

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E**  
**SUSTENTABILIDADE**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE**  
**BOMBEAMENTO – ESTUDO DE CASO SISTEMA DE**  
**ABASTECIMENTO DE PRIMAVERA DO LESTE – (MT)**

**LAURO MAYMONE COELHO NETTO**

Campo Grande – MS

2014

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E  
SUSTENTABILIDADE**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE  
BOMBEAMENTO – ESTUDO DE CASO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE PRIMAVERA DO LESTE – (MT)**

**LAURO MAYMONE COELHO NETTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

**Orientador: Prof. Dr. Johannes Gerson Janzen**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

Campo Grande – MS

2014

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**LAURO MAYMONE COELHO NETTO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO –  
ESTUDO DE CASO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE  
PRIMAVERA DO LESTE – (MT)**

Dissertação apresentada ao **Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade – FAENG - UFMS**, Área de concentração: Eficiência Energética, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Campo Grande, 30/ 09/2014

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Johannes Gerson Janzen  
FAENG / UFMS/ Orientador

---

Prof. Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa  
FAENG/UFMS

---

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves  
FAENG/UFMS

Dedico este trabalho à minha família, Carlos, Lilian, Lívia, Matheus, Amanda e Therezinha , pelo enorme apoio e carinho, e namorada Juliana, que soube compreender as minhas ausências durante o mestrado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, que mesmo no momento de fraqueza esteve do meu lado, incentivando e motivando para o melhor resultado.

Ao professor Dr. Johannes Gerson Janzen, por ter acreditado no meu projeto e colaborado na orientação e ensinamento.

Ao professor e amigo Dr. Peter Batista Cheung, que contribuiu com minha formação e incentivou diversas vezes o meu egresso no mestrado.

Ao amigo Fábio Veríssimo Gonçalves que me auxiliou na reta final do trabalho com grandes contribuições.

Ao colega engenheiro Diego Rafael Dal Magro, pela ajuda na pesquisa de campo e acesso na empresa Nascentes do Xingu.

Ao grande amigo Paulo José Alves, que não mediu esforços para colaborar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas Moacir, Narumi e Jhonathan, que contribuíram de uma forma geral.

Aos professores do PPGES, pelos conselhos e conhecimentos adquiridos.

Aos colegas do PPGES, pelo trabalho em equipe.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	x
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 JUSTIFICATIVA .....	15
3 OBJETIVO .....	16
3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
4.1 Perdas de água x Eficiência energética.....	18
4.2 Planejamentos nos Serviços de Saneamento .....	19
4.2.1 <i>AWARE-P</i> uma abordagem integrada para gestão.....	20
4.3 O método de gestão PCDA.....	21
4.4 Conceito de indicadores de desempenho .....	24
4.4.1 Indicadores de desempenho associação internacional de água (IWA).....	25
4.4.2 – Indicadores de desempenho sistema nacional de informação sobre saneamento (SNIS).....	27
5 METODOLOGIA.....	30
5.1 Diagnóstico do Sistema .....	30
5.1.2 Levantamento de Dados .....	30
5.2 Modelagem Hidráulica .....	31
5.3 Calibração do modelo .....	34
5.4 Indicadores de Desempenho .....	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39

6.1 Descrição do Município.....	39
6.2 Descrição do Abastecimento de Água.....	40
6.3.2 Medidores utilizados .....	42
6.4 Estudo de Caso .....	43
6.5 Alternativas de Intervenção .....	46
6.5.1 Alternativa de <i>Statu quo</i> .....	46
.....	47
6.6 Avaliação das alternativas .....	50
7 CONCLUSÃO.....	52
7.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	53
REFERÊNCIAS .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de aplicação das normas ISO 24511 e 24512 .....	22
Figura 2 - Abordagem PCDA de melhoria continua. ....	23
Figura 3 – Componentes físicos do <i>software</i> EPANET. ....	32
Figura 4 – Fundo de mapa do município de Primavera do Leste .....	33
Figura 5 – Atualização da rede de distribuição .....	34
Figura 6 – Setores comerciais.....	35
Figura 7 - Abordagem PCDA de melhoria continua. ....	37
Figura 8 – Localização da cidade de Primavera do Leste – MT .....	39
Figura 9 - Setorização da cidade de Primavera do Leste – MT, obtido através do cadastro de rede <i>software</i> AutoCad .....	40
Figura 10 – Medição de vazão com medidor Ultrassônico .....	42
Figura 11 - Medição de pressão.....	43
Figura 12 – Cenário atual do setor obtido através do software Epanet .....	44
Figura 13 - Balanço de massa do reservatório elevado R3.....	44
Figura 14 Distribuição da produção de água no Setor Primavera 3 .....	45
Figura 15 – Instalação de válvula de retenção na saída do R3, obtido através do software Epanet .....	46
Figura 16 – Cenário Proposto no setor Primavera 3, obtido através do software Epanet .....	47
Figura 17 – Cenário Proposto no setor Primavera 3 obtido através do software Epanet .....	48
Figura 18 – Setorização Sistema Primavera 3, obtido através do software Epanet.....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Indicadores de desempenho de perdas de água.....	26
Tabela 2 Indicadores de desempenho de gestão de energia.....	26
Tabela 3 - Índices Percentuais de Perdas.....	28
Tabela 4 - Objetivos estratégicos, critérios de avaliação e indicadores de desempenho do sistema da IWA relativos à gestão de energia. ....	36
Tabela 5- Indicadores de Desempenho das Alternativas Propostas .....	50

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AWARE-P	<i>Advanced Water Assed Rehabilitation in Portugal</i>
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAD	<i>Computer Aided Desing</i>
EPA	<i>Environment Protection Agency</i>
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduo
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPI	Gestão Patrimonial de Infraestrutura
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
MCA	Metro de Coluna água
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
PDCA	<i>Plan/Do/Check/Act</i>
PT	Poço Tubular
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado

## **RESUMO**

O presente trabalho foi proposto devido às companhias de saneamento não utilizarem de uma metodologia para aplicação da reabilitação de suas redes abastecimento. Este trabalho propõe realizar uma análise de indicadores através da simulação de diversos cenários, para que a companhia de saneamento defina qual o melhor cenário e posteriormente utiliza-lo como opção na sua reabilitação. O estudo foi aplicado no sistema de abastecimento de água do município de Primavera do Leste-MT, que abastece uma população de 55 mil habitantes, onde havia um setor com problema de desabastecimento, e focou-se em avaliar três indicadores de desempenho Op23 e Qs10 da IWA (International Water Association) e CE da SNIS (Sistema Nacional de Informação do Saneamento), onde o melhor resultado encontrado foi à alternativa 02, dessa forma concluiu-se que com essa ferramenta de planejamento estratégico as companhias de saneamento poderão fazer investimentos mais direcionais e com menos impacto financeiro.

**Palavras-chave:** eficiência energética; EPANET; eficiência hidráulica.

## **ABSTRACT**

The present work was proposed because sanitation companies do not use a methodology for rehabilitating supply networks. This paper proposes to conduct an analysis of indicators by simulating different scenarios for sanitation companies to set the best scenario and then use it as an option for their rehabilitation. This study was applied to the water supply system of the town Primavera do Leste-MT, which supplies a population of 55000 inhabitants, and focused to assessing three performance indicators Op23 e Qs10 da IWA (International Water Association) and CE (International Water Association) and SNIS (National Sanitation Information System) were used. Since the best result focusing on shortages alternative 02 it was conclude that, with this strategic planning tool, sanitation companies can make more directional and less financial impact investments.

Keywords: Energy Efficiency; Epanet; Hydraulic Efficiency.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Araujo *et al.*, (2006) nas últimas décadas, uma das principais preocupações dos gestores de sistemas de abastecimento de água, de todo o mundo, tem sido a minimização de perdas de água, que frequentemente atingem valores de 30% a 40% de toda a água que abastece os sistemas de distribuição.

Fontana *et al* (2012), ressalta que embora as perdas de água ocorram em todos os sistemas de distribuição, em muitas redes de água as perdas são ainda maiores do que 30% e 40%, atribuídas ao envelhecimento, deterioração dos componentes dos sistemas (tais como tubulações e válvulas) e gerenciamento incorreto.

Devido ao crescente aumento dos preços da energia elétrica, foca-se na eficiência e redução do uso de energia. Portanto, a realização da otimização operacional do sistema de bombeamento vem recebendo um interesse significativo nos últimos anos (Skworcow *et al.*, 2009).

A realização de qualquer atividade de gestão energética dentro da companhia é necessária, em princípio, conhecer e diagnosticar a sua realidade, para então estabelecer as prioridades. Entretanto, os resultados da implantação dos projetos de melhoria e redução das perdas devem ser acompanhados, tornando-se um processo contínuo. Este diagnóstico é válido para instalações novas, como caráter preventivo, ou instalações existentes como caráter corretivo (Marques *et al.*, 2007).

Atualmente, as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água enfrentam um duplo desafio de simultaneamente economizar água e energia, não só devido a razões técnicas e econômicas (isto é, para melhorar o desempenho e reduzir os custos), mas também devido às preocupações ambientais associadas às mudanças climáticas e a redução do efeito estufa. Por um lado, sistemas de abastecimento de água têm perdas de água devido a vazamentos e rupturas que resultam do inevitável envelhecimento das infra-estruturas, concepções e construções deficientes, ou operação e manutenção inadequada. Vazamentos podem ser controlados por métodos diferentes: reparação após ruptura, campanhas periódicas para detecção de vazamentos, gestão dos níveis de pressão ou reabilitação do sistema. Por outro

lado, uma quantidade substancial de energia elétrica é consumida para aduzir, tratar e distribuir água. Os custos de energia representam uma parte significativa dos custos operacionais das entidades gestoras ( Souza *et al.*, 2011).

Este trabalho propõe e descreve a aplicação de uma metodologia AWARE. Esta metodologia está organizada em três níveis de planejamento (estratégico, tático e operacional), associados com ações de curto, médio e longo prazo. Este artigo detalha o nível tático de planejamento para a metodologia proposta e descreve as principais tarefas que devem ser realizadas, bem como as principais ferramentas e tecnologias que poderiam ser utilizadas em cada tarefa para auxílio à tomada de decisão, tais como indicadores de desempenho, simuladores hidráulicos e procedimentos de otimização.

## 2 JUSTIFICATIVA

Para uma companhia de água, o consumo de energia associado com a produção e transporte de água, através de seu sistema de distribuição, é um dos principais custos operacionais que neles incorrem. Segundo Hartley, (2007) estimativas para companhia de água no Reino Unido, apresenta dados entre 3 e 7 milhões de libras por ano por 1 milhão de consumidores, que se aproxima de 10% do total do orçamento operacional da despesa do serviço de água na companhia de água.

Nos dias atuais os maiores problemas nos sistemas de abastecimento de água são as perdas de água, o desabastecimento e o consumo de energia, sendo que as perdas de água e o desabastecimento influenciam no consumo de energia.

O uso de metodologias já consagradas como IWA utilizado pelo programa AWARE-P e o SNIS que é uma regionalização dos indicadores IWA muito utilizados na América do Norte e na Europa para o Brasil, são reconhecidos na comunidade acadêmica como uma ferramenta importante para o planejamento estratégico, portanto o planejamento estratégico é uma ferramenta para tomada de decisão na reabilitação de uma rede.

## **3 OBJETIVO**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a utilização da metodologia do uso de indicadores de desempenho no planejamento estratégico de um sistema abastecimento de água apoiando-se em indicadores da IWA (*International Water Association*) e SNIS (Sistema Nacional de Informação do Saneamento).

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar o diagnóstico operacional do sistema de abastecimento de Primavera do Leste – MT;
- Modelagem e calibração hidráulica do sistema no *software* Epanet;
- Determinação dos indicadores a serem utilizados;
- Calcular os indicadores escolhidos;
- Fazer uma análise dos de cenários.



## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de distribuição de água, ainda perdem uma considerável quantidade de água potável devido a vazamentos e significativa energia no bombeamento e tratamento de água, apesar das melhorias operacionais introduzidas nos últimos 10 e 15 anos (Skworcow *et al.*, 2009). Com as fontes de abastecimento de água tornando-se cada vez mais incertas, e talvez mais ainda as fontes de energia sustentáveis, cresce a atenção ao problema de água não medida e, especificamente a detecção e controle de vazamentos (Colombo & Karney, 2002).

Como se sabe, a maior parte dos vazamentos físicos estão localizados na rede de distribuição: um ativo controle de vazamentos ocasiona a redução de perda de água contribuindo para promover uma significativa economia de água e energia com benefícios econômicos e ambientais (Giugni *et al.*, 2009).

Do ponto de vista econômico-financeiro vazamentos são onerosos por uma série de razões. Inclui-se nestas: a perda de produtos químicos devido a perda física da água na rede, aumento do risco de deterioração da qualidade da água, capacidade de expansão desnecessária e, o aumento do gasto energético necessário para alimentar os vazamentos (Colombo & Karney, 2002).

Em uma recente publicação Zhang *et al.*, (2012) relata que sistemas de bombeamento consomem em todo o mundo, cerca de 20% de toda a eletricidade industrial. O tipo dominante de bomba são as bombas centrífugas, e podem facilmente apresentar baixa eficiência energética, a menos que devidamente projetada, instalada e operada.

Um dos fatores mais importantes que afetam o vazamento é a pressão da rede. Por conseguinte, o manejo da pressão é quase sempre uma parte integrante de uma estratégia de manejo de vazamentos (Fontana *et al.*, 2012).

Uma forma comum de reduzir a pressão é localizar válvulas de redução de pressão (VRP) ou de vazão em redes de água, que reduzem a capacidade hidráulica em geral, aumentando as perdas de carga atribuíveis à contração da seção (Fontana *et al.*, 2012).

#### 4.1 Perdas de água x Eficiência energética

Em estudo realizado por Cabrera *et al.*, (2010) é citado que a água é vista como agente de consumo de energia. Essa nova perspectiva tornou a distribuição de água em um estágio muito importante e trouxe atenção não somente em quanta energia é consumida, mas também como a energia é utilizada.

O impacto de vazamentos sobre os custos de consumo de energia e de bombeamento de um sistema depende de vários fatores. A distribuição espacial dos componentes do sistema, especificamente as posições relativas de bomba, tanque, vazamento, e demandas afetam tanto a perda de água e uso de energia. Talvez o fator mais importante que contribui para a resposta de energia de um sistema para vazamentos seja o atrito, que é especialmente evidente quando o serviço equivalente é mantido por meio de compensação de pressão (Colombo & Karney, 2002).

Cada sistema é, do ponto de vista energético, diferente. A topografia da rede não é modificável e é claro que pode resultar em uma análise de energia de interesse alta ou baixa. Por exemplo, uma cidade montanhosa com várias estações de bombeamento intermediárias, com água proveniente de poços profundos ou usinas de dessalinização exigiria quantidades significativas de energia e, conseqüentemente, um grande estudo de interesse. (Hernández *et al.*, 2010).

Mesmo um pequeno aumento de eficiência causada pela otimização da operação de bombeamento pode resultar em economia significativa de energia e de custos para as empresas de água (Giustolisi *et al.*, 2013).

A otimização de bombeamento significa programar as bombas ao longo do tempo em um ciclo operacional relevante, ou seja, selecionar quais as bombas estão bombeando em um determinado momento. Esta tarefa é geralmente realizada de duas maneiras: pela programação do estado LIGA / DESLIGA ao longo do tempo, ou por um controle direto do botão LIGA / DESLIGA com base no nível da água em um tanque. Em ambas as estratégias, a modelagem das redes de água desempenha um papel importante, porque a seleção ideal de bombas funcionando requer prever o comportamento do sistema hidráulico pela contabilização de alterações das suas condições de contorno ao longo do tempo (Giustolisi *et al.*, 2013).

Sistemas de bombeamento operando com velocidade variável estão se tornando cada vez mais comuns em empresas de saneamento, substituindo bombas operando em

partida direta convencional. Enquanto a principal vantagem é a redução do consumo de energia e de seus custos, há outras vantagens significativas, incluindo a redução de vazamentos (Lingireddy & Wood, 1998).

O uso de bombas equipadas com controladores de frequência variável oferece o potencial para melhorias significativas na eficiência operacional dos sistemas de distribuição de água, acompanhadas de economias de energia e custos. Utilizando bombas de velocidade variável, é possível controlar com precisão e de forma eficiente o funcionamento destes sistemas. (Lingireddy & Wood, 1998).

Os custos de energia para o bombeamento e o aumento da demanda da água fizeram as companhias de água buscar metodologias que possam maximizar as economias de custo enquanto cumprem os critérios de desempenho do sistema (Nitivattananon *et al.*, 1996).

Medidas de economia de energia em sistemas de abastecimento de água podem ser entendidas de diferentes formas, pelo projeto do sistema para economizar energia, por manutenção adequada do equipamento, especialmente bombas e por um controle otimizado do sistema (AbdelMeguid & Ulanicki, 2010).

Estes sistemas de água consistem principalmente de uma bomba principal e / ou combinação de múltiplas estações de reforço de bombeamento para o transporte de água. A compreensão da relação entre a potência da bomba e o uso de energia correspondente poderia ajudar na economia de energia, contribuindo assim no projeto ideal de estação de bombeamento em rede *booster* (Ghimire, 2010).

A energia pode ser reduzida através do bombeamento de menos água, diminuindo a cota piezométrica contra a qual a água é bombeada e por meio de bombas operadas próximas à eficiência máxima. O custo também pode ser reduzido pela programação do bombeamento a partir de períodos de tarifas de valores mais elevados para os períodos tarifários baratos (AbdelMeguid & Ulanicki, 2010).

#### **4.2 Planejamentos nos Serviços de Saneamento**

A promoção da melhoria nos serviços de saneamento deve envolver toda a organização e ser devidamente enquadrada no âmbito das diferentes atividades e setores, de forma a permitir uma gestão técnica integrada, envolvendo os vários níveis de decisão (Alegre & Covas, 2009).

Segundo (Alegre *et al.*, 2010), considerando os grandes níveis hierárquicos, três tipos de planejamento podem ser identificados:

- Planejamento estratégico;
- Planejamento tático;
- Planejamento operacional.

Ainda de acordo com (Alegre *et al.*, 2010) os planos estratégicos são de esfera global, abrangendo toda a organização e toda a área geográfica servida. Os planos táticos são de esferas temáticas e podem ter um âmbito geográfico mais restrito. Os planos operacionais são mais específicos, com uma esfera mais localizada e tematicamente mais limitada. Cada um destes tipos de plano devera ser coerente e estar alinhado com os restantes, de modo a garantir o cumprimento com os objetivos estratégicos da organização.

O objetivo do planejamento tático é materializar as estratégias estabelecidas no planejamento estratégico, definindo a forma de programar-las setorialmente. Os planos táticos tem um âmbito mais restrito do que o plano estratégico, em termos geográficos ou temáticos (Alegre *et al.*, 2010).

De acordo com a norma ISO 24512 (2007), os objetivos estratégicos para os serviços de abastecimento de água são:

- Garantir a proteção da saúde pública;
- Corresponder às solicitações e às expectativas dos utilizadores do serviço;
- Garantir o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência;
- Garantir a sustentabilidade da entidade gestora;
- Promover o desenvolvimento sustentável da comunidade;
- Proteger o meio ambiente.

#### **4.2.1 AWARE-P uma abordagem integrada para gestão**

A *Advanced Water Asset Rehabilitation* - Portugal foi desenvolvido em conjunto por pesquisadores e profissionais de serviços públicos de vários segmentos. Estão

incluídos na pesquisa; água potável, sistemas de águas residuais e de águas pluviais; concessionárias públicas e privadas. O *know-how* e experiências nos membros da equipe garantiu que o resultado final fosse flexível e robusto, transferível e aplicável a uma ampla variedade de situações. O objetivo é que todos os produtos do projeto sejam disponíveis gratuitamente para o público realizar pesquisas e *feedback*, levando a um processo de melhoria contínua (Alegre *et al.*, 2011).

De acordo com Alegre *et al.*, (2011) o objetivo do *AWARE-P* foi desenvolver e implementar o *know-how* e as ferramentas necessários à tomada eficiente de decisões por parte das companhias de saneamento, no âmbito da Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI) em sistemas urbanos de água.

A ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos) é um dos parceiros do projeto *AWARE-P* e a sua participação neste projeto teve por objetivo assegurar às entidades gestoras de serviços de águas o acesso fácil e gratuito a informação e conhecimento detalhado em matéria de GPI e às ferramentas para a sua aplicação. Para esse efeito, a ERSAR promoveu, ainda em 2010, a publicação dos Guias Técnicos n.º 16 e 17, sobre gestão patrimonial de infraestruturas de serviços de águas e, em 2011, a realização de seminários e cursos técnicos sobre a temática (Ersar, 2011).

A comparação e seleção das melhores alternativas de intervenção, com base no desempenho, risco e custo correspondente em longo prazo, levam a organizações e serviços mais eficientes. Uma das áreas específicas em que há muito espaço para melhoria da eficiência dos serviços públicos é o gerenciamento de informações. Procedimentos para identificar, coletar, validar, integrar e usar com sabedoria as informações da chave de apoio foi disponibilizado em *AWARE-P* (Alegre *et al.*, 2011).

### **4.3 O método de gestão PCDA**

De acordo com (Pacheco *et al.*, 2014) PDCA é a sigla das palavras em inglês que designam cada etapa do ciclo: “*Plan*”, planejar; “*Do*”, fazer ou executar; “*Check*”, checar ou verificar; e “*Action*”, agir de forma corretiva.

A Figura 1 permite inferir que essas normas são compatíveis com o princípio da abordagem “*Plan – Do – Check – Act*” (PDCA), pois seguem uma sistemática de planejamento, execução, medição e avaliação, tendo como preceito a melhoria contínua. As normas da série ISO 24500 não dependem da aprovação da ISO 9000 e/ou ISO

14000. No entanto, a adoção dos sistemas de gestão previstos nas ISO 9001 e/ou 14001 pode facilitar a implementação das diretrizes previstas na série ISO 24500 e vice-versa (ISO 24512, 2007).

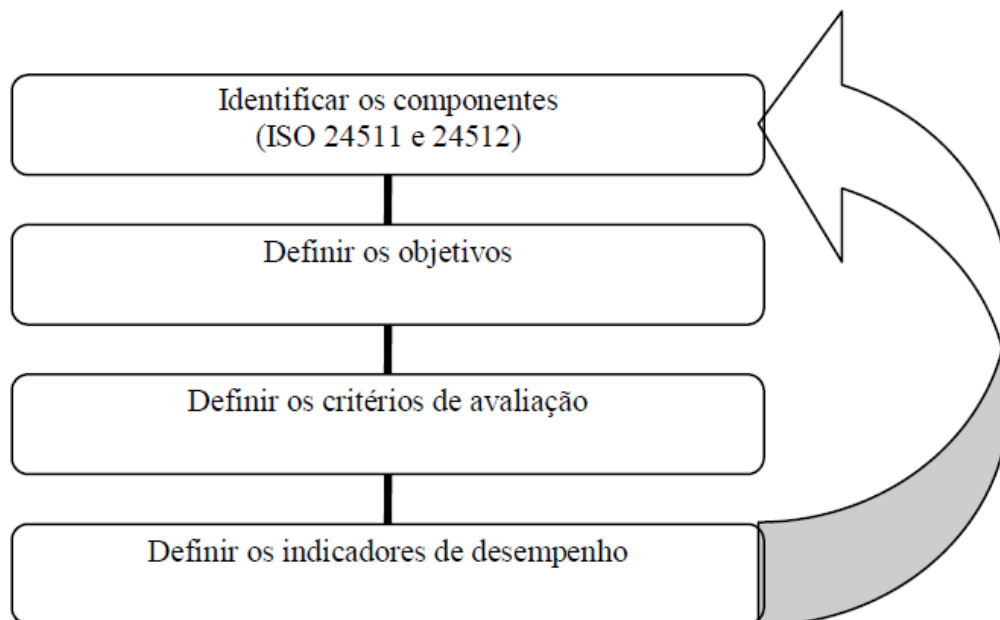


Figura 1 - Processo de aplicação das normas ISO 24511 e 24512

Fonte: Adaptado ISO 24512, 2007.

Após completar todas as etapas, o ciclo deve ser girado sistematicamente, de forma que, a cada volta, haja correções das falhas (Figura 2). Girando continuamente, há constantes melhorias no processo.

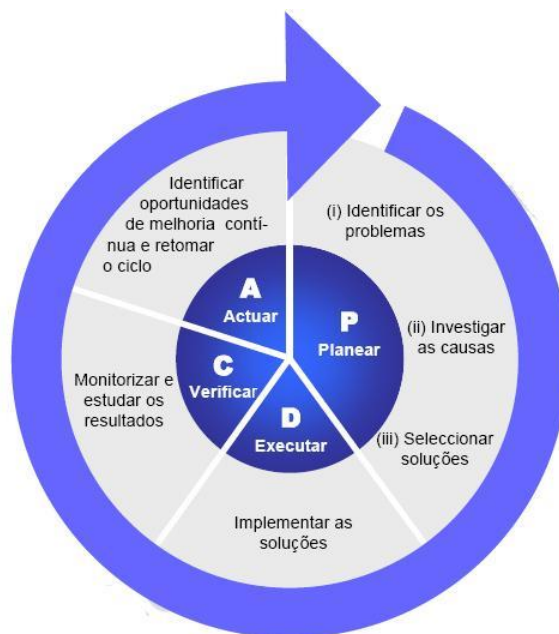


Figura 2 - Abordagem PCDA de melhoria continua.

Fonte: Alegre *et al* (2010).

O PDCA é utilizado para controle e melhoria de processos, e é útil para solucionar problemas; permite criar, aprender, copiar e difundir conhecimento. Transforma a empresa numa escola, em que a busca por resultados é paralela à busca do conhecimento. É um método simples, no entanto quem utiliza esse método percebe que, quanto mais se aprofunda o seu uso na empresa, mais se percebe sua complexidade, portanto é uma busca constante de informações e conhecimento (Falconi, 2009)

De acordo com (Alegre *et al.*, 2010) processo de planeamento, em qualquer dos três níveis apontados, apresenta em cinco fases principais citados abaixo:

- Elaboração de um diagnostico;
- Desenvolvimento do plano;
- Implementação do plano;
- Monitoramento do plano;
- Revisão do plano.

Essa série ISO 24500, composta por um conjunto de três normas, conforme apresentadas a seguir, tem por objetivo fornecer às partes interessadas diretrizes

orientações para a definição, avaliação e gestão dos serviços prestados de forma consistente com os grandes objetivos fixados pelas autoridades nacionais competentes e de organizações intergovernamentais internacionais. A norma destina-se a facilitar o diálogo entre as partes interessadas, permitindo-lhes desenvolver uma compreensão mútua das funções e tarefas que se inserem no âmbito dos serviços prestados (ISO 24512, 2007). A série é composta pelas seguintes normas:

- ISO 24510 – Serviços relacionados à água potável e águas residuárias – Diretrizes para melhoria e avaliação dos serviços para os usuários (norma de serviço);
- ISO 24511 - Serviços relacionados à água potável e águas residuárias Diretrizes para gestão e avaliação dos serviços águas residuárias (norma de gestão);
- ISO 24512 - Serviços relacionados à água potável e águas residuárias – Diretrizes para gestão e avaliação dos serviços de água potável (norma de gestão).

#### **4.4 Conceito de indicadores de desempenho**

Os indicadores são elementos que sinalizam, comunicam, demonstram, indicam e informam sobre uma questão qualquer. Nesse sentido, os indicadores têm várias características definidoras: quantificam a informação, tornando seu significado mais aparente; simplificam a informação para facilitar a comunicação; são descritivos, não explicativos; representa um modelo empírico da realidade, não a realidade em si. Um indicador deve, ainda, facilitar a comparação (Miranda, 2002).

Objetivos:

- Quantificar as informações, tornando-as mais aparente;
- Simplificar as informações;
- Comparar com outros sistemas;
- Realizar estudos descritivos e não explicativos.



#### 4.4.1 Indicadores de desempenho associação internacional de água (IWA)

A international Water Association (IWA) é uma referência mundial para os profissionais que atuam no setor de abastecimento de água. Ela promove o auxílio aos profissionais buscando criar soluções inovadoras, pragmáticas e sustentáveis para corresponder aos desafios encontrados na satisfação das necessidades globais (IWA, 2011).

O sistema de indicadores de desempenho proposto pela IWA teve seu desenvolvimento iniciado em maio de 1997, por meio da criação de um Grupo de Trabalho dependente do Comitê de Operação e Manutenção e está fundamentado na satisfação das necessidades comuns dos principais tipos de utilizadores, com ênfase as entidades gestoras (Alegre *et al.*, 2006).

Os ID's foram subdivididos em seis grupos: indicadores de recursos hídricos, de recursos humanos, infra-estruturais, operacionais, de qualidade de serviço e econômico-financeiros. No total são considerados 158 indicadores, dos quais 28 se propõe integrarem o topo da escala de prioridade (Alegre *et al.*, 2006).

De acordo com Alegre *et al.*, (2012) cada indicador expressa o nível do desempenho, tornando direta e objetiva a gestão dos resultados obtidos. Diferentes soluções podem ser implementadas em sistemas de abastecimento de água para melhorar a eficiência energética, tais como:

1. Poupança de energia;
2. Geração de energia;
3. Soluções combinadas utilizando fontes renováveis.

Para cada objetivo estratégico, apresenta os critérios de avaliação mais importantes do contexto. Apresentam-se também exemplos de indicadores de desempenho adequados aos critérios de avaliação escolhidos, conforme tabela 01 e 02 (Araujo *et al.*, 2006).

Tabela 1 Indicadores de desempenho de perdas de água.

<b>Tipo</b>	<b>Indicadores de Desempenho</b>
Operacional	Op 23 - Perdas totais de água por ramal de ligação ( m <sup>3</sup> /ramal/ano)
	Op 24 - Perdas Totais de água por comprimento de tubulação (m <sup>3</sup> /km/dia)
	Op 25 - Perdas aparentes por ramal (%)
	Op 26 - Perdas aparentes por volume de água que entra no sistema(%)
	Op 27 -Perdas reais por ramal de ligação ( l/ramal/dia c/sist de pressão)
	Op 28 - Perdas reais por comprimento de tubulação (l/km/dia c/sist em pressão)
	Op 29 - Índice Infra-estrutural de vazamentos ( - )
	Op 39 - Água não medida ( %)
Econômico-financeiro	Fi 46 - Água não faturada em termos de volume ( %)

Fonte: Adaptado Duarte *et al* (2008)

Tabela 2 Indicadores de desempenho de gestão de energia.

<b>Objetivo estratégico</b>	<b>Critério de avaliação</b>	<b>Medidas de desempenho</b>
Assegurar o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência	Manutenção de pressões adequadas nas redes de adução e distribuição	Qs 10 – Adequação do cumprimento dos requisitos de pressão (%)
		Percentagem dos pontos de entrega ( em ramais) onde as pressões na hora de maior consumo são iguais ou superiores aos valores requeridos.
Garantir sustentabilidade	Sustentabilidade econômico-financeira	Fi10 - Custos de energia eléctrica (%)
		Percentagem de custos correntes correspondentes a energia eléctrica.

Fonte: Adaptado Duarte *et al* (2008)

Magalhães Jr., Cordeiro e Nascimento (2003) ressaltam que os indicadores são informações pontuais, no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permitem o acompanhamento dinâmico da realidade e servem como instrumentos de auxílio ao processo decisório. Por essa razão, a análise individualizada de um único indicador tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. A interpretação do desempenho de uma entidade gestora deve ser feita com base em um conjunto de indicadores, com conhecimento de causa, considerando o contexto em que estão inseridos, bem como as características mais relevantes do sistema e da região em questão (Alegre *et al.*, 2000).

#### **4.4.2 – Indicadores de desempenho sistema nacional de informação sobre saneamento (SNIS)**

O Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) foi criado pelo Governo Federal, no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). Atualmente encontra-se vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades e continua sendo executado pelo PMSS. A implantação do SNIS iniciou-se no ano de 1996 através da coleta de informações de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, fornecidas pelas prestadoras de serviço do setor. Desde então, o SNIS coleta de forma sistemática informações de cada ano amplia a amostra e efetua revisões na metodologia de coleta e tratamento das informações, no glossário e na relação de indicadores, além de incluir novas informações e indicadores e de aprimorar o banco de dados (SNAS, 2011).

De acordo com (Miranda, 2002) esses indicadores estão ligados a administração federal, que contém informações de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, sobre a prestação de serviços de água e de esgotos e sobre os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos. No caso dos serviços de água e de esgotos, os dados são atualizados anualmente para uma amostra de prestadores de serviços do Brasil, desde o ano-base de 1995.

Magalhães Jr., Cordeiro e Nascimento (2003) ressaltam que os indicadores são informações pontuais, no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permitem o acompanhamento dinâmico da realidade e servem como instrumentos de auxílio ao processo decisório.

Por essa razão, a análise individualizada de um único indicador tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. A interpretação do desempenho de uma entidade gestora deve ser feita com base em um conjunto de indicadores, com conhecimento de causa, considerando o contexto em que estão inseridos, bem como as características mais relevantes do sistema e da região em questão (Alegre *et al*, 2000).

A Tabela 1, dá um panorama da classificação dos sistemas de abastecimento de água, em relação ao indicador percentual.

Tabela 3 - Índices Percentuais de Perdas

Índice Total de Perdas (%)	Classificação do Sistema
Menor do que 25	Bom
Entre 25 e 40	Regular
Maior do que 40	Ruim

Fonte: Adaptado SNIS (2011)

#### 4.4.3 Indicadores de Desempenho Energia SNIS

A utilização de indicadores de desempenho é uma forma de se avaliar o desempenho técnico para a eficiência energética, pois a promoção de projetos que tenham por objetivo a otimização dos recursos energéticos e dos seus custos é cada vez mais comum nos sistemas de abastecimento de água. Avaliar a eficiência energética é importante para estabelecer prioridades de intervenção e para controlar a eficácia das medidas implementadas (SNAS, 2011)..

O indicador de desempenho passível de comparação à padrões estabelecidos internacionalmente é o consumo específico de energia elétrica (CE), conforme equação 1.1 (SNAS, 2011).

$$CE = \frac{P_a \times t}{V} \text{ (kWh/m}^3\text{)} \quad (1.1)$$

Onde, o  $P_a$  é a potência elétrica medida (kW), o  $t$  é o tempo de bombeamento (h), e o  $v$  é o volume bombeado ( $m^3$ ).

Em sistemas de abastecimento de água, os indicadores relacionados ao consumo de energia e à eficiência energética mais comuns são:

- Custo específico da energia: custo unitário da energia adquirida da concessionária (R\$/MWh);
- Consumo específico: energia consumida por volume de água bombeado (kWh/ $m^3$ );
- Custo de energia por volume vendido (R\$/ $m^3$ );

- Valor faturado por volume bombeado ( $R\$_{\text{faturado}}/m^3_{\text{bombeado}}$ );

Os indicadores calculados pelo SNIS são agrupados da mesma forma que as informações. Os indicadores devem ser suficientes para destacar aspectos relevantes da oferta, da demanda, das receitas e dos custos dos serviços prestados, o que implica em uma constante reavaliação e adequação conforme as necessidades (Girol, 2008).

## **5 METODOLOGIA**

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. As atividades foram divididas em: Diagnóstico do Sistema; Modelagem no Epanet; Indicadores de Desempenho e Planejamento das Alternativas.

### **5.1 Diagnóstico do Sistema**

As etapas de um diagnóstico energético seguem um plano de ações padrão, mas podem sofrer alterações devido à peculiaridade de cada caso estudado. De modo geral essas etapas são:

- Identificação a concepção do sistema;
- Coleta de dados: levantar os resultados do banco de dados com as medições de grandezas elétricas, hidráulicas e coleta de informações sobre a estrutura e funcionamento da instalação. Caso o sistema não possua estas informações, é necessário fazer o levantamento utilizando medidores de vazões, pressões, tensão, corrente, etc;
- Análise técnica de dados: interpretação e realização de cálculos que gerem valores que tem significado para a descrição do potencial de conservação de energia.

#### **5.1.2 Levantamento de Dados**

O levantamento de dados é realizado através da verificação dos equipamentos em campo (conjuntos motor-bomba, reservatórios e macromedidores), conferindo com o cadastro utilizado pela concessionária. Nesta etapa é necessário saber como é feita a operação do sistema e suas singularidades.

## 5.2 Modelagem Hidráulica

O Epanet (Rossman, 2000), desenvolvido pela EPA (*Environment Protection Agency*) é um *software* que permite realizar simulações quali-quantitativas, estáticas e dinâmicas, de sistemas de distribuição de água. Os sistemas gerados pelo Epanet agregam as informações físicas (topografia, comprimentos e diâmetros de tubulações, coeficientes de rugosidade, consumos nos nós, níveis dos reservatórios). A Figura 03 ilustra os componentes físicos do Epanet.

**a) Nós:** são os pontos da rede onde os trechos se ligam entre si e onde a água entra e sai da rede. É nos nós que representamos o consumo de uma determinada área de influência dentro da rede.

**b) Tubulação:** são trechos que carregam água sob pressão durante a simulação.

**c) RNF (Reservatório de Nível Fixo):** são nós especiais que representam um volume de armazenamento de água, de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. São utilizados para simular locais de captação de água.

**d) RNV (Reservatório de Nível Variado):** são também nós especiais da rede, possuindo uma capacidade de armazenamento limitada, podendo variar o volume de água armazenada ao longo da simulação.

**e) Bomba:** como o próprio nome já diz são dispositivos que recalcam água de um ponto com cota menor para outro de cota maior.

**f) Válvulas:** são trechos que limitam a pressão ou a vazão num ponto particular da rede.

Nas simulações estáticas, todas as demandas são tratadas como constantes no tempo. Nas análises dinâmicas, consideram-se as variações horárias de demandas e nos níveis de reservatórios e nas condições operacionais e, com isso, é possível obter uma série de soluções. O Epanet implementa internamente um modelo hidráulico chamado método Gradiente, proposto por (Todini; Pilati, 1988). O método consiste em resolver iterativamente uma série de matrizes jacobianas, determinando os valores das pressões e vazões desconhecidas.

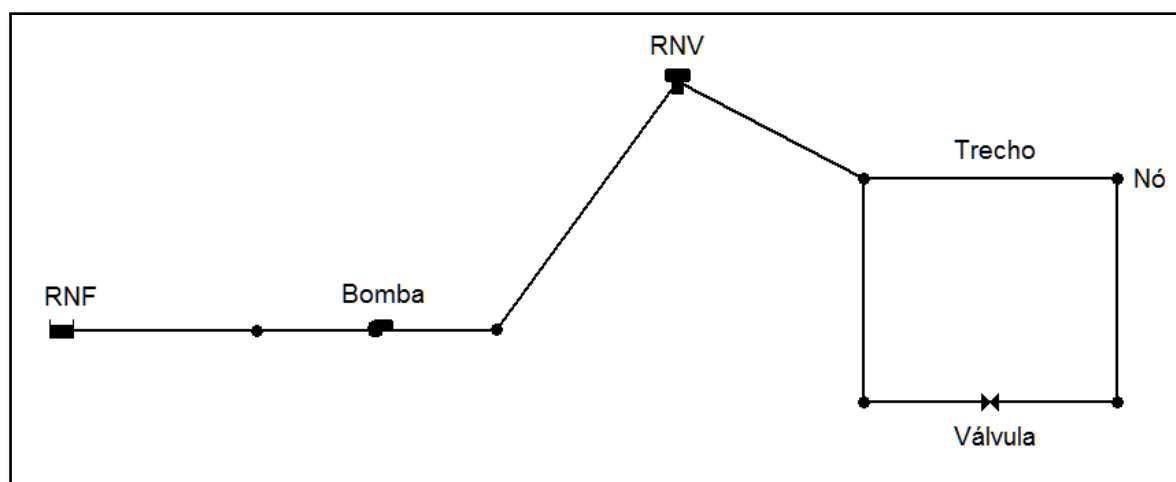


Figura 3 – Componentes físicos do *software* EPANET.

Fonte: Adaptado Girol 2008.

O uso do EPANET deve-se ao fato de o mesmo ser um *software* livre, possuir o código aberto e também um fácil entendimento para os iniciantes em modelagem. Devido a estes fatores, o EPANET é considerado um dos programas de modelagem hidráulica e de qualidade de água mais empregados no mundo.

A primeira etapa da modelagem foi a geração de mapa de fundo com base planimétrica da malha urbana do município com escala métrica para ser usada como base de lançamento da infraestrutura do sistema de abastecimento de água. A geração da condição topográfica nodal foi obtida através do Google Earth. ( Figura 04)



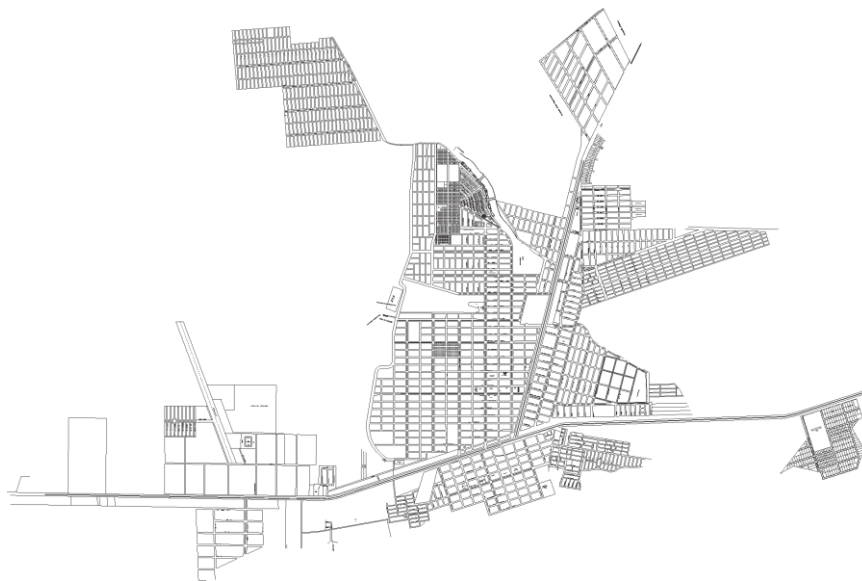


Figura 4 – Fundo de mapa do município de Primavera do Leste

A partir dos cadastros de rede em CAD exportou-se as redes de macro e micro-distribuição diretamente para o ambiente Epanet utilizando-se o software livre EpaCAD desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valência. Após a inserção das redes e sua caracterização, efetuou-se os traçados dos demais elementos físicos de infraestrutura. Inicialmente foram considerados valores de rugosidade tabelados em função do material e estimativa de idade.

O lançamento do consumo foi considerado uniforme para todos os nós da rede. Este valor foi obtido através da multiplicação do número de ligações por um consumo adotado médio por ligação observado em outros municípios. O padrão de consumo também foi adotado considerando os valores típicos para este tipo de município. Quanto as regras operacionais foi implementado os controles conforme procedimento padrão de operação previsto.

A primeira simulação gerada foi obtida após inserção dos dados cadastrais na etapa de construção do modelo computacional e a posterior validação nas simulações. Para finalização da solução básica foram realizados a compilação dos arquivos completos correspondentes aos cenários modelados e a eliminação dos erros.

### 5.3 Calibração do modelo

Após a fase de modelagem e obtenção dos resultados parciais, foi necessário a calibração do modelo hidráulico. A calibração tem como objetivo minimizar a diferença entre os valores observados e simulados através do ajuste das variáveis do modelo. Esta técnica permite a identificação das anomalias de funcionamento do mesmo, bem como sua análise e correção.

A calibração é a fase onde foram realizadas as detecções e correções de erros mais grosseiros, bem como erros não-facilmente detectáveis. Dentre essas correções, a rede modelada previamente através do cadastro de rede, foi atualizado segundo a concepção instalada. A Figura 05 (a) mostra a rede inicialmente modelada e a Figura 05(b) mostra a rede corrigida. Nota-se que houve um considerável incremento nos elementos da rede pela inserção dos setores de fornecimento Tuiuiú e Industrial, além de outras correções menores.

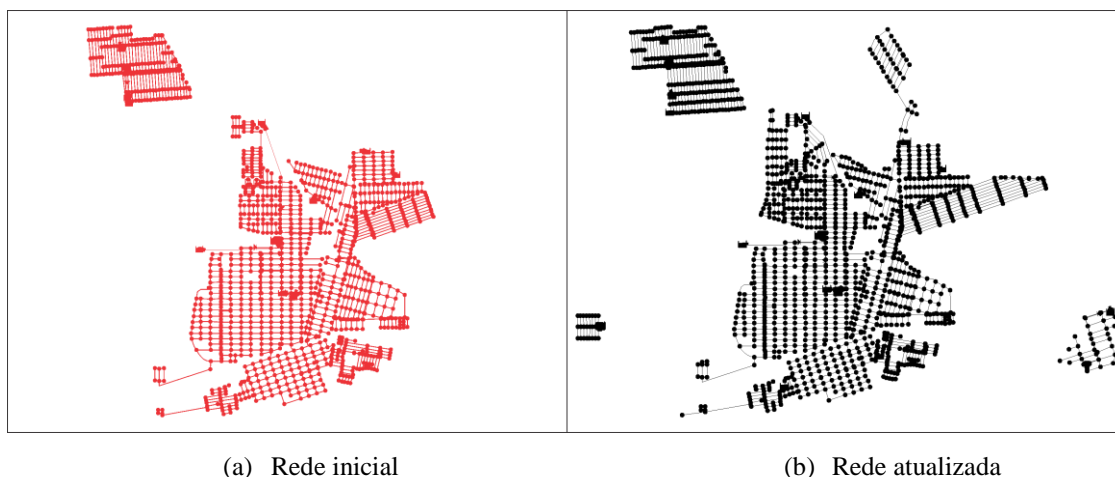


Figura 5 – Atualização da rede de distribuição

As demandas foram atualizadas dentro do modelo de acordo com os dados micromedidos. Dividiu-se as demandas em ligações comerciais e residenciais, conforme ilustrado na Figura 06. A partir desta divisão, pode-se distribuir pelo número de nós de consumo em cada setor comercial a demanda base respectiva. O padrão de consumo foi reajustado de acordo com o somatório aduzido pelas poços e elevatórias para cada um dos setores de fornecimento.

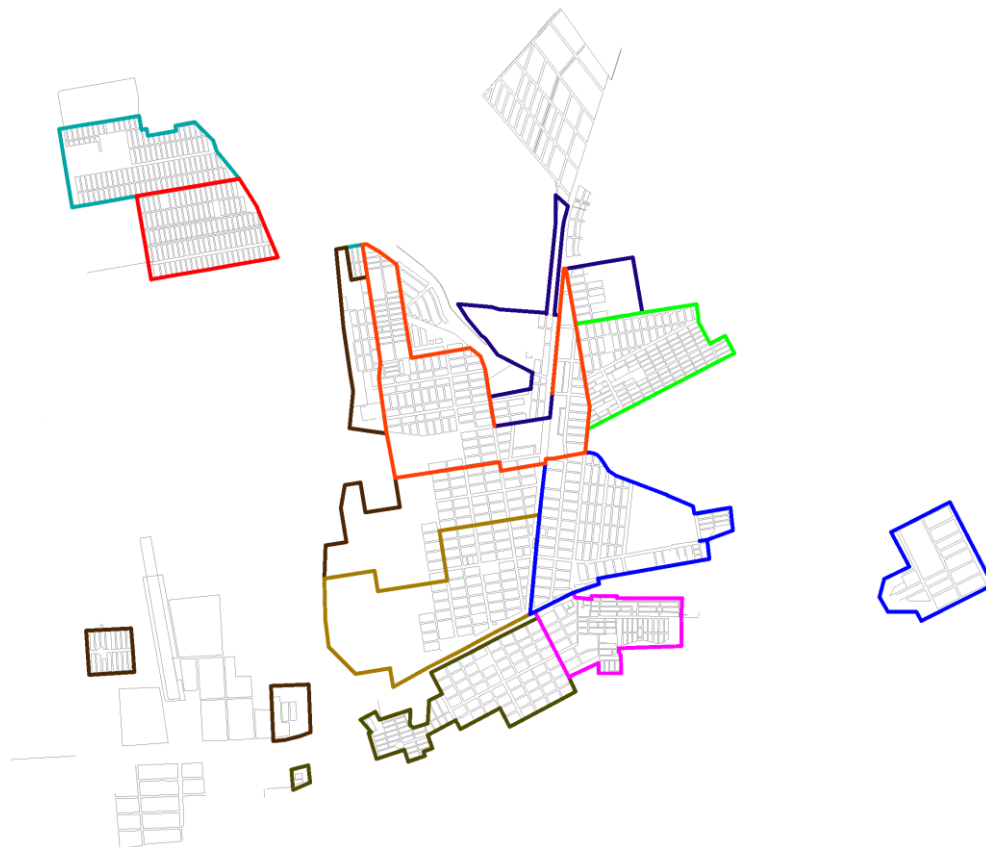


Figura 6 – Setores comerciais

Após a correção das demandas, efetuou-se a atualização das regras operacionais e a reinserção das curvas dos conjuntos moto bomba no modelo. As regras operacionais foram obtidas através do monitoramento e as curvas calculadas através do cruzamento da vazão observada simultaneamente com a altura manométrica. Também ajustou-se a equação para uso do inversor de frequência.

#### 5.4 Indicadores de Desempenho

Foram escolhidos três indicadores, um para cada área de interesse do estudo (Tabela 04) para análise do sistema. Para cada medida de desempenho devem ser definidos intervalos de referências, afim de avaliar se o desempenho será “bom”, “satisfatório” ou “ruim”.

- Op 23 - Perdas totais de água por ramal de ligação (  $m^3$ /ramal/ano)

- CE - Consumo específico de energia elétrica (kWh/m<sup>3</sup>)
- QS10 - Adequação da pressão de serviço na distribuição (%)

Tabela 4 - Objetivos estratégicos, critérios de avaliação e indicadores de desempenho do sistema da IWA relativos à gestão de energia.

<b>Indicadores de desempenho</b>	<b>Metas</b>
Op23	Se $Op23 > 200 \text{ m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ (ruim)
	Se $100 < Op23 \leq 200 \text{ m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ (satisfatório)
	Se $Op23 \leq 100 \text{ m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$ ( bom)
CE	(Ver nota)
Qs10	$Qs 10 > 50\%$ (ruim)
	Se $25\% < Qs10 \leq 50\%$ (insatisfatório)
	Se $10\% < Qs10 \leq 25\%$ (satisfatório)
	$Qs 10 < 10\%$ (bom)

Fonte: Adaptado Alegre *et al* (2011).

Nota: Os valores do indicador de consumo específico de energia para a situação atual depende do tipo sistema (gravidade ou bombeamento), topografia da rede, e de como a energia é usada. Sendo assim não é possível, por esta razão, mensurar valores de referência.

## 5.5 Planejamentos das Alternativas

O método seguido está representado conforme figura 7, com a respectiva definição de seus objetivos e metas; diagnóstico; desenvolvimento de plano; a implementação do plano; e acompanhamento e revisão do plano (Alegre *et al*, 2011).

O presente trabalho apresentado não aplica a implementação do plano e o monitorização do plano.

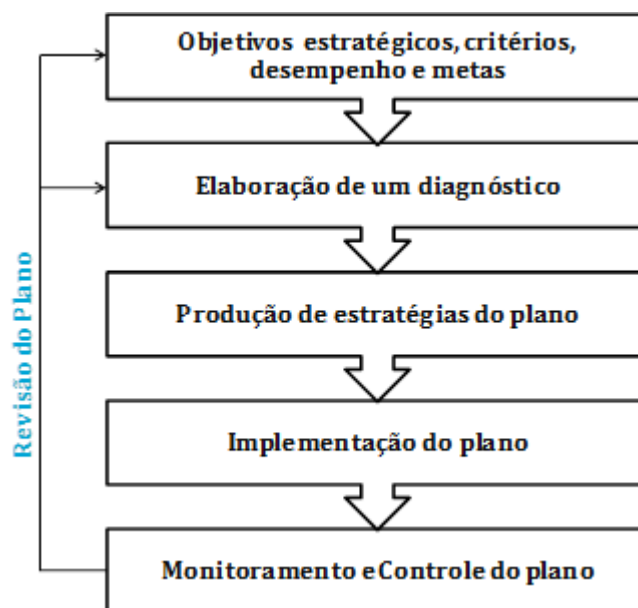


Figura 7 - Abordagem PCDA de melhoria contínua.

Fonte: Alegre *et al.*, (2011)

Nesta metodologia, os objetivos relacionados com o uso da água e da energia devem ser estabelecidos de acordo com os objetivos globais.

Como por exemplo:

- Perdas de água em um sistema de abastecimento de água;
- Uso eficiente de energia em um sistema de abastecimento de água.

Para o diagnóstico do sistema, primeiramente deve-se coletar e sistematizar as informações existentes, caracterizando, desta forma, os diferentes sistemas em estudo.

Os dados dos sistemas incluem as captações, reservatórios, topologia da rede, cotas topográficas, pressões existentes e número de consumidores.

Com base no conjunto de medidas de desempenho estabelecidas nos objetivos, considerando-se as mais relevantes no contexto de controle de perdas de água e utilização de energia apresentados, avalia-se o desempenho do setor do sistema estudado (Alegre *et al.*, 2011).

Após realização do diagnóstico do sistema, será verificado qual sistema tem grande oportunidade de melhoria. Avaliação da situação de referência: nessa fase faz-se à avaliação do desempenho atual do sistema e à identificação dos principais problemas existentes em cada área de análise e para o sistema hidráulico principal, com base nas medidas de desempenho estabelecidas, pré definidas no quadro 3.

Deve-se identificar soluções alternativas de intervenção. Assim, deve-se proceder concepção e pré-dimensionamento de soluções alternativas de intervenção para os problemas e causas identificados em cada área de análise.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho visa a proposição de medidas de eficiência energética no município de Primavera do Leste – MT, através da aplicação da metodologia AWARE-P

### 6.1 Descrição do Município

O município de Primavera do Leste (Figura 8) situado a 193 km de Cuiabá, capital do Estado, possui uma população urbana de 55.451 habitantes (estimativa do IBGE para 2013), em 5.471,644 km<sup>2</sup> de extensão territorial e encontra-se a uma altura de aproximadamente 636 metros.

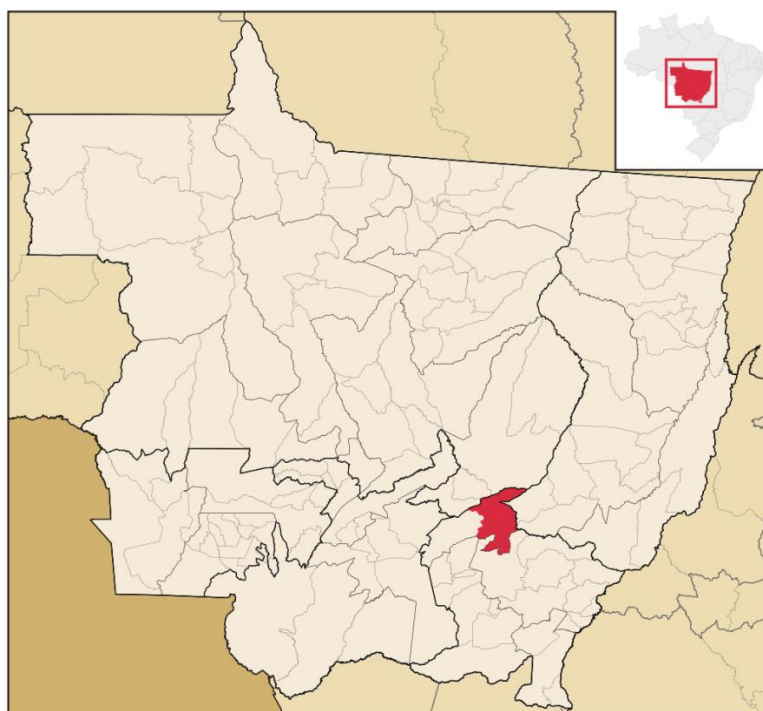


Figura 8 – Localização da cidade de Primavera do Leste – MT

Fonte: Ndnews, (2014).

Em 2008 iniciou-se acelerado processo de industrialização no município, com o início da instalação de algumas indústrias de soja pertencentes a empresas

multinacionais. É uma cidade em franco desenvolvimento, com destaque para as atividades ligadas a agricultura e ao comércio. O crescimento da cidade traz como consequência, um aumento intrínseco no consumo da água.

O abastecimento de água do município era realizada através de concessão pública e foi concedida recentemente (2012) para a empresa Nascentes do Xingu. O abastecimento de água está disponível para 100% da população; o serviço de esgoto está disponível para 50% da população (dados fornecidos pela empresa). A infra-estrutura anterior à implantação da empresa era deficiente, inclusive com frequente desabastecimento. A administração atual atingiu a regularização do abastecimento surgindo naturalmente a necessidade pela priorização de medidas de eficiência energética.

## 6.2 Descrição do Abastecimento de Água

O sistema existente no município de Primavera do Leste divide-se operacionalmente em 4 setores de abastecimento isolados, nomeados por Setor Central (verde), Setor Primavera 3 (vermelho), Setor Industrial (azul) e Setor Tuiuiu (rosa). A Figura 9 representa a divisão dos setores do sistema de abastecimento do município:

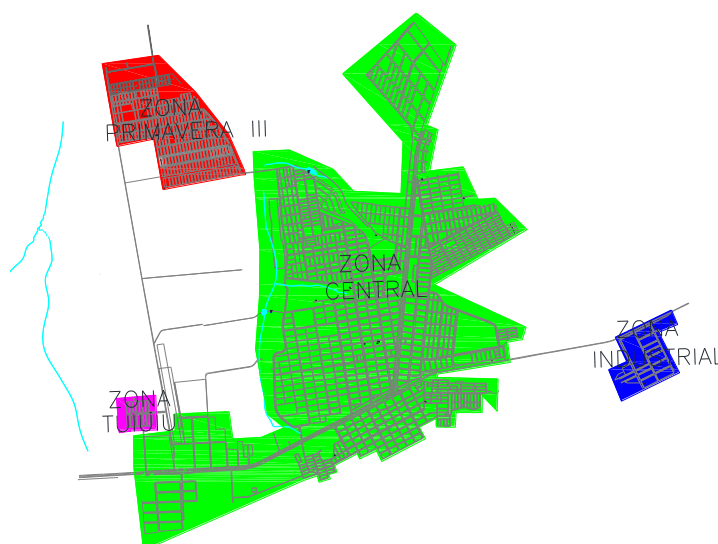


Figura 9 - Setorização da cidade de Primavera do Leste – MT, obtido através do cadastro de rede *software* AutoCad



As ligações são compostas por: domiciliares que correspondem aos imóveis atendidos pela rede de água existente; comerciais e industriais. Segundo dados fornecidos pela empresa há no município 14.534 ligações.

### **6.3 Coleta de dados de campo**

A coleta de dados de campo para o presente trabalho foi realizada através de campanhas de campos conforme itens abaixo.

#### **6.3.1 Locais de instalação**

Para obtenção dos dados de vazão, adotou-se alguns critérios para a determinação dos locais de instalação dos medidores, segundo o monitoramento contínuo ou apenas pontual. Poços, elevatórias e reservatórios ligados diretamente na rede foram monitorados de forma contínua com período mínimo de 24 horas devido à variação significativa diária de vazão. Por outro lado, os poços que recalcam diretamente para os reservatórios por possuírem altura manométrica fixa e, conseqüentemente, vazão constante optou-se apenas pela medição pontual. Por fim, as captações superficiais por serem pontos de grande importância também foram medidos de forma contínua por no mínimo 24 horas.

Para complementar os dados de vazões, foram escolhidos os pontos mais importantes para o monitoramento das pressões tanto no fornecimento quanto no sistema. Assim como nas vazões, adotou-se critérios para a medição que justificam o seu monitoramento. Obrigatoriamente foram medidas as pressões na sucção e recalque das elevatórias simultaneamente com as medições de vazões propiciando o levantamento das curvas reais dos conjuntos. As saídas dos reservatórios também são importantes, pois são pontos que indicam as pressões de entrada no sistema e os volumes reservados, portanto, também foram medidas continuamente. Por último, as pressões foram medidas nos pontos críticos do sistema simultaneamente com as pressões nos reservatórios propiciando as análises de desabastecimento.

### 6.3.2 Medidores utilizados

Os medidores do tipo ultrassônico é um equipamento com um transdutor-emissor-receptor de ultrassons, fixado à parte externa do tubo, ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas. Os transdutores transmitem e recebem alternadamente ondas ultrassônicas de pequena duração. Como o tempo de transmissão-recepção é alterado em função da velocidade do líquido o medidor consegue calcular a vazão diretamente. Quando bem instalados e estando devidamente determinada a espessura da tubulação, na ausência de incrustações na tubulação, estes equipamentos possuem exatidão de 5% f.e. (Figura 10)



Figura 10 – Medição de vazão com medidor Ultrassônico

O levantamento da pressão no sistema de rede de abastecimento em vários pontos do sistema objetivando se uma avaliação das condições de pressão no sistema. Foram utilizados medidores de pressão do tipo Datalogger GSM/GPRS (Figura 11), da marca OLOGGER, capazes de realizar medições contínuas da pressão na rede. Estes medidores foram instalados simultaneamente aos pontos de vazão excluindo- se assim as possíveis variações de vazões entre um dia e outro.



Figura 11 - Medição de pressão

#### 6.4 Estudo de Caso

De acordo com a análise de todos os setores de Primavera do Leste-MT, o setor que apresentou maiores problemas de desabastecimento foi o Setor Primavera 3, pode ser observado através da simulação no Epanet a ocorrência de desabastecimento em determinados horários do dia. Desta forma, pode-se avaliar conjuntamente os três indicadores escolhidos para o estudo (Tabela 4). A seguir será descrito a concepção do setor com maiores detalhes.

A captação do Setor de Abastecimento Primavera 3 é realizada exclusivamente por quatro Poços Tubulares (PT) denominados por PT3, PT7, PT15 e PT16. O poço nomeado por PT3 é o responsável pelo abastecimento do Reservatório Elevado (REL) nomeado por REL3. Com exceção do PT3, todos os outros poços são ligados diretamente na rede (Figura 12).

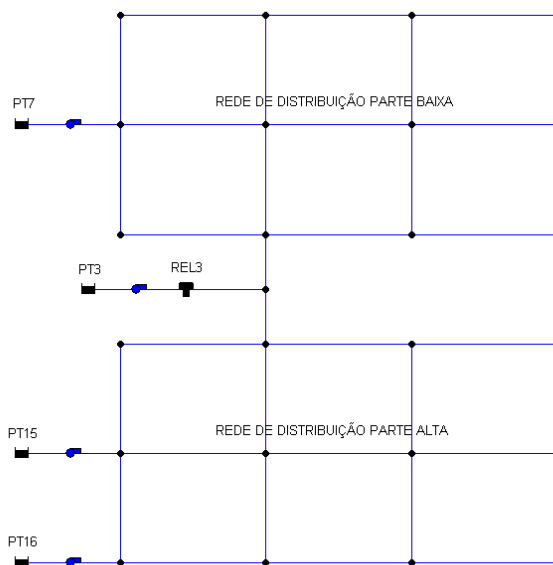


Figura 12 – Cenário atual do setor obtido através do software Epanet

O reservatório elevado existente tem capacidade para aproximadamente 330 m<sup>3</sup> e é ligado diretamente na rede. É importante observar que durante o diagnóstico foi constatado que há um extravasamento no reservatório (Figura 13).

O extravasamento acontece porque a água da rede de abastecimento retorna para o reservatório, principalmente quando é ligado o PT7. Desta forma, se existisse uma válvula de retenção, esta perda de água poderia ser evitada.

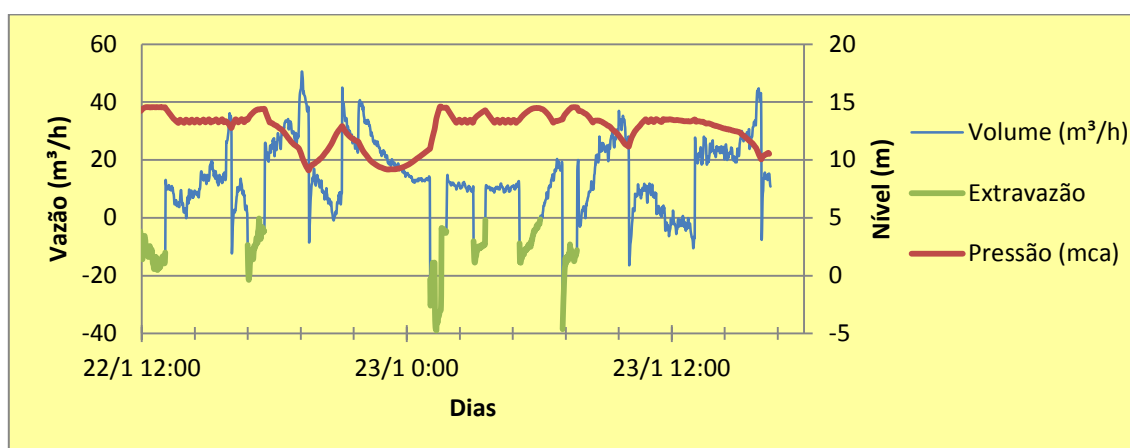


Figura 13 - Balanço de massa do reservatório elevado R3

Analisando-se a parcela da produção de água de todos os poços do setor, percebe-se que esta é feita aproximadamente por igual (Figura 14), apesar dos poços não funcionarem todo o período. Mesmo com o funcionamento intermitente dos poços, ou seja, o sistema ainda apresentando reserva de produção, existe o desabastecimento em alguns pontos do setor.

O setor possui variação de cotas mínima 620 metros e máxima 652 metros resultando em uma diferença topográfica de 32 metros. Analisando-se uma concepção padrão, ou seja, caso o sistema fosse abastecido unicamente pelo ponto mais alto resultaria em visualizar uma pressão máxima de abastecimento de 42 mca no ponto mais baixo do sistema, composta por uma pressão mínima de 10 mca no ponto mais alto somada com a diferença de cota do sistema.

Mesmo para este cenário de pressão máxima de projeto, onde a perda de carga é desprezada, verifica-se que a pressão máxima de norma não é ultrapassada. Assim, segundo esta análise inicial, não seria necessário propor uma sub-setorização para o sistema.

Por outro lado, o reservatório existente localiza-se na região central do setor, com cota de 642 metros. Por não se localizar na região mais alta do setor, resulta em desabastecimento nas áreas mais elevadas, assim, para cumprir com o critério de pressão mínima em todos os pontos do sistema será avaliada a mudança da reservação para o ponto mais alto bem como verificações adicionais para a sub-setorização do sistema.

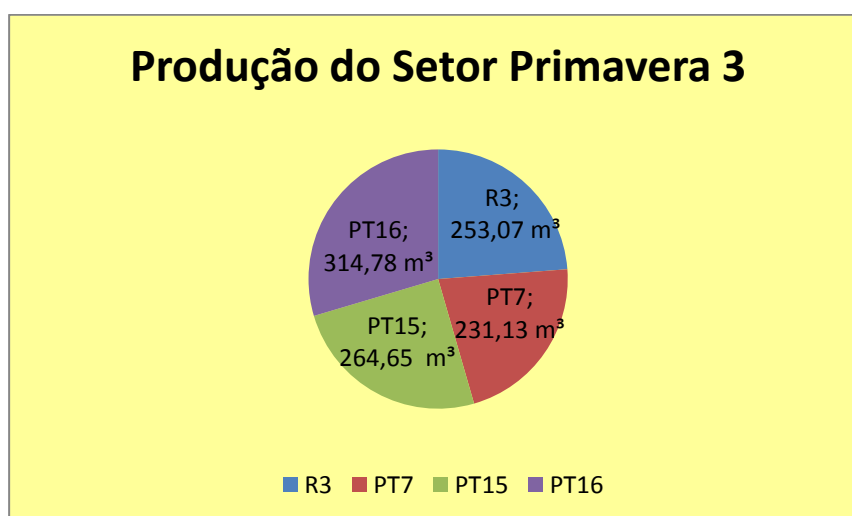


Figura 14 Distribuição da produção de água no Setor Primavera 3

## 6.5 Alternativas de Intervenção

### 6.5.1 Alternativa de *Statu quo*

Foi considerada alternativa de *Statu quo* como alternativa inicial, ou alternativa 0 (A0), a situação atual do setor. Assim, são contabilizados nesta alternativa os consumos de energia atuais bem como os volumes de produção e extravasamento no reservatório.

### 6.5.2 Alternativa 01

A alternativa 01 (A1) seria correspondente ao cenário de menor custo de investimento possível a qual teria como proposta a instalação de um válvula de retenção na saída do reservatório elevado (Figura 15). Dessa forma pode ser evitado o volume de extravasamento no reservatório. As demais características operacionais não foram alteradas nesta alternativa, portanto é esperada apenas a redução de volume e consumo de energia corresponde ao extravasamento observado.

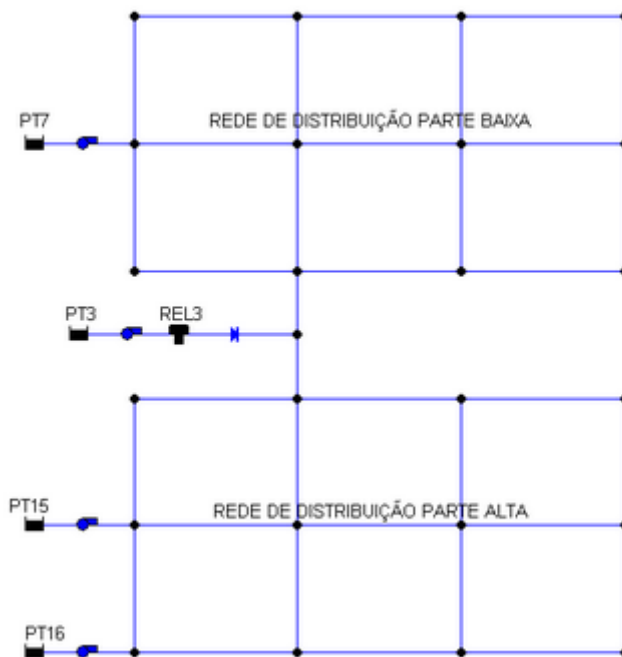


Figura 15 – Instalação de válvula de retenção na saída do R3, obtido através do software Epanet

### 6.5.3 Alternativa 02

A alternativa 02 (A2) prevê a construção de um reservatório apoiado (RAP) de volume de 1000 m<sup>3</sup> e altura útil de 8 metros na região mais alta do setor. Além desse investimento, todos os poços, que atualmente estão ligados na rede abastecerão o RAP. O controle operacional dos poços será feito através do nível do RAP.

Devido a altura do reservatório apoiado não ser suficiente para garantir pressão mínima em toda a região por gravidade, há a necessidade do uso de um *booster* (bomba hidráulica para reforço de pressão em linha) para elevar as pressões das redes mais próximas.

O desnível topográfico entre o RAP e o ponto mais baixo da região é de aproximadamente 30 metros, porém a pressão no ponto mais baixo ultrapassa os 40 mca em razão ao uso do *booster* na rede. Com o intuito de equalizar as pressões foi simulado também, o uso de uma válvula redutora de pressão em um ponto estratégico da rede (Figura 16).

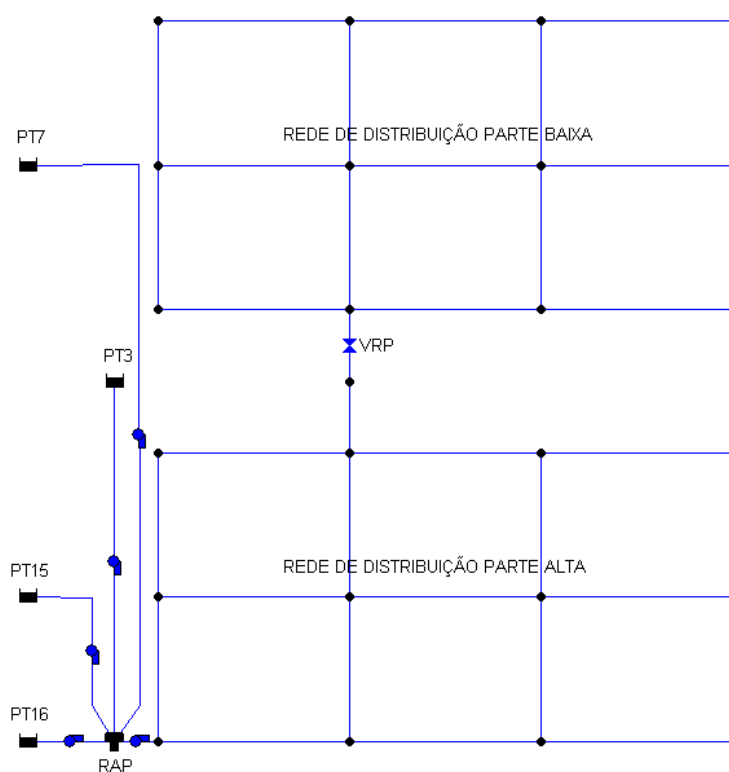


Figura 16 – Cenário Proposto no setor Primavera 3, obtido através do software Epanet

Como benefício adicional para esta alternativa pode ser pensado o desligamento dos poços em horário de ponta. Para efeito desta metodologia o benefício energético desta redução não poderá ser avaliado e sim apenas os indicadores de consumo total.

#### 6.5.4 Alternativa 03

A alternativa 03 (A3) propõe a divisão das redes de distribuição em parte baixa e alta, porém utiliza-se da estrutura de reservação elevada já existente para auxiliar no abastecimento do setor.

Os poços são divididos para abastecer tanto o reservatório elevado quanto o reservatório apoiado e a divisão realizada busca a menor quantidade de intervenções no sistema. Dessa forma os poços PT3 e PT7 serão responsáveis pelo abastecimento do Reservatório Elevado e os poços PT15 e PT16 são responsáveis pelo abastecimento do Reservatório Apoiado ( Figura 17).

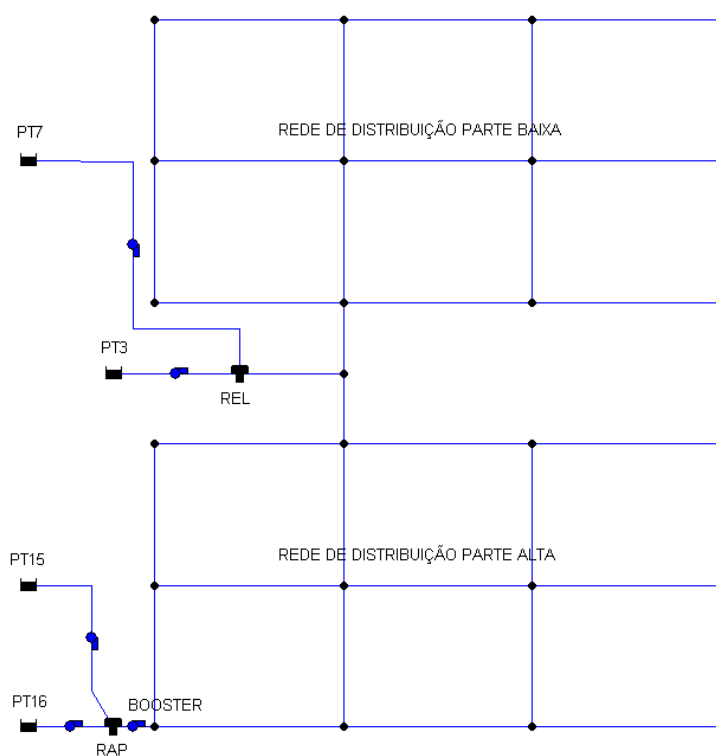


Figura 17 – Cenário Proposto no setor Primavera 3 obtido através do software Epanet



Nesta alternativa o REL trabalha como um reservatório de jusante. Que armazena água durante a operação normal do sistema e mantém as pressões adequadas na rede.

Assim como a alternativa anterior, existe a necessidade de um bombeamento a partir do RAP, para fornecer a pressão mínima de 10 mca nos pontos mais altos da rede. Em razão ao desnível topográfico o Reservatório Apoiado fornece durante todo o dia pressões superiores a 15 mca na saída do Reservatório Elevado, isso faz com que o REL esteja sempre cheio e as bombas dos poços PT03 e PT07 desligadas.

#### 6.5.5 Alternativa 04

A alternativa 04 (A4) utiliza-se da setorização como forma de otimizar o abastecimento dos setores.

O *layout* de abastecimento é parecido com a proposta anterior, porém a rede que interliga a parte alta com a parte baixa do setor foi capeada, a fim de dividir o abastecimento, fazendo com que o reservatório elevado distribua água para a parte mais baixa do setor e o reservatório apoiado distribua água na região mais elevada.

(Figura 18)

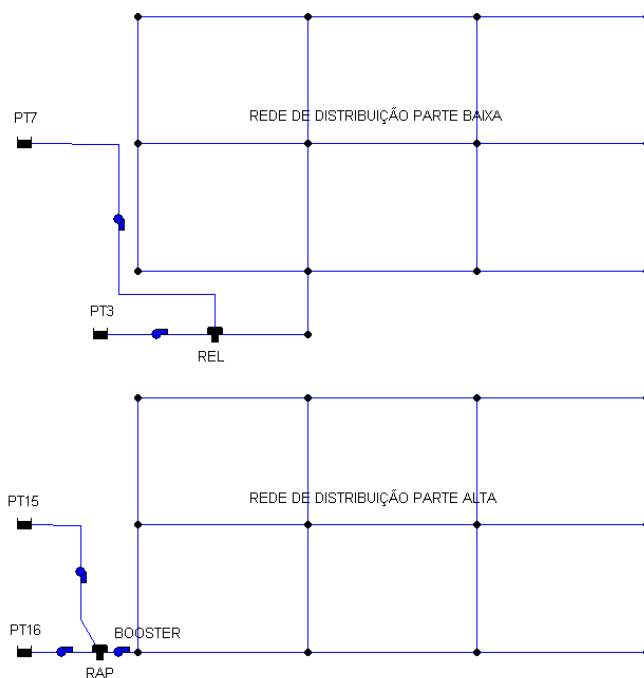


Figura 18 – Setorização Sistema Primavera 3, obtido através do software Epanet

Foi identificada a possibilidade paralização dos poços PT15 e PT16 que abastecem o RAP no período de ponta, porém o mesmo não é possível nos poços PT03 e PT07 que abastecem o REL. O volume armazenado no REL não é capaz de suprir a demanda durante o horário de ponta sem a ajuda dos poços.

## 6.6 Avaliação das alternativas

Com base no diagnóstico proposto, foram considerados três indicadores de desempenho (tabela 5) para analisar a eficiência das alternativas propostas, demonstrada conforme tabela 02.

Tabela 5- Indicadores de Desempenho das Alternativas Propostas

Indicadores	Alternativas				
	A0	A1	A2	A3	A4
Op23 (m <sup>3</sup> /ramal/ano)	49,08	37,72	48,90	48,48	57,17
Qs10 (%)	35,2%	35,2%	0,8%	5,9%	0,0%
CE (kWh/m <sup>3</sup> )	0,32	0,32	0,34	0,34	0,37

A análise da situação atual do abastecimento através dos limites propostos por (Alegre *et al.*, 2011) (Tabela 04), permite classificar o abastecimento (Qs10) atual como insatisfatório apesar do índices de perda de água (Op 23) e gasto de energia (CE) serem considerados bom e satisfatório respectivamente. Assim sendo, foram propostas intervenções visando minimizar o desabastecimento do setor.

Como alternativa de menor custo de implantação foi sugerida a alternativa 01, instalação da válvula de retenção na saída do reservatório elevado. Esta alternativa, como já era esperado, impactou significativamente no extravasamento do reservatório elevado e conseqüentemente na redução do índice de perdas do setor. Apesar da dinâmica do setor não ter se alterado, foi demonstrado pela constância dos demais indicadores que esta alternativa deve ser considerada no caso de implantação imediata.

Iniciando-se as alternativas que impactaram em mudanças estruturais do setor, foi proposta a construção de um reservatório apoiado no ponto mais alto do mesmo e abastecimento por meio deste. Esta alternativa implicou na redução sistemática do desabastecimento nas áreas mais elevadas, pois, concomitantemente com a implantação

do reservatório, também foi implantado uma elevatória em sua saída. Por outro lado, juntamente com o aumento de pressões no sistema esta alternativa trouxe a elevação do índice de perdas ao patamar inicial e também aumento no consumo de energia.

Neste ponto da discussão, cabe salientar que ao realizar a comparação entre os critérios de desabastecimento e indicadores de perdas, deve-se notar que a relação de desabastecimento é mandatória, pois é prevista em norma e o índice de perdas pode ser mitigado por outras ações, como é o caso do controle ativo de vazamentos.

A alternativa 03 busca o desempenho da alternativa 02 mediante a utilização de sua tipologia e o aproveitamento da infraestrutura existente representada pelo reservatório elevado. Este reservatório, por sua vez, tem sua característica principal alterada, uma vez que na concepção atual é o reservatório principal de distribuição, e quando atua juntamente com o RAP passa a ser reservatório de sobra.

Esta tentativa mostrou-se ineficiente, pois mesmo quando os índices de perdas e de consumo de energia praticamente se mantiveram inalterados, o nível de desabastecimento aumentou consideravelmente. Esta elevação deve-se ao fato de que o altura do reservatório elevado é inferior à cota piezométrica a que deveria ser implantado. Neste caso a simulação resultou no funcionamento sub utilizado dos poços que abastecem o REL e no esvaziamento gradual do RAP, o que impactou no desabastecimento da região mais elevada.

A alternativa 04, assim como a alternativa 03, procura utilizar a infra-estrutura existente para promover um melhor abastecimento. Esta propõe a setorização da rede em parte alta e parte baixa e é a única alternativa que consegue realmente sanar o problema de desabastecimento, em contrapartida houve grande aumento do consumo de energia e do índice de perdas.

## 7 CONCLUSÃO

Deve-se mencionar que a análise unicamente através de indicadores na escolha de alternativas de dimensionamento não substitui a análise econômica, pois esta não considera o custo de investimento para as alternativas propostas. Por outro lado, a metodologia de aplicação por indicadores se mostrou útil, pois demonstrou que nem sempre a alternativa de menor custo, ou seja, a que utiliza a infraestrutura existente é a melhor, pois pode não ser compatível com as medidas propostas.

Segundo os limites estabelecidos para os indicadores, podemos afirmar que as alternativas A0 e A1 podem ser descartadas a priori, pois apresentaram indicadores de desabastecimento insatisfatórios. Dentre as alternativas restantes, também descarta-se a alternativa A4, porque, apesar de não apresentar desabastecimento implica em indicadores de perdas e consumo de energia muito maiores do que as demais.

As alternativas A2 e A3 são semelhantes do ponto de vista dos indicadores, contudo a alternativa A2 é escolhida para aplicação final devido à ineficiência da alternativa A3 em relação à compatibilização do reservatório elevado. Esta ineficiência, apesar de não estar expressamente contemplada nos indicadores é percebida claramente através do esvaziamento do RAP em simulação e aumento do nível de desabastecimento.

Também deve-se notar que independente de quais foram os indicadores escolhidos para a avaliação é necessário estabelecer prioridades quanto à ponderação dos mesmos e conseqüentemente na escolha da melhor alternativa a ser aplicada. Neste estudo, por exemplo foi utilizado o indicador de desabastecimento como critério principal, a medida que um sistema com menor perda ou melhor eficiência energética não pode existir caso não haja um abastecimento compatível.

Por fim, este trabalho apresentou uma poderosa ferramenta de gestão para a análise e melhoria integrada da eficiência energética e das perdas de água em sistemas de abastecimento. A abordagem proposta foi baseada na avaliação de desempenho através do cálculo de indicadores de desempenho.

### **7.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Para trabalho futuros recomenda-se fazer uma análise econômica da reabilitação da rede, levando em consideração a substituição dos equipamentos e mudanças no sistema.

Neste trabalho concluiu-se que a melhor proposta foi alternativa A2, sendo que a avaliação de desempenho foi elaborada considerando a melhoria no desabastecimento do setor, dessa forma não pode se afirmar que essa alternativa é a melhor financeiramente.

## REFERÊNCIAS

ABDELMEGUID, H., ULANICKI, B. Feedback rules for operation of pumps in a water supply system considering electricity tariffs. **Water Distribution System Analysis: Tucson**. 2010.

ALMANDOZ, J., CABREBA, E., ARREGUI, F., CABRERA, JR., COBACHO, R. Leakage Assessment through Water Distribution Network Simulation. **Water Resources Planning and Management**, **131**, 458-466. 2005.

ALEGRE, H. *et al.* Performance indicators for water supply service. **IWA Publishing**, 2000.

ALEGRE, H.; COVAS, D. I. C. Reabilitação de Sistemas de Adução e Distribuição de Água: Versão Preliminar. **Série Guias Técnicos**. LNEC e IRAR, Portugal: LNEC, 2009.

ALEGRE, H., COVAS, C.,. Gestão Patrimonial de Sistemas de Abastecimento de Água. Uma abordagem centrada na reabilitação. **Série Guias Técnicos n.º16**, IRAR, LNEC, IST, Lisboa. 2010.

ARAUJO, L., RAMOS, H., COELHO, S. Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management. **Water Resources Management**, **20**, 133–149. 2006.

CABRERA, E., PARDO, M., COBACHO, R., CABRERA, Jr. Energy Audit of Water Networks. **Water Resources Planning and Management**, **136**, 669 – 677. 2010.

COLOMBO, A., KARNEY, B. Energy and Costs of Leaky Pipes: Toward Comprehensive Picture. **Water Resources Planning and Management**, **128**, 441-450. 2002.

COLOMBO, A., KARNEY, B. Impacts of Leaks on Energy Consumption in Pumped Systems with Storage. **Water Resources Planning and Management**, 146 – 155. 2005.

DUARTE, P., ALEGRE, H., COVAS, D. Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento. In: **VIII Seminário Ibero Americano**, 2008.

ERSAR,. Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores. **2.ª Geração do Sistema de Avaliação**. ERSAR/LNEC,2011.

FALCONI, V. O verdadeiro poder. **Nova Lima**: INDG, 2009.

FONTANA, N., GIUGNI, M., PORTOLANO, D. Losses Reduction and Energy Production in Water-Distribution Networks. **Water Resources Planning and Management**, 138, 237 -244. 2012.

GARCÍA, V. J., CABRERA, E., Jr. CABRERA, E. The minimum night flow method revisited. **Water Distribution Systems Analysis Symposium**. ASCE. 2006.

GHIMIRE, S. Relationship between Pump Horsepower and Energy Usage in Municipal Water Networks. **World Environmental and Water Resources Congress**, ASCE. 2010.

GIROL, G. Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal – SC. **Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina**, 2008.

GIUGNI, M., FONTANA, N., PORTOLANO, D. Energy saving policy in water distribution networks. **International Conference on Renewable Energies and Power Quality**: Valencia. 2009.

GIUSTOLISI, O., LAUCELLI, D., BERARDI, L. Operational Optimization: **Water Losses versus Energy Costs. Hydraulic Engineering**, 139, 410-423. 2013.

HARTLEY, J.A. Reduction of energy consumption through the application of energy management tools. **World Environmental and Water Resources Congress: Restoring Our Natural Habitat**. ASCE. 2007.

HERNÁNDEZ, E., PARDO, M.A., CABRERA E., COBACHO, R. Energy assessment of water networks, a case study. **Water Distribution System Analysis**, 12, 1168-1179. 2010.

ISO 24512:2007. Service activities relating to drinking water and wastewater: **Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services**.

LINGIREDDY, SRINIVASA., WOOD, D.J. Improved operation of water distribution systems using variable-speed pumps. **Energy Engineering**, 124, 90-103. 1998.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; CORDEIRO NETTO, O. M.; NASCIMENTO, N. O. Os indicadores como Instrumentos Potenciais de Gestão das Águas no Atual Contexto Legal-Institucional do Brasil: **Resultados de um Painel de Especialistas. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 8, n.4, 49-67, 2003.

MAMOUROS, L., MENDES, D., CARRIÇO, N., COVAS, D., ALMEIDA, M., FERREIRA M., BRÔCO N. Aplicação da metodologia de gestão patrimonial de infraestruturas AWARE-P: Caso de estudo da Águas de Santo André, S.A.. **15º ENASB/15º SILUBESA**, 2012.

MARQUES, Milton César Silva. HADDAD, Jamil. **Eficiência energética: teoria & prática**. FUPAI. Itajubá, 2007.



MIRANDA, E.C.. Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água - Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade. **UNB: Dissertação de Mestrado**. Brasília, 200 f. 2002.

NITIVATTANANON, VILAS., SADOWSKI, E.C., QUIMPO, R.G. Optimization of water supply system operation. **Water Resources Planning and Management**, 122, 374-384. 1996.

PACHECO, A. P. R. et al. O ciclo PDCA na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica. **Disponível em:** <<http://www.issbrasil.usp.br/pdfs2/ana.pdf>> Acesso em: 14 set. 2014.

PAÑO, J., ALIOD., GARCIA, S., FACI, E., SERAL, P. General and Compact Modelling of Direct Pumping Stations for the Hydraulic. **World Environmental and Water Resources Congress**, ASCE, 2012.

RDNEWS. **Disponível em:** <<http://www.rdnews.com.br/municipios.primaveradoleste.>> Acesso em: 07 jul. 2014.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 Users Manual**. Cincinnati, 2000.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2007**. Brasília, DF, 2009.

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de **Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2008**. Brasília, MCIDADES.SNSA, 2011.

SKWORCOW, P., ABDELMEGUID, H., ULANICKI, B., BOUNDS, P., PATEL, R. Combined energy and pressure management in water distribution systems. **World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers**. ASCE. 2009.

SOUZA, E., COVAS, D., SOARES, A., GONÇALVES, F., Metodologia para a melhoria da eficiência na utilização da água e da energia em sistemas de abastecimento de água. **X Serea Seminario Iberoamericano**, 2011.

TODINI, E.; PILATI, S. A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. **Research Studies Press Ltd.**, Taunton, UK, UK, p. 1–20, 1988.

VIEGAS, J., STUCK, J., ALMEIDA, J. Projeto Piloto de Redução de Perdas de Água e de Energia Elétrica no Sistema de Rio Pardo. **VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junho de 2006.

WILKINSON, R.C. Integrating water and energy resource management: progress and opportunities. **World Environmental and Water Resources Congress: Restoring Our Natural Habitat**. ASCE. 2007.

ZHANG, H., XIA, X., ZHANG, J. Optimal sizing and operation of pumping systems to achieve energy efficiency and load shifting. **Electric Power Systems Research**, 86, 41-50. 2012.

