



Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Modelo Demonstrativo de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água

Memória de Cálculo

Outubro 2016



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Título: Modelo Demonstrativo de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água

Elaborado por: AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner

USt-ID DE 227 840 440

Autor: **Frederico Ferreira de Vasconcelos e Marcelo Rodrigues Barreto**

Revisão: **Rita Cavaleiro de Ferreira**

Para: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Encargo: Projeto de Eficiência Energética no abastecimento de água, GIZ Brasil

No. do Encargo: PN 2013.2079.5

Coordenação: Arnd Helmke Coordenador do Programa Energias Renováveis e Eficiência Energética (GIZ), Ernani Ciríaco de Miranda, (Diretor do Departamento de Articulação Institucional, Secretaria de Saneamento, Ministério das Cidades)

Outubro 2016

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.
2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

Índice

Siglas e Acrônimos	3
1. Introdução	4
2. Objetivo	5
3. Premissas do Modelo Demonstrativo	6
4. Dimensionamento do Sistema Original	7
População e vazões de abastecimento	7
Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	8
Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT).....	9
Adutora de Água Tratada (AAT).....	9
Reservatório de Distribuição (RAP)	9
Rede de Distribuição de Água (RDA)	9
5. Condição Atual de Operação	10
Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	10
Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT).....	10
Adutora de Água Tratada (AAT).....	11
Reservatório de Distribuição (RAP)	11
Rede de Distribuição de Água (RDA)	11
Situação Prevista em Projeto versus Situação Atual	11
6. Ações de Eficiência Energética	16
Rede de Distribuição de Água (RDA)	16
<i>Controle de pressões</i>	16
<i>Reabilitação e substituição de tubulações e ligações prediais</i>	17
<i>Substituição / instalação de hidrômetros</i>	17
Reservatório de Distribuição (RAP)	17
<i>Ampliação para garantir serviço em horário de ponta</i>	17
Adutora de Água Tratada (AAT).....	17
<i>Minimização do coeficiente de rugosidade</i>	17
<i>Ampliação da adutora - redução da velocidade de vazão</i>	18
Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT).....	18
<i>Dimensionamento para operar em horário fora de ponta</i>	18
<i>Conjuntos motor-bomba mais eficientes</i>	18
<i>Uso de inversores de frequência – controle da energia reativa</i>	19
Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	19
Economias para o Consumo e a Demanda	20
7. Avaliação econômico-financeira das medidas de Eficiência Energética	22
Investimentos	22
Custos Evitados	23
8. Conclusões	27

9. Bibliografia

30

Índice de Figuras

Figura 1 - Crescimento Populacional	7
Figura 2 – Gráfico: consumo total	27
Figura 3 – Gráfico: demanda máxima	28

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparação entre os parâmetros de projeto previstos e os necessários para o sistema de abastecimento de água do município.....	12
Tabela 2 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual EEAB.....	13
Tabela 3 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual EEAT	14
Tabela 4 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual	14
Tabela 5 - Regime operacional da EEAT após EE	18
Tabela 6 - Regime operacional da EEAB após EE.....	19
Tabela 7 - Regime operacional da EEAB após EE.....	21
Tabela 8 - Evolução dos Indicadores.....	21
Tabela 9 – Investimentos necessários para implantação de medidas de eficiência energética propostas.....	23
Tabela 10 – Custos Evitados pela implantação de medidas de EE	23
Tabela 11 – Custos evitados e payback estimados decorrentes da implantação das medidas de redução de perdas	24
Tabela 12 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos no Reservatório Apoiado.....	24
Tabela 13 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos na adutora de água tratada e elevatória de água tratada.	25
Tabela 14 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos na adutora de água tratada e elevatória de água bruta	25
Tabela 15 – Impacto econômico das medidas de redução de perdas no sistema.....	26
Tabela 16 - Resumo: consumo e demanda	27
Tabela 17 – Investimentos, custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos em eficiência energética.....	28

Siglas e Acrônimos

AAT	Adutora de água tratada
BMZ	Ministério da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha
EE	Eficiência Energética
EEAB	Estação elevatória de água bruta
EEAT	Estação elevatória de água tratada
ETA	Estação de tratamento de água
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperação Alemã)
MCIDADES	Ministério das Cidades
ProEESA	Projeto de Cooperação “Eficiência Energética no Abastecimento de Água”
RAP	Reservatório apoiado de distribuição
RDA	Rede de distribuição de água
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

1. Introdução

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades do Brasil (MCIDADES) e o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha, cooperam no projeto de “Eficiência Energética no Abastecimento de Água”. A coordenação do parceiro alemão está a cargo da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), sendo a entidade executora o consórcio AKUT/SKAT.

O projeto de cooperação em “Eficiência Energética no Abastecimento de Água”, ProEESA, atua na melhoria das condições para implantação de medidas nas entidades prestadoras de serviço, com o intuito de aproveitar o potencial de poupança existente nos sistemas de abastecimento. Pretende-se, a médio prazo, alcançar reduções significativas nas despesas de eletricidade (custos evitados), nos consumos energéticos e nas perdas de água, com inerentes melhorias na conservação das redes de distribuição e nas instalações de bombeamento.

Dentre os diversos objetivos do ProEESA, inclui-se o desenvolvimento de ferramentas para estimar os custos e os potenciais de economia de projetos de eficiência energética no abastecimento de água. Assim, propôs-se desenvolver um modelo demonstrativo de um sistema de abastecimento típico no qual várias medidas de eficiência energética serão aplicadas, mostrando a situação antes e depois da implantação das medidas propostas.

A intenção desse modelo, construído sob a forma de uma maquete física e em ambiente virtual, é dispor de uma plataforma física portátil que possa ser apresentada em quaisquer eventos relacionados aos temas de saneamento, abastecimento de água, eficiência energética, desenvolvimento sustentável, etc.

Este documento apresenta a memória de cálculo do modelo, partindo de um sistema de abastecimento de água hipotético imaginado para a construção da maquete, mostrando a sua situação de funcionamento após o fim da vida útil da infraestrutura implantada e mostrando a sua situação após a implantação de diversas medidas de eficiência energética.

Essas medidas podem ser vista como ferramentas para redução do uso da energia elétrica e das perdas de água, postergando investimentos em ampliações da infraestrutura e contribuindo para a sustentabilidade do sistema de abastecimento de água municipal.

Tanto quanto possível, os critérios, parâmetros e medidas considerados foram baseados em situações reais vivenciadas pelo autor ao longo de 15 anos atuando em diversas consultorias e desenvolvimento de projetos para sistemas de saneamento no Brasil e no exterior.

2. Objetivo

O objetivo do modelo demonstrativo é ter um objeto portátil de valor pedagógico e didático, que possa ser apresentado em eventos dos setores de saneamento, administração municipal, desenvolvimento sustentável e de eficiência energética, tais como congressos, feiras, seminários e workshops.

A maquete é capaz de elucidar diversas questões, mostrando soluções e resultados, a respeito de:

- Substituição de bombas e motores
- Substituição de linhas adutoras
- Utilização de inversores de frequência para ajuste de vazão
- Aumento da capacidade de reservatório para regularização da vazão de distribuição e para evitar bombeamento em horário de ponta
- Controle de pressão
- Substituição de canalizações na rede de distribuição para evitar perdas físicas (reais) por vazamento
- Instalação de micromedição (hidrômetros) para evitar perdas aparentes (faturamento)

O público alvo da maquete abrange:

- Leigos interessados em técnicas de desenvolvimento sustentável
- Estudantes e pesquisadores de engenharia e arquitetura
- Profissionais, principalmente engenheiros, arquitetos urbanistas e economistas, interessados em projetos de saneamento, de eficiência energética e de desenvolvimento sustentável
- Técnicos e gestores de prestadores de serviços de saneamento e de administrações municipais

3. Premissas do Modelo Demonstrativo

Com o intuito de estimular medidas de eficiência energética e demonstrar sua viabilidade, foi modelado um sistema hipotético de abastecimento de água, constituído pelas seguintes unidades:

- Captação ou estação elevatória de água bruta (EEAB),
- Estação de tratamento de água (ETA),
- Estação elevatória de água tratada (EEAT),
- Adutora de água tratada (AAT),
- Reservatório apoiado de distribuição (RAP) e
- Rede de distribuição de água (RDA).

As situações apresentadas e as soluções propostas são baseadas em casos reais vivenciados pelo autor, de forma a tornar o modelo o mais próximo possível da realidade.

O modelo foi estimado a partir de uma cidade hipotética de 75.000 habitantes no ano de 2016 e cada unidade do sistema de abastecimento de água é constituído de:

- **Captação (EEAB):** constituída por uma estação elevatória de água bruta (EEAB) em balsa (flutuante), composta por conjuntos moto-bomba horizontais com chaves de partida compensada, em curso d'água (rio) próximo à cidade, na cota altimétrica 720m, sem variação significativa do nível de captação ao longo do ano, com bombas de grande vazão e pouca altura manométrica recalando para a estação de tratamento de água (ETA).
- **Tratamento ETA:** estação convencional (mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção, construída junto à EEAB, distante 100 m da mesma, na cota 735m. O tanque de desinfecção coincide com o reservatório de água tratada da ETA e com o poço de sucção da estação elevatória de água tratada (EEAT).
- **Elevatória (EEAT):** composta por conjuntos moto-bomba horizontais, chaves de partida compensada, de grande altura manométrica e grande vazão, também construída na cota 735m, instalada em parede contígua à do poço de sucção, com bombas sempre afogadas e variação de nível de sucção desprezível. A EEAT recalca para o reservatório apoiado de água tratada de distribuição (RAP) através da adutora de água tratada (AAT).
- **Adução (AAT):** situada entre a EEAT e o RAP, composta por tubos de ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento, enterrada, em faixa de domínio do prestador de serviços, com comprimento de 2.500m, cota a montante (saída da EEAT) de 735m e cota a jusante (entrada do RAP) de 815m. Não há qualquer derivação na AAT.
- **Reservatório (RAP):** construído de concreto armado, na cota 815m (fundo do reservatório), com entrada e saída por baixo, nível mínimo na cota 816m e nível máximo na cota 820m. Do RAP, sai uma canalização também em ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento que alimenta a rede de distribuição de água (RDA).
- **Rede de distribuição (RDA):** composta por duas canalizações principais em ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento acompanhando a avenida principal de corta a cidade transversalmente e de onde ramificam as redes malhadas que abastecem os bairros (setores) da cidade. As redes ramificadas da parte mais antiga do município são de cimento amianto.

4. Dimensionamento do Sistema Original

População e vazões de abastecimento

O sistema foi projetado em 1975 e construído em 1976, tendo, portanto, 40 anos de operação.

A população (P) da cidade apresentou o crescimento mostrado na Figura 1 (tabela e gráfico) desde 1975.

Quando projetado, o alcance do plano foi determinado como 30 anos, i.e., sistema foi previsto para atender a cidade até o ano de 2005, para quando foi prevista uma população de 70.000 habitantes.

O consumo *per capita* (q), em 1975, foi medido em 180 l/hab*dia e considerado constante ao longo do tempo. Os coeficientes de dia de maior consumo (k_1) e hora de maior consumo (k_2) foram estimados em 1,4 e 2,0, respectivamente, configurando um coeficiente de reforço igual 2,8 ($K=k_1 \cdot k_2$).

O sistema foi projetado para funcionar em etapas, com vazão de início (1975) e de fim (2005) de plano para populações de 46.100 e 70.000 habitantes.

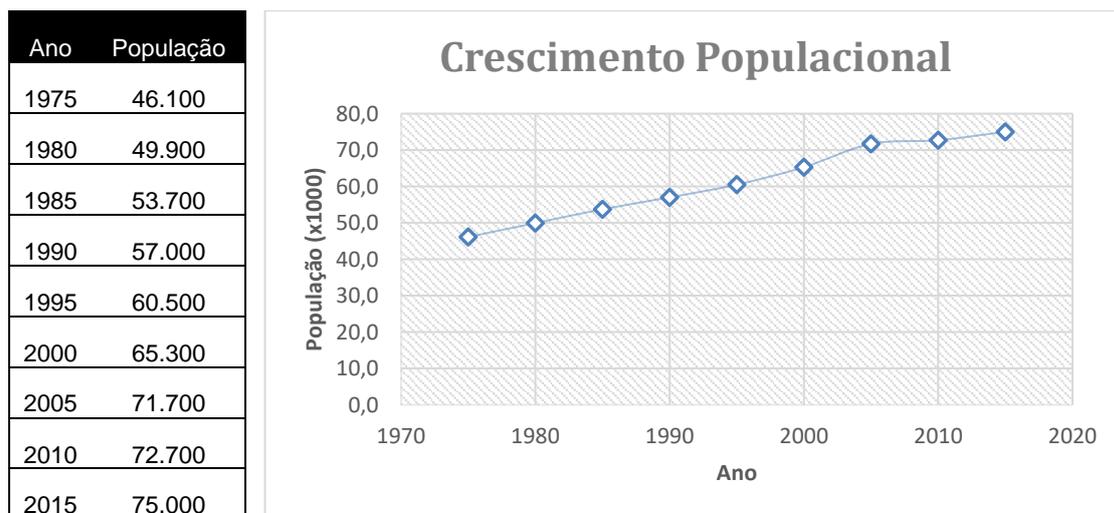


Figura 1 - Crescimento Populacional

Calculadas pelas fórmulas clássicas de estimativa de vazões, conforme as Equações 1 e 2, considerando 20 horas (h) de operação diária, a EEAB, a ETA, a EEAT, a AAT e o RAP foram dimensionados para uma vazão máxima (fim de plano) equivalente a 245l/s.

Já a RDA, considerando 24 horas (h) de operação diária, foi dimensionada para uma vazão máxima (fim de plano) equivalente a 408,3l/s.

$$Q_{k1} = \frac{P \cdot q \cdot k_1}{3600 \cdot h} \quad (1)$$

$$Q_k = \frac{P \cdot q \cdot K}{3600 \cdot h} \quad (2)$$

Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)

A EEAB foi dimensionada para atender a vazão de fim de plano através de três conjuntos moto-bomba com um adicional de reserva. A potência total (P) foi calculada conforme a fórmula consagrada na literatura, apresentada na Equação 3, onde γ é o peso específico da água (1.000 kgf/m³), Q é a vazão (m³/s), H_{man} é a altura manométrica (m) e η (%) é o rendimento do conjunto moto-bomba.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{man}}{75 \cdot \eta} \quad (3)$$

A altura manométrica (H_{man}) é a soma da altura geométrica (H_g) e as perdas de carga (h_f) conforme apresentado na Equação 4.

$$H_{man} = H_g + H_f \quad (4)$$

As perdas de carga contínuas foram calculadas pela fórmula de Hazen-Williams conforme apresentado na Equação 5.

$$h_f = 10,643 \cdot \frac{L \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (5)$$

As perdas de carga localizadas foram estimadas calculadas pelo método dos comprimentos equivalentes, no qual atribui-se um comprimento para cada tipo de peça, conexão ou equipamento na linha da canalização que são somados ao comprimento linear da mesma no momento de se calcular as perdas de carga contínuas. Foram utilizados os comprimentos equivalentes disponíveis nos manuais de hidráulica usuais, recomendados por Azevedo Neto (1998).

As perdas de carga são a soma das perdas de carga lineares e as perdas de cargas localizadas em peças e conexões.

O rendimento do conjunto moto-bomba é calculado pelo produto do rendimento do motor (η_m) pelo rendimento da bomba selecionada (η_b).

Dessa maneira, os valores de entrada para cálculo e a potência total necessária foram:

- Q = 245l/s = 0,245m³/s.
- H_{man} = (735m-720m) + (8,17m) = 23,17 m
- η_m = 88%
- η_b = 70%
- η = 61,6%
- P = 123cv = 91kW

Considerando uma folga de potência de 10%, chegou-se a uma potência total necessária de 135cv (99,5kW).

Foram escolhidos três conjuntos moto-bomba de 50cv cada e mais um de reserva na EEAB para atender a vazão de fim de plano.

Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)

A EEAT foi dimensionada para recalcar desde a ETA para o RAP.

Os valores de entrada para cálculo e a potência total necessária foram:

- $Q = 0,245\text{m}^3/\text{s}$.
- $H_{\text{man}} = (820\text{m}-735\text{m}) + (41,84) = 126,84$
- $\eta_m = 88\%$
- $\eta_b = 70\%$
- $\eta = 61,6\%$
- $P = 673\text{cv} = 495\text{kW}$

Considerando uma folga de potência de 10%, chegou-se a uma potência total necessária de 740cv (545kW).

Foram escolhidos três conjuntos moto-bomba de 250cv e mais um de reserva na EEAT para atender a vazão de fim de plano para o RAP.

Adutora de Água Tratada (AAT)

A AAT foi dimensionada considerando as Equações 6 e 7, com uma velocidade máxima (U) de 2,55m/s no fim de plano. Como a vazão (Q) para essa velocidade é de 0,245m³/s, chegou-se a um diâmetro (D) de 0,35m (350mm) para a adutora, que corresponde a uma determinada área (A) da seção de escoamento. O Coeficiente de perda de carga da fórmula de Hazen-Williams (C) foi estimado em 130.

$$Q = A \cdot U \quad (6)$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (7)$$

Reservatório de Distribuição (RAP)

O RAP foi dimensionado para conter um terço do volume total consumido em 24 horas, do dia de maior consumo. Como o reservatório opera 24 horas por dia, sua vazão média no dia de maior consumo foi calculada como 0,204m³/s.

Dessa maneira, foi estimado uma volume total necessário para o RAP de 5.880m³.

Foi construído um reservatório de concreto armado com duas câmaras de 2.940m³ cada. Tendo sido considerado um RAP de 5m de altura, a área de cada câmara é de 588m² (dimensões internas aproximadas de 24x24 metros, cada câmara).

Do RAP, saem duas tubulações de 300mm de diâmetro cada que irão abastecer os anéis de cada setor.

Rede de Distribuição de Água (RDA)

A RDA foi dimensionada para a vazão de dia e hora de maior consumo, estimada no fim de plano para 0,408m³/s.

As duas tubulações que saem do RAP abastecem oito anéis (oito redes malhadas ou setores). Não foi previsto nenhum dispositivo de controle de pressão na entrada de cada setor.

5. Condição Atual de Operação

No ano de 2016, com a população em 75.000 habitantes, a vazão necessária de abastecimento está acima daquela projetada como máxima, estimada agora em 262,5l/s para o sistema produtor se este operar durante 24 horas por dia e considerando que não houve aumento no consumo *per capita*.

Ou seja, o sistema original que foi projetado tendo-se 4 horas diárias de folga operacional, podendo parar durante o horário de ponta, hoje precisa operar 24 horas por dia.

Além da população maior que aquela de fim de plano, outro fator influenciou o aumento da vazão de abastecimento: o aumento das perdas de água na rede de distribuição. Essas perdas eram mínimas no início de operação, considerando que o sistema era novo e com vazão bem mais baixa que aquela de fim de plano. Como não foi adotada nenhuma medida para contenção de perdas, estimou-se que em 2016 elas estariam em torno de 40% do volume produzido, sobretudo por: pressões elevadas nos setores de cota mais baixa (principalmente à noite), deterioração das redes de cimento amianto, operação manual deficiente com extravasamento frequente do RAP e falhas de micromedição.

Assim, o sistema de abastecimento de água do modelo, em 2016, precisa abastecer uma vazão média para o dia de maior consumo equivalente a 306l/s, considerando as perdas. Ou seja, o sistema precisa abastecer 125% de sua capacidade máxima original, projetada para fim de plano.

Os sistemas de bombeamento de água bruta e tratada precisam bombear esse acréscimo de vazão e vencer alturas manométricas maiores devido a:

- O aumento da vazão levou ao aumento da velocidade dentro dos tubos e a um acréscimo nas perdas de carga.
- O envelhecimento natural dos tubos de ferro fundido, principalmente devido à corrosão, levou ao aumento da rugosidade e do atrito interno, reduzindo o valor do coeficiente de perda de carga da fórmula de Hazen-Williams ($C=105$), gerando mais um acréscimo às perdas de carga.

Adicionalmente, devido aos desgastes naturais dos equipamentos eletromecânicos (motores e bombas) o rendimento dos conjuntos está abaixo daquele projetado com bombas e motores novos. Como não houve substituição desses equipamentos, apenas manutenções corretivas, a eficiência média desses equipamentos, originalmente em 61,6%, está agora em 50%.

Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)

A necessidade de potência total máxima na EEAB agora é de 270cv. Porém, como só há disponível 200cv (quatro conjuntos moto-bomba de 50cv cada, sem reserva), o prestador de serviços instalou uma bomba adicional de 50cv. Em momentos de maior demanda, a elevatória opera com potência total de 250cv.

Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)

A necessidade de potência total da EEAT para a vazão de 306l/s é de 1500cv, considerando os tubos envelhecidos ($C=105$) e o rendimento dos conjuntos de 50%. No entanto, como só havia disponível 1.000cv (quatro conjuntos de 250cv), o prestador de serviços instalou

mais dois conjuntos de 250cv. Portanto, durante as horas de maior consumo, faz-se necessário acionar seis bombas em simultâneo para atender à demanda de água.

Adutora de Água Tratada (AAT)

A AAT, por sua vez, devido ao aumento da vazão, opera com velocidade máxima de 3,18m/s, acima da recomendação das normas brasileiras (3,0m/s) e com grande aumento das perdas de carga nesses momentos de maior vazão. Devido ao envelhecimento da canalização, o Coeficiente de perdas de carga da fórmula de Hazen-Willians está na faixa de 105.

Reservatório de Distribuição (RAP)

Quanto ao RAP, seu volume mínimo necessário para a condição atual seria de 8.820m³. Ou seja, há uma falta de 2.940m³ de volume de água reservado para que a cidade cumprisse com a exigência da norma brasileira. Além disso, como o volume máximo reservado é menor que o necessário, seu volume varia muito mais rápido em relação ao previsto inicialmente, exigindo uma operação mais complexa da EEAT, com partidas e paradas mais frequentes e sendo impossível parar o bombeamento durante o horário de ponta sem causar desabastecimento na cidade.

Rede de Distribuição de Água (RDA)

Projetada inicialmente para uma vazão de 0,408m³/s, a RDA abastece agora 0,748m³/s nos momentos de maior demanda, i.e., 184% da sua capacidade prevista. Nesses momentos, os pontos críticos de pressões baixas (pontos mais distantes e mais altos da rede) não recebem água, gerando uma intermitência sazonal. Essa falta d'água parcial é devida parte às perdas e parte ao aumento da velocidade na rede, aumento a perda de carga e impedindo a água de chegar a esses pontos críticos.

À noite, o excesso de pressão, devido ao baixo consumo, aumenta as perdas, gerando um "falso consumo" noturno e obrigando o sistema de bombeamento a funcionar 24 horas por dia.

Também devido à falta de controle das pressões noturnas, manutenções devido a rompimentos nas redes são comuns, gerando custos adicionais com manutenções corretivas e aumentando o volume de perdas físicas.

Situação Prevista em Projeto *versus* Situação Atual

A Figura 9 mostra um quadro com a situação prevista em projeto para fim de plano (2005) e a situação real em 2016.

A comparação entre o consumo de energia projetado para a EEAB no fim de plano e o consumo real em 2016 está mostrado na Tabela 1. A quantidade representa quantos conjuntos estão em operação, a potência (P) representa a soma das potências dos conjuntos em operação (cada um representa 36,8kW ou 50cv), o consumo acumulado do dia (Cd) é a soma do consumo horário a partir de 0:00 hora e a Demanda (D) a potência necessária a cada hora (os valores em negrito representam a demanda máxima. A Tabela 2 apresenta comparações semelhantes para a EEAT.

Tabela 1 – Comparação entre os parâmetros de projeto previstos e os necessários para o sistema de abastecimento de água do município.

Local	Variável	Unidade	Previsto	Necessário
EEAB	Q	m ³ /s	0,245	0,306
	Hman	m	23,17	27,6
	η	%	61,6	50,4
	P	cv	150	250
	P	kW	110,4	184
	T	horas/dia	20	24
ETA	Q	m ³ /s	0,245	0,306
EEAT	Q	m ³ /s	0,245	0,306
	Hman	m	126,84	181,14
	η	%	61,6	50,4
	P	cv	750	1500
	P	kW	552	1104
	T	horas/dia	20	24
AAT	Q	m ³ /s	0,245	0,306
	C	-	130	105
	v	m/s	2,54	3,18
	D	mm	350	350
RAP	V	m ³	5880	7880
RDA	Q	m ³ /s	0,408	0,749

Tabela 2 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual EEAB

Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)	Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)
0:00	2	73,6	73,6	73,6	0:00	3	110,4	110,4	110,4
1:00	1	36,8	110,4	36,8	1:00	2	73,6	184	73,6
2:00	1	36,8	147,2	36,8	2:00	2	73,6	257,6	73,6
3:00	1	36,8	184	36,8	3:00	2	73,6	331,2	73,6
4:00	1	36,8	220,8	36,8	4:00	2	73,6	404,8	73,6
5:00	2	73,6	294,4	73,6	5:00	2	73,6	478,4	73,6
6:00	2	73,6	368	73,6	6:00	3	110,4	588,8	110,4
7:00	2	73,6	441,6	73,6	7:00	3	110,4	699,2	110,4
8:00	2	73,6	515,2	73,6	8:00	3	110,4	809,6	110,4
9:00	2	73,6	588,8	73,6	9:00	3	110,4	920	110,4
10:00	2	73,6	662,4	73,6	10:00	4	147,2	1067,2	147,2
11:00	3	110,4	772,8	110,4	11:00	4	147,2	1214,4	147,2
12:00	3	110,4	883,2	110,4	12:00	5	184	1398,4	184
13:00	3	110,4	993,6	110,4	13:00	4	147,2	1545,6	147,2
14:00	2	73,6	1067,2	73,6	14:00	4	147,2	1692,8	147,2
15:00	2	73,6	1140,8	73,6	15:00	3	110,4	1803,2	110,4
16:00	2	73,6	1214,4	73,6	16:00	3	110,4	1913,6	110,4
17:00	0	0	1214,4	0	17:00	2	73,6	1987,2	73,6
18:00	0	0	1214,4	0	18:00	2	73,6	2060,8	73,6
19:00	0	0	1214,4	0	19:00	2	73,6	2134,4	73,6
20:00	0	0	1214,4	0	20:00	2	73,6	2208	73,6
21:00	2	73,6	1288	73,6	21:00	3	110,4	2318,4	110,4
22:00	2	73,6	1361,6	73,6	22:00	3	110,4	2428,8	110,4
23:00	2	73,6	1435,2	73,6	23:00	3	110,4	2539,2	110,4

Tabela 3 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual EEAT

Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)	Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)
0:00	2	368	368	368	0:00	3	552	552	552
1:00	1	184	552	184	1:00	2	368	920	368
2:00	1	184	736	184	2:00	2	368	1288	368
3:00	1	184	920	184	3:00	2	368	1656	368
4:00	1	184	1104	184	4:00	2	368	2024	368
5:00	2	368	1472	368	5:00	2	368	2392	368
6:00	2	368	1840	368	6:00	3	552	2944	552
7:00	2	368	2208	368	7:00	3	552	3496	552
8:00	2	368	2576	368	8:00	3	552	4048	552
9:00	2	368	2944	368	9:00	3	552	4600	552
10:00	2	368	3312	368	10:00	4	736	5336	736
11:00	3	552	3864	552	11:00	5	920	6256	920
12:00	3	552	4416	552	12:00	6	1104	7360	1104
13:00	3	552	4968	552	13:00	5	920	8280	920
14:00	2	368	5336	368	14:00	4	736	9016	736
15:00	2	368	5704	368	15:00	3	552	9568	552
16:00	2	368	6072	368	16:00	3	552	10120	552
17:00	0	0	6072	0	17:00	2	368	10488	368
18:00	0	0	6072	0	18:00	2	368	10856	368
19:00	0	0	6072	0	19:00	2	368	11224	368
20:00	0	0	6072	0	20:00	2	368	11592	368
21:00	2	368	6440	368	21:00	3	552	12144	552
22:00	2	368	6808	368	22:00	3	552	12696	552
23:00	2	368	7176	368	23:00	3	552	13248	552

A Tabela 4 mostra um quadro comparando os consumos de energia e as demandas contratadas para a situação prevista em projeto para fim de plano (2005) e a situação real em 2016. CT é o consumo total de energia, CFP é o consumo fora de ponta, CP é o consumo na ponta, DT a demanda máxima de potência, DFP é a demanda fora de ponta e DP é a demanda na ponta.

Tabela 4 - Comparação consumo e demanda previstos (fim de plano) e atual

Local	Variável	Unidade	Previsto	Necessário
EEAB	CT	kWh	1435,2	2539,2
	CFP	kWh	1435,2	2244,8
	CP	kWh	0	294,4
	DT	kW	110,4	184
	DFP	kW	110,4	184
	DP	kW	0	73,6
EEAT	CT	kWh	7176	13248
	CFP	kWh	7176	11776
	CP	kWh	0	1472
	DT	kW	552	1104
	DFP	kW	552	1104
	DP	kW	0	368

Ou seja, pelos valores apresentados acima, o sistema atual consome, diariamente, 7.176 kWh a mais, sendo 5.409,6 kWh adicionais fora de ponta e 1.766,4 kWh na ponta (o projeto não previa consumo na ponta).

Em relação à demanda, o sistema atual exige uma contratação adicional de demanda fora de ponta de 625,6 kW e de demanda na ponta de 441,6 (o anterior não previa consumo na ponta). Esses dados traduzem a ineficiência atual de um sistema que não recebeu quaisquer melhorias ao longo de sua vida operacional.

6. Ações de Eficiência Energética

A partir da situação apresentada para o sistema em 2016, várias ações de eficiência energética são propostas para reduzir a potência instalada, a demanda contratada e o consumo de energia elétrica, principalmente durante horário de ponta .

Pelo fato da potência necessária nas estações de bombeamento ser função do volume bombeado, as ações se iniciarão pela ponta, ou seja, pela RDA, com o objetivo de se reduzir as perdas de água e o volume consumido.

A partir da redução do volume necessário à distribuição, serão propostas ações para as demais unidades do sistema de distribuição, a saber, RAP, AAT, EEAT e EEAB.

Para cada proposição, será calculada a eficiência energética equivalente para, ao final, ter-se um quadro comparativo de como poderia estar o sistema caso a eficiência energética e o controle de perdas de água estivesse sido considerado ao longo da operação do abastecimento da cidade do modelo.

Rede de Distribuição de Água (RDA)

Com as seguintes medidas na rede de distribuição, as perdas reais e aparentes foram reduzidas ao mínimo. Hoje o índice de perdas foi reduzido de 40% para 15%, o que representa a redução de 65,625l/s de redução de vazão, ou 4.725m³ na produção diária de água.

A vazão atual necessária agora é de 301,875l/s se o sistema de abastecimento funcionar 20 horas por dia.

Porém, com o sistema de supervisão e controle previsto, o sistema de abastecimento será programado para operar 21 horas por dia, desligando as estações de bombeamento no horário de ponta. Assim, a nova vazão do sistema produtor passa a ser de 287,5l/s.

Para a hora de maior consumo do dia de maior consumo a vazão da RDA foi reduzida de 749l/s para 614l/s.

Controle de pressões

As principais causas das elevadas perdas de água no sistema do modelo são: excesso de pressão, principalmente à noite quando o consumo é mínimo e a pressão máxima e a idade e estado de conservação dos anéis cujos tubos são de cimento-amianto.

Para solucionar o primeiro problema, os anéis foram modelados em software de simulações hidráulicas (Epanet, por exemplo) a partir do RAP, considerando seu nível mínimo e máximo e o perfil de consumo médio da cidade.

O perfil de consumo foi levantado através do cruzamento de dados de campanhas de pitometria da saída do RAP com medições contínuas realizadas no mesmo ponto por meio de medidor de vazão portátil. Dessa maneira, obteve-se as vazões de consumo médias ao longo de 24 horas para um dia característico.

Foi possível identificar os pontos e os momentos nos quais as pressões são excessivas, sobretudo acima de 50mca, sendo dimensionadas válvulas redutoras de pressão nas entradas de cada anel (setor) e em pontos específicos para se evitar pressões elevadas na rede de abastecimento.

Foram estudadas válvulas do tipo operada hidráulicamente (auto operadas) e válvulas acionadas eletricamente através de controle automático com medidores de vazão e pressão, a serem integradas em sistema de supervisão e controle.

Optou-se pela segunda opção, uma vez que o programa de modernização do sistema também prevê um sistema de automação completo para o abastecimento de água.

Reabilitação e substituição de tubulações e ligações prediais

Em paralelo, através de medidas de detecção e reparo de vazamentos foram reabilitadas as redes com vazamentos mais significativos. Também foram substituídas as redes de cimento-amianto por tubos de PVC. Concomitante com o controle das pressões, os rompimentos foram praticamente eliminados e vazamentos ocultos foram selecionados.

Também foi realizada uma revisão das ligações às redes prediais onde se reabilitou a rede pública.

Substituição / instalação de hidrômetros

Finalmente, foram substituídos os hidrômetros existentes que estavam antigos ou com mal funcionamento. Para as unidades consumidoras que não possuíam monitoramento foram instalados hidrômetros, alcançando-se assim 100% de micromedição.

Reservatório de Distribuição (RAP)

O RAP, originalmente, possui 5.580m³. Conforme a norma brasileira, para a nova vazão, o volume reservado mínimo deverá ser 6.300m³. Portanto, faz-se necessário o acréscimo de, pelo menos, mais 420m³ no volume reservado.

Ampliação para garantir serviço em horário de ponta

O volume máximo demandado durante as três horas do horário de ponta é de 2.362,5m³, o que representa 37,5% do volume mínimo previsto em norma.

Assim, foi proposta a construção de um novo reservatório, vaso-comunicante com o existente, de maneira que o volume total disponível seja de 4 vezes o volume consumido no horário de ponta. Dessa forma, será possível desligar a EEAT durante o horário de ponta sem risco de, ao final do período, o sistema contar com um volume reservado relativamente baixo.

Ou seja, o volume total desejado é de 9.450m³, exigindo a construção de um novo RAP de 3570m³ de volume.

Adutora de Água Tratada (AAT)

Minimização do coeficiente de rugosidade

Frente à nova vazão necessária no sistema de abastecimento com a redução das perdas de água, decidiu-se instalar uma tubulação adutora nova, seguindo o mesmo traçado da existente, porém em aço soldado com revestimento de epóxi (C da fórmula de Hazen-Williams de 140). Em sua instalação, foi previsto uma peça especial para introdução de "polly-pig" para limpeza anual da adutora e reconstituição de seu revestimento interno, de maneira a se evitar o aumento da rugosidade do tubo ao longo do tempo, mantendo seu coeficiente de atrito.

Ampliação da adutora - redução da velocidade de vazão

Por outro lado, decidiu-se reduzir a velocidade dentro da canalização, como forma de se reduzir ainda mais as perdas de carga por atrito. A velocidade escolhida foi de 1,5m/s.

Para a nova vazão de 287,5l/s, o diâmetro escolhido foi de 500mm.

Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)

Dimensionamento para operar em horário fora de ponta

Com a nova vazão necessária e a nova tubulação, decidiu-se substituir as bombas e motores existentes na EEAT de forma que seja possível elevar o volume diário necessário de 21.735m³ funcionando 20 horas por dia, i.e., vazão máxima de 287,5l/s. Dessa maneira, a demanda contratada na ponta para a EEAT será igual a zero.

Conjuntos motor-bomba mais eficientes

Foram escolhidos conjuntos moto-bomba com motores e bombas de máxima eficiência possível ($\eta_m=95\%$ e $\eta_b=86\%$), resultando em um rendimento conjunto de 81,7%. Com a nova tubulação, as perdas de carga representam 9,67m e a altura manométrica é igual a 89,67m.

Assim, a uma potência total necessária, considerando uma folga de potência de 10%, é de 462,8cv (420,7cv sem folga), ou 340,6kW. Foram selecionados três conjuntos de 150cv de potência com um adicional de reserva.

A Tabela 5 mostra o regime operacional típico, o consumo e a demanda para a EEAT após as intervenções de EE.

Tabela 5 - Regime operacional da EEAT após EE

Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)
0:00	2	220,8	220,8	220,8
1:00	1	110,4	331,2	110,4
2:00	1	110,4	441,6	110,4
3:00	1	110,4	552	110,4
4:00	1	110,4	662,4	110,4
5:00	2	220,8	883,2	220,8
6:00	2	220,8	1104	220,8
7:00	2	220,8	1324,8	220,8
8:00	2	220,8	1545,6	220,8
9:00	2	220,8	1766,4	220,8
10:00	2	220,8	1987,2	220,8
11:00	3	331,2	2318,4	331,2
12:00	3	331,2	2649,6	331,2
13:00	3	331,2	2980,8	331,2
14:00	2	220,8	3201,6	220,8
15:00	2	220,8	3422,4	220,8
16:00	2	220,8	3643,2	220,8
17:00	0	0	3643,2	0
18:00	0	0	3643,2	0

19:00	0	0	3643,2	0
20:00	0	0	3643,2	0
21:00	2	220,8	3864	220,8
22:00	2	220,8	4084,8	220,8
23:00	2	220,8	4305,6	220,8

Uso de inversores de frequência – controle da energia reativa

Como a EEAT será integrada no sistema de controle e supervisão previstos, a operação dos conjunto moto-bomba serão efetuadas através de inversores de frequência para ajustar a rampa de partida e parada (evitando-se transientes hidráulicos na AAT e picos de corrente elétrica) e para ajustar a vazão necessária de acordo com o nível do RAP e do perfil de consumo (medido continuamente através da instalação de um medidor de vazão na saída do RAP). Por consequência da operação com os inversores de frequência, através da simulação da curva da AAT com a curva das bombas escolhidas, frente às vazões horárias previstas no perfil de consumo levantado, estima-se uma economia de energia de 10% frente ao consumo da EEAT caso não houvesse o ajuste da rotação das bombas. Vale lembrar que a rotação da bomba varia linearmente com a vazão, com o quadrado da pressão (altura manométrica) e com o cubo da potência consumida. Além disso, por características intrínsecas do equipamento, o fator de potência dos conjuntos acionados por inversores de frequência é igual a 1, evitando a necessidade da instalação e manutenção de bancos de capacitores para correção desse fator.

Assim, estima-se para a EEAT, após as intervenções, o consumo máximo de 4.305,6kWh/dia, podendo-se estimar 430,5kWh de economia adicional com os inversores de frequência, resultando em um consumo diário de 3.875kW, demanda contratada fora de ponta de 331,2kW e demanda contratada na ponta de 0kW.

Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)

Assim como para a EEAT, decidiu-se substituir a tubulação entre a EEAB e a ETA para se reduzir as perdas de carga por atrito e por velocidade elevado.

Portanto, instalou-se uma nova adutora de água bruta de 500mm de diâmetro de aço soldado com revestimento de epóxi (C=140).

Com a nova vazão necessária e a nova tubulação, decidiu-se substituir as bombas e motores existentes na EEAB por conjuntos com vazão máxima de 287,5l/s, funcionando 20 horas por dia e com demanda contratada na ponta igual a zero.

A Tabela 6 mostra o regime operacional típico, o consumo e a demanda para a EEAB após as intervenções de EE.

Tabela 6 - Regime operacional da EEAB após EE

Hora	Quant	P (kW)	Cd (kWh)	D (kW)
0:00	2	58,88	58,88	58,88
1:00	1	29,44	88,32	29,44
2:00	1	29,44	117,76	29,44
3:00	1	29,44	147,2	29,44
4:00	1	29,44	176,64	29,44
5:00	2	58,88	235,52	58,88

6:00	2	58,88	294,4	58,88
7:00	2	58,88	353,28	58,88
8:00	2	58,88	412,16	58,88
9:00	2	58,88	471,04	58,88
10:00	2	58,88	529,92	58,88
11:00	3	88,32	618,24	88,32
12:00	3	88,32	706,56	88,32
13:00	3	88,32	794,88	88,32
14:00	2	58,88	853,76	58,88
15:00	2	58,88	912,64	58,88
16:00	2	58,88	971,52	58,88
17:00	0	0	971,52	0
18:00	0	0	971,52	0
19:00	0	0	971,52	0
20:00	0	0	971,52	0
21:00	2	58,88	1030,4	58,88
22:00	2	58,88	1089,28	58,88
23:00	2	58,88	1148,16	58,88

Foram escolhidos conjuntos moto-bomba com motores e bombas de máxima eficiência possível ($\eta_m=95\%$ e $\eta_b=86\%$), resultando em um rendimento conjunto de 81,7%. Com a nova tubulação, as perdas de carga representam 1,69m e a altura manométrica é igual a 16,69m.

Assim, a potência total necessária, considerando uma folga de potência de 10%, é de 114,2cv, ou 84kW. Foram selecionados três conjuntos de 40cv de potência com um adicional de reserva.

A EEAB será integrada no sistema de controle e supervisão previstos, com a operação dos conjunto moto-bomba efetuadas através de inversores de frequência para ajustar a rampa de partida e parada (evitando-se transientes hidráulicos e picos de corrente elétrica) e para ajustar a vazão necessária de acordo com o regime de operação da ETA. Por consequência da operação com os inversores de frequência, estima-se uma economia de energia de 5% frente ao consumo da EEAB caso não houvesse o ajuste da rotação das bombas. Vale lembrar que a rotação da bomba varia linearmente com a vazão, com o quadrado da pressão (altura manométrica) e com o cubo da potência consumida. Além disso, por características intrínsecas do equipamento, o fator de potência dos conjuntos acionados por inversores de frequência é igual a 1, evitando a necessidade da instalação e manutenção de bancos de capacitores para correção desse fator.

Assim, estima-se para a EEAB, após as intervenções, o consumo máximo de 1.148,2kWh/dia. Contabilizando a economia adicional de 47,4kWh com os inversores de frequência, chega-se a um consumo diário de 1.090,8kW, com demanda contratada fora de ponta de 88,32kW e demanda contratada na ponta de 0kW.

Economias para o Consumo e a Demanda

A Tabela 7 mostra os valores para o consumo e a demanda após as ações de eficiência energética e controle de perdas para **todo** o sistema de abastecimento.

Tabela 7 - Regime operacional da EEAB após EE

Local	Variável	Unidade	Sem EE	Com EE	Diferença
Totais	CT	kWh	15787,2	5542,08	10245,12
	CFP	kWh	14020,8	5542,08	8478,72
	CP	kWh	1766,4	0	1766,4
	DT	kW	1288	434,24	853,76
	DFP	kW	1288	434,24	853,76
	DP	kW	441,6	0	441,6

Dessa maneira, após as intervenções de redução e controle do uso da energia elétrica e das perdas de água, é possível economizar 10.245,12kWh no consumo diário total, sendo 8.478,72kWh fora de ponta e 1.766,4kWh na ponta. Não se consome mais energia em horário de ponta.

Quanto à demanda contratada, é possível economizar **853,76kW** fora de ponta e **441,6kW** na ponta. Não há necessidade de se contratar demanda em horário de ponta.

Quanto aos indicadores de eficiência energética, a saber, eficiência eletromecânica (η em %), consumo específico (em kWh/m³) e o consumo específico normalizado (em kWh/m³/100mca), para a situação prevista em projeto, a situação em 2016 sem intervenções e a situação após as ações de eficiência energética, tem-se a evolução mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Evolução dos Indicadores

Local	Indicador	Previsto	Necessário	Após EE
EEAB	%	61,6	50,4	81,7
	kWh/m ³	0,125	0,167	0,085
	kWh/m ³ /100m	0,540	0,605	0,511
EEAT	%	61,6	50,4	81,7
	kWh/m ³	0,626	1,002	0,320
	kWh/m ³ /100m	0,493	0,553	0,357

7. Avaliação econômico-financeira das medidas de Eficiência Energética

Como demonstrado até o momento, a adoção de medidas de eficiência energética tem um grande potencial em reduzir os consumos de energia nos sistemas de abastecimento de água. Sob o ponto de vista da análise econômico-financeira, essas medidas possuem uma diferença em relação a projeto convencionais de investimento uma vez que os benefícios gerados não se apresentam como receitas adicionais ao prestador de serviço. Os benefícios dessas medidas estão relacionados a economias na conta de energia elétrica e outras despesas de exploração conhecidos também e são normalmente referidos como custos evitados.

Os custos evitados podem ser definidos como a diferença entre os custos operacionais antes e depois de medidas de melhorias operacionais. Esses custos operacionais devem ser avaliados dentro de um horizonte compatível com a natureza dos projetos sendo executados, observando potenciais impactos de ampliação de sistemas e degradação dos equipamentos nessas despesas.

Para o modelo proposto foram realizadas avaliações econômicas simplificadas para ilustrar os potenciais benefícios gerados pelas medidas e o tempo de retorno dos investimentos estimados nas intervenções propostas.

Investimentos

De acordo com as ações propostas no descritivo, foram identificadas as seguintes intervenções no sistema de abastecimento:

1. Rede de distribuição
 - a. Substituição da rede de distribuição de cimento-amianto (30% da rede do município).
 - b. Modelagem hidráulica da rede de abastecimento e instalação de válvulas de acionamento elétrico para controle de pressão.
 - c. Substituição de hidrômetros em mal funcionamento (30% do total de ligações).
 - d. Instalação de hidrômetros em unidades sem medição (10% do total de ligações).
2. Reservatório de água apoiado
 - a. Ampliação da reserva com a construção de novo reservatório de 3570 m³.
3. Adutora de água tratada
 - a. Substituição por nova adutora de 500mm
4. Estação elevatória de água tratada
 - a. Substituição dos conjuntos moto-bomba
 - b. Instalação de inversores de frequência
5. Estação elevatória de água bruta
 - a. Substituição de conjuntos moto-bomba
 - b. Instalação de inversores de frequência
6. Adutora de Água Bruta
 - a. Substituição por nova adutora de 500mm
7. Automação do sistema de distribuição.

Para a estimativa dos custos de investimentos necessários foram utilizadas informações disponíveis no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) (CAIXA, 2016) e do Plano Diretor de Água e Esgoto do Distrito Federal (CAESB, 2003), devidamente atualizados a valores atuais pelos Índice Nacional da Construção Civil (INCC) (FGV, 2016).

Os custos de investimento estimados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Investimentos necessários para implantação de medidas de eficiência energética propostas.

Unidade	Investimentos
Rede Distribuição	R\$ 7.006.074,80
Reservatório	R\$ 1.840.920,56
Aduora Água Tratada	R\$ 3.054.084,06
Elevatória Água Tratada	R\$ 715.000,00
Aduora Água Bruta	R\$ 122.163,36
Elevatória Água Bruta	R\$ 253.750,00
TOTAL	R\$ 12.991.992,79

Custos Evitados

Como mencionado anteriormente, o retorno do investimento em projetos de eficiência energética é aferido pela redução nas despesas operacionais do sistema de abastecimento. De acordo com o projeto implantado, as reduções de despesas serão distintas, podendo incidir sobre diversas componentes dos custos de exploração dos serviços.

No modelo proposto, por motivos de simplicidade, foram considerados apenas as reduções de despesas relacionadas a energia elétrica, com exceção das medidas de redução de perdas onde foram considerados os custos marginais totais de exploração totais (R\$/m³), estimados pelo indicador IN026 (Despesa de exploração por m³ faturado) dos prestadores de serviço de água, como benefício da redução de perdas.

Foi assumido que o prestador de serviço da simulação é aderente de modalidade tarifária horo-sazonal, sendo suas reduções de despesas com eletricidade função não apenas da redução do consumo, mas também da potência demandada e do consumo energético no horário de ponta e fora de ponta.

Estão apresentadas na Tabela 10 as projeções de economias decorrentes da implantação conjunta das medidas propostas.

Tabela 10 – Custos Evitados pela implantação de medidas de EE

Unidade	Parâmetro	Unidade	Valores
Redução de Perdas Reais	Redução Produção	m ³ /dia	3937,5
	DEX Unitário	R\$/m ³	1,04
	Custos Evitados	mil R\$/ano	R\$ 1.793
Redução de Perdas Aparentes	Aumento Faturação	m ³ /dia	787,5
	Tarifa Média	R\$/m ³	1,66
	Aumento arrecadação	Mil R\$/ano	R\$ 477
Redução despesas energia	Redução consumo ponta	kWh	1766,4
	Redução consumo fora de ponta	kWh	8478,7
	Redução demanda ponta	kW	441,6
	Redução demanda fora de ponta	kW	853,8
	Tarifa Consumo Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,32
	Tarifa Demanda Ponta	R\$/kW	R\$ 19,13
	Tarifa Elétrica fora de ponta	R\$/kWh	R\$ 0,20
	Tarifa Demanda fora de ponta	R\$/kW	R\$ 6,38
	Custos Evitados	mil R\$/ano	R\$ 978
Total Custos Evitados		mil R\$/ano	R\$ 3.248
Investimentos Estimados		mil R\$	R\$ 12.991
Payback Simples		anos	4

Calculando o payback simples, observamos que o tempo de retorno do investimento é um pouco menor que 5 anos. Levando em consideração a magnitude das intervenções, com ações em praticamente todas unidades do sistema de abastecimento, esse tempo de retorno é curto e indica um excelente potencial de investimento para o prestador de serviço.

Olhando mais em detalhe, cada ação específica terá um tempo de retorno distinto e dependerá das condições individuais do sistema sendo avaliado. Entender quais intervenções tem o maior potencial de impacto é importante em um contexto onde o volume de recursos para investimentos é limitado e não é possível realizar imediatamente todos investimentos necessários para adequação do sistema de abastecimento às melhores práticas.

Para estimar quais as medidas têm o maior impacto dentro do modelo proposto, foram calculados os custos evitados para implantação das medidas de maneira isolada. É importante observar que, por se tratar de um sistema integrado, a intervenção em uma das unidades tende a afetar o funcionamento das outras partes e, portanto, a soma das economias individuais não é igual as economias totais combinadas.

A análise das estações elevatórias de água tratada e bruta foi combinada a substituição das adutoras propostas por se considerar, na situação proposta neste estudo de caso, pouco racional a substituição do sistema de bombeamento sem o adequado recondicionamento das tubulações, em estado já muito degradado. O contrário também é válido uma vez que a troca das adutoras deverá indispensavelmente incorrer em uma reavaliação das estações elevatórias.

A necessidade de substituição conjunta de motor-bombas e adutoras nem sempre é necessária uma vez que essas duas partes do sistema possuem vidas úteis distintas, sendo de cerca de 10 anos para os equipamentos eletromecânicos das estações elevatórias e de 30 a 40 anos para as tubulações.

Tabela 11 – Custos evitados e payback estimados decorrentes da implantação das medidas de redução de perdas

Unidade	Parâmetro	Unidade	Valores
Rede de Distribuição	Redução Produção	m ³ /dia	4.725
	DEX Unitário	R\$/m ³	1,04
	Custo Evitado	R\$/ano	R\$ 1.793.610,00
	Investimento estimado	R\$	R\$ 7.006.074,80
	Payback Simples	anos	3,9

Tabela 12 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos no Reservatório Apoiado

Unidade	Parâmetro	Unidade	Antes EE	Após EE
Reservatório Apoiado	Demanda Ponta EEAT	cv	368	0
	Demanda Ponta EEAB	cv	74	0
	Consumo Ponta EEAT	kWh	1.104	0
	Consumo Ponta EEAB	kWh	221	0
	Conversão cv-kW	kW/cv	0,735	
	Tarifa Consumo Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,32	
	Tarifa Demanda Ponta	R\$/kW	R\$ 19,13	
	Despesas Eletricidade	R\$/ano	R\$ 229.296,89	R\$ -
	Custo Evitado	R\$/ano	R\$ 229.296,89	
	Investimento estimado	R\$	R\$ 1.840.920,56	
	Payback Simples	anos	8,0	

Tabela 13 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos na adutora de água tratada e elevatória de água tratada.

Unidade	Parâmetro	Unidade	Antes EE	Após EE
Adutora e elevatória de água tratada	Demanda Ponta EEAT	cv	368	221
	Consumo Ponta EEAT	kWh	1.104	662
	Demanda Fora Ponta EEAT	cv	1.104	331
	Consumo Fora Ponta EEAT	kWh	11.776	4.306
	Conversão cv-kW	kW/cv	0,735	
	Tarifa Consumo Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,32	
	Tarifa Demanda Ponta	R\$/kW	R\$ 19,13	
	Tarifa Consumo Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,20	
	Tarifa Demanda Fora Ponta	R\$/kW	R\$ 6,38	
	Despesas Eletricidade	R\$/ano	R\$ 1.094.073,03	R\$ 384.807,90
	Custo Evitado	R\$/ano	R\$ 709.265,13	
	Investimento estimado	R\$	R\$ 3.769.084,06	
	Payback Simples	anos	5,3	

Tabela 14 – Custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos na adutora de água tratada e elevatória de água bruta

Unidade	Parâmetro	Unidade	Antes EE	Após EE
Adutora e elevatória de água bruta	Demanda Ponta EEAB	cv	74	59
	Consumo Ponta EEAB	kWh	221	177
	Demanda Fora Ponta EEAB	cv	184	88
	Consumo Fora Ponta EEAB	kWh	2.245	1.148
	Conversão cv-kW	kW/cv	0,735	
	Tarifa Consumo Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,32	
	Tarifa Demanda Ponta	R\$/kW	R\$ 19,13	
	Tarifa Consumo Fora Ponta	R\$/kWh	R\$ 0,20	
	Tarifa Demanda Fora Ponta	R\$/kW	R\$ 6,38	
	Despesas Eletricidade	R\$/ano	R\$ 208.860,48	R\$ 102.615,44
	Custo Evitado	R\$/ano	R\$ 106.245,04	
	Investimento estimado	R\$	R\$ 375.913,36	
	Payback Simples	anos	3,5	

A substituição da adutora e elevatória de água bruta se mostrou como a iniciativa com menor tempo de retorno entre as iniciativas propostas, com o investimento sendo recuperado em cerca de 3 anos e 6 meses. Esta intervenção é também a de menor investimento inicial, sendo, portanto, a mais atrativa inicialmente para o sistema.

O aumento do volume do reservatório apoiado foi a iniciativa de maior tempo de retorno, chegando a 8 anos para reaver os investimentos realizados.

As medidas de redução de perdas se mostraram uma iniciativa muito atraente de investimento, com o segundo menor tempo de retorno. Além disso, os custos evitados das medidas de redução de perdas são muito superiores a qualquer outra iniciativa proposta. Considerando que, através de boas práticas de operação, essas redes podem alcançar 30 anos de vida útil, existe um potencial alto de capitalização desse investimento em relação as outras intervenções propostas.

As ações adotadas para a redução de perdas foram diversas, com níveis de complexidade distintas, partindo de estudos e implantação de válvulas redutoras de pressão até a substituição de boa parte da rede de distribuição. Apesar da implantação conjunta dessas medidas permitir a elaboração de projetos mais consistentes, nada impede que essas medidas sejam adotadas individualmente. A Tabela 15 apresenta os impactos das medidas redutoras de perdas de maneira desagregada.

Tabela 15 – Impacto econômico das medidas de redução de perdas no sistema.

Ações de redução de perdas	Contribuição redução de perdas	Custos Evitados	Investimentos	Payback
Controle de pressões	10%	R\$ 725.985,00	R\$ 324.000,00	0,4
Substituição/Instalação Hidrômetros	4%	R\$ 477.146,25	R\$ 2.745.535,71	5,8
Deteção e reparo de vazamentos	11%	R\$ 768.690,00	R\$ 3.936.539,08	5,1
TOTAL	25%	R\$ 1.793.610,00	R\$ 7.006.074,80	3,9

Avaliando as ações adotadas o controle de pressões teve um resultado muito positivo, com o retorno do investimento em apenas 5 meses. Este resultado, mesmo considerando o caráter aproximativo do estudo, mostra o grande potencial de economia em sistemas de abastecimento de água.

A deteção e reparo de vazamentos, assim como a substituição/instalação de hidrômetros apresentaram tempos de retorno um pouco maiores que 5 e 9 anos, respectivamente.

Essas iniciativas apresentam uma complexidade muito superior a redução de pressões e provavelmente deverão ser realizadas ao longo de alguns anos, com escalonamento por setores desses esforços. A implantação gradual permite que seja realizado, no final da vida útil dessas instalações, uma substituição também gradativa dessas instalações, reduzindo os esforços operacionais e inconvenientes para a população.

Vale reforçar que toda hierarquização realizada nesse estudo é válida para o sistema aqui proposto e que outros sistemas podem apresentar oportunidades de intervenções diferentes das aqui consideradas.

8. Conclusões

A Figura 17 traz um resumo dos dados de consumo de energia elétrica e demanda de potência para as três situações analisadas para desenvolvimento do modelo:

1. *Situação 1*: Projeção realizada para fim de plano no projeto do sistema de abastecimento a partir de estimativas baseadas em dados estatísticos
2. *Situação 2*: Condição atual, após a vida útil projetada do sistema, com funcionamento além de sua capacidade e energeticamente ineficiente
3. *Situação 3*: Sistema de abastecimento após ações de eficiência energética e redução de perdas de água, retratando o que poderia ser o sistema caso houvesse investimento ao longo de sua vida útil, adaptando a produção e a distribuição de água de acordo com a demanda, o crescimento populacional real e o desenvolvimento das tecnologias de gestão, operação e manutenção.

Tabela 16 - Resumo: consumo e demanda

Variável	Unidade	Situação 1	Situação 2	Situação 3
CT	kWh	8611,2	15787,2	5542,08
CFP	kWh	8611,2	14020,8	5542,08
CP	kWh	0	1766,4	0
DFP	kW	662,4	1288	434,24
DP	kW	0	441,6	0

As figuras 18 e 19 mostram esses dados comparativamente de forma gráfica, para o consumo total e para a demanda máxima.

Através desses números, é possível comprovar o potencial de economia existente com ações de eficiência energética e hidráulica em sistemas de abastecimento.

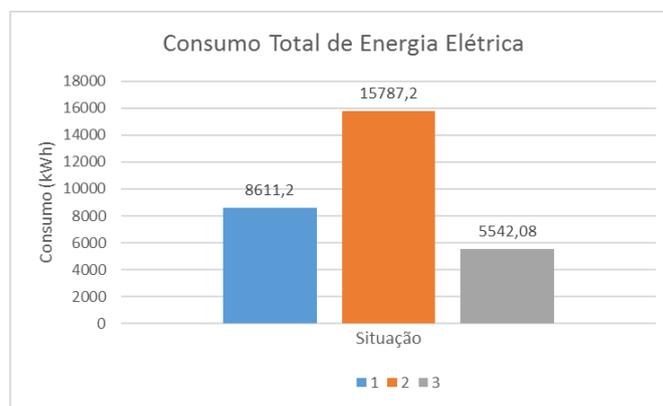


Figura 2 – Gráfico: consumo total

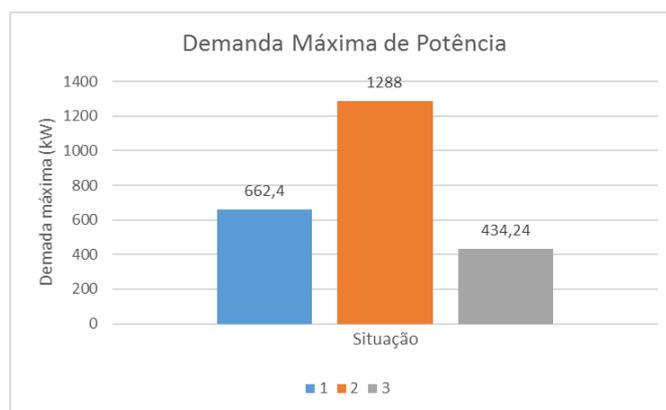


Figura 3 – Gráfico: demanda máxima

Do ponto de vista econômico-financeiro os investimentos estimados se mostraram altamente atrativos frente a redução das despesas operacionais, os chamados custos evitados. O tempo de retorno dos investimentos se situou entre 6 meses e 10 anos para a implantação de medidas isoladamente e foi de 9 anos para a adoção conjunta das iniciativas conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Investimentos, custos evitados e payback estimados decorrentes dos investimentos em eficiência energética

Unidade	Investimentos (mil R\$)	Custos Evitados (mil R\$/ano)	Payback (anos)
Reservatório Apoiado	R\$ 1.840,92	R\$ 229,30	0,5
Aduutora e elevatória de água bruta	R\$ 375,91	R\$ 106,25	3,4
Aduutora e elevatória de água tratada	R\$ 3.769,08	R\$ 709,27	5,3
Rede de Distribuição	R\$ 7.006,07	R\$ 1.793,61	3,9
Medidas Conjuntas	R\$ 12.991,98	R\$ 2.772,10	8,8

Os resultados confirmam a avaliação inicial do potencial técnico e econômico dessas medidas no sistema de abastecimento proposto.

Enfim, o modelo demonstra que, em muitos casos, os sistemas de abastecimento estão operando muito longe de níveis ótimos de eficiência, comprometendo a qualidade, a eficiência e a eficácia da prestação de serviços, devido aos fatores de:

- Falta de investimentos contínuos na infraestrutura para adaptação às mudanças inerentes do ambiente urbano (crescimento populacional, crescimento urbano)
- Falta de planejamento para manutenção, atualização e expansão da infraestrutura existente, causando envelhecimento e exaustão dos equipamentos no que diz respeito à sua eficiência operacional
- Falta de atualização tecnológica tanto nos equipamentos de produção e distribuição quanto na gestão operacional, com excesso de operações manuais e deficitárias
- Falta de cadastro da infraestrutura, acompanhamento de indicadores, simulação das redes de abastecimento e controle da operação, o que acarreta uma operação normal “às cegas”

Esse descompasso de planejamento, operação e gestão é responsável pela ineficiência dos sistemas de abastecimento. No entanto, exatamente por causa dele, o potencial de economia advindo de projetos, programas e ações de uso racional e controle da energia elétrica e das perdas de água é imenso. Medidas relativamente simples normalmente produzem um

retorno rápido e rentável. Resta aos operadores de serviços se conscientizarem deste potencial e tomarem as decisões necessárias para buscar a melhoria contínua, promovendo o desenvolvimento sustentável nos sistemas de abastecimento de água sob sua gestão.

9. Bibliografia

ALEGRE, H., et ali. **Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água.** Lisboa: IWA/IRAR/LNEC, 2004.

AZEVEDO NETTO, J.M., et alli. **Manual de Hidráulica.** 8ªEdição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1998.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento.** 1ªEdição. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

GOMES, H.P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico.** 1ªEdição. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2002.

SULZER PUMPS LTD. **Centrifugal Pump Handbook.** Third Edition. Oxford: Elsevier, 2010.

TSUTIYA, M.T. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água,** 1ªEdição. São Paulo: ABES, 2001.