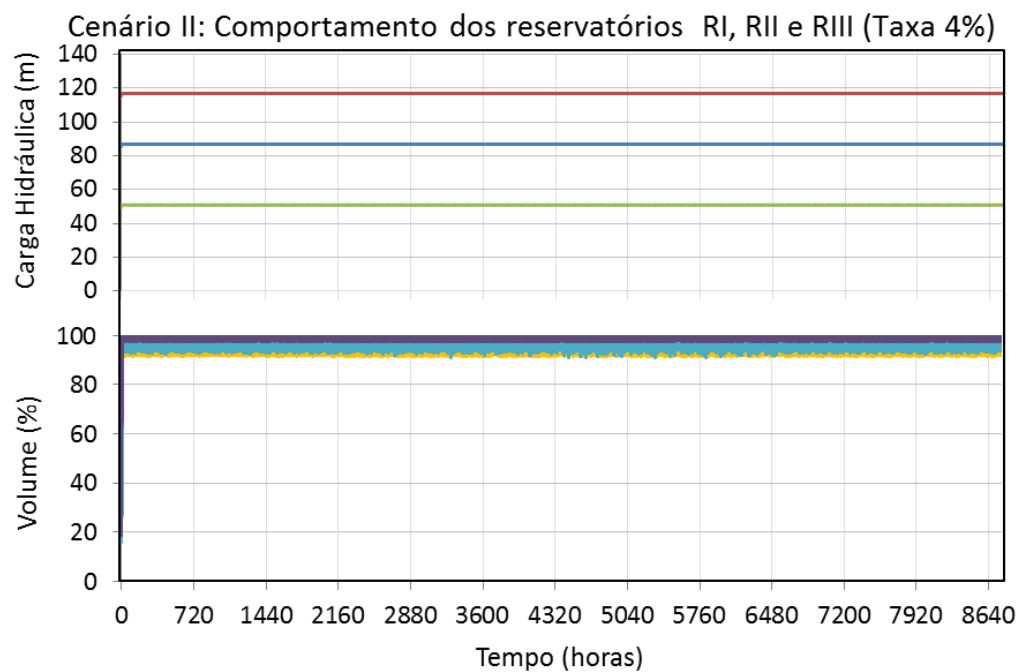


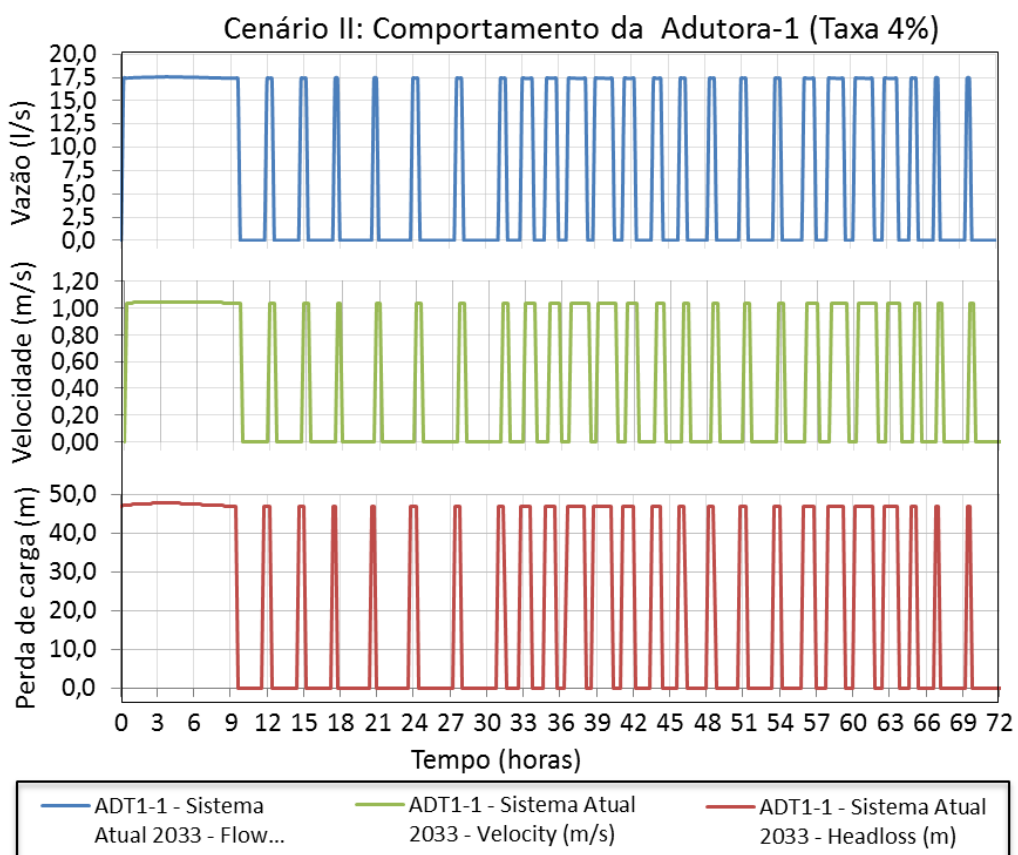
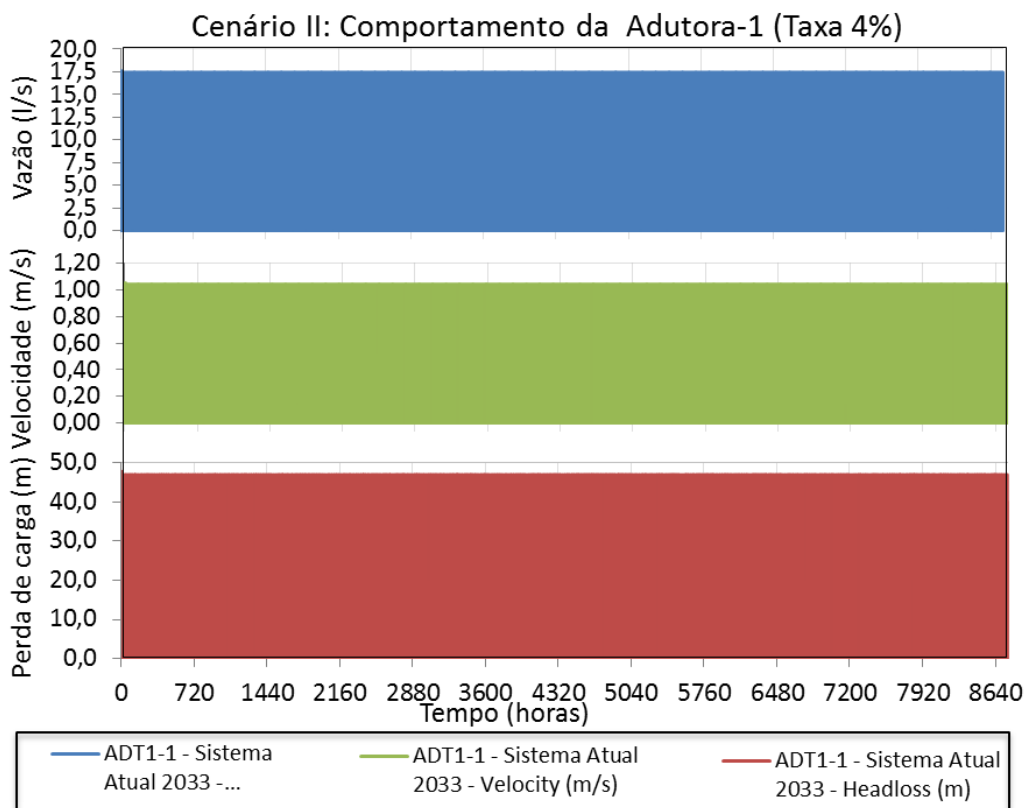
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 2%)



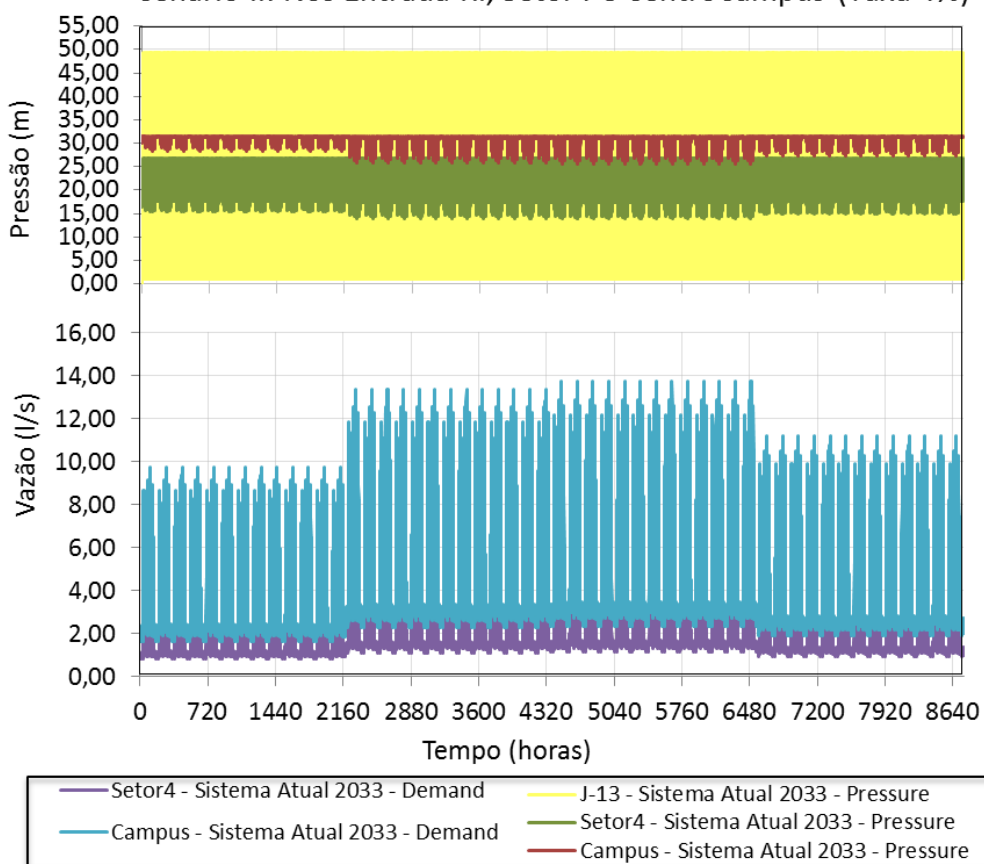
Resultado para o ano de 2033 considerando a taxa de crescimento da demanda igual a 4% a.a.



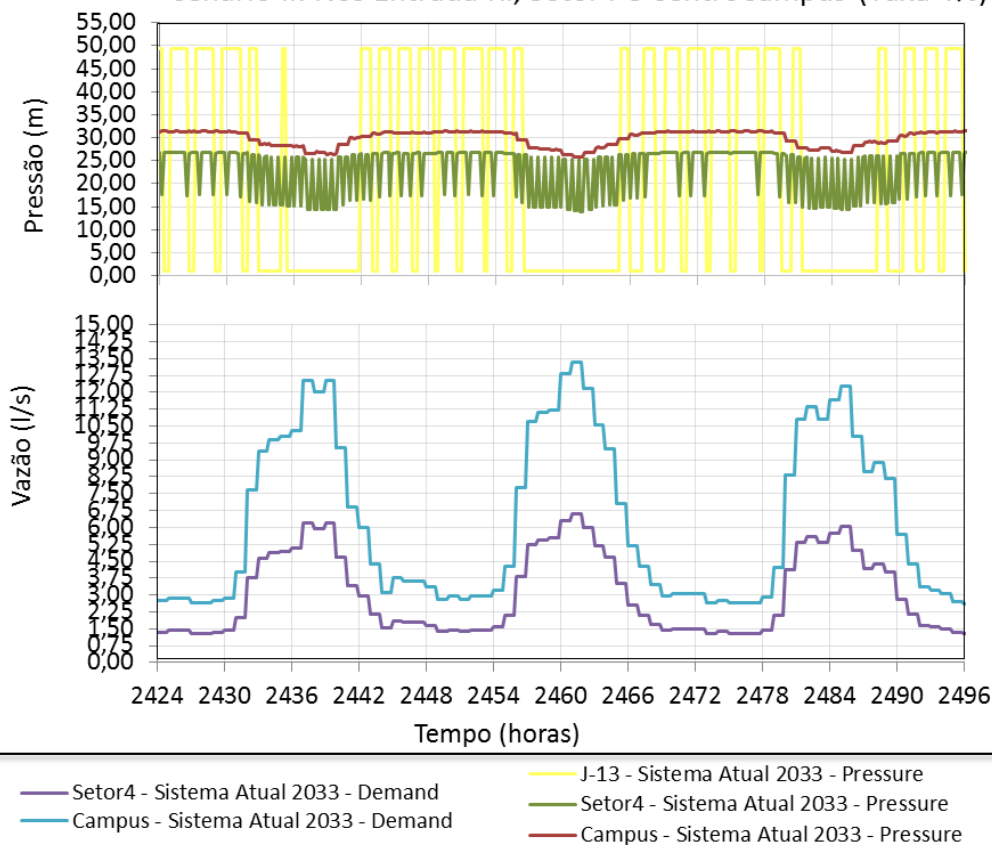




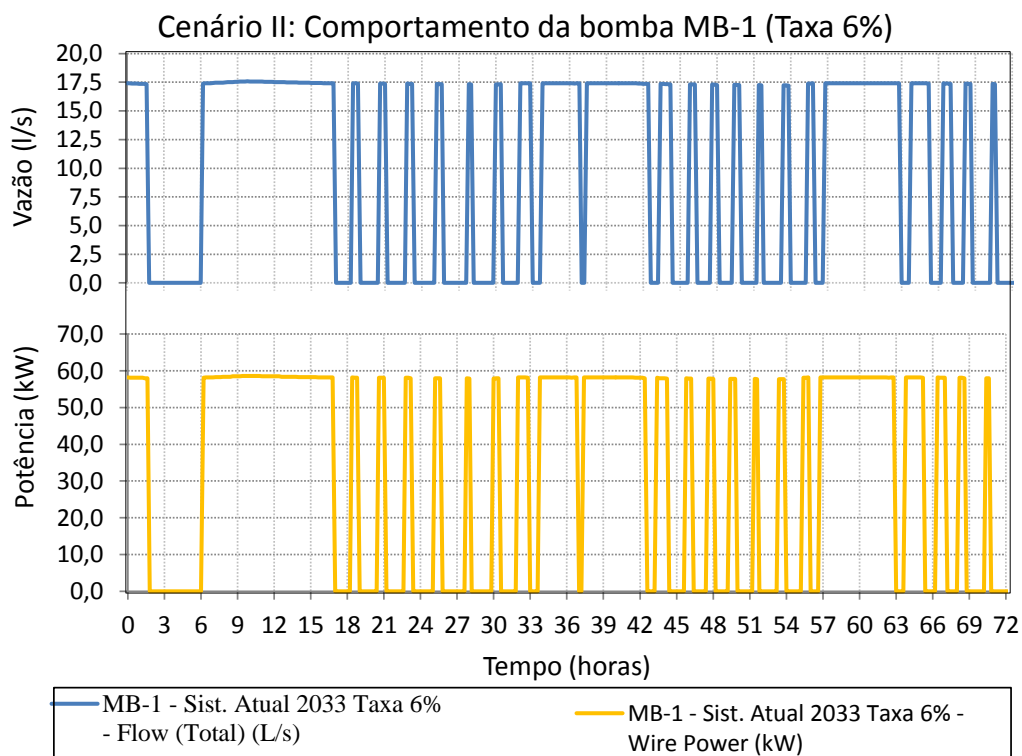
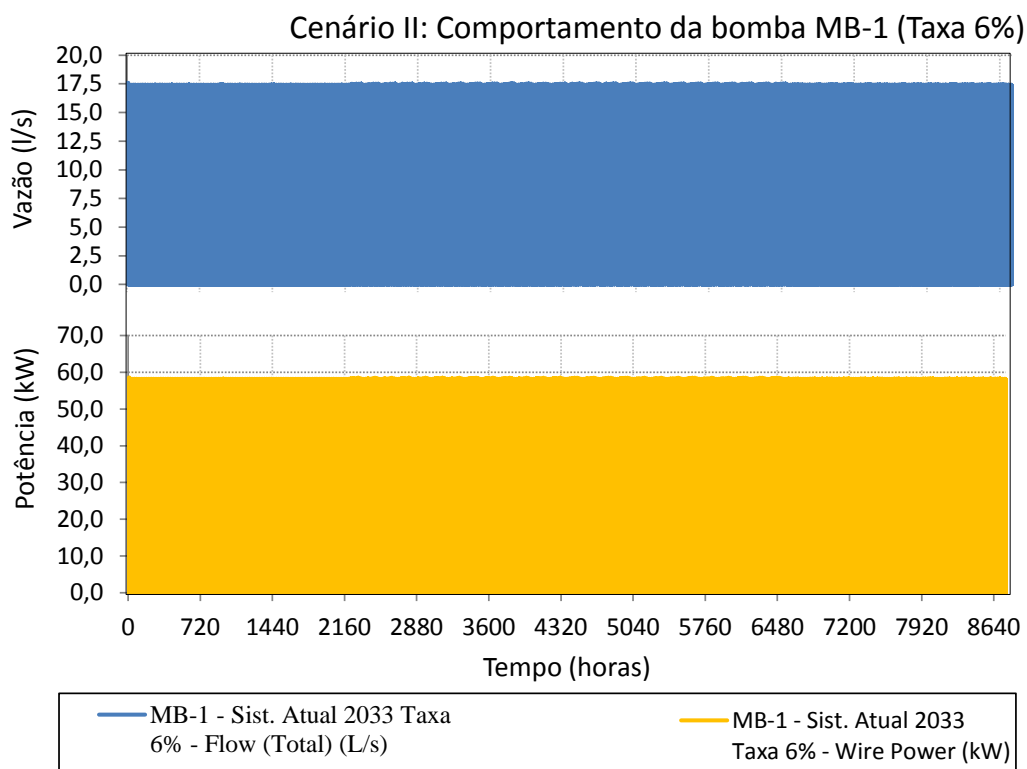
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 4%)

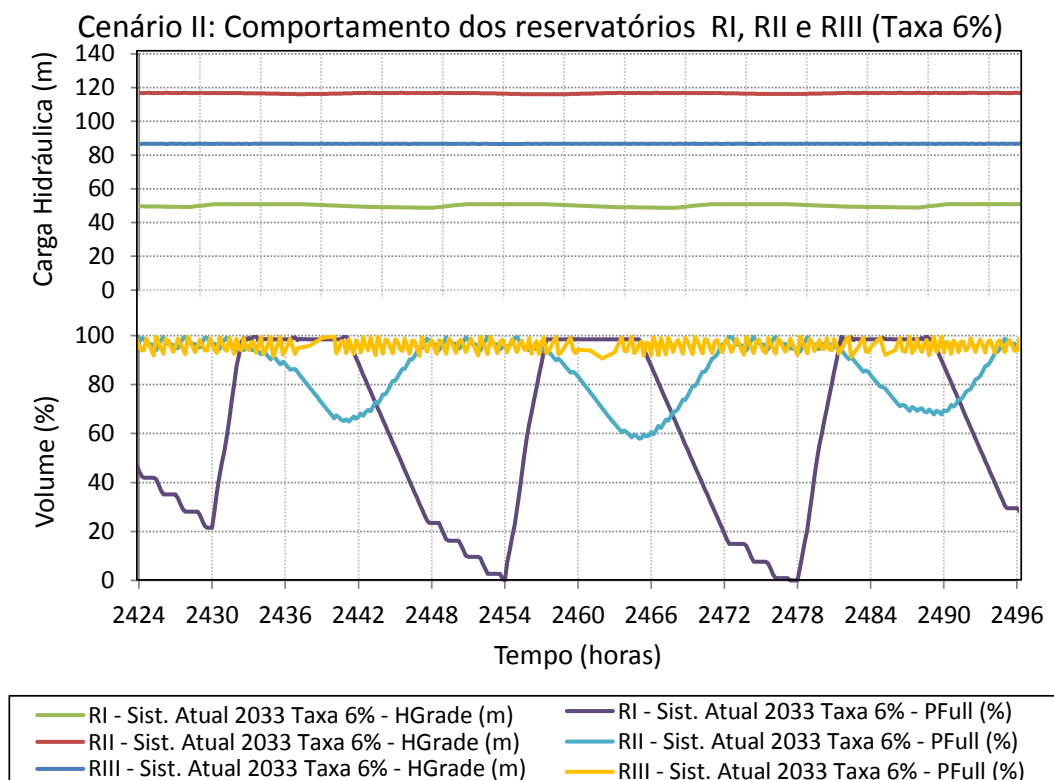
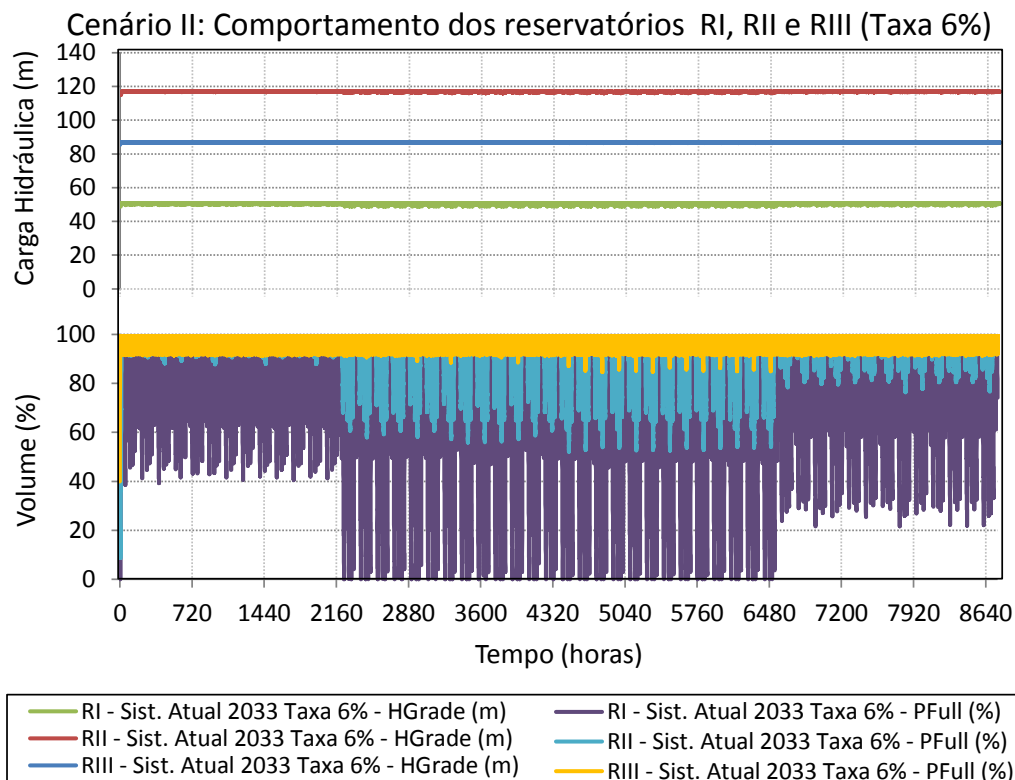


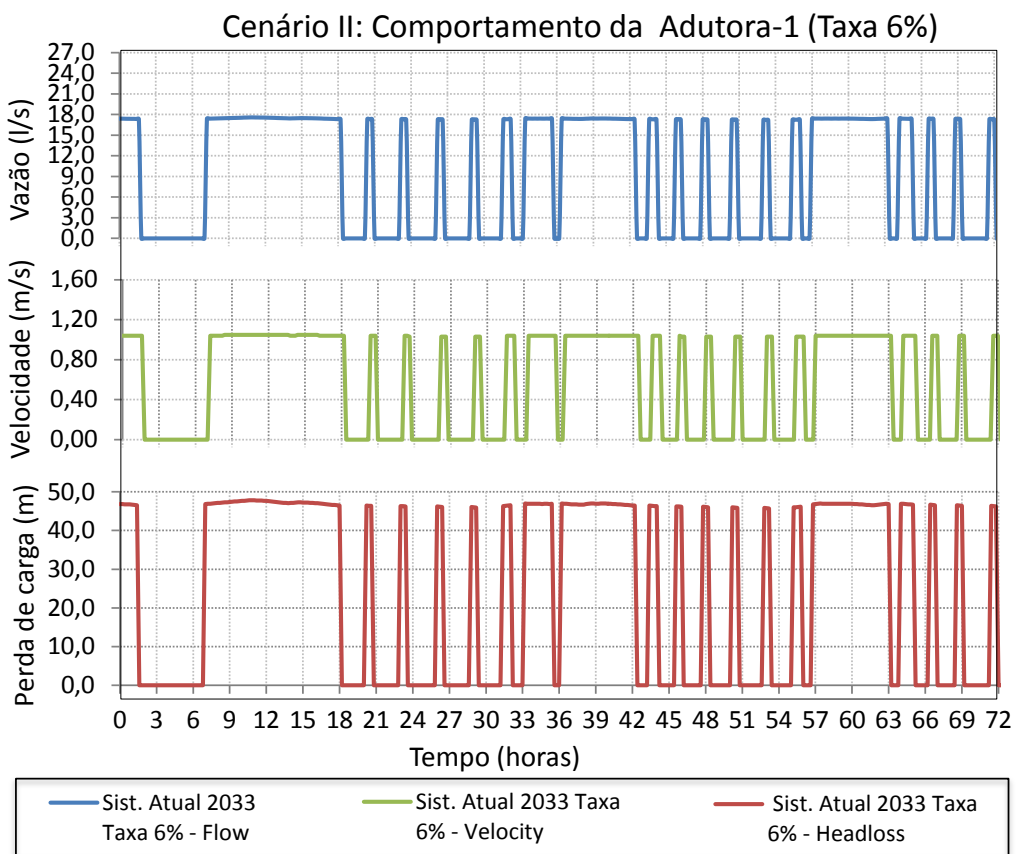
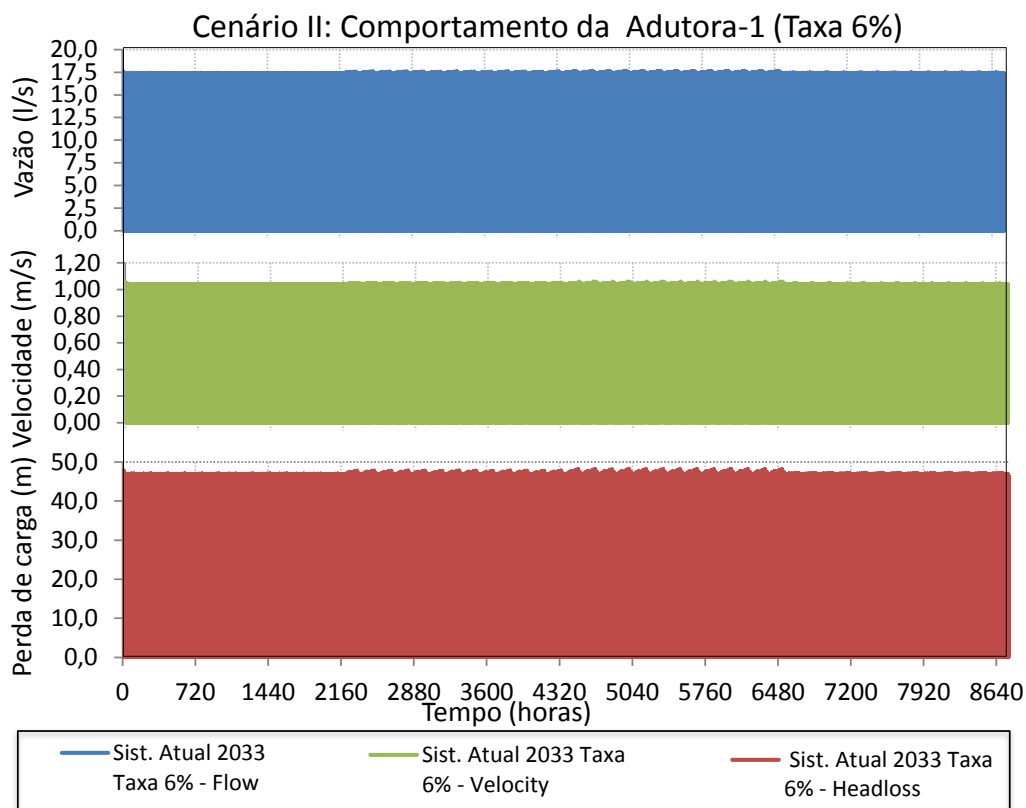
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 4%)



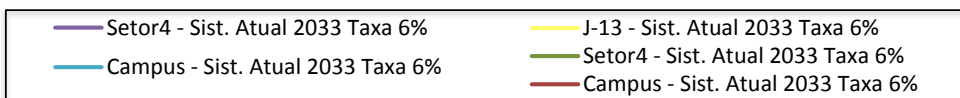
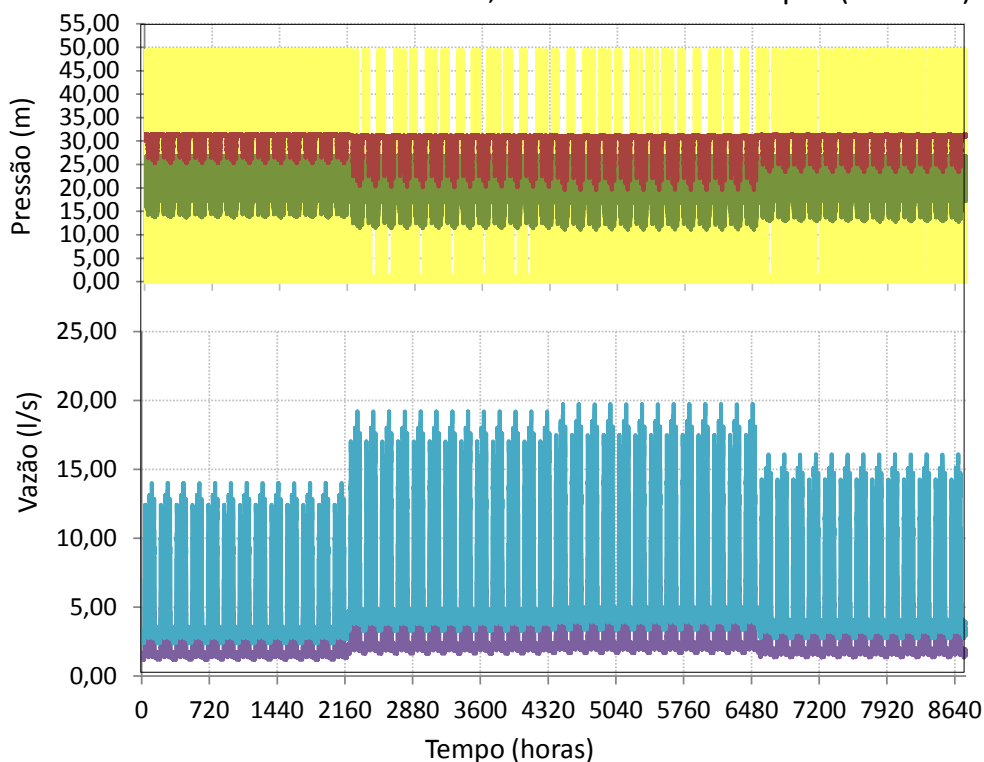
Resultado para o ano de 2033 considerando a taxa de crescimento da demanda igual a 6% a.a.



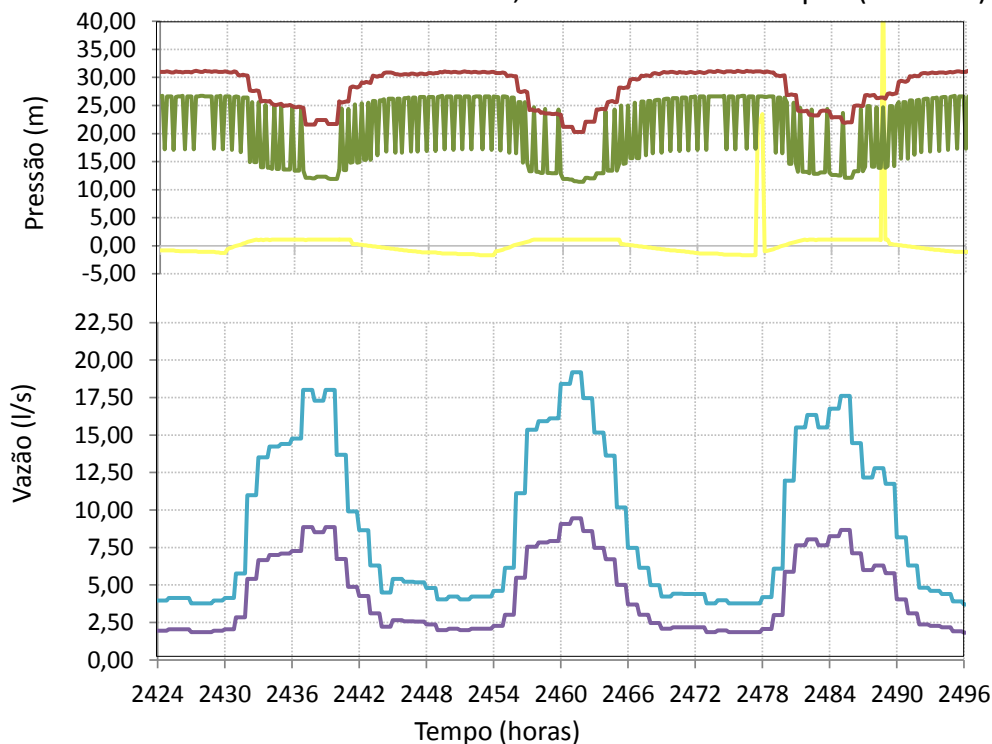




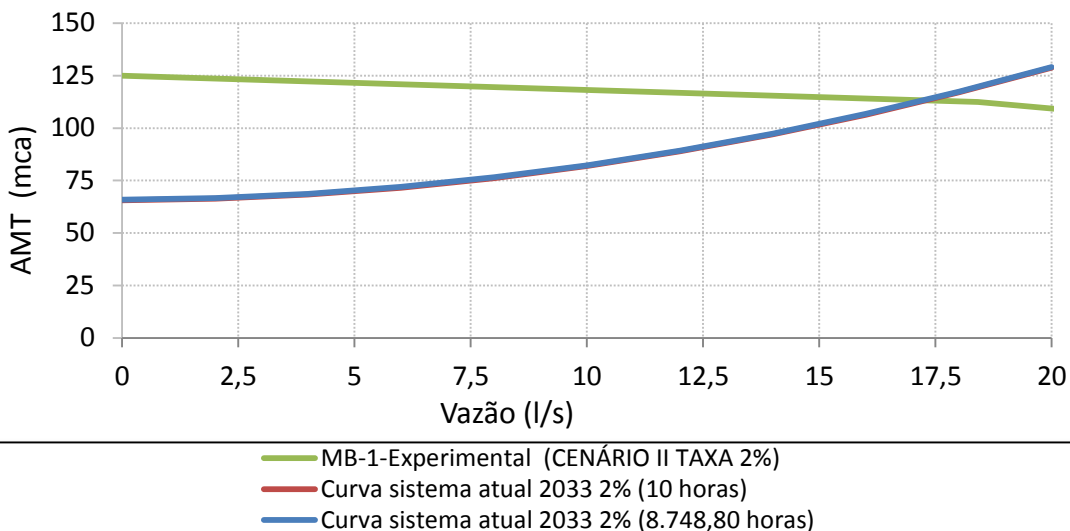
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 6%)



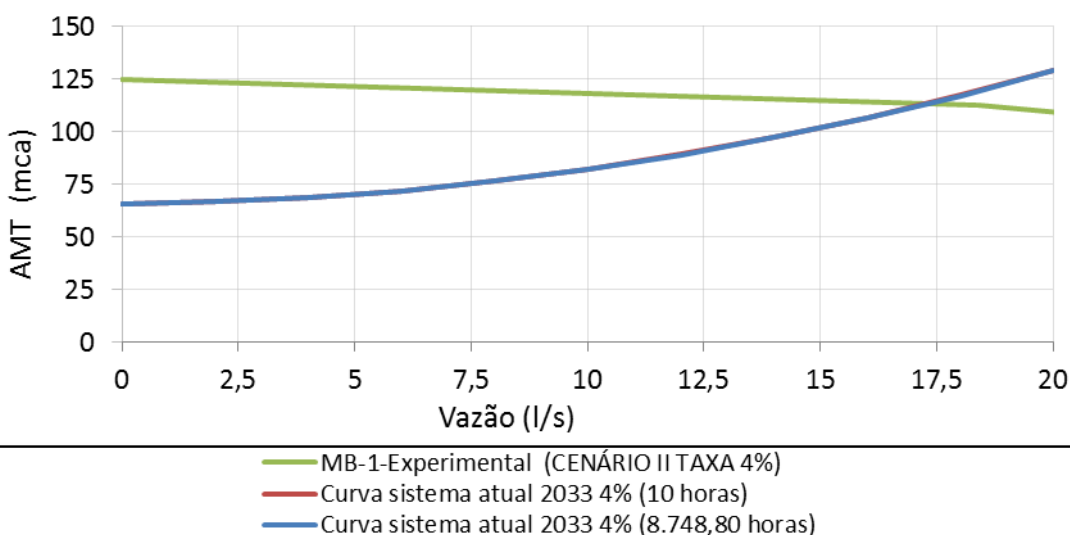
Cenário II: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Taxa 6%)



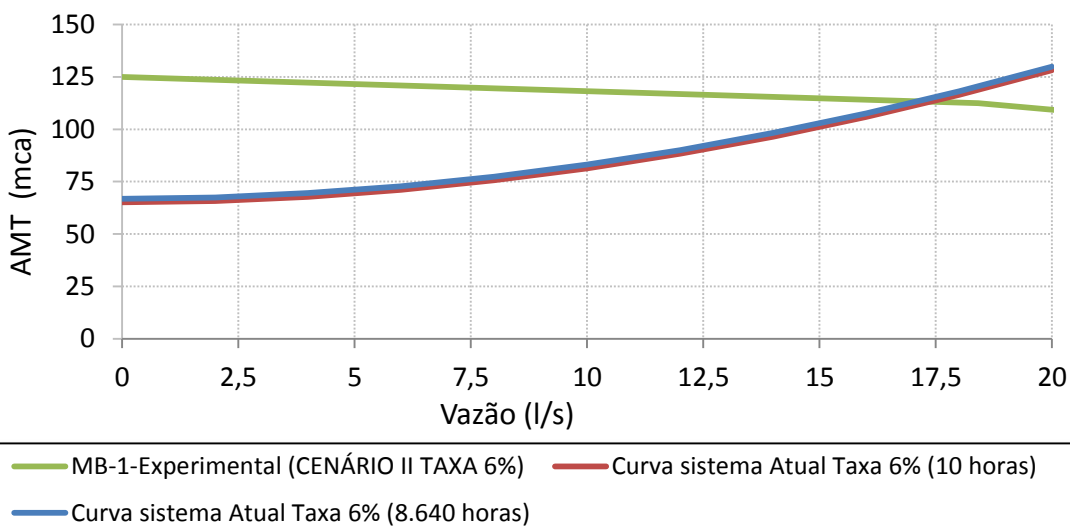
Curva do sistema versus curva da bomba



Curva do sistema versus curva da bomba

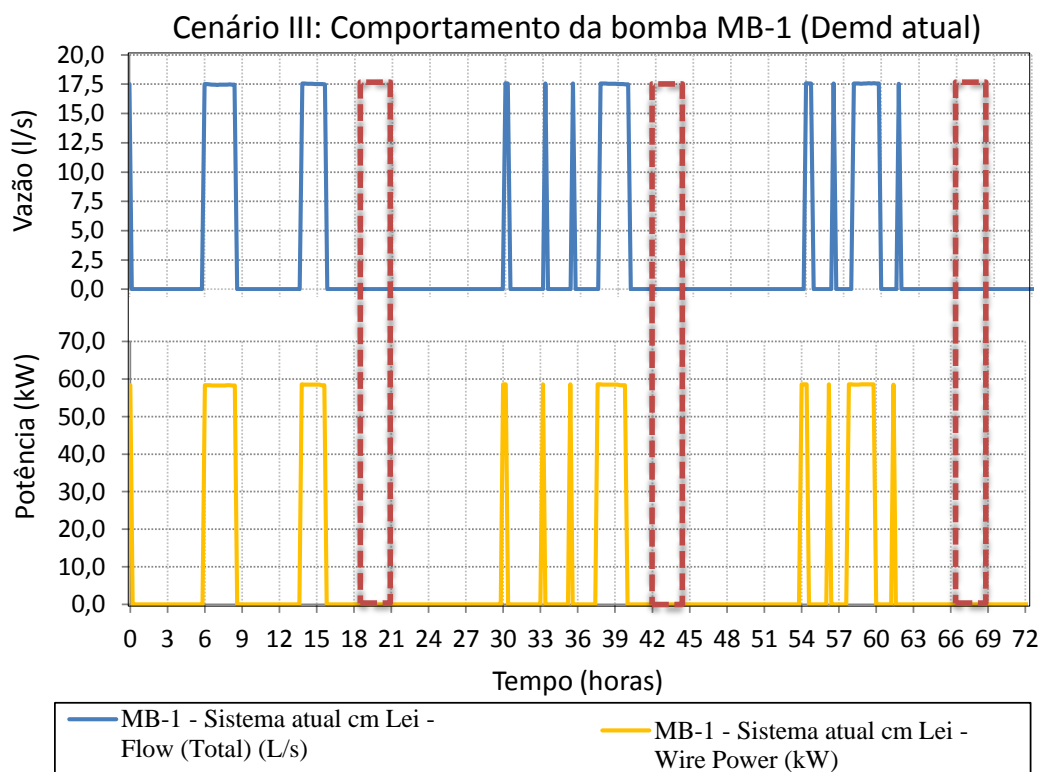
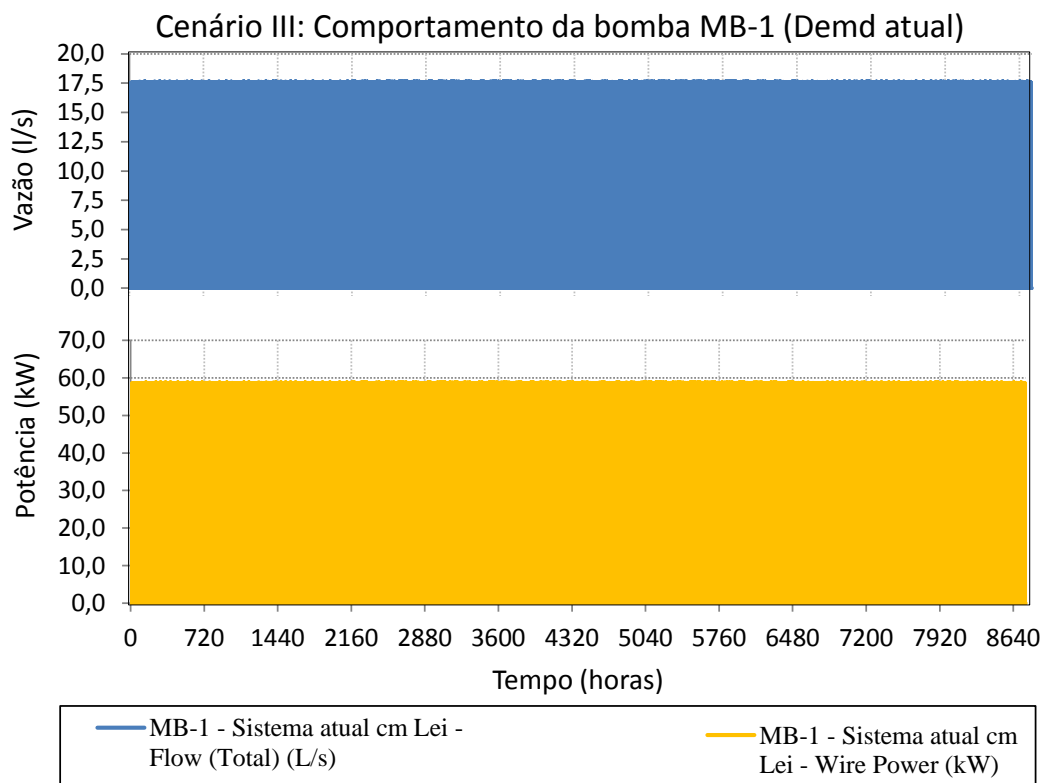


Curva do sistema versus curva da bomba

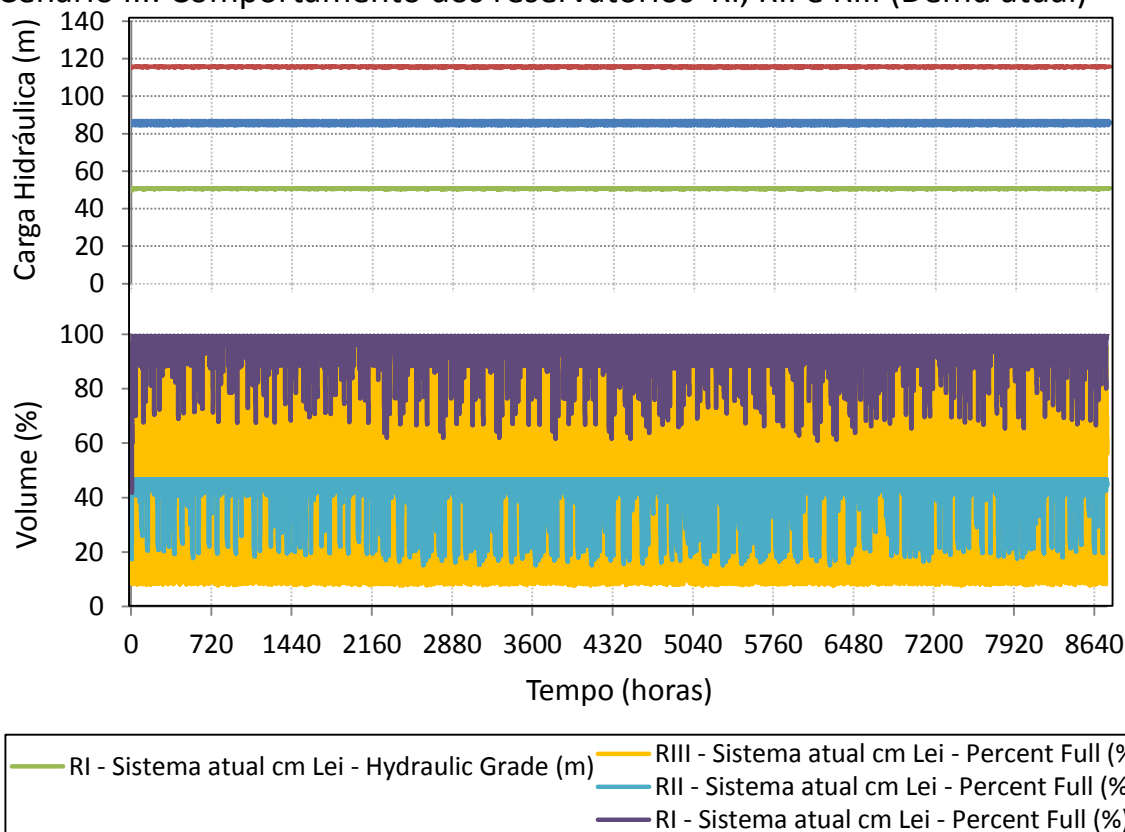


APÊNDICE D - Resultados gráficos do simulador hidráulico para o Cenário III

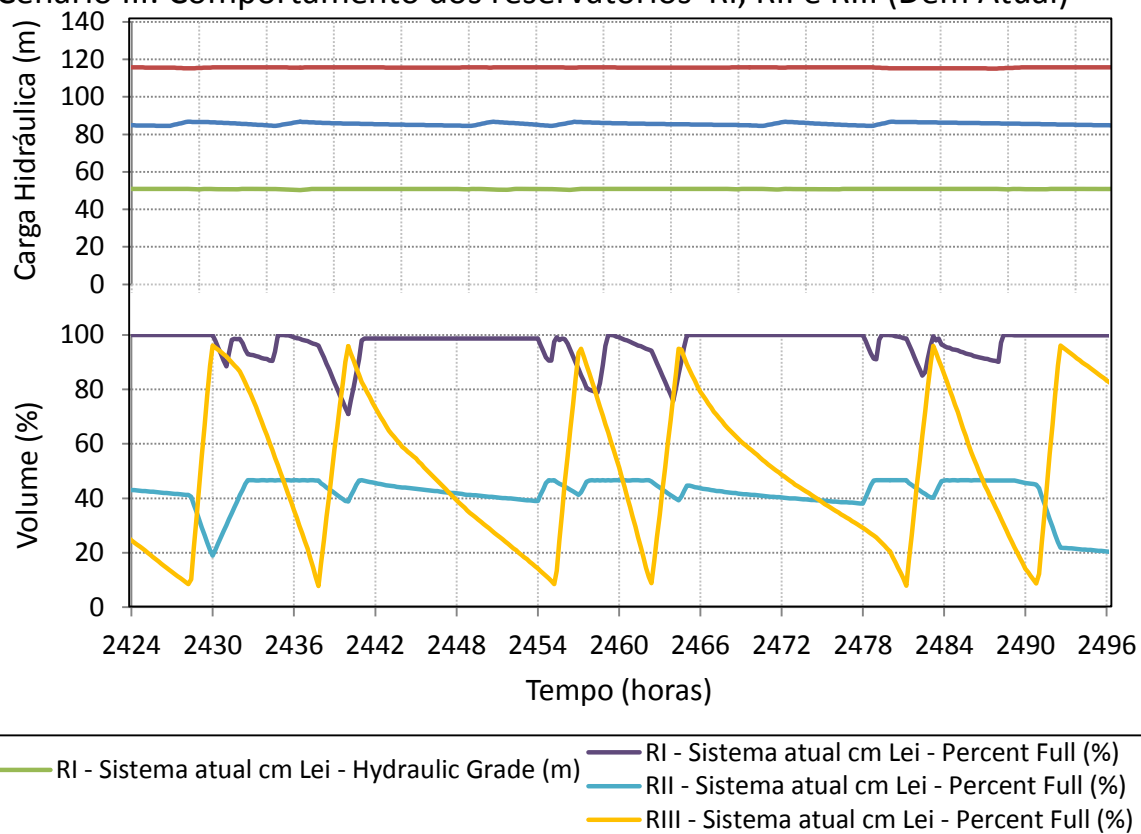
Resultado para o ano de 2013 considerando a demanda atual.

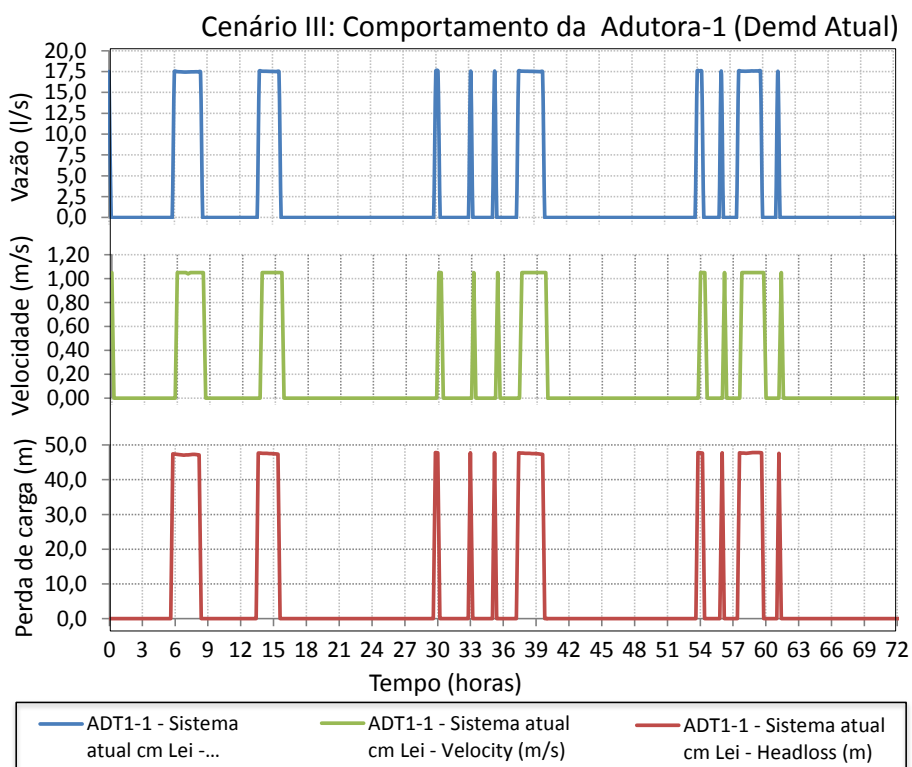
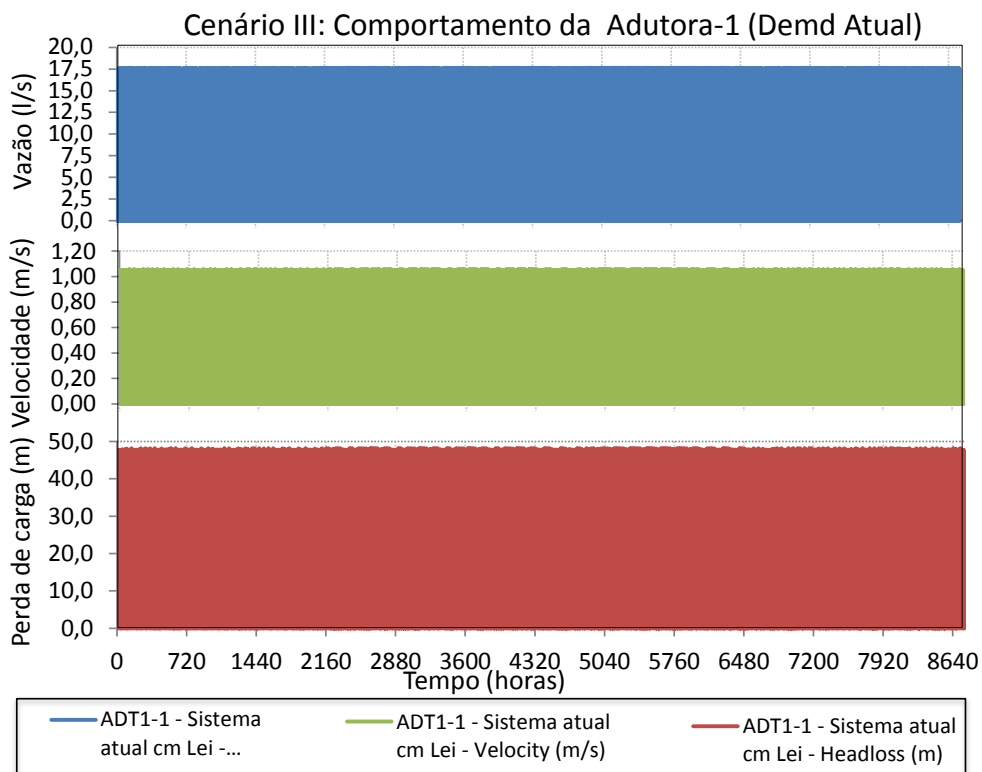


Cenário III: Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII (Demd atual)

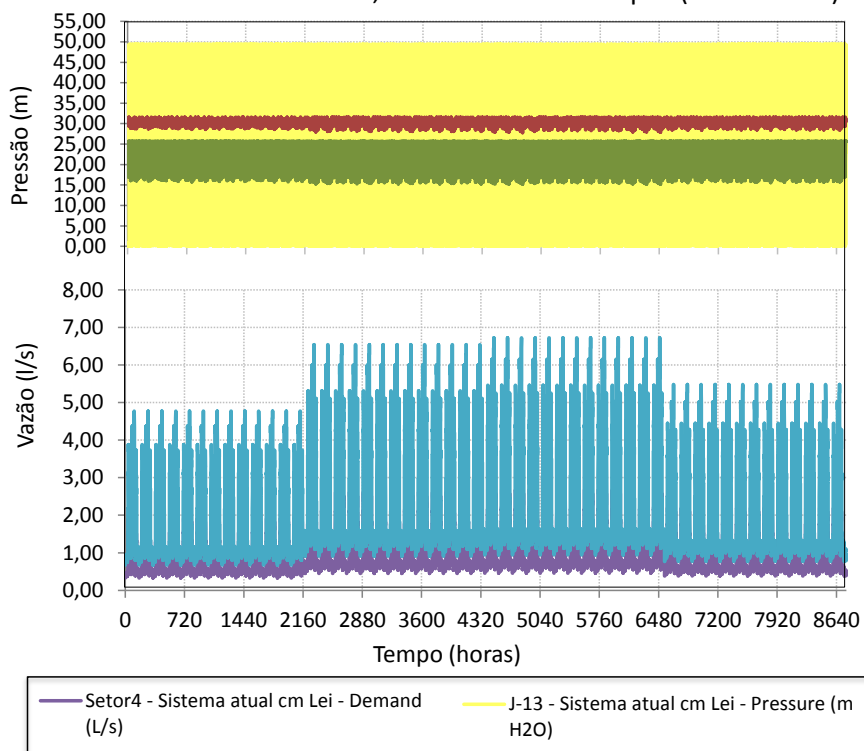


Cenário III: Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII (Dem Atual)

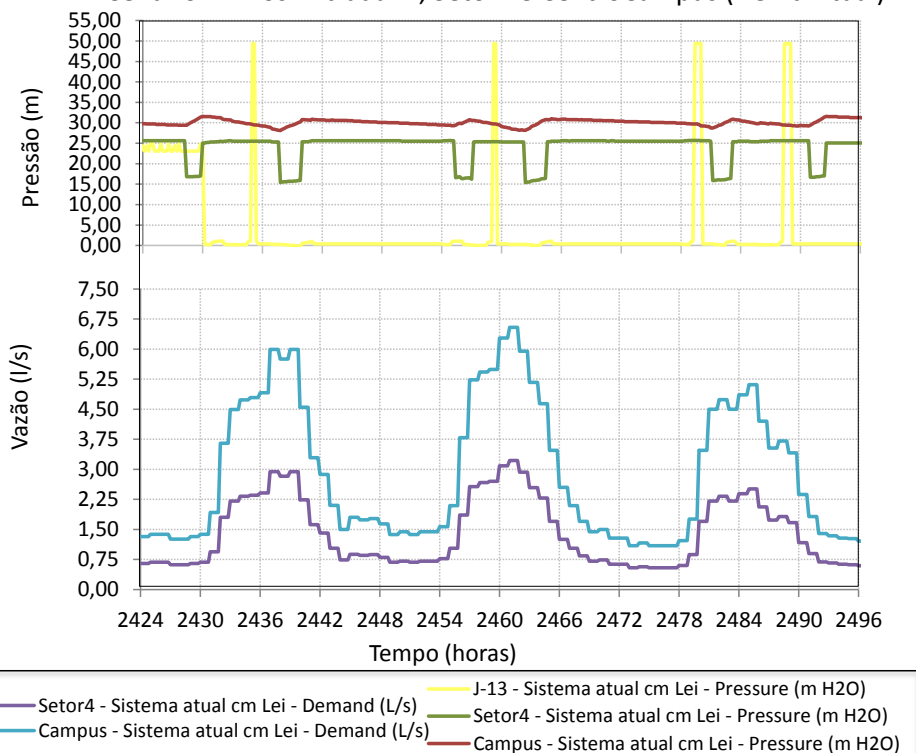




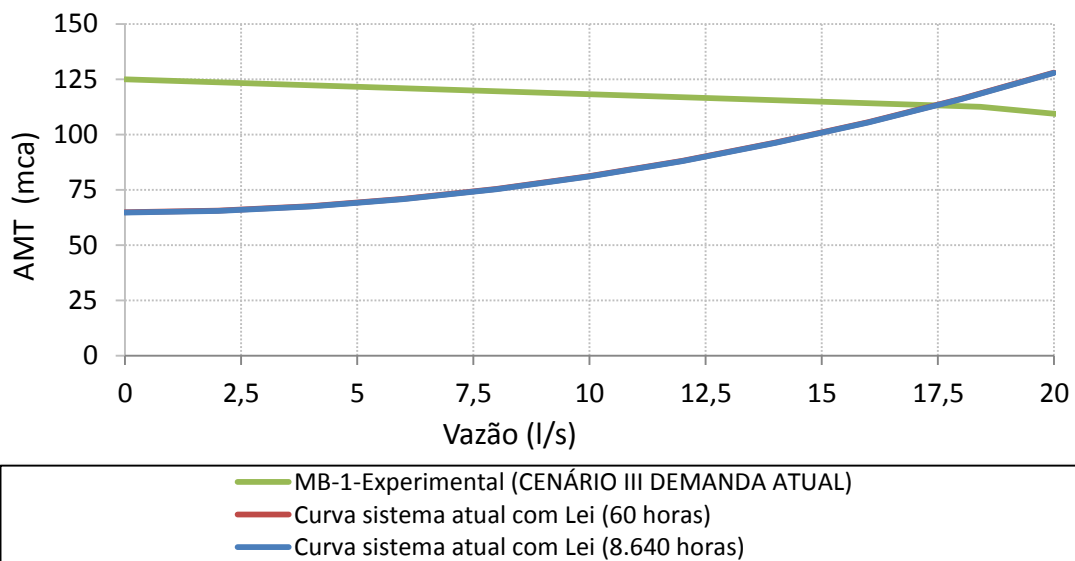
Cenário III: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Demd Atual)



Cenário III: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Demd Atual)

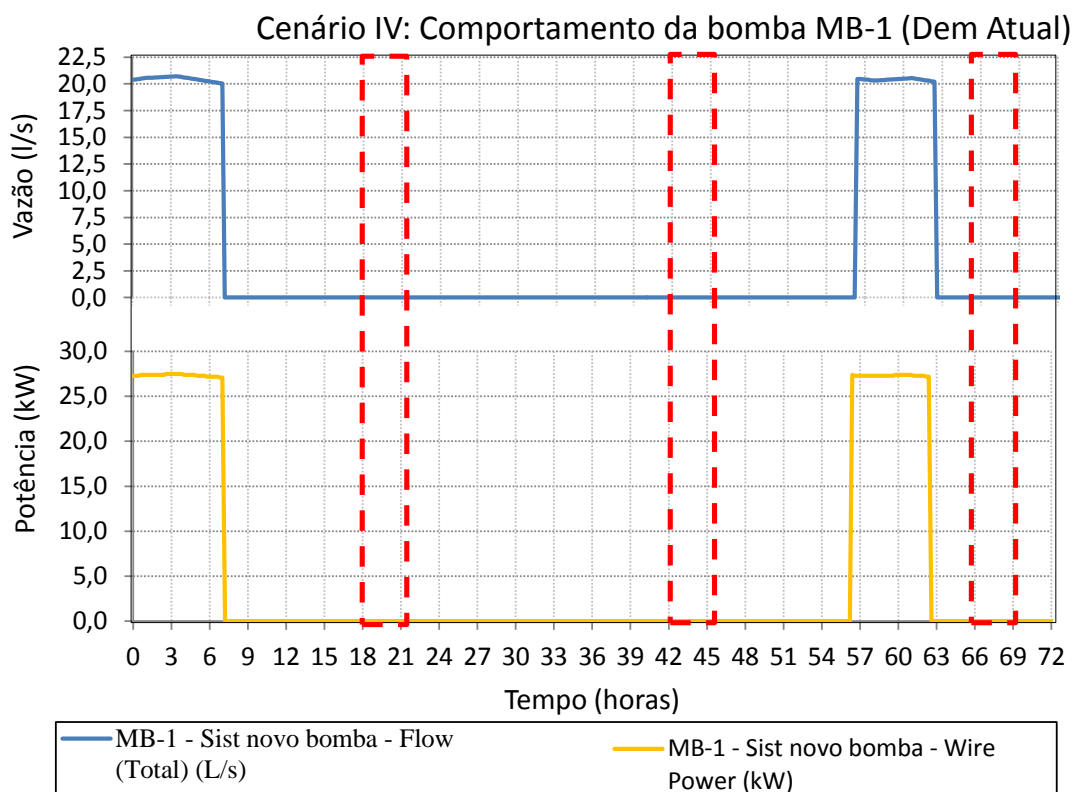
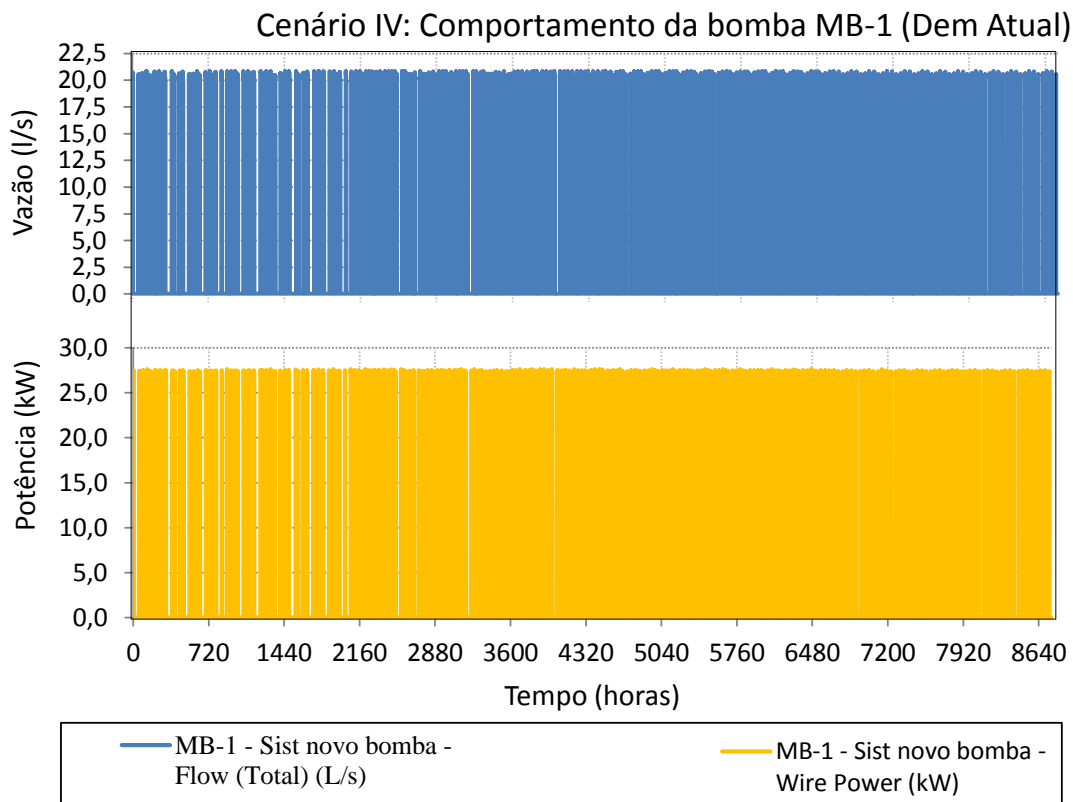


Curva do sistema versus curva da bomba

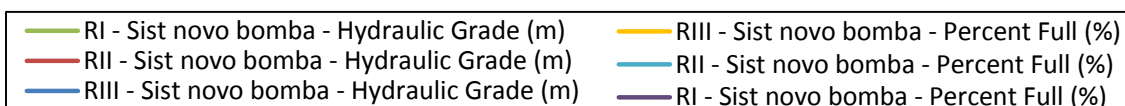
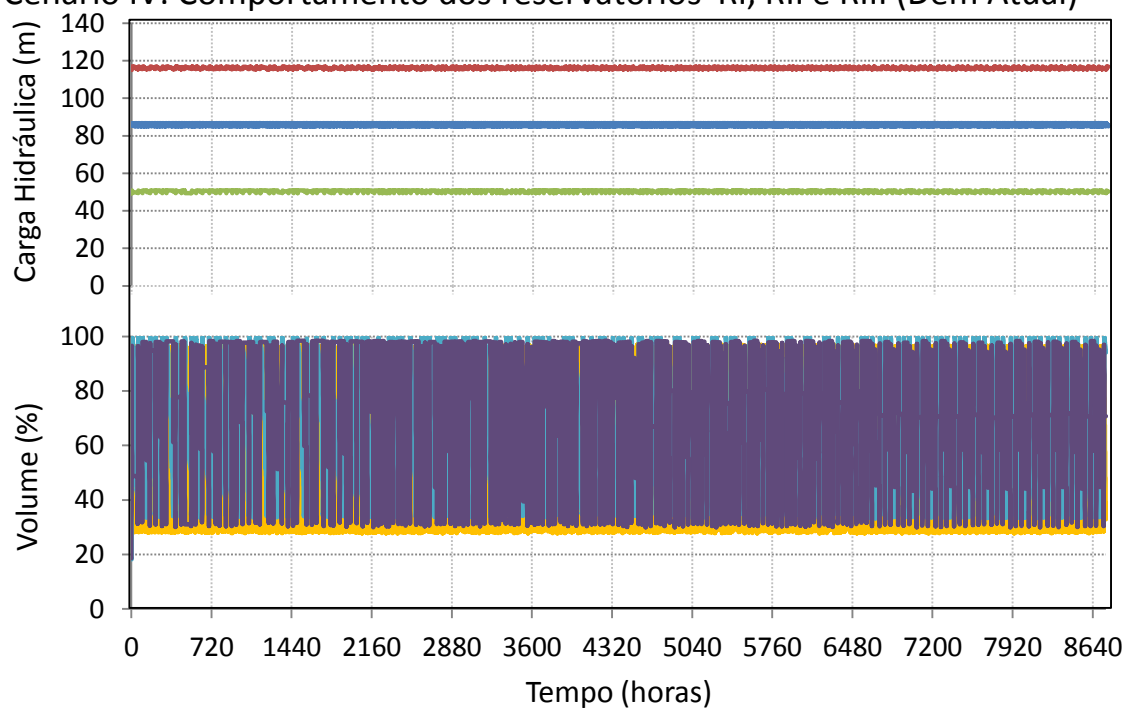


APÊNDICE E - Resultados gráficos do simulador hidráulico para o Cenário IV

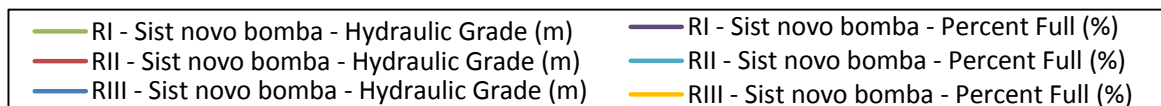
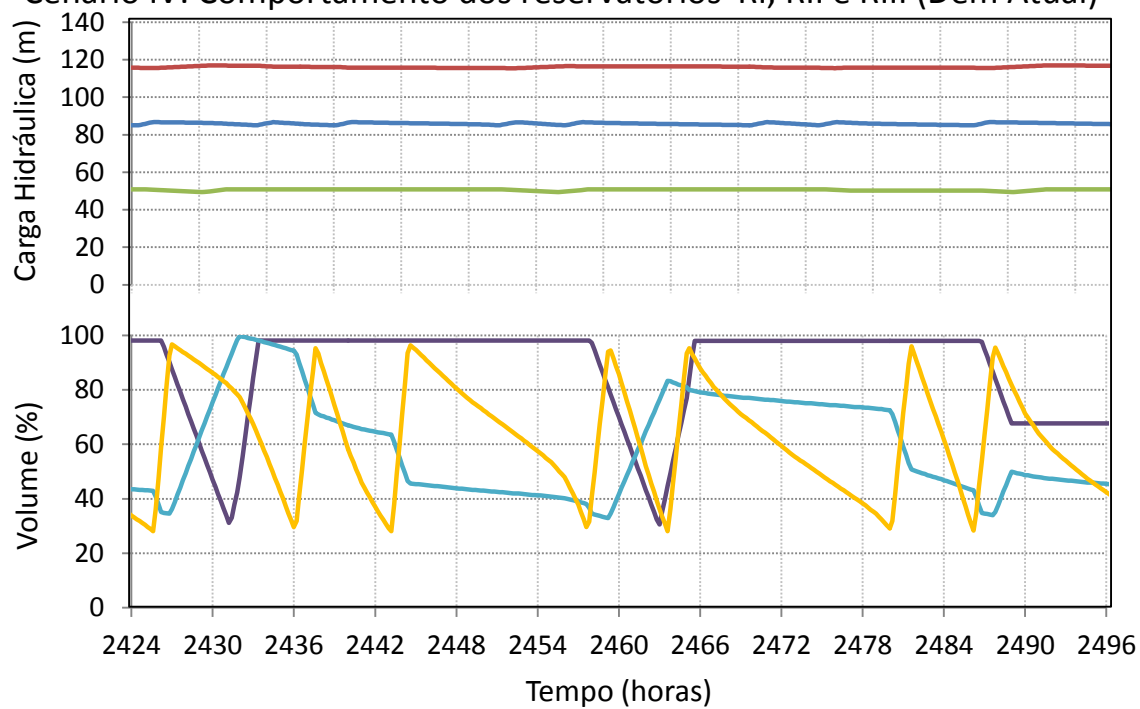
Resultado para o ano 2013 considerando a demanda atual.

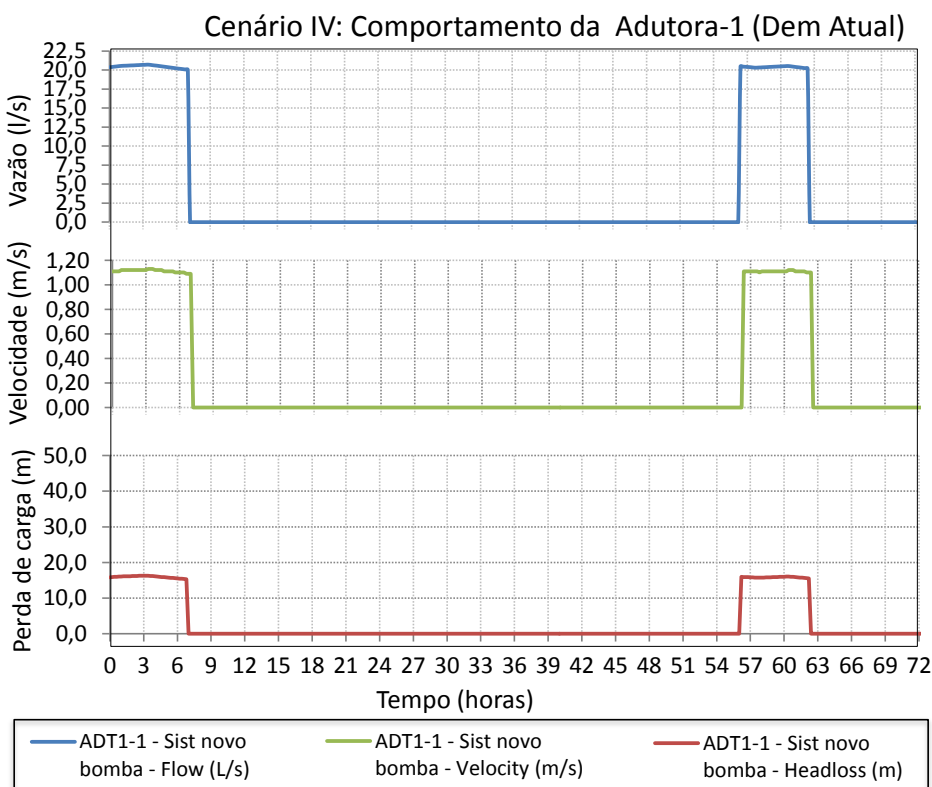
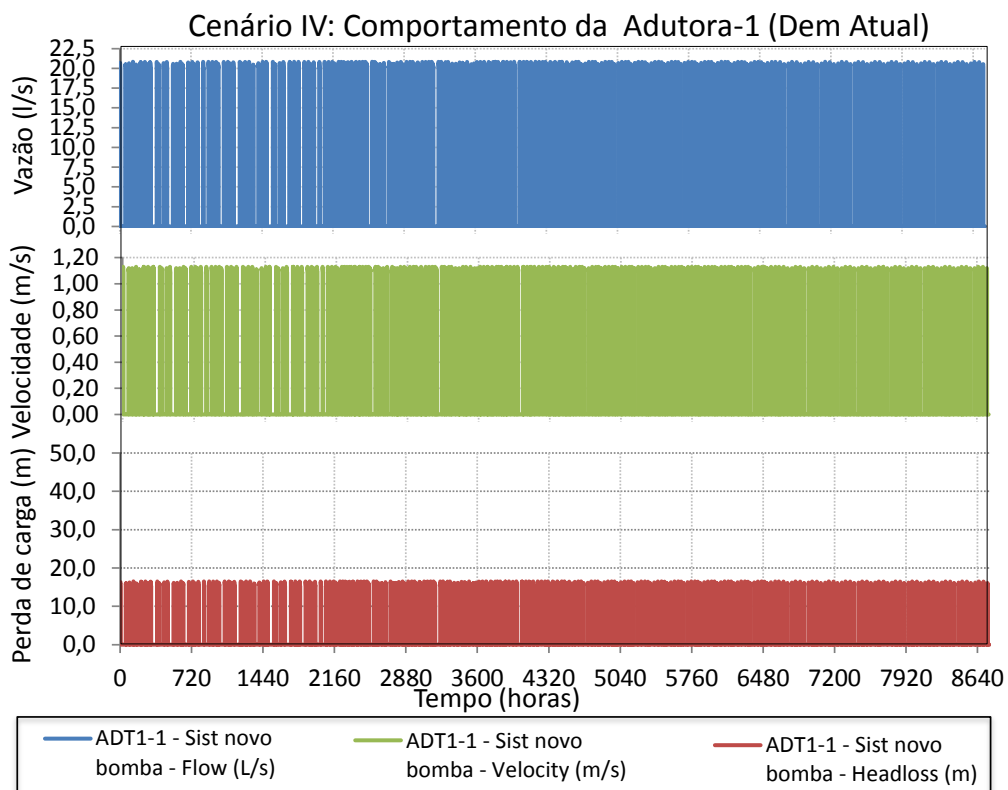


Cenário IV: Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII (Dem Atual)

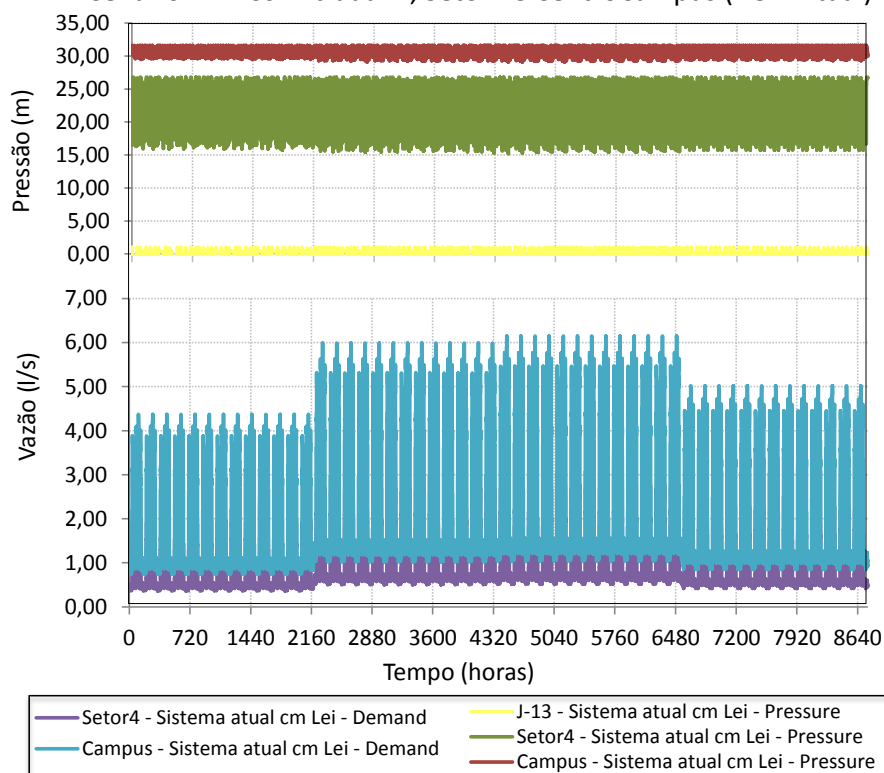


Cenário IV: Comportamento dos reservatórios RI, RII e RIII (Dem Atual)

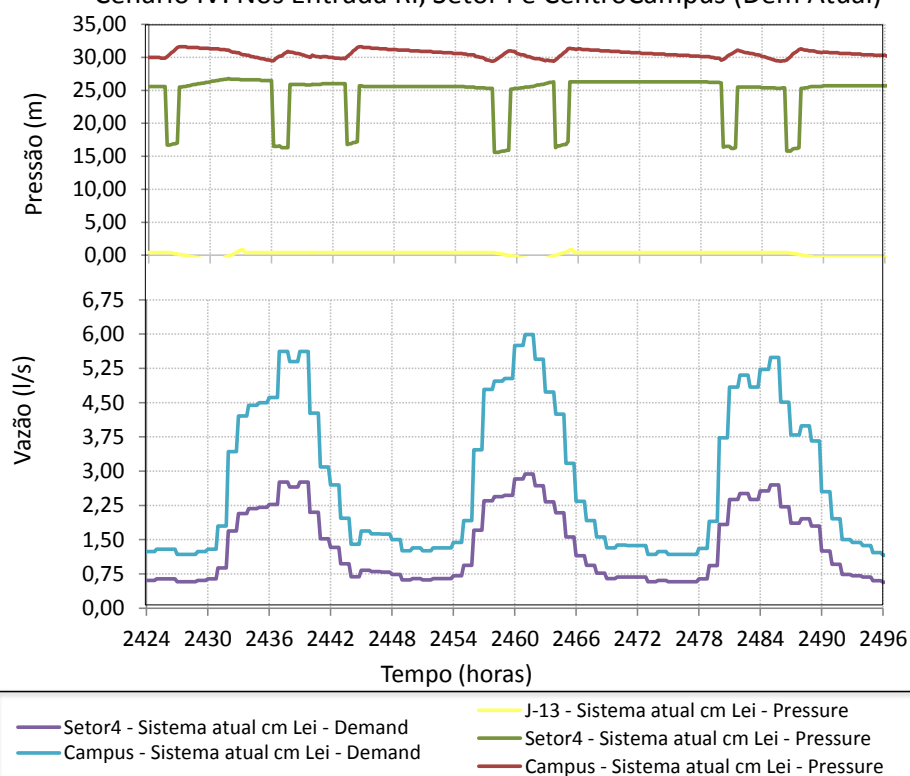




Cenário IV: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Dem Atual)

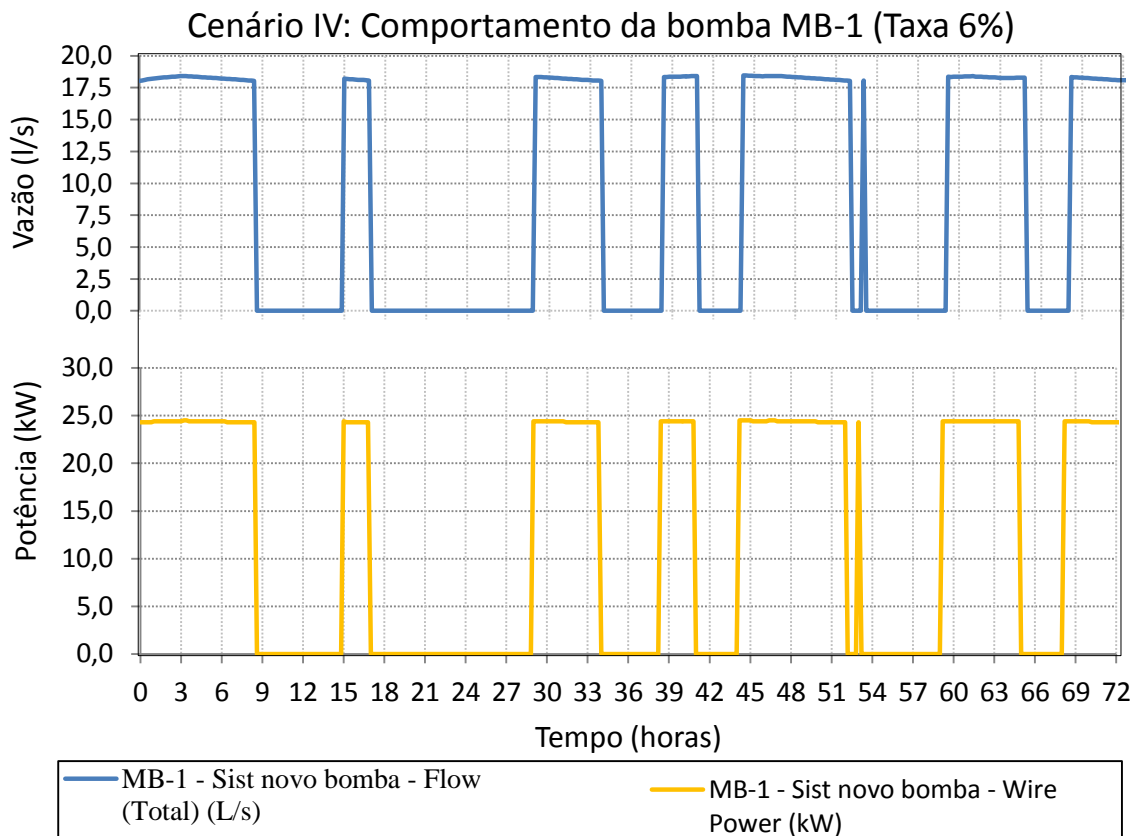
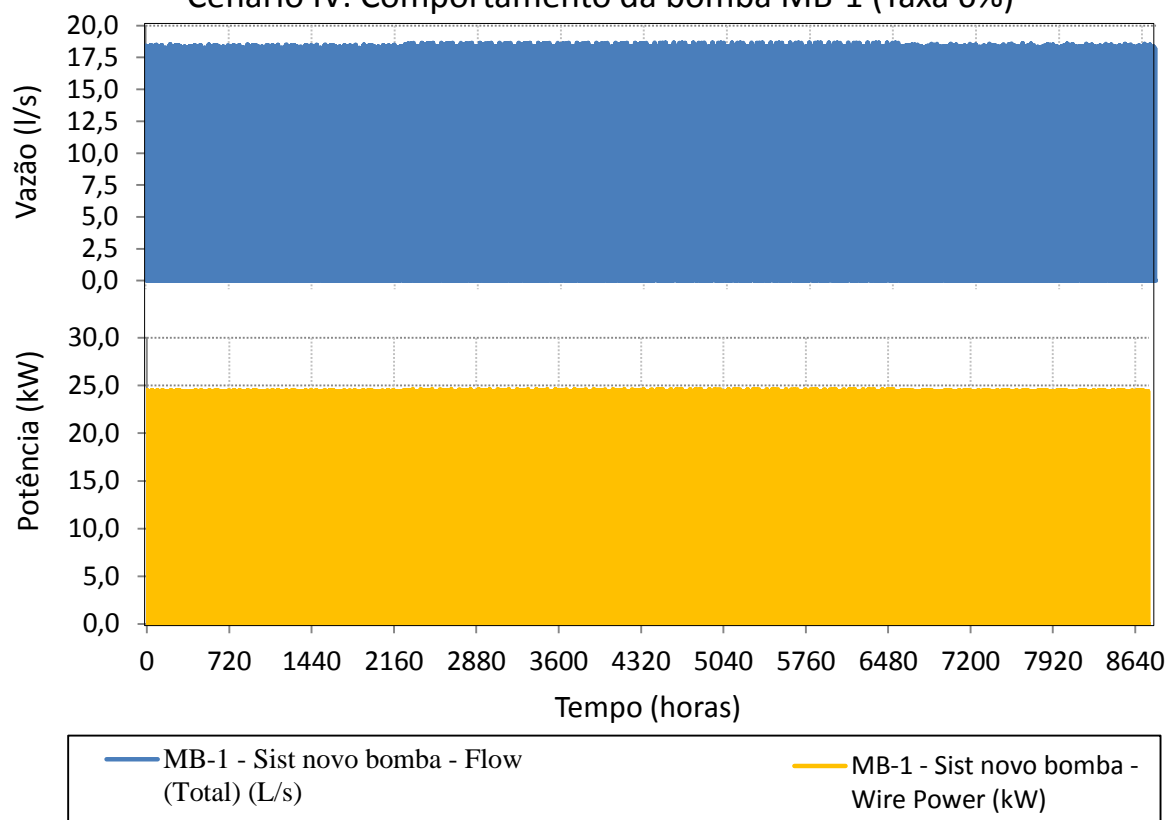


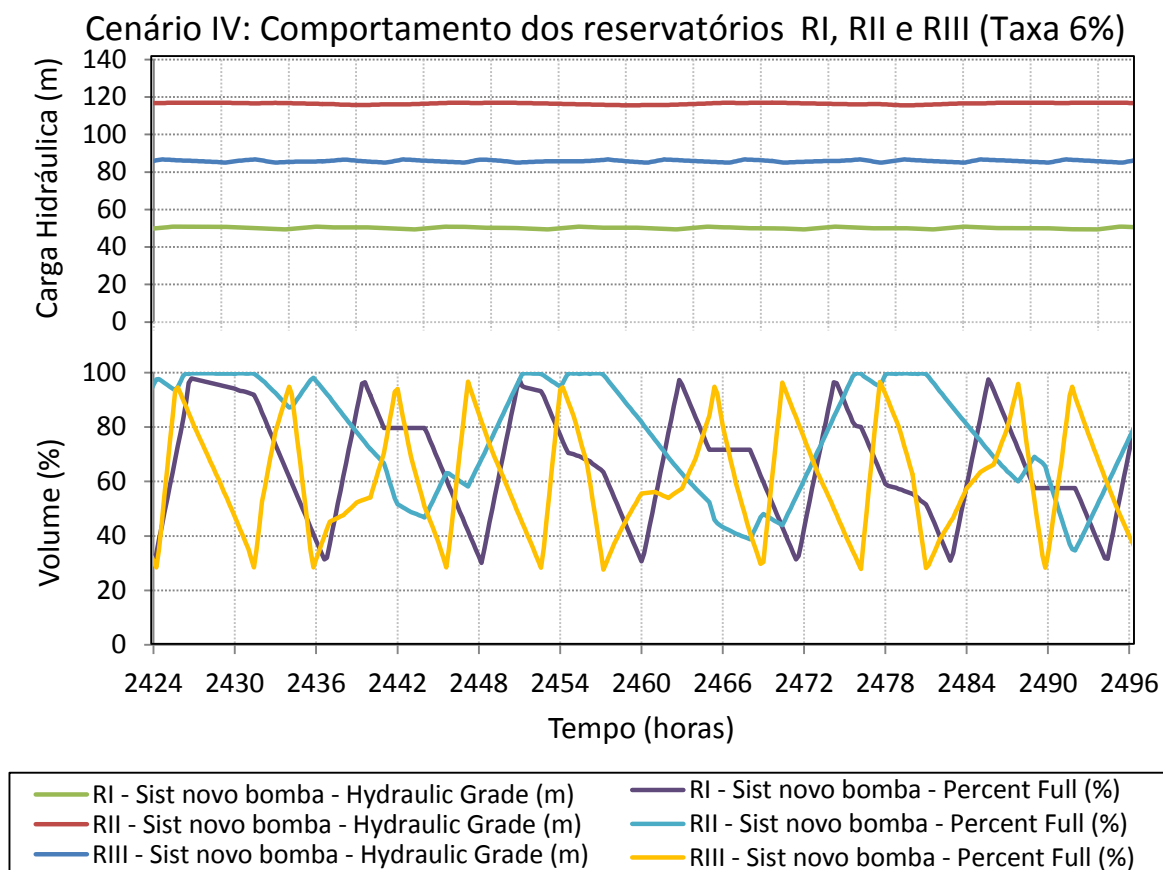
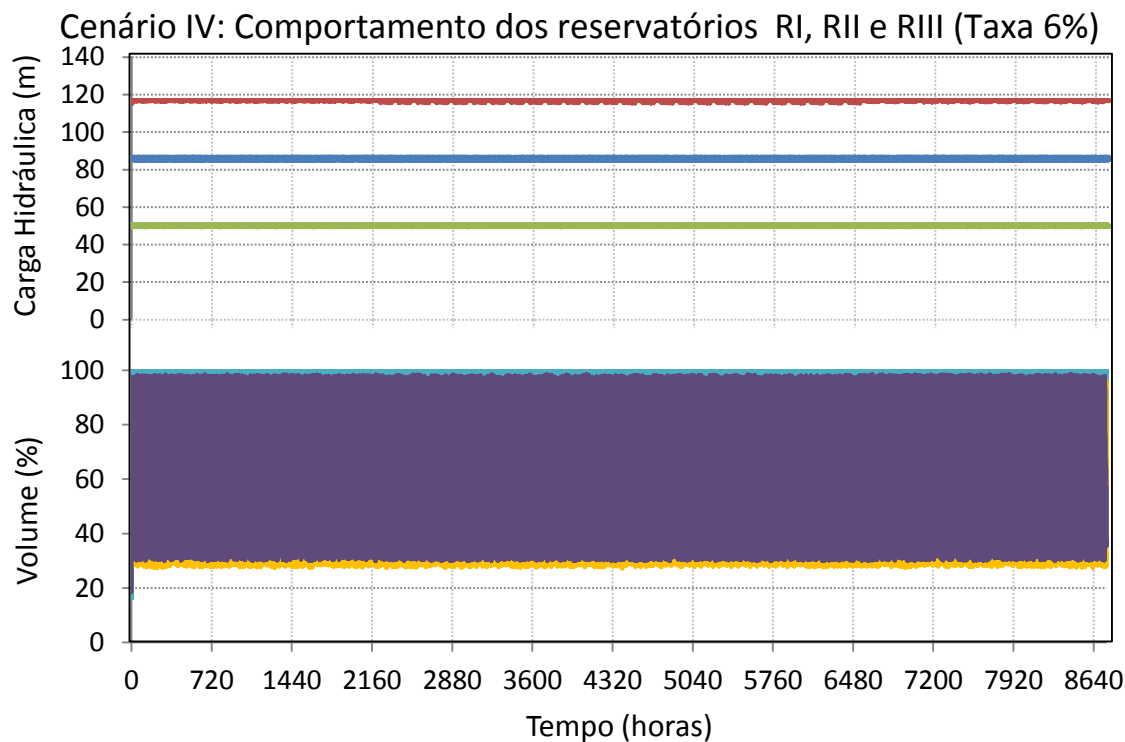
Cenário IV: Nós Entrada RI, Setor4 e CentroCampus (Dem Atual)

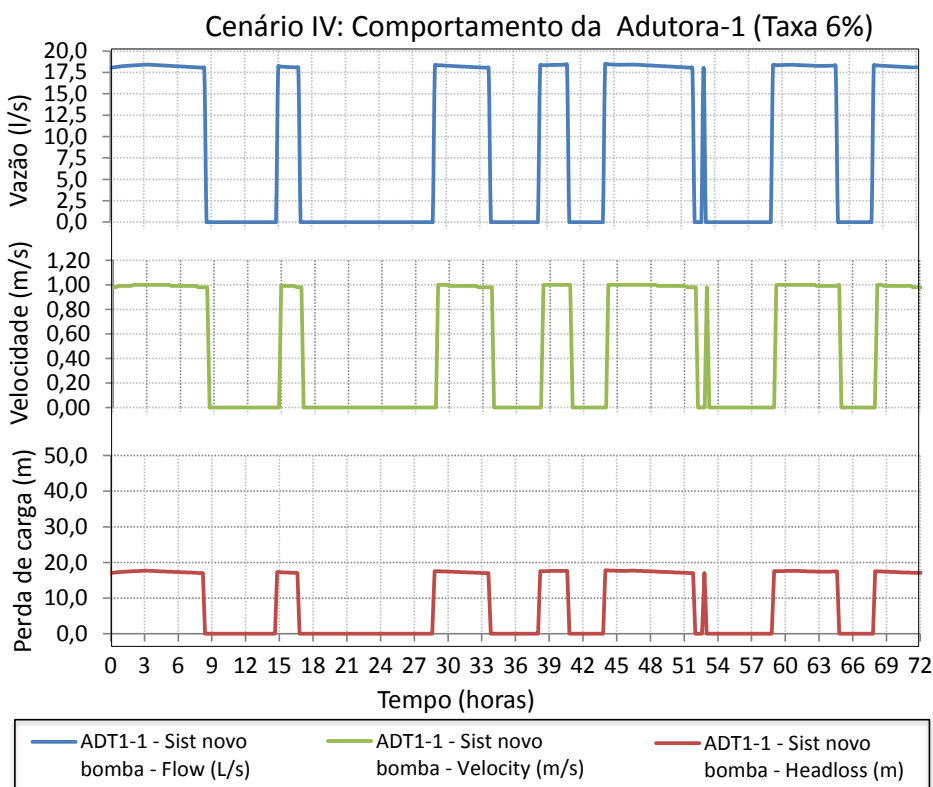
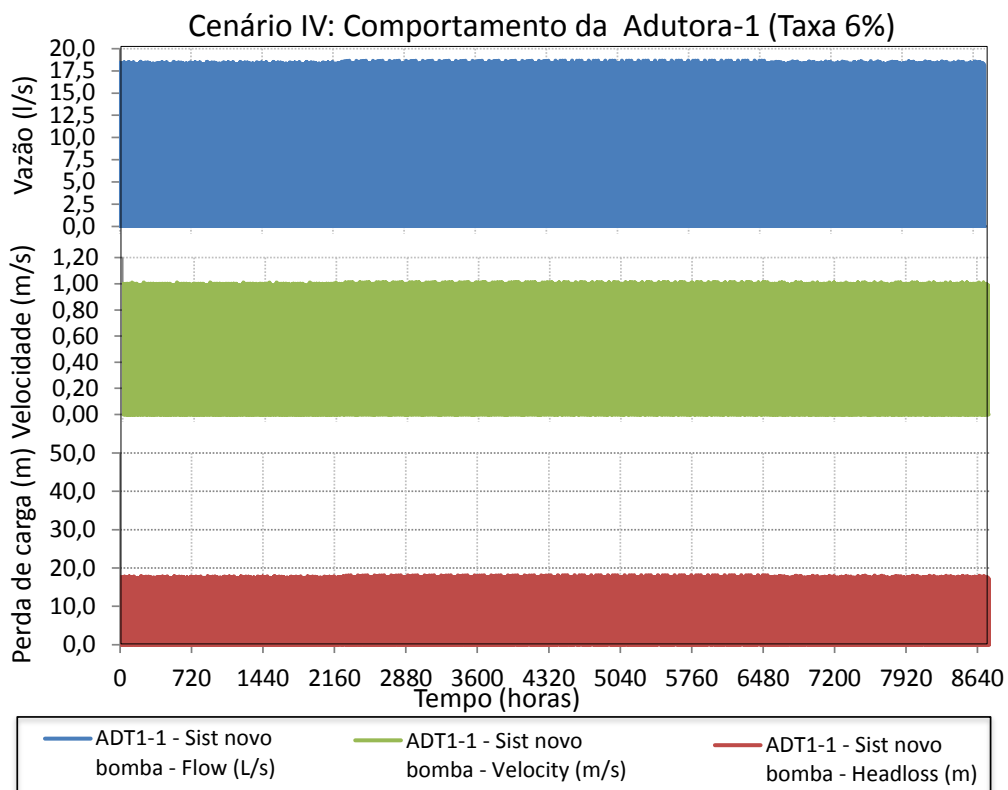


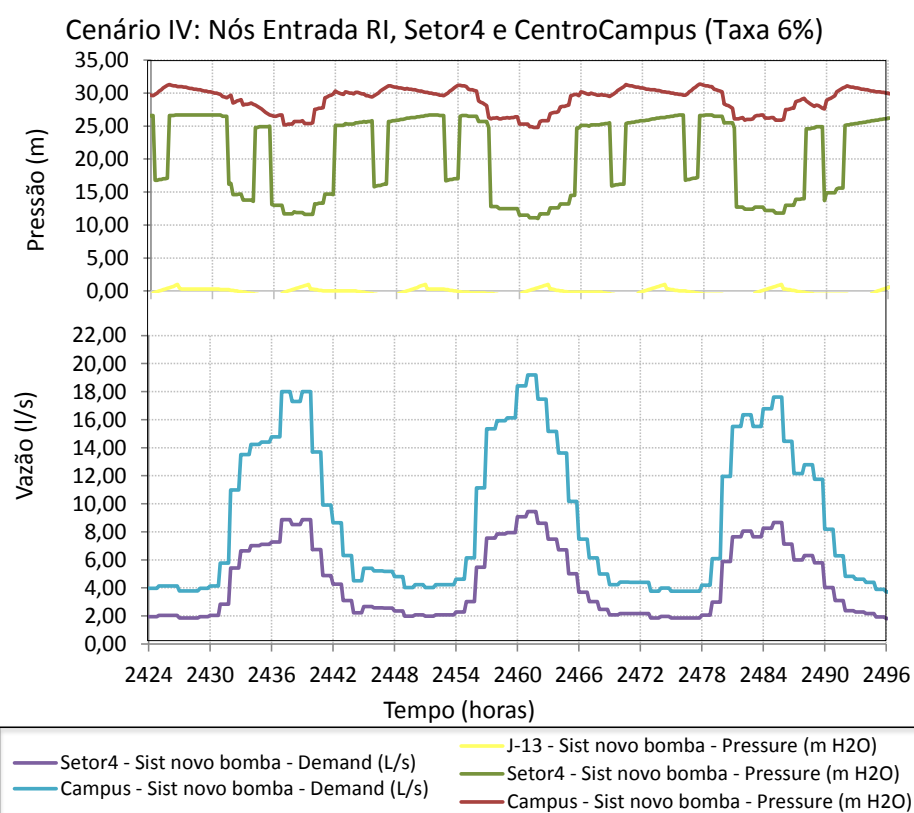
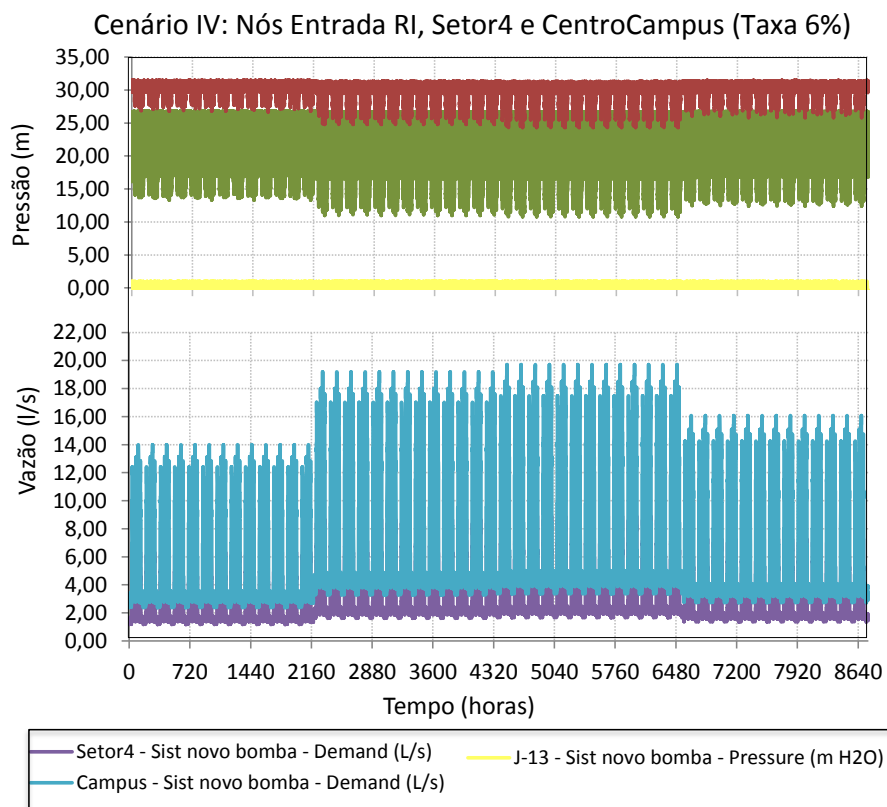
Resultado para o ano 2033 considerando a demanda para a taxa de 6% a.a.

Cenário IV: Comportamento da bomba MB-1 (Taxa 6%)

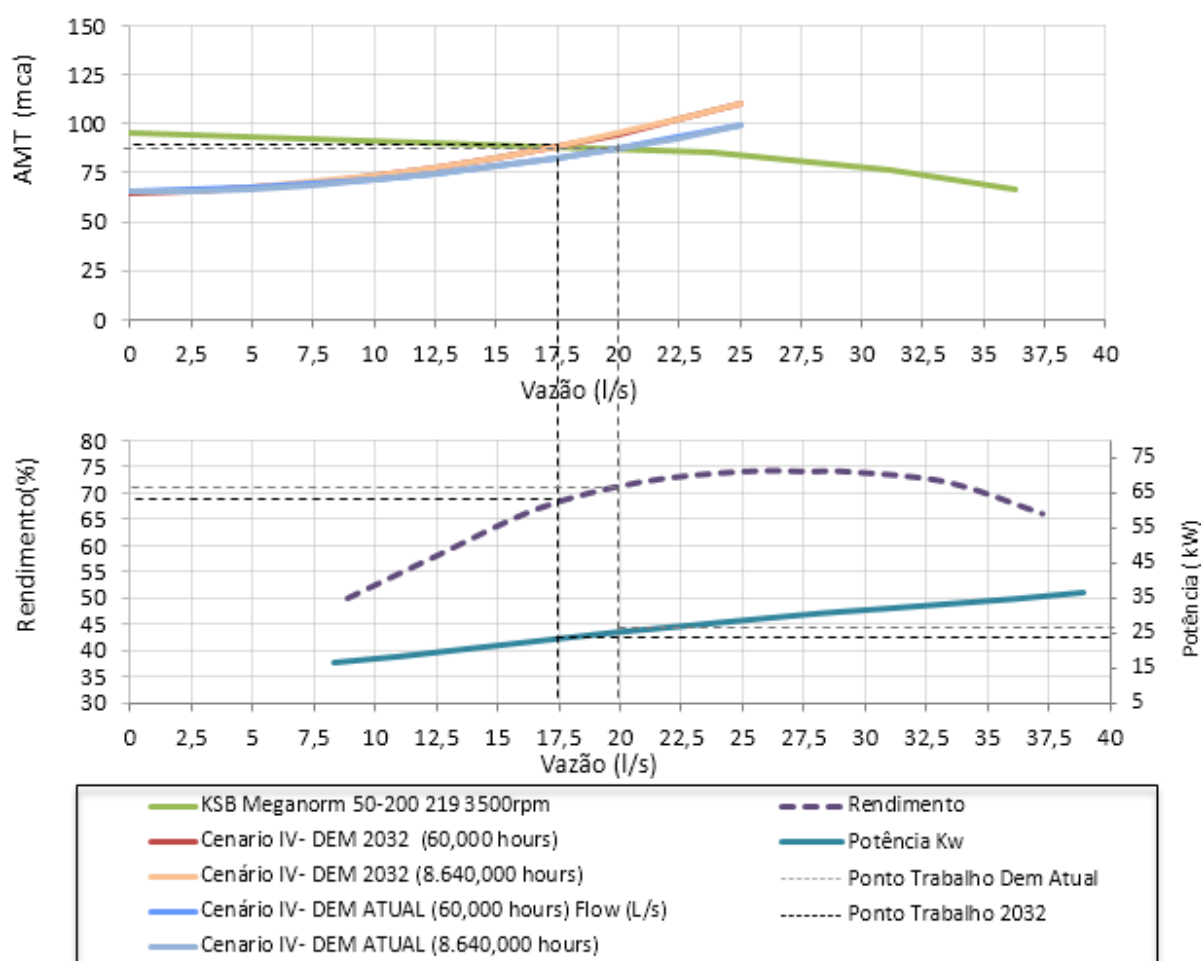








Curva do sistema versus curva da bomba



Anexo A - Dimensional das bombas atualmente instaladas

Bombas Centrífugas Monoestágio Normalizadas

Série DN

Dimensões - Bomba / Motor / Base em chapa dobrada com ou sem espaçador

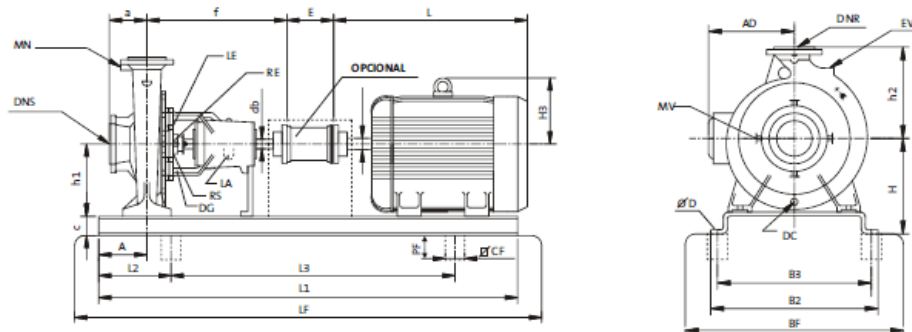


Tabela 1 - Dimensões nas conexões

Pontos de Conexão	Denominação da Aplicação	Mancais			
		DN1	DN2	DN3	DN4
		Rosca BSP			
MN	Manômetro	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
MV	Manovacuômetro	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
DC	Dreno do corpo	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
EV	Escorvamento	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
DG	Dreno gotejamento	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
LE	Lubrificação externa	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"
LA	Lubrificação automática	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"
RE	Refrigeração externa	1/4"	1/4"	3/8"	3/8"
RS	Refrigeração saída	1/4"	1/4"	3/8"	3/8"

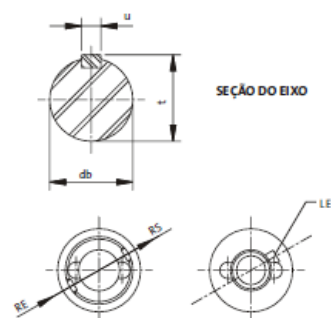


Tabela 2 - Dimensões variáveis conforme bomba

Modelo da Bomba	Dimensões (mm)										
	DNS	DNR	a	f	db	h1	h2	A	u	t	E
DN 32-16	50	32	80	385	24	132	160	60	8	27	100
DN 32-20	50	32	80	385	24	160	180	60	8	27	100
DN 32-25	50	32	100	500	32	180	225	80	10	35	100
DN 40-16	65	40	80	385	24	132	160	60	8	27	100
DN 40-20	65	40	100	385	24	160	180	60	8	27	100
DN 40-25	65	40	100	500	32	180	225	80	10	35	100
DN 40-32	65	40	125	500	32	200	250	80	10	35	100
DN 50-16	80	50	100	385	24	160	180	60	8	27	100
DN 50-20	80	50	100	385	24	160	200	60	8	27	100
DN 50-25	80	50	125	500	32	180	225	80	10	35	100
DN 50-32	80	50	125	500	32	225	280	80	10	35	100
DN 65-16	100	65	100	500	32	160	200	80	10	35	100
DN 65-20	100	65	100	500	32	180	225	80	10	35	140
DN 65-25	100	65	125	500	32	200	250	90	10	35	140
DN 65-32	100	65	125	530	42	225	280	90	12	45	140

Anexo B - Consumo de água do Campus no últimos seis anos

Consumo de água do Campus do Vale, nos anos de 2006 a 2011, fornecida SUINFRA obtida pela leitura do hidrômetro.

	2006	2007	2008	2009		2010		2011	
	Volume m ³	Volume m ³	Volume m ³	Volume m ³	Custo R\$	Volume m ³	Custo R\$	Volume m ³	Custo R\$
Janeiro	14.726	2.434	6.233	4.381	8.181	6.124	12.358	5.244	10.581
Fevereiro	8.925	5.706	6.241	5.810	11.143	5.496	11.090	6.239	13.775
Março	10.167	8.496	7.208	8.600	16.071	6.629	13.378	7.034	15.532
Abril	10.119	9.811	9.249	9.448	19.073	7.586	15.312	9.104	20.107
Mai	12.287	5.852	7.798	6.687	13.496	7.856	15.857	9.885	21.833
Junho	9.346	6.657	8.230	7.439	15.015	8.342	16.839	12.299	27.168
Julho	10.584	6.104	10.080	7.036	14.201	11.920	24.066	8.467	18.699
Agosto	10.739	6.204	6.729	8.004	16.156	19.761	39.905	7.339	16.206
Setembro	10.223	6.322	8.267	7.132	14.395	8.518	17.194	7.469	16.493
Outubro	10.515	6.210	8.781	7.035	14.199	7.324	14.782	7.304	16.129
Novembro	10.955	6.245	7.739	6.696	13.514	8.010	16.168	5.956	13.150
Dezembro	10.955	6.245	7.739	6.696	13.514	8.010	16.168	5.956	13.150
Total	129.541	76.286	94.294	84.964	168.955	105.576	213.118	92.296	202.820
Média Geral	10.795	6.357	7.858	7.080		8.798		7.691	
Consumo méd/semana	2.699	1.589	1.964	1.770		2.200		1.923	

Anexo C - Tarifa praticada pela concessionária CEEE para a classe Convencional



Tabela de Tarifas - Convencional

Resolução Homologatória ANEEL nº 1074, de 19/10/2010
Aplicação: 25/10/2010 - Data Reajuste Anterior: 25/10/2009

Observe atentamente a fórmula de cálculo, bem como os descontos, incluídos ao final da tabela

TABELA 1 - GRUPO BAIXA TENSÃO	CONSUMO R\$/kWh
SUBGRUPO B1-CLASSE RESIDENCIAL	
Consumo mensal Residencial	0,316420
SUBGRUPO B1-CLASSE RESIDENCIAL BAIXA RENDA	
Consumo mensal até 30 kWh	0,103160
Consumo mensal de 31 a 100 kWh	0,176890
Consumo mensal de 101 A 220 kWh	0,265270
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,294750
SUBGRUPO B2-CLASSE RURAL	
Rural	0,217340
Cooperativa Eletrificação Rural	0,144260
Serviço Público de Irrigação	0,189430
SUBGRUPO B3-DEMAIS CLASSES	
Industrial	0,315930
Comercial e Outros	0,315930
Poderes Públicos	0,315930
Serviços Públicos - Tração Elétrica	0,315930
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento	0,268540
SUBGRUPO B4-CLASSE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	
B4a	0,162790

Obs.: as tarifas constantes da presente tabela não incluem alíquota de ICMS e de PIS/COFINS.

Fórmula para cálculo

$$\text{Preço Final} = \frac{\text{Tarifa homologada}}{\{1 - (\text{alíq. ICMS} + \text{alíq. PIS} + \text{alíq. COFINS})\}}$$

Alíquotas	Classes
25%	Residencial (+ de 50 kWh), Comercial, Poderes Públicos e Serviços Públicos
20%	Iluminação Pública
17%	Industrial
12%	Residencial (até 50 kWh)
12%	Rural (para os primeiros 100 kWh)
25%	Rural (sem CPR)

TABELA 2 - GRUPO ALTA TENSÃO	DEMANDA R\$/kW	CONSUMO R\$/kWh	DEMANDA ULTRAPASSAGEM R\$/kWh
SUBGRUPO A4 (2,3 kV A 25 kV)			
Residencial	34,450000	0,140940	103,350000
Rural	31,005000	0,126846	103,350000
SUBGRUPO A4 (2,3 kV A 25 kV)			
Industrial	34,450000	0,140940	103,350000
Comercial e Outros	34,450000	0,140940	103,350000
Poderes Públicos	34,450000	0,140940	103,350000
Serviços Públicos - Tração Elétrica	34,450000	0,140940	103,350000
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento	29,282500	0,119799	103,350000
Cooperativa Eletrificação Rural Tipo 1	4,940000	0,072190	14,820000
Cooperativa Eletrificação Rural Tipo 2	3,920000	0,056970	11,760000
Cooperativa Eletrificação Rural Tipo 3	2,610000	0,038070	7,830000
SUBGRUPO AS (Subterrâneo)			
Industrial	50,720000	0,140940	152,160000
Comercial e Outros	50,720000	0,140940	152,160000
Poderes Públicos	50,720000	0,140940	152,160000

DESCONTOS PERCENTUAIS APLICADOS NAS TABELAS 1 e 2		
SUBGRUPOS A4, A5 e B3	DEMANDA	CONSUMO
Rural - GRUPO A	10,00%	10,00%
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento - GRUPO A	15,00%	15,00%
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento - GRUPO B3		15,00%

Comparação entre as faixas de tarifa Baixa Renda e a tarifa Residencial Comum, nos termos da RH ANEEL nº 945/2010	REDUÇÃO
Consumo mensal até 30 kWh	67,40%
Consumo mensal de 31 a 100 kWh	44,10%
Consumo mensal de 101 A 220 kWh	16,17%
Consumo mensal superior a 220 kWh	6,85%

Desconto Art. 107 da Resolução Normativa ANEEL N° 414/2010 (que substitui a Res. Normativa ANEEL N° 207/2006)

As tarifas utilizadas para fornecimento de energia elétrica destinada à irrigação e aquicultura, classe rural segmento horário das 21:30 às 06:00 hs, para unidades consumidoras que preencham as condições estabelecidas na resolução terão os seguintes descontos:

CONSUMO (kWh) GRUPO A: 70%
CONSUMO (kWh) GRUPO B: 60%

Anexo D - Tabela de tarifa praticada pela concessionária CEEE para a classe Horo-sazonal Verde



Tabela de Tarifas - Horo-Sazonal Verde

Resolução Homologatória ANEEL nº 1074, de 19/10/2010
Aplicação: 25/10/2010 - Data Reajuste Anterior: 25/10/2009

Observe atentamente a fórmula de cálculo, bem como os descontos, incluídos ao final da tabela.

GRUPO ALTA TENSÃO	DEMANDA R\$/kW	DEMANDA ULTRAPASSAGEM R\$/kW	CONSUMO R\$/kWh			
			PONTA SECA	PONTA ÚMIDA	FORA PONTA SECA	FORA PONTA ÚMIDA
SUBGRUPO A4 (2,3 kV A 25 kV)						
Residencial	8,420000	25,260000	1,054820	1,035400	0,139070	0,127800
Industrial	8,420000	25,260000	1,054820	1,035400	0,139070	0,127800
Comercial e Outros	8,420000	25,260000	1,054820	1,035400	0,139070	0,127800
Poderes Públicos	8,420000	25,260000	1,054820	1,035400	0,139070	0,127800
Serviços Públicos - Tração Elétrica	8,420000	25,260000	1,054820	1,035400	0,139070	0,127800
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento	7,157000	25,260000	0,896597	0,880090	0,118210	0,108630
Rural	7,578000	25,260000	0,949338	0,931860	0,125163	0,115020
SUBGRUPO AS (Subterrâneo)						
Industrial						
Comercial e Outros	12,980000	38,940000	1,093880	1,074460	0,139070	0,127800
Poderes Públicos	12,980000	38,940000	1,093880	1,074460	0,139070	0,127800
Serviços Públicos - Tração Elétrica	12,980000	38,940000	1,093880	1,074460	0,139070	0,127800
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento	11,033000	38,940000	0,929798	0,913291	0,118210	0,108630

Obs.: as tarifas constantes da presente tabela não incluem alíquota de ICMS e de PIS/COFINS.

Fórmula para cálculo

$$\text{Preço Final} = \frac{\text{Tarifa homologada}}{\{1 - (\text{aliqui.ICMS} + \text{aliqui.PIS} + \text{aliqui.COFINS})\}}$$

DESCONTOS PERCENTUAIS APLICADOS		
SUBGRUPOS A4 e AS	DEMANDA	CONSUMO
Rural	10,00%	10,00%
Serviços Públicos - Água, Esgoto e Saneamento	15,00%	15,00%

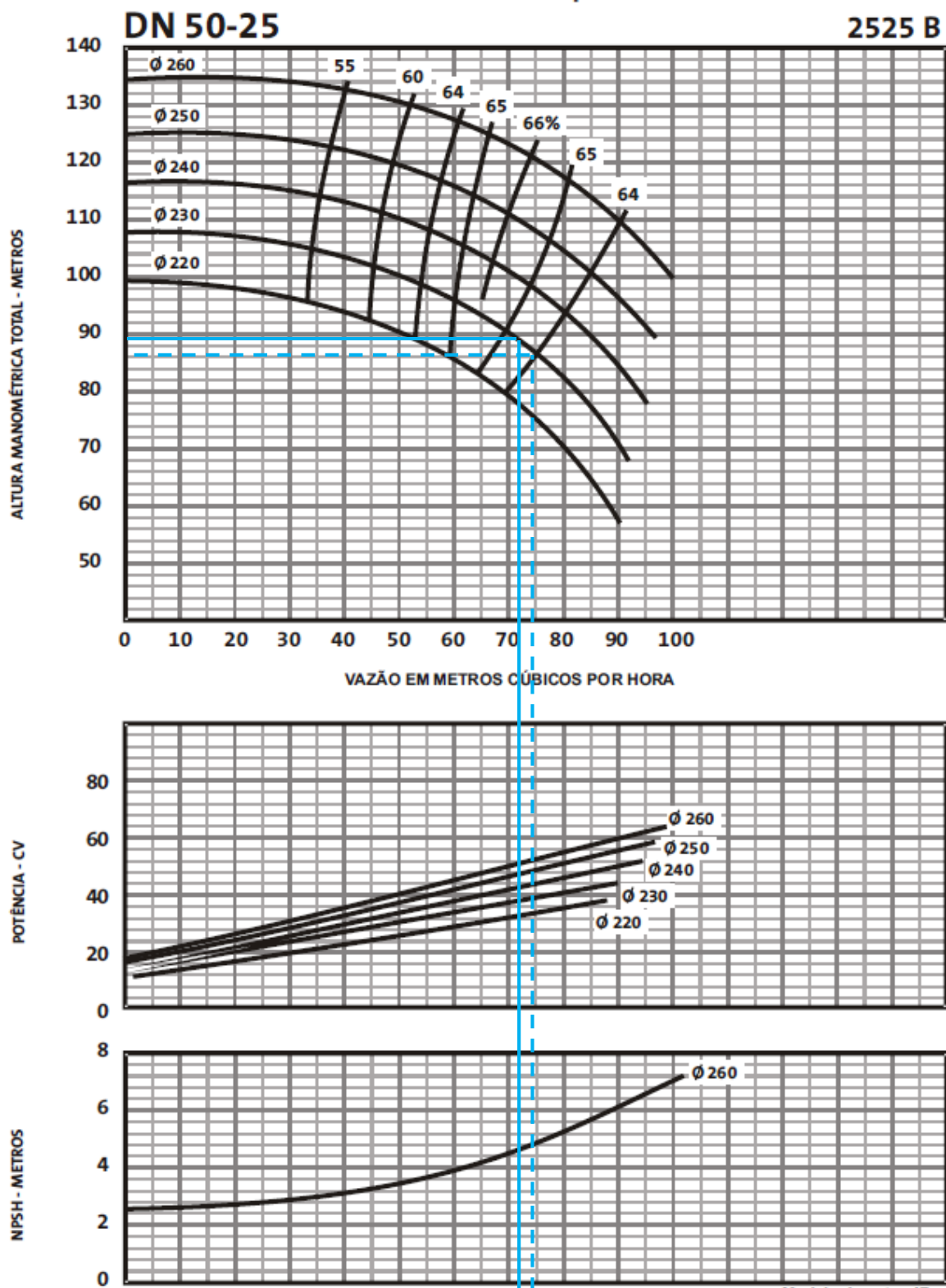
Alíquotas	Classes
25%	Residencial (+ de 50 kWh), Comercial, Poderes Públicos e Serviços Públicos
20%	Iluminação Pública
17%	Industrial
12%	Residencial (até 50 kWh)
12%	Rural (para os primeiros 100 kWh)
25%	Rural (sem CPR)

Desconto Art. 107 da Resolução Normativa ANEEL Nº 414/2010 (que substitui a Res. Normativa ANEEL Nº 207/2006)

As tarifas utilizadas para fornecimento de energia elétrica destinada à irrigação e aquicultura, classe rural segmento horário das 21:30 às 06:00 hs, para unidades consumidoras que preencham as condições estabelecidas na resolução terão os seguintes descontos:


CONSUMO (kWh) GRUPO A: 70%
CONSUMO (kWh) GRUPO B: 60%

Anexo E - Curvas características das novas bombas 3500 rpm



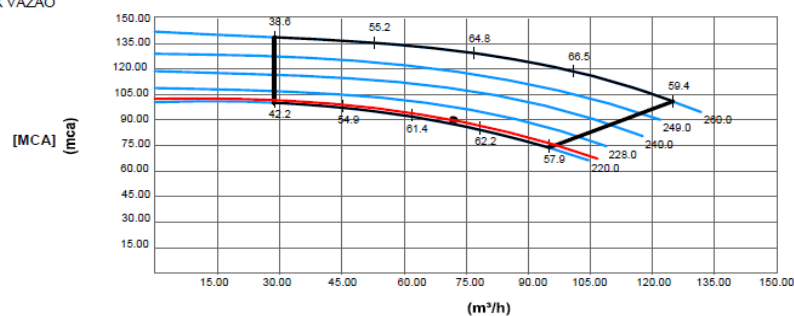
"TESTES E ACEITAÇÃO CONFORME NORMA ISO 9906:1999 ANEXO A"



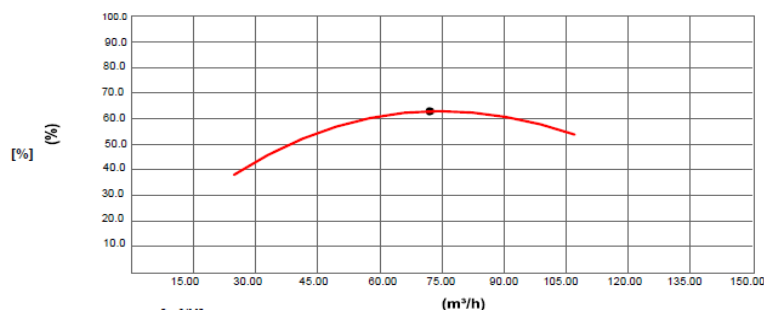
 soluções em Bombamento CEI V 4.0	Gráficos de desempenho	

Cliente	Projeto	Tag
Linha / Modelo INI 50-250	Rotação 3500 rpm	Data 28 / 10 / 2013
Vazão 72.00 m³/h	Altura manométrica total 90.00 mca	Peso específico do fluido 1.00 kg/dm³
Diâmetro do rotor 221.8 mm	Rendimento da Bomba 62.7 %	Potência consumida 38.28 cv

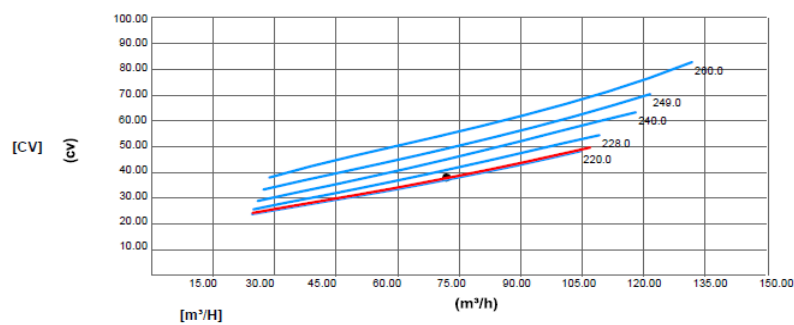
AMT X VAZÃO



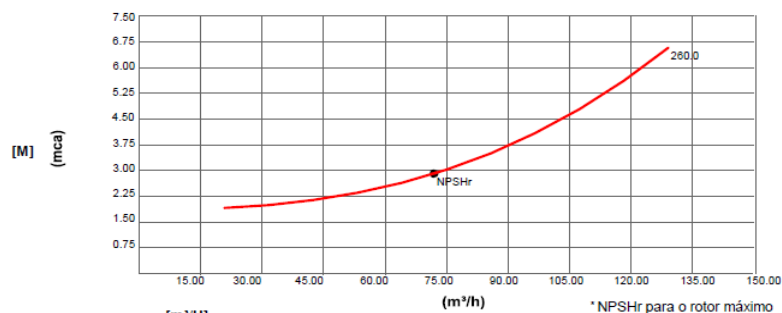
RENDIMENTO X VAZÃO



POTÊNCIA CONSUMIDA X VAZÃO



NPSHr X VAZÃO



* NPSHr para o rotor máximo


[Imprimir](#)

Cliente: UFRGS
E-mail: fernanda.tonial@gmail.com

Data: 28/10/2013
Protocolo: 52698

Modelo: MEGABLOC 50-200

Dados operacionais:

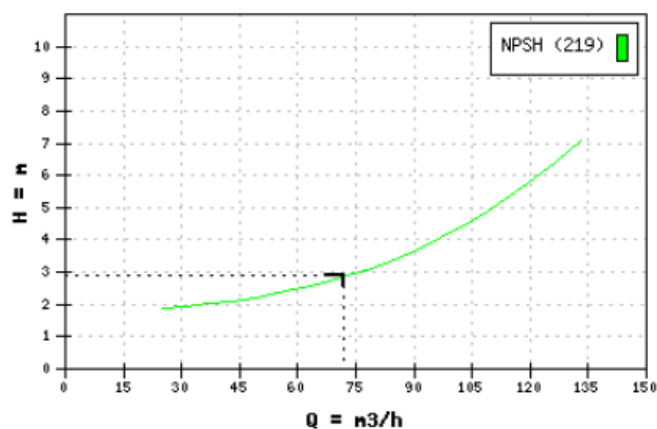
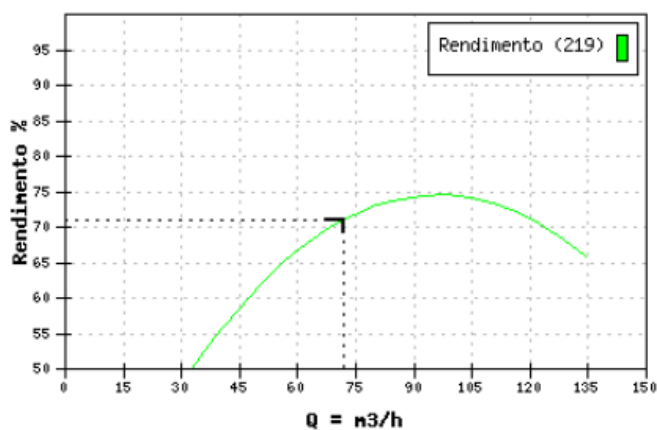
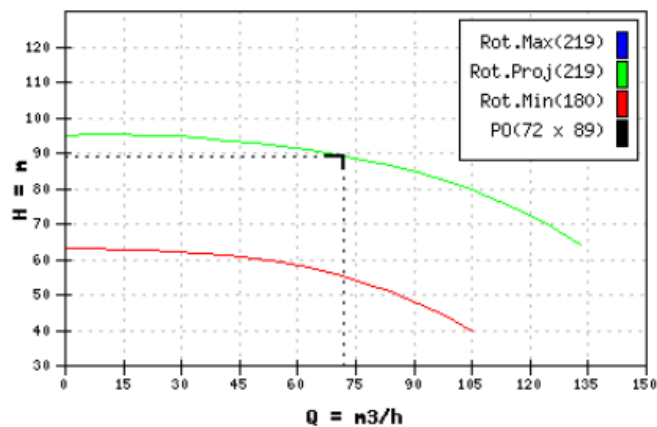
Vazão: 72 m³/h
Altura manométrica: 89 m
NPSH Requerido: 2,9 m
Rendimento: 71%
Diametro Projeto: 219 mm
Líquido a bombear: ÁGUA
Temperatura: 25 °C
Densidade: 1 kgf/dm³
Rotação: 3500 rpm
Viscosidade: 1 cSt
Potencia: 33,43 CV

Dados Construtivos:

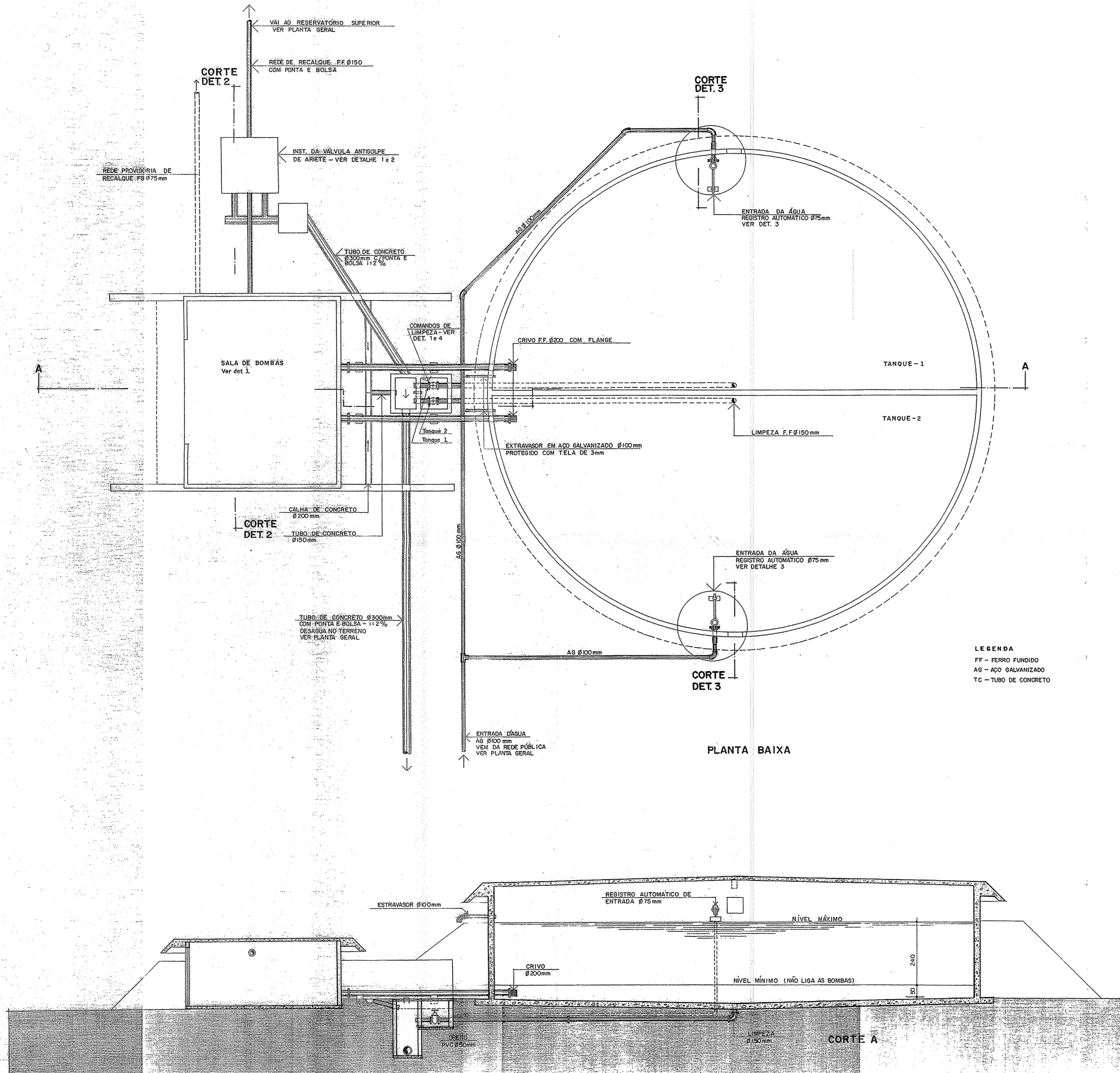
Diametro de Sucção: 80mm
Posição: Horizontal
Classe Pressão: 125# FF
Norma: ANSI B16.1
Diametro Recalque: 50mm
Norma: ANSI B16.1
Construção: PÉS
Mancais: ROLAMENTOS
Lubrificação: GRAXA
Rotação: Horário

Materiais:

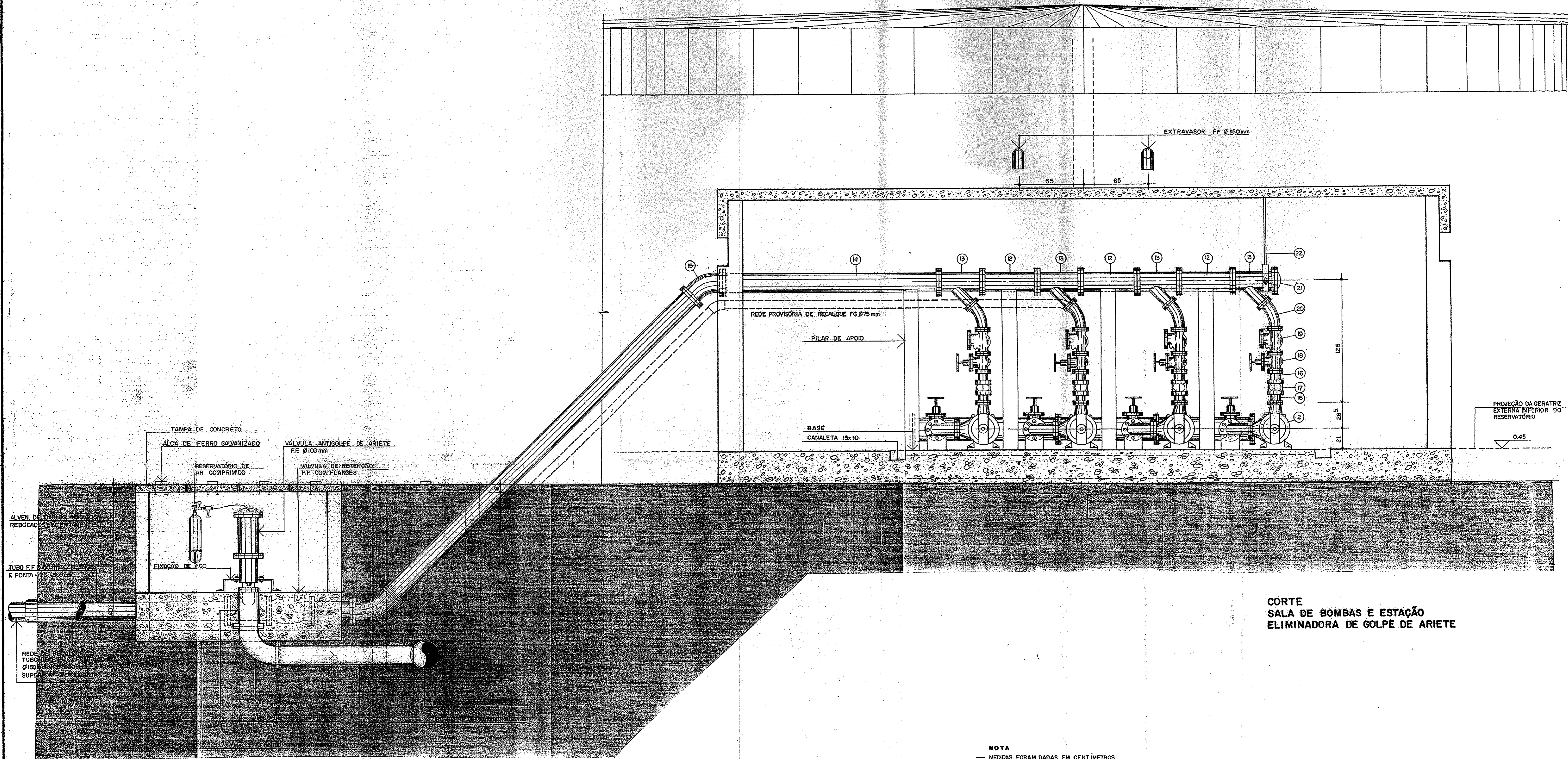
Rotor: A48CL30
Eixo: SAE1045
Corpo: A48CL30



Anexo F - Plantas do sistema hidráulico da área de estudo no Campus do Vale.




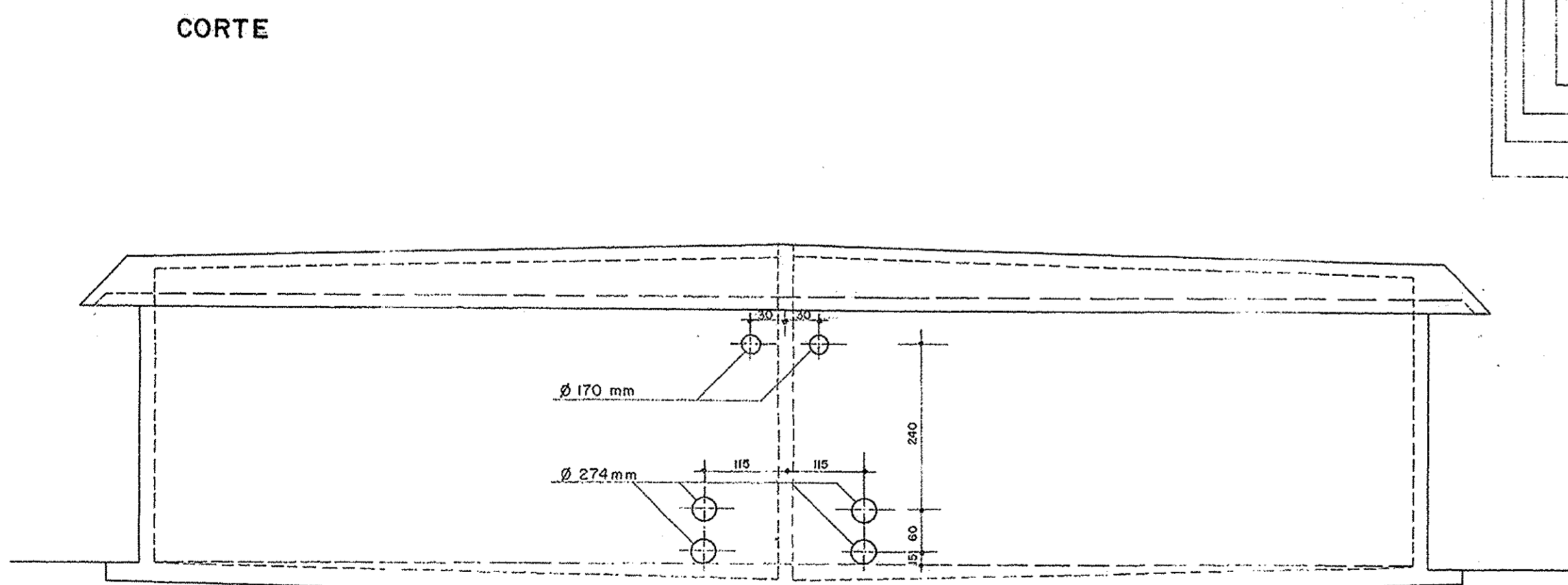
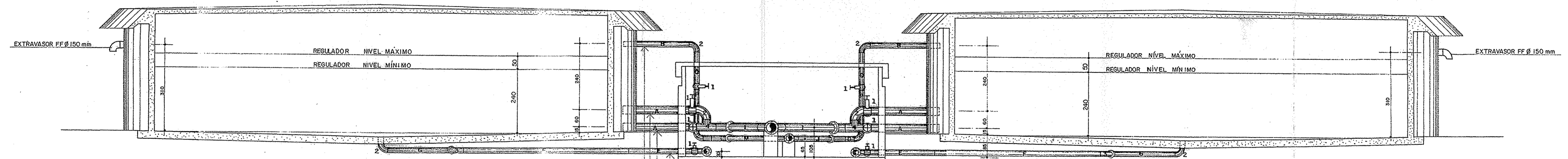
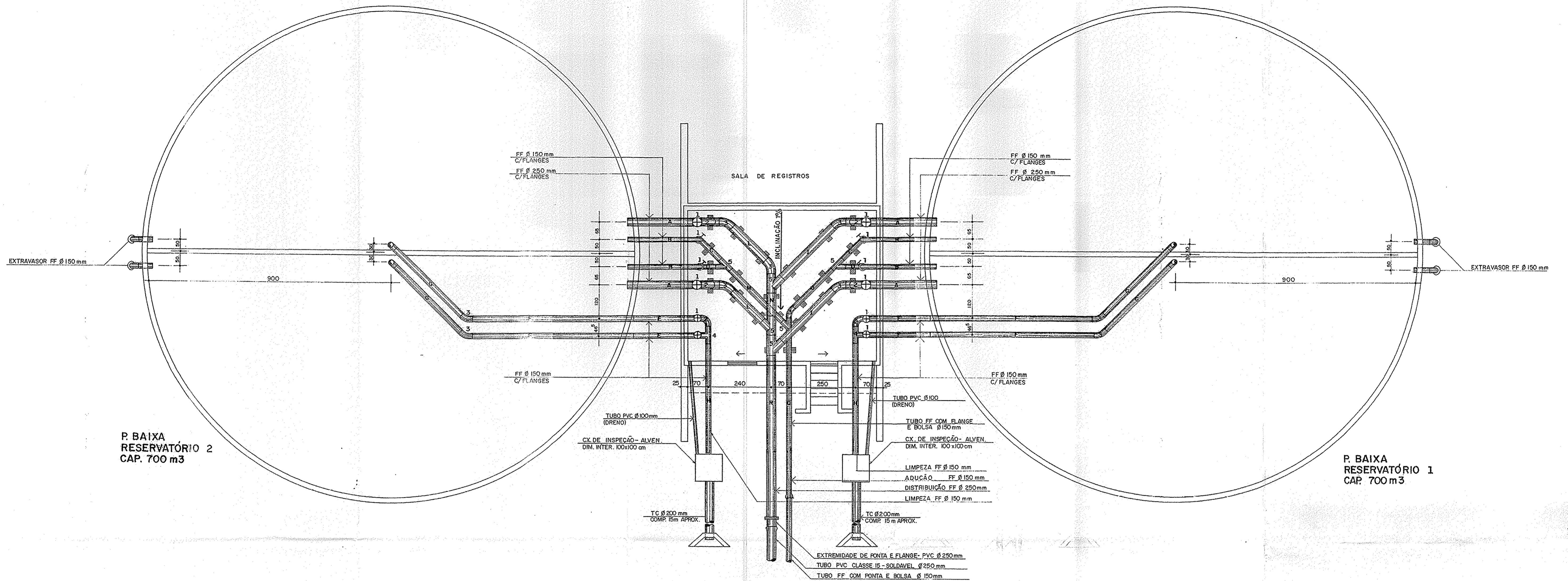
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL	Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escritório Técnico do Campus / UFRGS	Revisão ENOS CLÓVIS e REGINALDO
	RESERVATÓRIO GERAL INFERIOR	Desenho ODRACIR / MARCOS
PLANTA BAIXA E CORTE		Data MAIO 80
Aprovação ETC	Aprovação ARQ. C. CRESTANI	Escala 1:75
		Folha nº IH/00/02



**CORTE
SALA DE BOMBAS E ESTAÇÃO
ELIMINADORA DE GOLPE DE ARIETE**

NOTA
 — MEDIDAS FORAM DADAS EM CENTÍMETROS.
 — O GABARITO DE FURAÇÃO DOS FLANGES SERÃO CONFORME ABNT PB15 (ISO/R15) E ISO 2531 PN 10.
 — OS PILARES E BASES DE APOIO SERÃO CONFORME PLANTA DE ESTRUTURA.


 SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL	Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escritório Técnico do Campus / UFRGS	
	RESERVATÓRIO GERAL INFERIOR 43601	
DET. 2 CORTE SALA DE BOMBAS ESTAÇÃO ELIMIN. DE GOLPE DE ARIETE	Revisão ENOS CLÓVIS e REGINALDO Desenho ODRACIR / MARCOS Data MAIO 80 Escala 1:20 Folha nº 1H/00/04	Aprovação ETC ARQ. C. CRESTANI



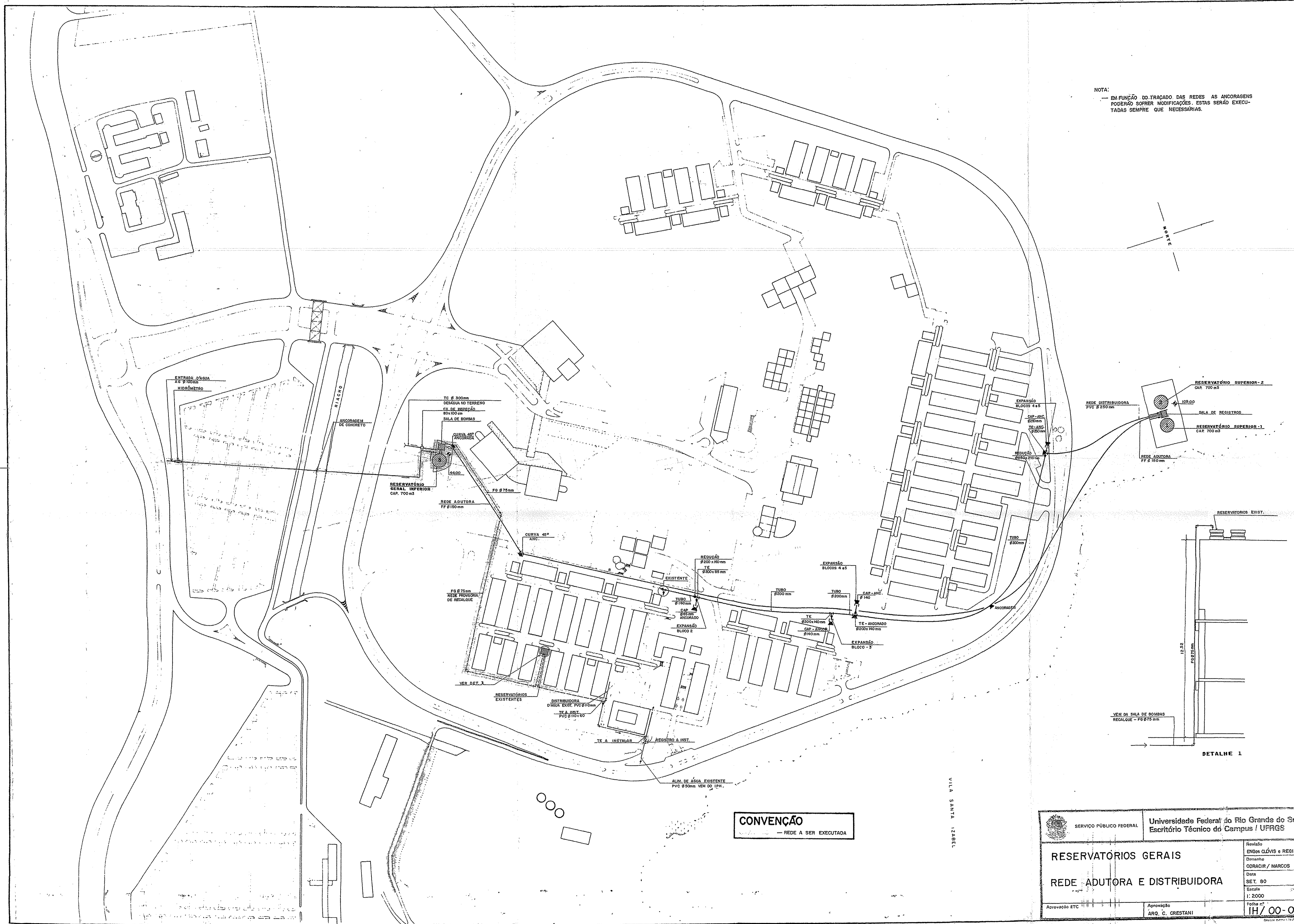
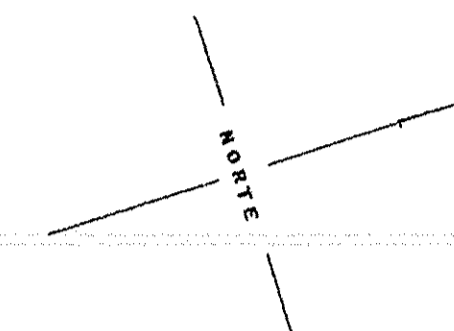
- LEGENDA**
- 1 - REGISTRO DE GAVETA FF COM FLANGES
 - 2 - CURVA 90° COM FLANGES FF
 - 3 - CURVA 45° COM FLANGES FF
 - 4 - TE COM FLANGES FF
 - 5 - JUNÇÃO 45° COM FLANGES FF
 - ▨ - BASE DE CONCRETO P/APOIO DAS TUBULAÇÕES DIM. 90x20 cm.

MEDIDAS APROXIMADAS DOS TUBOS


LETRA	TIPO DE TUBO	DIÂMETRO	DIMENSÕES
A	TOÇO DE TUBO	Ø 250 mm	2500 mm
B	"	Ø 150 mm	2500 mm
C	"	Ø 150 mm	800 mm
D	"	Ø 150 mm	300 mm
E	"	Ø 150 mm	2200 mm
F	"	Ø 150 mm	6000 mm
G	"	Ø 150 mm	2400 mm
H	"	Ø 150 mm	4200 mm
I	"	Ø 250 mm	2650 mm
J	"	Ø 150 mm	2000 mm
L	"	Ø 250 mm	1700 mm
M	"	Ø 150 mm	2700 mm
N	"	Ø 250 mm	850 mm
O	"	Ø 150 mm	1100 mm
P	"	Ø 150 mm	1500 mm
Q	PEÇA DE TUBO	Ø 150 mm	6000 mm
R	"	Ø 250 mm	6000 mm

 SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL	Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escritório Técnico do Campus / UFRGS	
	RESERVATÓRIOS GERAIS SUPERIORES PLANTA BAIXA 1 E 2 CORTE E VISTA	
Revisão BYSOS CLÓVIS e REGINALDO Desenho GIODRA - MARCOS Data SET 80 Escala 1:75	Aprovação ETC ARO C. CRESTANI	Folha nº 1H/00-06

NOTA:
 — EM FUNÇÃO DO TRAÇADO DAS REDES AS ANCORAGENS
 PODERÃO SOFRER MODIFICAÇÕES. ESTAS SERÃO EXECU-
 TADAS SEMPRE QUE NECESSÁRIAS.



CONVENÇÃO
 — REDE A SER EXECUTADA

 SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL		Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escritório Técnico do Campus / UFRGS	
RESERVATÓRIOS GERAIS REDE ADUTORA E DISTRIBUIDORA		Revisão ENOS OLÍVIS e REGINALDO	Desenho ODRACIR / MARCOS
		Data SET. 80	Escala 1: 2000
Aprovação ETC	Aprovação ARG. G. CRESTANI	Folha nº IH/ 00-01	