

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

CLAUDIO LINDENBERG DE FREITAS

**ANÁLISE DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA REAL NO SUL
DE MINAS GERAIS COM O USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA – SIG**

Itajubá (MG)

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

CLAUDIO LINDENBERG DE FREITAS

**ANÁLISE DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA REAL NO SUL
DE MINAS GERAIS COM O USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA – SIG**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.

Itajubá (MG)

2020

AGRADECIMENTOS

À Deus pela dádiva da vida e a benção divina por todo dia.

Aos meus pais, Lilia e Armando (*in memoriam*) pela educação, confiança e apoio.

Às minhas filhas, Karina e Luma pela ajuda, carinho e inspiração.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo nos momentos importantes da minha vida.

Aos amigos e colegas de trabalho pelo apoio e estímulo durante os estudos.

À Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade e excelência no ensino.

Ao professor Dr. Fernando das Graças Braga da Silva pela orientação, ensinamentos e atenção durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Projeto REDECOPE Finep – MCT (Ref. 0983/10) Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da FAPEMIG pelo PPM - 00755-16 além de ser grato ao NUMMARH- Núcleo de Modelagem em Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos da UNIFEI.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

RESUMO

A busca pela eficiência nos sistemas de abastecimento de água mostra que as perdas de água que ocorrem na rede de distribuição, principalmente devido aos vazamentos por excesso de pressão, são elevadas e necessitam de estudos e soluções para o melhor uso dos recursos hídricos e energéticos. O uso de ferramentas computacionais para simulação de cenários e visualização do funcionamento da rede contribui para os estudos da rede. Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento de uma rede de distribuição de água real situada em região montanhosa no sul de Minas Gerais, com ênfase na eficiência hidro energética, através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). As análises comparativas de cenários de pressões atuantes na rede de distribuição realizadas em ambiente SIG permitem uma visualização espacial do comportamento das variáveis envolvidas na operação da rede que podem ser utilizadas para a eficiência do sistema. Os resultados demonstram a importância das análises em busca da eficiência do sistema, levando-se em consideração a implantação do projeto, o controle de pressões na rede e a demanda futura do sistema. Foi possível identificar soluções no sistema, garantindo a melhoria de indicadores de gestão, o planejamento de infraestrutura, a redução de perdas de água tratada e a eficiência hidro energética.

Palavras-chaves: Perdas de água; Geoprocessamento; SIG; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

The search for efficiency in water distribution network (WDN) shows that the water losses along the distribution network, mainly due to leaks related to excess of pressure, are high and require studies and solutions for the best use of water and energy resources. The use of computational tools for simulating scenarios and visualizing the network operation of the network contributes to evaluate the network performance. This study aims to analyze the behavior of a real water distribution network located in a mountainous region in southern Minas Gerais, with an emphasis on hydro-energy efficiency using a Geographic Information System (GIS). The comparative analyzes of different pressure scenarios acting on the distribution network carried out in a GIS environment allow a spatial view of the behavior of the variables involved in the operation of the network that can be used for the efficiency of the system. The results of this study demonstrate the importance of the analyzes in search for efficiency improvement in the system, considering the control of pressures in the network and the future demand of the system. It was possible to identify solutions in the system, ensuring the improvement of management indicators, infrastructure planning, reduction of losses of treated water and hydro-energy efficiency.

Keywords: Water losses; Geoprocessing; GIS; Water Resources Manage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visualização Bidimensional.....	18
Figura 2 – Visualização Tridimensional.....	19
Figura 3 – Estrutura de Gerenciamento de um SIG.....	20
Figura 4 - Fluxograma das Etapas	23
Figura 5 - Localização do SAA	26
Figura 6 - Visualização Tridimensional da área de estudo.....	27
Figura 7 - Topografia e diâmetros da rede.....	28
Figura 8 - Localização dos bairros e rede de água.....	29
Figura 9 - Mapa de contagem dos Nós - Cenário 01	31
Figura 10 - Mapa de pressões - Cenário 01	32
Figura 11 - Mapa da Contagem de Nós - Cenário 32	33
Figura 12 - Mapa de Pressões - Cenário 32.....	34
Figura 13 - Mapa da Contagem de Nós e Trechos - Cenário 35	35
Figura 14 - Mapa de Pressões - Cenário 35.....	36
Figura 15 - Análise Tridimensional - Cenário 01 – Vista Geral.....	37
Figura 16 - Análise Tridimensional - Cenário 01 – Vista Detalhe	37
Figura 17 - Análise Tridimensional - Cenário 32 – Vista Geral.....	38
Figura 18 - Análise Tridimensional - Cenário 32 – Vista Detalhe	38
Figura 19 - Análise Tridimensional - Cenário 35 – Vista Geral.....	39
Figura 20 - Análise Tridimensional - Cenário 35 - Vista Detalhe.....	39
Figura 21 - Incidência de nós por faixa de pressão - NBR.....	40
Figura 22 - Crescimento Populacional do Município.....	42
Figura 23 - Índice de Eficiência Energética dos Cenários.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Incidência de nós por faixa de pressões recomendadas.....	40
Tabela 2 - Pressão média e índice teórico de vazamentos dos cenários	41
Tabela 3 - Fatores das demandas dos nós	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPANET	Programa para Simulação Hidráulica
FJP	Fundação João Pinheiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE-SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
MG	Minas Gerais
QGIS	Programa para Geoprocessamento
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
NUMMARH	Núcleo de Modelagem em Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos
REDECOPE	Rede Cooperativa de Pesquisas
RNF	Reservatório de Nível Fixo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1	Aspectos gerais	12
3.2	Perdas de água em Sistemas de Distribuição de Água.....	13
3.2.1	Introdução – As perdas de água.....	13
3.2.2	Pressões em Redes de Distribuição de Água	14
3.2.3	Eficiência Hidroenergética	14
3.2.4	Sistema de Informação Geográfica e Sistema de Abastecimento de Água.....	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1	Descrição das Etapas do trabalho.....	23
4.2	Caracterização da área de estudo	26
5	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Localização e características do SAA.....	27
5.2	Análise de pressões dos cenários	29
5.2.1	Cenário de referência 01	30
5.2.2	Cenário de referência 32.....	32
5.2.3	Cenário de referência 35.....	34
5.2.4	Apresentação tridimensional das análises de pressões dos cenários	36
5.2.6	Análise de Perdas por pressões.....	41
5.3	Análise de Eficiência Energética	41
5.3.1	Dados gerais da rede em estudo.....	41
5.3.2	Crescimento populacional	42
5.3.3	Fatores de demandas dos nós.....	43
5.3.4	Análise de Eficiência Energética	44
6	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Um bem essencial para a vida – a água – vem a cada dia se tornando mais escassa. A água doce e pura está se tornando mais rara. Com o aumento populacional e a desordenada expansão das cidades, as concentrações urbanas necessitam de maiores quantidades de água potável para viver e a capacidade da natureza em atender a demanda por água está ficando mais comprometida.

Neste cenário de escassez hídrica, a busca de soluções viáveis para a oferta de água encontra na eficiência hidro energética a abordagem para a solução dos complexos parâmetros de funcionamento dos sistemas de abastecimento de água (SAA).

Um dos problemas das redes de abastecimento está relacionado as perdas de água que ocorrem no processo desde a captação da água no manancial, passando pelo tratamento e distribuição até o consumidor final, com um elevado nível de desperdício.

Em 2016, o Brasil apresentou índices de perdas na distribuição na ordem de 38,05% e isso mostra a importância em atingir níveis satisfatórios de eficiência no fornecimento de água potável à população, através de estratégias de redução de perdas que devem combinar ações para a melhoria de técnicas e gestão (TRATABRASIL, 2018).

As perdas nas redes de distribuição são uma consequência das pressões elevadas para a entrega ao consumidor dentro dos padrões adequados, da qualidade da instalação e também da falta de planejamento na expansão das redes. Outro fator a ser considerado é que algumas tubulações que compõem a rede, enterradas ao longo das vias públicas, estão deterioradas pela idade e não são substituídas, ficando sujeitas a vazamentos.

As tecnologias podem colaborar na gestão do SAA em busca por eficiência. As ferramentas computacionais possibilitam a utilização de modelos para simular a realidade do sistema obtendo valores detalhados do funcionamento da rede, enquanto as tecnologias de instrumentação da rede trazem valores reais de operação da rede que serão comparados aos modelos para calibração.

A melhor característica de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a capacidade de integração de dados. Ele pode sobrepor dados do solo, dados de reparo e saída de modelagem hidráulica para atribuir automaticamente uma classificação de condição aos tubos. Ele integra

operações de banco de dados, como armazenamento de dados, consulta e análise estatística, com funções de análise visual e geográfica habilitadas por dados espaciais.

A utilização do SIG visa o processamento de dados e informações de forma ágil e confiável, de modo a fornecer subsídios aos gestores. O conjunto geral destas informações disponibilizadas permite as ações locais e globais na gestão do sistema. Dentro do gerenciamento global de um SAA baseado em um SIG, encontram-se áreas de atividades específicas que manejam diferentes informações da base georreferenciada, tais como: sistema de informação de clientes, projetos e planejamento, operação e manutenção da rede e dispositivos, gestão de infraestrutura, gestão de perdas e gestão administrativa.

Um SIG pode ser aplicado no planejamento, na gestão e na operação de um SAA, com a finalidade de armazenar, organizar, manipular e relacionar as informações geográficas de localização, cadastro, infraestrutura existentes, como também as características da população, dos padrões de consumo e limites de zonas e setores das redes, integrando com rapidez todos os níveis de negócio da empresa de saneamento.

A manipulação dos dados permitirá realizar análises de cenários e visualização de dados dos elementos e equipamentos da rede com suas características, gestão de consumidores e hidrômetros, estatísticas e o estado de funcionamento do sistema.

Para a análise de perdas utilizam-se os resultados obtidos no simulador hidráulico, que são exportados para um SIG, para fazer a correlação entre os pontos de vazamentos nas redes e ramais, considerando as pressões atuantes nas tubulações. Outros cenários, como as variações de demanda populacional no decorrer do horizonte de projeto da rede, também podem ser avaliados para medir o desempenho do sistema.

Este estudo aborda as perdas na rede de distribuição e tem como objetivo identificar cenários que promovam eficiência para um Sistema de Abastecimento de Água real em região montanhosa utilizando ferramentas de Geoprocessamento e faz parte do Projeto do Grupo Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos (NUMMARH) da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI e considera os resultados dos trabalhos já obtidos pelo grupo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento de uma rede de distribuição de água real com o uso de ferramentas de Geoprocessamento com vistas a eficiência hidro energética.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcance do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Construir mapas da localização, topografia, diâmetros e pressões da rede em estudo com a finalidade de visualizar espacialmente a distribuição da rede em estudo;
- Analisar por meio do mapeamento produzido os efeitos da alteração da rede no SAA;
- Avaliar as alterações propostas frente ao crescimento populacional, demanda de consumo e a eficiência energética da rede.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais

O desafio brasileiro para atingir níveis adequados de eficiência na distribuição de água, onde observa-se um índice nacional de perdas dos municípios de 38,05% em 2016, mostra as dificuldades encontradas no setor de saneamento para melhorar o desempenho das redes de água. Para melhorar a eficiência são necessárias estratégias de redução de perdas que devem combinar ações técnicas e de gestão (TRATABRASIL, 2018).

O sistema de abastecimento de água (SAA) é um conjunto de tubulações, conexões e bombas hidráulicas que tem o objetivo de distribuir a água desde o tratamento até os ramais domiciliares. A norma brasileira da ABNT - NBR 12218 regulamenta os projetos de rede de distribuição para colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas.

Segundo CHEUNG *et al* (2010) é indiscutível a importância dos SAAs para o desenvolvimento urbano e industrial de uma determinada sociedade. O crescimento urbano desordenado, aliados a falta de investimentos financeiros e as práticas inadequadas foram alguns dos fatores que levaram os prestadores de serviços de saneamento operarem com baixo grau de eficiência.

Ao longo dos anos, o setor de saneamento básico no Brasil priorizou a implantação, ampliação e confecção de projetos no serviço de abastecimento de água em vez de investir em processos de manutenção, operação e gestão dos serviços. Tal fato é justificado pela ausência de prestação de serviços em saneamento em muitas cidades brasileiras, o que resultou na concentração de investimentos na implantação dos SAA.

VILANOVA *et al* (2010) apresentaram um cenário típico dos SAAs no Brasil. Se por um lado, os altos índices de perda de água são preocupantes, por outro, percebe-se um enorme potencial de eficiência desses sistemas. A redução das perdas de água tem relação direta no consumo de energia elétrica e nas despesas de exploração das empresas, devendo ser priorizadas como ações estratégicas pelos gestores.

3.2 Perdas de água em Sistemas de Distribuição de Água

3.2.1 Introdução – As perdas de água

As perdas de água constituem-se em um problema mundial, gerando baixas performances à grande maioria dos sistemas, embora, alguns países ou cidades, com planejamento, conhecimento, recursos e gestão, conseguiram atingir e manter baixos níveis de perdas nos seus sistemas (ABES, 2015).

Para redução das perdas busca-se uma solução por meio dos órgãos gestores, onde na maioria das vezes, os prestadores de serviços de saneamento não possuem quadro de funcionários suficientes e nem profissionais qualificados para o gerenciamento do sistema, de modo a manter baixos e sob controle os índices de perdas. A precariedade física dos sistemas, sem devida manutenção e prevenção e a falta de cadastros técnicos e comerciais, são outros fatores agravantes. Em outras palavras, há prestadores que desconhecem as principais características do sistema que operam (ABES, 2013).

CONDURÚ e PEREIRA (2010) constataram com a simulação hidráulica a necessidade de definir e padronizar as atividades de controle e monitoramento do desempenho operacional de redes de distribuição de água, sendo a avaliação das variações das pressões dinâmicas, importante ferramenta para técnicos e funcionários de empresas de saneamento. Também foi observado ser a setorização indicada para garantir o equilíbrio dinâmico dos valores de pressão recomendados pelas normas brasileiras.

CHEUNG *et al* (2010) relatam que a maior dificuldade dos prestadores de serviços é identificar, em cada setor de fornecimento, os volumes de perdas reais e aparentes. Essa informação é altamente relevante uma vez que ações de controle e correção são diferenciadas dependendo da característica das perdas. Existem ferramentas gerenciais importantes para que o prestador de serviços de saneamento elabore uma estratégia para controle de perdas (Plano de Perdas).

As perdas físicas de água são causadas pelos vazamentos que ocorrem nas tubulações e ramais da rede de distribuição, relacionados a pressão hidráulica a que o sistema de distribuição está sujeito, como também, a idade da tubulação, natureza e qualidade dos materiais empregados. Para se conseguir um eficaz combate às perdas físicas necessita-se de controle ativo das perdas, controle da pressão na rede, velocidade no reparo dos vazamentos e, mais

importante, planejamento e gestão do SAA. Ressaltam também que para uma eficaz redução das perdas comerciais é necessário: controle da água medida e não faturada; diminuição de erros de leitura e medição; diminuição de consumos clandestinos e, acompanhamento das características hidráulicas da rede de distribuição de água CONDURÚ e PEREIRA (2010).

CANTO RÍOS *et al* (2014) apresentam uma metodologia simples para quantificar as perdas aparentes e gerar um sistema de informações geográficas (SIG) para uma rede de água. O estudo foi implementado em 3 setores onde foi constatado grande número de usuários não cadastrados. Com a avaliação de perdas aparentes foi possível deduzir o grau de consumo não autorizado e com atualização do cadastro de usuários de baixo renda foi possível aumentar a eficiência dos negócios e a operação no setor.

3.2.2 Pressões em Redes de Distribuição de Água

Na distribuição, as principais implicações dos vazamentos são provenientes dos danos ao patrimônio público ou privado, pela degradação do sistema viário e comprometimento das edificações devido às infiltrações de água; pelo aumento dos custos de produção, operação e manutenção, resultando em preços mais elevados de tarifa de água para o consumidor; e pelos riscos maiores de contaminação da água distribuída. No caso de pressões negativas ou ausência de pressão, há a possibilidade de introdução de agentes nocivos à população (DUARTE, 2018).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, estabelece que a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa. Porém, valores fora dessa faixa podem ser aceitos desde que sejam justificados os motivos técnicos e econômicos. (ABNT – NBR 12.218, 2017)

3.2.3 Eficiência Hidroenergética

Segundo GOMES *et al* (2010) a busca pela eficiência energética ocorre a partir de dois momentos: a informação e o conhecimento efetivo. Os projetos voltados para o aumento da eficiência de SAA, podem ser divididos em três fases: a do diagnóstico, do projeto e a de implantação e acompanhamento das medidas indicadas no projeto. O diagnóstico do sistema

compreende a busca de informação através da análise e coleta de dados em campo e com a utilização de simulador hidráulico para a rede de abastecimento. O diagnóstico também é essencial no processo de planejamento do sistema a médio e longo prazo, seus resultados são imprescindíveis para a estruturação das diversas etapas subsequentes. Em curto prazo, após a obtenção do diagnóstico do problema, já é possível o estabelecimento de estratégias que considerem, principalmente, a viabilidade técnica e econômica.

A demanda por energia elétrica no setor de saneamento requer cada vez mais atenção, principalmente em função do cenário atual de elevadas perdas de água e da crescente preocupação com a sustentabilidade energética brasileira (DUARTE, 2018).

A eficiência da operação dos sistemas urbanos de saneamento é de grande relevância para mitigação dos impactos da dinâmica urbana no uso dos recursos hídricos e no consumo de energia elétrica visando desenvolvimento social, ambiental e econômico (REGO, 2016).

De acordo com GOMES *et al* (2010), o combate ao desperdício de energia elétrica e água vem impulsionando uma mudança de paradigma comportamental demandada pela sociedade, principalmente por meio de organismos governamentais, em função do esgotamento dos recursos naturais. Evidentemente, os fatores financeiros colaboram com iniciativas nesse sentido, já que nenhuma instituição, seja ela pública ou privada, física ou jurídica, sobrevive sem um bom aproveitamento de suas reservas econômicas. A mudança de hábitos e a eficiência energética são instrumentos que promovem a redução efetiva dos diversos tipos de desperdícios.

CONDURÚ e PEREIRA (2010) relatam que no caso do setor de saneamento brasileiro, a organização, o processamento e a disseminação de informações e indicadores disponíveis nos bancos de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), representam a iniciativa do governo federal em buscar soluções para problemas do setor, como é o caso das perdas e desperdícios de água e de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água. Mesmo com as informações disponíveis no SNIS, é necessário observar que os dados hidroenergéticos dos SAAs sejam mais consistentes e detalhados pelos prestadores dos serviços, a fim de minimizar as incertezas presentes na tomada de decisão. O conhecimento da realidade de cada sistema do município é indispensável, face às reais demandas da população, o que exige cuidados e critério nas medições e na apresentação dos resultados hidroenergéticos, para que muitas decisões não sejam incompletas ou equivocadas.

Segundo VILANOVA *et al* (2010), a relação linear entre as perdas de água e de energia elétrica em sistemas de abastecimento vem obrigando concessionárias e serviços autônomos de água a desenvolver ações visando à mitigação de tais problemas. Isso se justifica não somente pela necessidade de otimização operacional, mas também pela significativa participação da energia elétrica nos custos de exploração da água, gerando um grande ônus aos sistemas.

CHENG *et al* (2010) definem a eficiência energética como a capacidade de realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida, sem que isso prejudique sua qualidade, conforto e eficiência. Baseando-se neste conceito, a eficiência energética é maximizada mediante a redução dos custos relativos ao consumo energia elétrica nas estações elevatórias de água. Por outro lado, a confiabilidade hidráulica tende a buscar soluções com maior pressão, de forma que, ao ocorrer uma falha, o sistema possua pressão suficiente para suprir a demanda.

GAMA *et al* (2015) apresentaram alguns desafios e requisitos necessários para a construção adequada de grandes redes de água. A cidade de Milano, com uma população de 1,3 milhões de habitantes, foi utilizada no estudo. A utilização do modelo desenvolvido aumentará a capacidade e a flexibilidade da concessionária para testar alternativas de operação do sistema buscando a eficiência do sistema. Destacam a importância da contínua atualização do modelo para a calibração e validação dos resultados simulados em razão de alterações de características no sistema e estratégias operacionais.

ALVES *et al* (2014) apresentaram um estudo que enfoca a modelagem e a calibração de um pequeno e mal documentado setor de uma rede de água que mostra problemas de pressão, descrevendo o caminho seguido para a calibração do modelo utilizando o Epanet, incluindo a instrumentação da rede e as medidas tomadas. A simulação permitiu um melhor conhecimento da estrutura física da rede, funcionando para atualização de inventário e mitigação de anomalias relacionadas a redução excessiva de pressão e buscando uma distribuição sustentável de válvulas redutoras de pressão em pontos técnicos economicamente mais favoráveis para a eficiência da rede.

COELHO e CAMPOS (2014) apresentaram uma revisão que explora o conceito de redes inteligentes de água e os benefícios para à redução da perda de água. As soluções apresentadas, especialmente as relacionadas à automação da rede de trabalho e operação em tempo real, podem contribuir para o desenvolvimento do conceito e atender às necessidades específicas das indústrias de água.

VENKATA e SUDHEER (2018) investigaram a possibilidade de fornecer quantidade suficiente e fornecimento contínuo de água potável para setores de uma área que foi selecionada para validar a rede de distribuição de água existente e melhorar o abastecimento de água já que a idade dos tubos e outros acessórios na rede existente eram de longa data e havia um fornecimento intermitente em que a demanda de água superava a oferta em cerca de 65%.

CHEUNG *et al* (2010) afirmam que o Epanet é um programa computacional que permite realizar simulações estáticas e dinâmicas de sistemas de distribuição de água. Para isso, é necessário representar o sistema através de modelos que agregam as informações físicas do sistema (topografia, comprimentos e diâmetros de tubulações, rugosidade, consumos nos nós, níveis dos reservatórios). Nas simulações estáticas, todas as demandas e operações são tratadas como constantes no tempo e uma única solução é obtida. Nas análises dinâmicas, consideram-se variações nas demandas, nos níveis de reservatórios e nas condições operacionais e, com isso, é possível obter uma série de soluções.

MURANHO *et al* (2014) estudaram técnicas de avaliação de desempenho de redes de água com o uso de Epanet. O exemplo foi aplicado a uma rede de 200 nós, 218 trechos e 2 reservatórios, que abastece 30.000 habitantes com consumo diário médio de 200 litros per capita. A aplicação da ferramenta permitiu identificar elementos para o desempenho e expansão da rede, com benefícios para a comunidade.

3.2.4 Sistema de Informação Geográfica e Sistema de Abastecimento de Água

Segundo SANTOS *et al* (2010), a implantação do geoprocessamento na atualização da base cadastral traz aumento da arrecadação, pois possibilita maior controle do processo e das rotinas de operação e manutenção e, com isso, redução das despesas e aumento do retorno com a comercialização do produto disponibilizado ao consumidor. Além dos benefícios financeiros, o geoprocessamento funciona como uma ferramenta de aumento da eficiência e da eficácia das ações da empresa. Aumenta a eficiência ao permitir decisões mais rápidas e facilita o processamento de informações, e a eficácia, por utilizar uma análise mais abrangente, que normalmente, não é possível com as ferramentas tradicionais. Também permite o desenho mais adequado de políticas públicas, proporcionando melhor qualidade de gestão nos sistemas de infraestrutura.

Um sistema de informação geográfica (SIG) é uma poderosa configuração de hardware e software usados para compilar, armazenar, gerenciar, manipular, analisar e exibir (mapear) informações referenciadas espacialmente. Ele integra operações de banco de dados, como armazenamento de dados, consulta e análise estatística, com funções de análise visual e geográfica habilitadas por dados espaciais. Um SIG pode servir como parte integrante de qualquer projeto que exija o gerenciamento de grandes volumes de dados digitais e a aplicação de ferramentas analíticas especiais (WALKSI *et al*, 2003).

Segundo WALKSI *et al* (2003), a característica mais poderosa de um SIG, do ponto de vista do planejador, é provavelmente a capacidade do SIG de integrar, através de seus relacionamentos espaciais, bancos de dados que seriam difíceis ou impossíveis de integrar fora de um ambiente SIG. Por exemplo, um SIG pode sobrepor dados do solo, dados de reparo e saída de modelagem hidráulica para atribuir automaticamente uma classificação de condição aos tubos.

As Figuras 1 e 2, a seguir, apresentam as diferentes possibilidades de visualização de um projeto de rede de distribuição de água em SIG:

A Figura 1 mostra um modelo digital criado com dados de elevação do solo com a rede hidráulica colocada sobre ele.

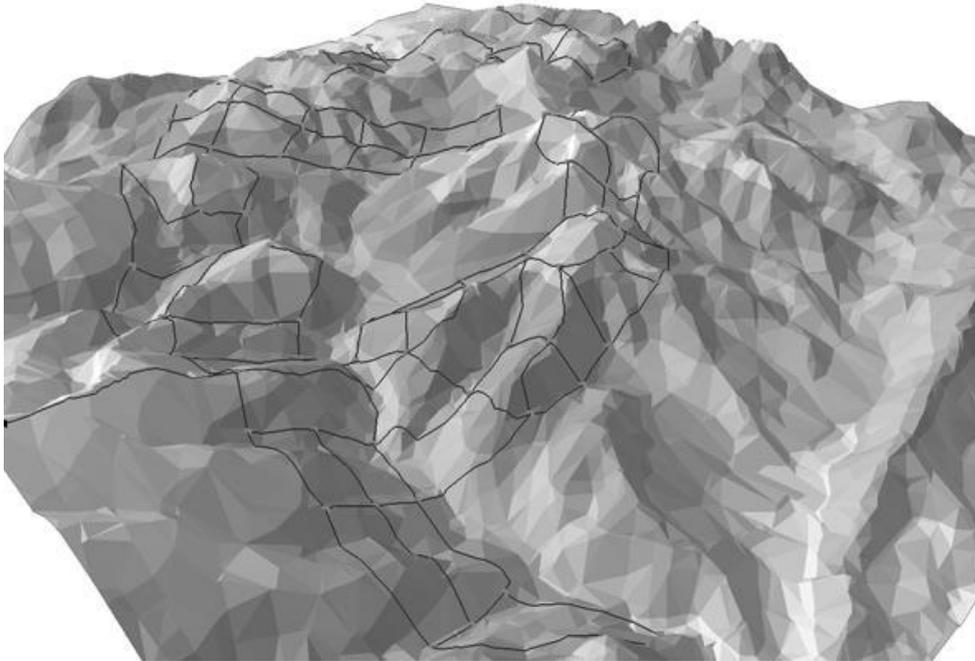
Figura 1 - Visualização Bidimensional



Fonte: WALKSI *et al*, 2003

A Figura 2 mostra uma imagem *raster*, que são compostas por linhas e colunas de células (*pixels*) e cada célula representa uma região geográfica e seu valor representa uma característica dessa região, com um modelo hidráulico sobreposto a ele.

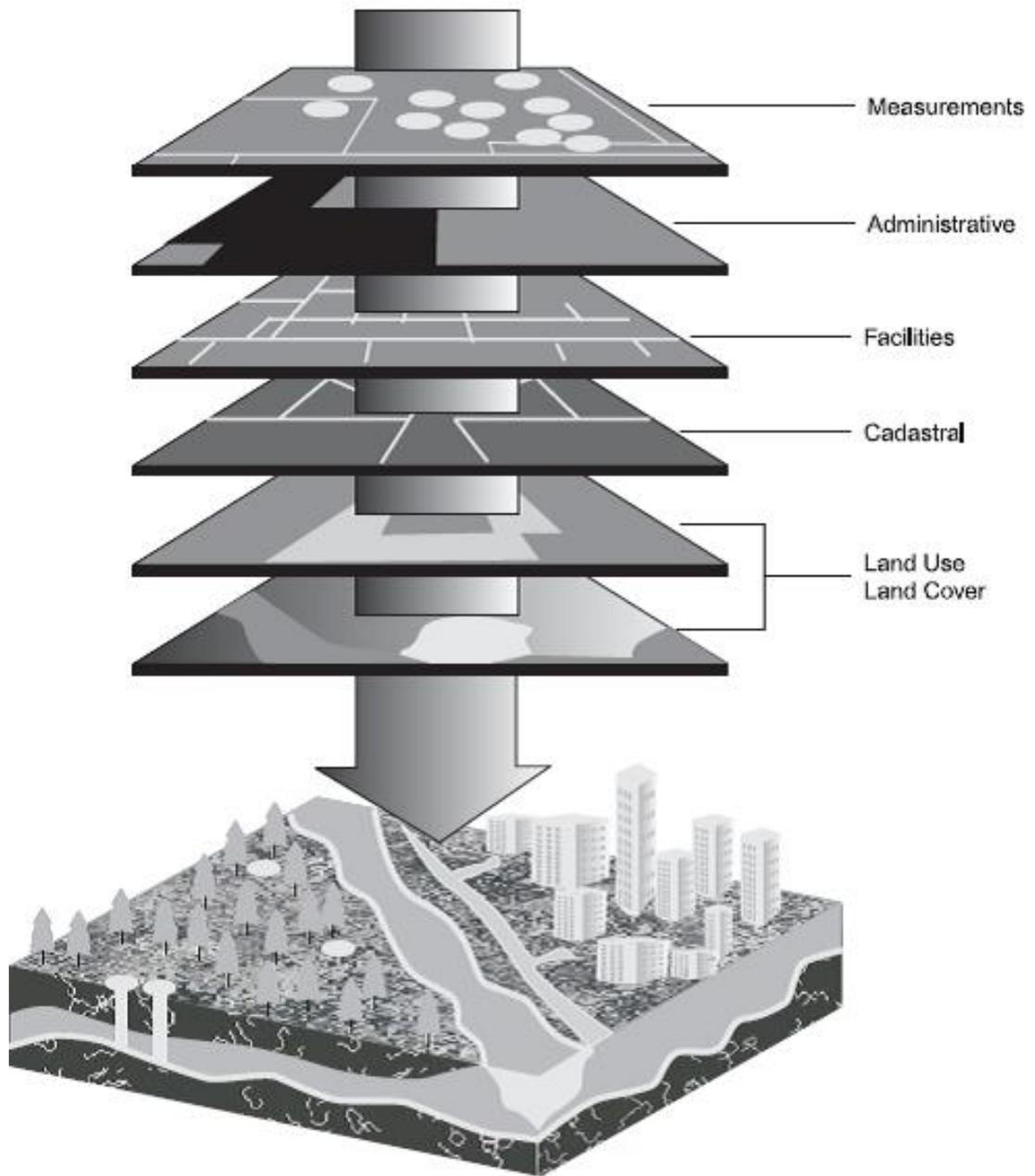
Figura 2 – Visualização Tridimensional



Fonte: WALKSI *et al*, 2003

Uma maneira fácil de pensar em SIG é imaginá-lo como um conjunto de transparências que são colocadas em camadas de tal maneira que qualquer ponto em uma camada apareça no mesmo local em qualquer outra camada (Fig. 3). Dentro de um SIG, recursos (objetos em um mapa) não são simplesmente pontos e linhas; eles têm atributos (informações sobre o recurso) associados a eles (WALKSI *et al*, 2003).

Figura 3 – Estrutura de Gerenciamento de um SIG



Fonte: WALKSI *et al*, 2003

SITZENFREI *et al* (2013) desenvolveram uma abordagem de concatenação gráfica para a geração algorítmica de redes de água baseada em dados geográficos, apresentando um SIG utilizando densidade populacional, densidade de reservatórios e elevação como dados de entrada e mostrando que os modelos resultantes são comparáveis aos sistemas reais em termos de propriedades da rede (comprimento e diâmetro). O desempenho hidráulico do modelo gerado

e real são marginalmente diferentes apenas em termos das pressões mínima, máxima e média, porém a relação da distribuição espacial das diferenças de pressão hidráulica entre o sistema gerado e o real é obtida uma concordância adequada.

No caso específico da utilização de SIG para o controle e a recuperação de vazamentos em redes de distribuição de água, é possível constatar que essa ferramenta possibilita maior agilidade para as equipes de controle e de manutenção, o que é decorrente do melhor registro das ocorrências de vazamentos. Com isso, naturalmente, é mais rápido o repasse das informações em ordens de serviços para as equipes que atuam em campo, facilitando a manutenção e/ou troca de tubos, conexões e registros na rede. Além disso, o registro rápido da informação auxilia na gestão e na definição de ações para melhorias no sistema (SANTOS *et al*, 2010).

YAZDANI *et al* (2011) apresentaram o estudo de expansão de um SAA explorando estratégias de expansão de rede sujeitas a restrições de projeto e orçamento. A metodologia utilizada se baseia na busca da conectividade ideal e robustez estrutural, a fim de estabelecer relações entre características estruturais e desempenho de sistemas de distribuição de água.

MAIR *et al* (2014) investigaram os requisitos mínimos necessários para a melhoria de dados incompletos existentes de uma rede de água adicionando informações de outras fontes disponíveis (dados de redes nas ruas, densidade populacional) para criação automática de modelos de distribuição de água e dimensionamento dos tubos e simulação de pressões.

ABDELBAKI *et al* (2016) apresentaram uma metodologia para melhorar o gerenciamento de um SAA empregando um modelo em SIG e a simulação hidráulica pelo Epanet. O estudo revelou quais áreas da rede estão funcionando adequadamente e quais áreas precisam ser alteradas. Além disso, o armazenamento e a atualização de dados de operações descritivas e espaciais permitem que operadores e gerentes acessem o histórico de problemas de partes específicas da rede. Saber onde os vazamentos ocorreram e as renovações foram feitas ajudam a prever futuras intervenções e investimentos, garantindo um nível de desempenho aceitável ao sistema.

AYAD *et al* (2018) apresentaram o desenvolvimento de um modelo baseado em SIG para integração e análise de dados de redes de tubulações de água, que aborda duas aplicações principais no campo de SAA. A primeira aplicação aborda a análise hidráulica para redes em loop e ramificadas. A segunda aplicação com base em algoritmos evolutivos, técnica baseada

em computador para o projeto hidráulico ideal do SAA que satisfaz tanto as demandas de projeto quanto as pressões em todos os nós da rede com o menor custo possível.

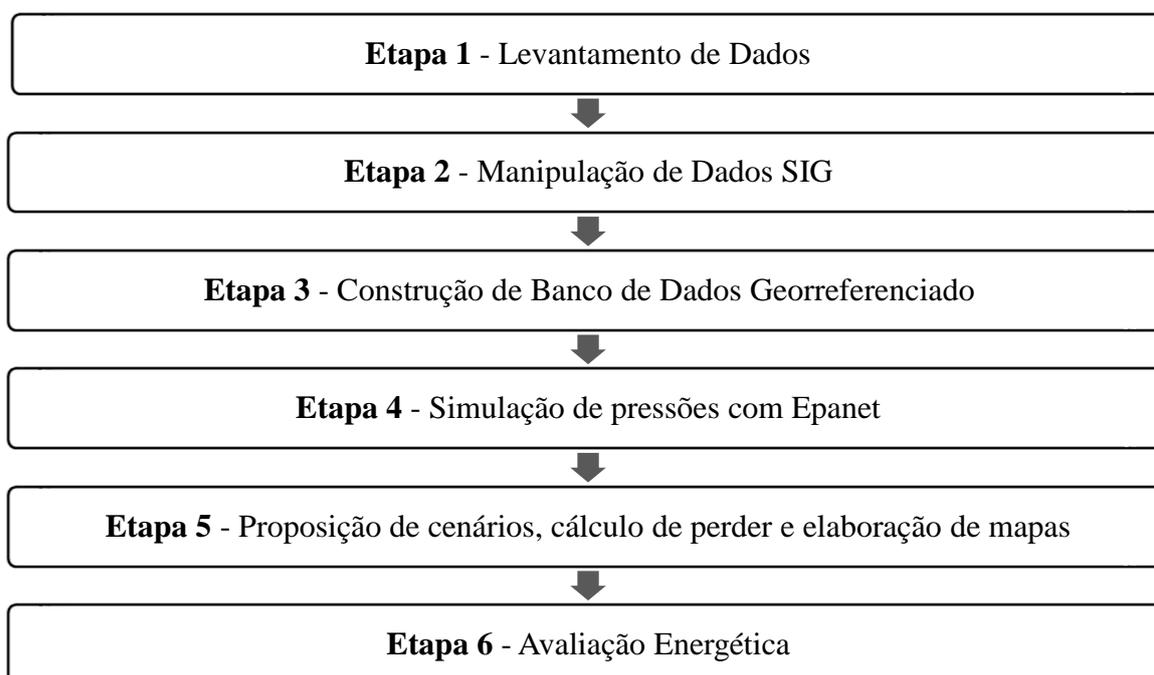
HO *et al* (2010) desenvolveram uma metodologia baseada na integração de um modelo de rede neural artificial (RNA) e um SIG para avaliar o vazamento de água e priorizar a substituição de dutos. Foi a primeira tentativa de manipular dados de terremotos no modelo de previsão de evento de rompimento. A distribuição espacial dos dados do evento de rompimento do oleoduto foi analisada e visualizada por SIG. Em comparação com os processos tradicionais para determinar as prioridades de substituição de tubulações, a metodologia desenvolvida é mais eficaz e eficiente, superando a dificuldade de priorizar a substituição de tubos, mesmo em situações em que os registros de eventos de quebra não estão disponíveis. A adoção do fator sismo como principal parâmetro de entrada da RNA é outro conceito inovador deste estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho para a avaliação do sistema de distribuição de água com ênfase na eficiência hidro energética foi dividido em etapas.

Para melhor visualização da sequência metodológica, as etapas do trabalho estão apresentadas no fluxograma ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma das Etapas



Foram utilizados os softwares de livre acesso: Epanet 2.0 nas simulações hidráulicas e o QGIS nas versões 2.8 e 3.4 para o geoprocessamento.

4.1 Descrição das Etapas do trabalho

A Etapa 1 teve início com o recebimento dos arquivos com os dados simulados e calibrados no Epanet referentes ao estudo realizado por SANTOS (2014) e dos levantamentos da rede nas campanhas realizadas em arquivo CAD que foram disponibilizados pelo Grupo NUMMARH da UNIFEI, dando início aos levantamentos de dados e pesquisas deste estudo.

Na Etapa 2 foram realizados os processos de extração de dados do local de estudo para representação e ajustes das camadas dos tipos vetorial e raster que fazem parte dos arquivos para geoprocessamento e manipulação de dados em SIG. A principal atividade nesta etapa foi o georreferenciamento dos dados da rede de água, visto que todos os levantamentos de campo das campanhas de campo foram registrados em arquivos CAD.

Na Etapa 3, os dados cartográficos da área de estudo para a organização das informações geográficas de localização dos limites municipais, hidrografia e relevo do local, foram obtidos no Portal de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE – SISEMA) do Governo de Minas Gerais e processados em ambiente SIG, com a utilização do software QGIS.

A Etapa 4 consiste na simulação de 3 (três) cenários da rede em estudo para os cálculos de pressões no simulador hidráulico Epanet. As características dos parâmetros hidráulicos do projeto referem-se ao cenário 01, que serve de base e referência para o comparativo das simulações dos cenários 32 e 35, que foram selecionados no estudo de GONÇALVES (2019) por terem os melhores desempenhos na simulação de redução de pressões para a rede em estudo.

Na Etapa 5 para a modelagem, análise e elaboração de mapas de pressões em SIG foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento, no intuito de visualizar o comportamento das variações de pressões dos nós e totalização das pressões atuantes na rede, nos limites de pressão mínima de 10 mca e máxima de 50 mca, estabelecidos pela NBR 12.218 para o bom funcionamento de um sistema de distribuição de água. Após a simulação realizada no Epanet, os dados de pressão dos 3 (três) cenários foram exportados e classificados no SIG para geração dos mapas com detalhamento das variações das pressões.

Ainda na Etapa 5 houve o cálculo da pressão média para os cenários propostos e o cálculo das perdas por pressões elevadas onde foi utilizada a equação baseada nos estudos de Tucciarelli, Criminisi e Termini (1999) e Silva (2003), que desenvolveram a metodologia para monitorar perdas por pressões em uma rede de água, através da equação 1:

$$\sum_{i=1}^{nós} Perdas = P_{média}^{0,5} \times 7,27 \quad (1)$$

Onde a somatória das perdas da rede, em porcentual, são calculadas em função da pressão média ($P_{média}$) das pressões dos nós da rede e o fator de 7,27, estabelecido pelas características de calibração da rede.

Na Etapa 6 foram analisados os indicadores de desempenho e índices de eficiência hidroenergética através da metodologia proposta por Gomes *et al* (2017) para a obtenção de um indicador de eficiência energética.

O método propõe com base na aplicação de um índice e de um indicador de desempenho que, inter-relacionados, possam contribuir para a análise sobre a eficiência energética de um determinado sistema de distribuição de água.

O índice de Energia Dissipada (i_{ED}), relaciona a soma da perda de carga hidráulica dos trechos da rede, com a sua extensão total, proporcionando, um valor numérico, que permite julgar o quanto uma determinada rede está dissipando energia do ponto de vista hidráulico e considerada o crescimento das demandas de água da rede ao longo do tempo para simular a alteração dos dados de demandas nos nós das tubulações da modelagem original da rede.

No cálculo do i_{ED} foi utilizada a equação 2:

$$i_{ED} = \frac{hf_{total}}{L_{total}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right) \right] i}{L_{total}} \quad (2)$$

Onde: i_{ED} é o índice de Energia Dissipada da rede; hf_{total} é o valor referente à perda de carga hidráulica total da rede; i é o trecho (tubulação) em análise; n é a quantidade de trechos (tubulações) da rede; p_1/γ é a parcela de energia de pressão do nó de montante do trecho; p_2/γ é a parcela de energia de pressão do nó de jusante do trecho; z_1 e z_2 são as cotas topográficas dos nós de montante e jusante do trecho, respectivamente e L_{total} é o comprimento total da rede.

O Indicador de Eficiência Energética (I_{EE}), consiste na aplicação do índice i_{ED} , em duas situações distintas: a primeira, como referencial, corresponde ao cenário efetivamente previsto para a vida útil do projeto, direcionado para um horizonte futuro de operação. A segunda situação corresponde ao cenário em que, efetivamente, deseja-se aferir a eficiência de operação da rede, em um determinado tempo (seja antes ou depois do horizonte de projeto inicialmente concebido).

No cálculo do I_{EE} foi utilizada a equação 3:

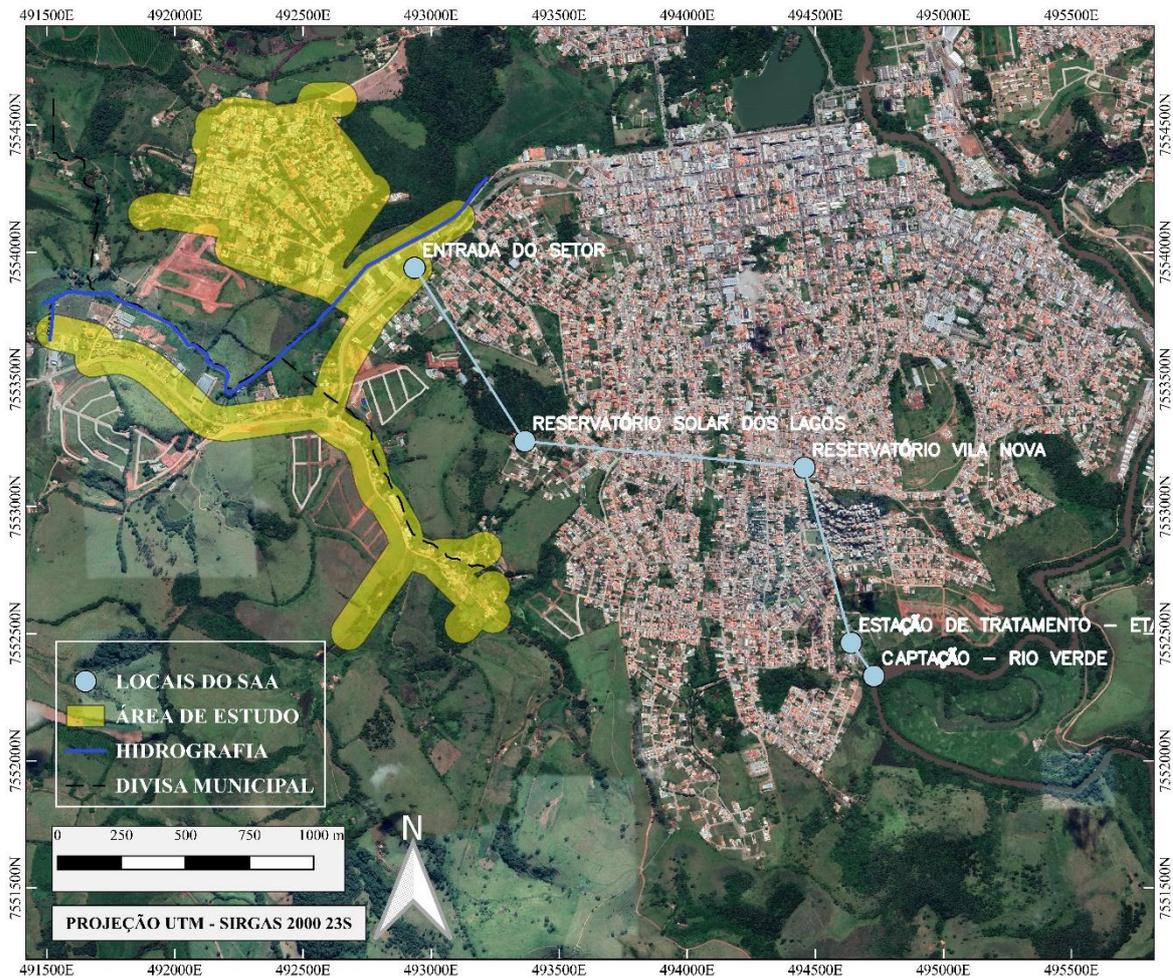
$$I_{EE} = (I_{ED}(\text{referência})) / (I_{ED}(\text{cenário})) \quad (3)$$

Onde: I_{EE} é o indicador de Eficiência Energética da rede; i_{ED} referência é o índice de energia dissipada da rede para o cenário do projeto original da rede; e i_{ED} cenário é o índice de energia dissipada da rede para o cenário que se deseja aferir a eficiência energética.

4.2 Caracterização da área de estudo

A Figura 5 apresenta o posicionamento do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e a localização da área de estudo.

Figura 5 - Localização do SAA



Fonte: Adaptado de Google Satélite

O setor de rede de distribuição de água em estudo se encontra em município localizado no sul de Minas Gerais. O local de estudo foi escolhido pelas características de ser um sistema isolado, no qual não há influência de outras partes da rede, existência de cadastro para obtenção de informações da rede, como também de ser um setor relativamente pequeno facilitando os trabalhos de campo e análises de resultados (LAMOGLIA, 2013).

5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Localização e características do SAA.

O setor de rede de distribuição em estudo se encontra em cidade localizada no sul de Minas Gerais. A cidade possui uma população de 41.657 habitantes em 2010 (IBGE, 2012).

Os dados gerais da rede em estudo são: Comprimento total de 12.775 metros, 121 trechos e 117 nós. O ano de início de operação da rede foi o ano de 2000, com horizonte de projeto de 20 anos (até o ano de 2020) e a população atendida, estimada em 2014, com aproximadamente 2.000 habitantes (485 edificações residenciais).

A Figura 6 apresenta uma visão parcial do município com a localização da área de estudo em visualização tridimensional.

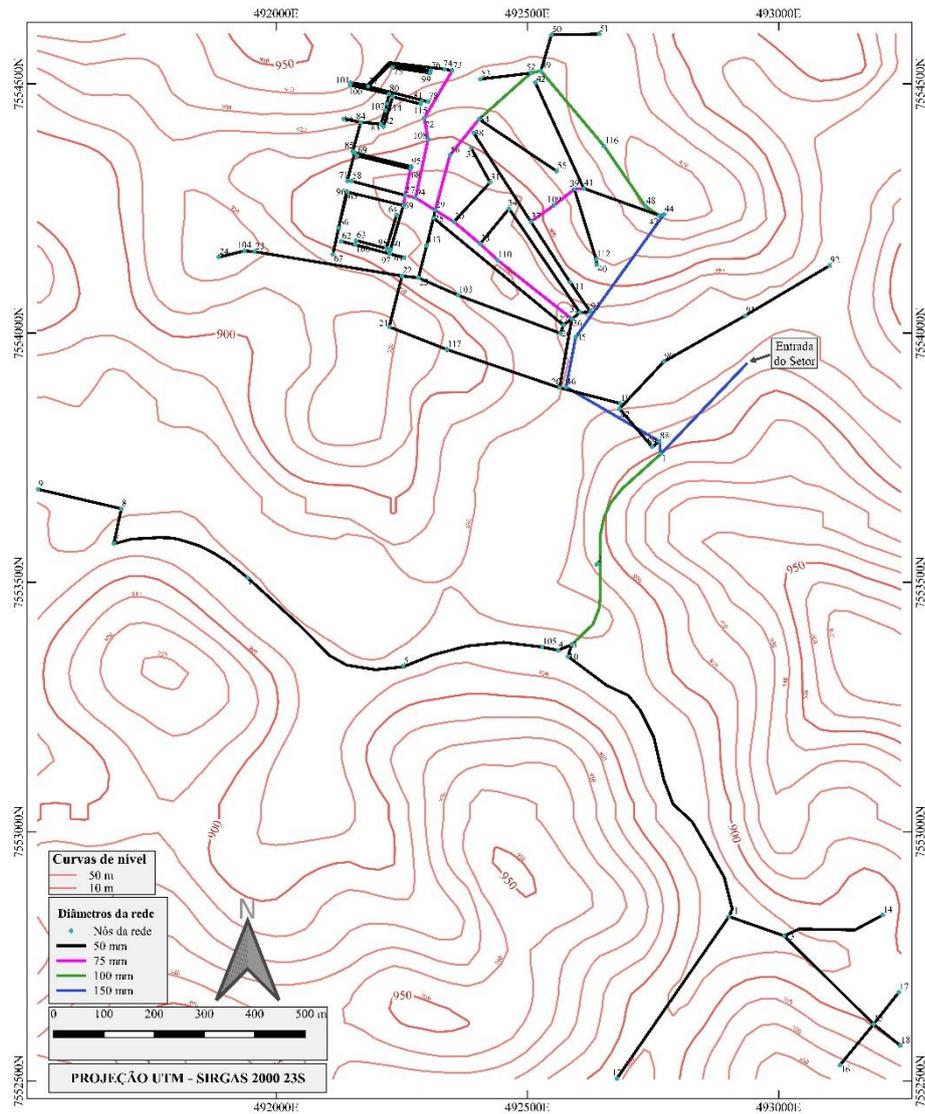
Figura 6 - Visualização Tridimensional da área de estudo



Fonte: Adaptado de Google Satélite

A Figura 7 mostra a rede de distribuição com os diâmetros das tubulações e curvas de nível do local de estudo.

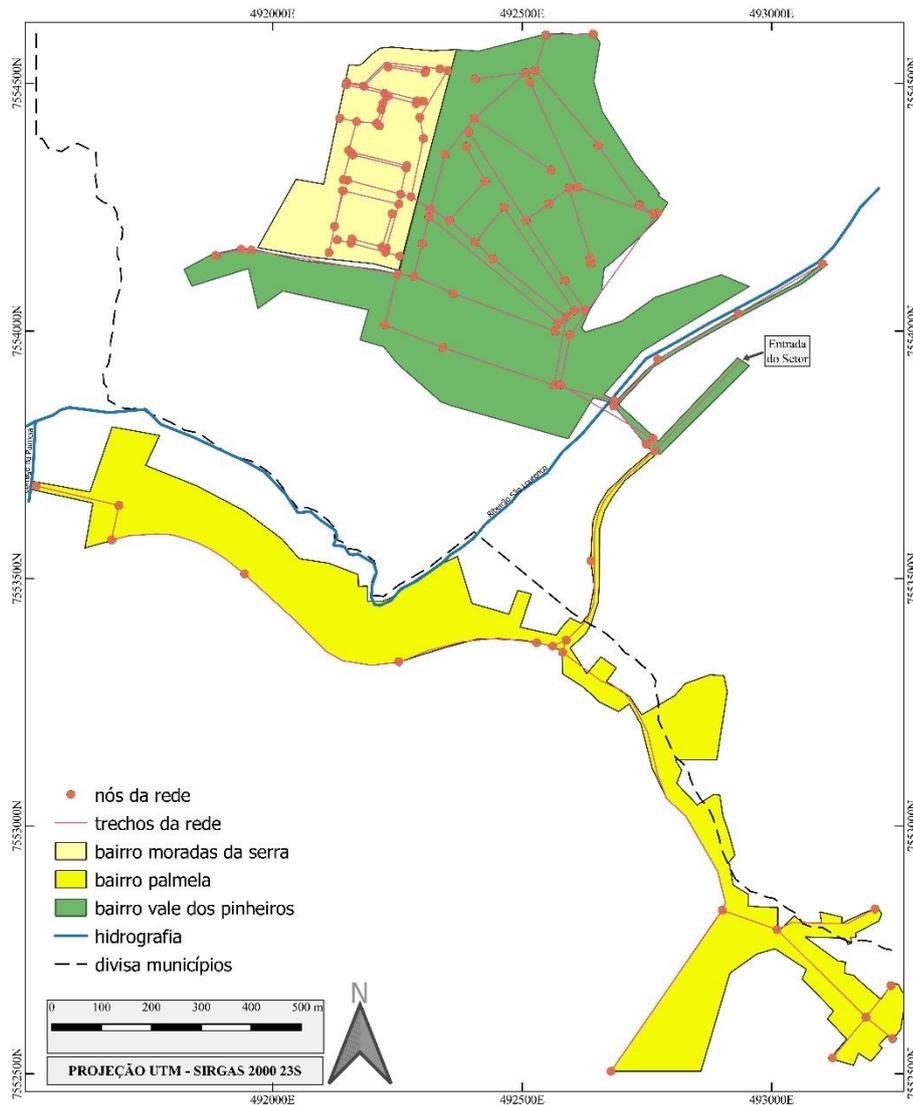
Figura 7 - Topografia e diâmetros da rede



Fonte: IDE-SISEMA

A Figura 8 mostra a localização dos bairros, da rede de água, a hidrografia e os limites municipais no local em estudo.

Figura 8 - Localização dos bairros e rede de água



Fonte: Autor

5.2 Análise de pressões dos cenários

O processo de modelagem com o Epanet inclui a inserção de dados do projeto, arranjo da rede de distribuição de água, edição das propriedades dos elementos que constituem o sistema (trechos de tubulação e nós com as cotas topográficas para os nós, diâmetro, rugosidade e comprimento das tubulações), descrição das condições de operacionalidade, seleção de um conjunto de opções de simulação, execução da simulação hidráulica, obtenção dos resultados da simulação, calibração e validação (SANTOS, 2016).

O termo Reservatório de Nível Fixo (RNF) que foi utilizado na simulação dos cenários refere-se a altura manométrica (pressão) expressa na unidade mca (metro de coluna de água), ou seja, a pressão de entrada da água na entrada do setor.

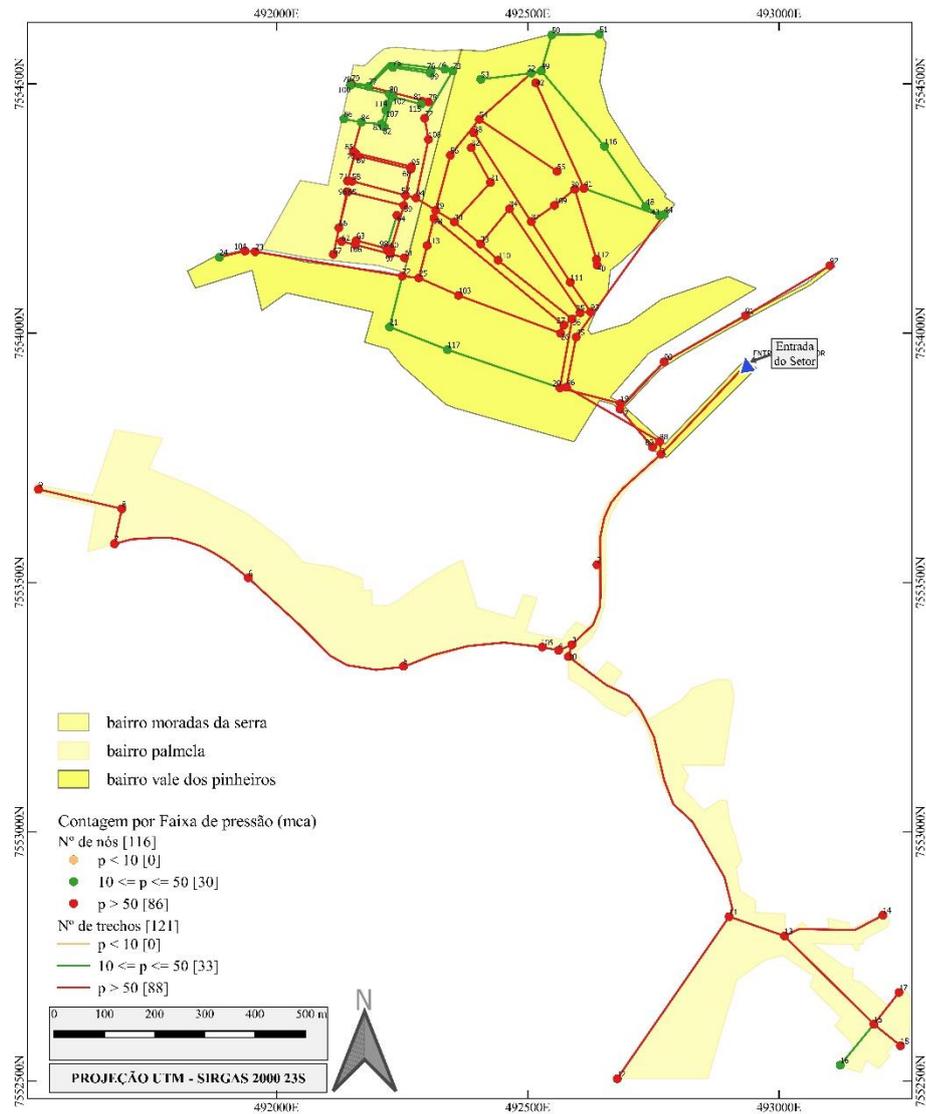
5.2.1 Cenário de referência 01

O Cenário Base para as comparações, denominado Cenário 01 (C_01), foi o modelo calibrado por SANTOS (2016) em seu estudo que apresenta as seguintes características: a) pressão na entrada do setor - RNF com 957 mca; b) colocação de três válvulas de redução de pressão, sendo: válvula 1 no trecho 5 DN 50 mm, válvula 2 no trecho 6 DN 500 mm e válvula 3 no trecho 78 DN 200 mm. e c) bomba no trecho 96.

Através de simulação na ferramenta Epanet com as mesmas características e parâmetros dos estudos já realizados no local são obtidos os dados de funcionamento da rede. Os valores das pressões dos nós referentes ao Cenário 01 obtidos no Epanet foram exportados e classificados no SIG para a obtenção dos mapas de pressões do Cenário 01.

Na simulação para o Cenário 01, observa-se a incidência de 0 trechos e 0 nós, na faixa abaixo de 10 mca, a incidência de 33 trechos e 30 nós, na faixa entre 10 e 50 mca e a incidência de 88 trechos e 86 nós, na faixa acima de 50 mca (Fig. 9). A pressão média dos nós no cenário 01 é de 62,3 mca, enquadrado acima do valor do limite superior recomendado pela NBR 12.218 de 50 mca.

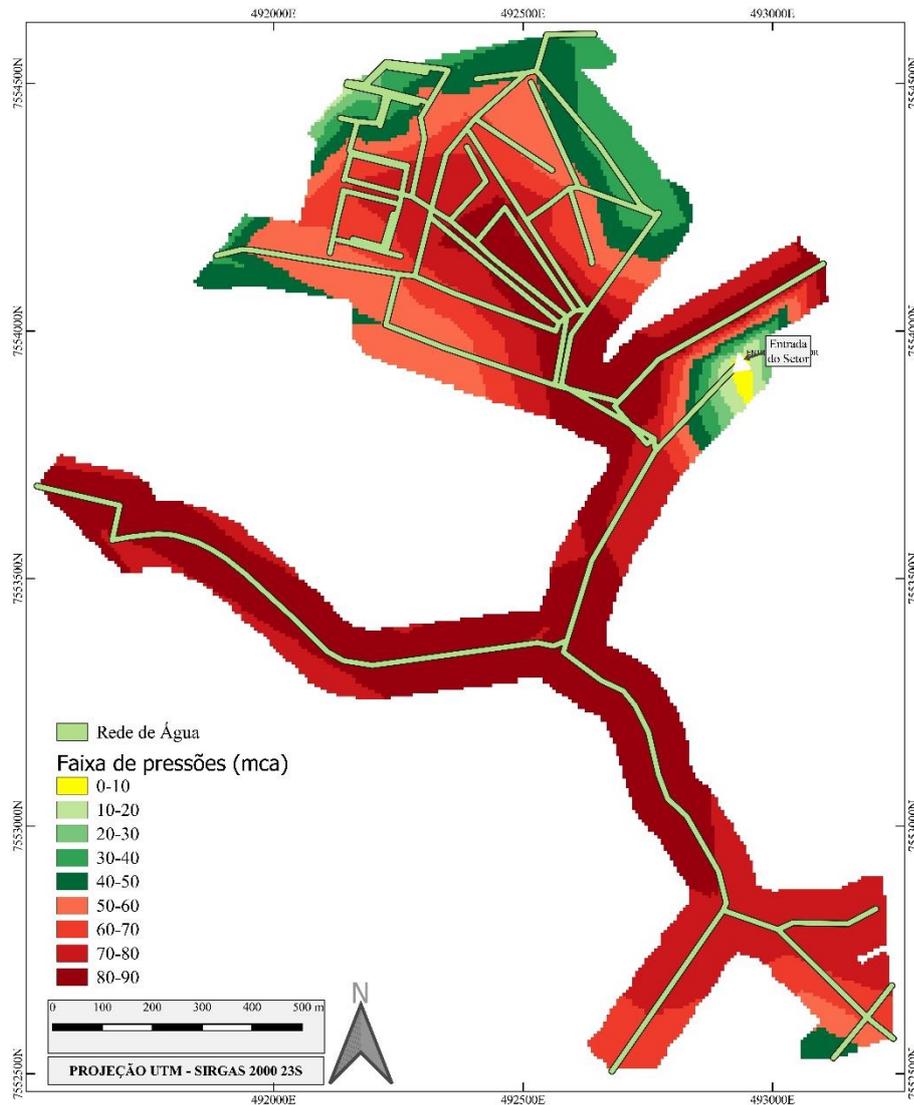
Figura 9 - Mapa de contagem dos Nós - Cenário 01



Fonte: Autor

O mapa de pressões gerado para o Cenário 01 com classificação das pressões de 10 em 10 mca (Fig. 10) permite a visualização das variações das pressões. Pode-se observar que a maior parte da rede está com pressões acima de 50 mca.

Figura 10 - Mapa de pressões - Cenário 01



Fonte: Autor

5.2.2 Cenário de referência 32

O Cenário 32 foi desenvolvido por GONÇALVES (2019) em seu estudo a partir de modelo calibrado por SANTOS (2016).

Foram feitos os seguintes ajustes no modelo original:

- Alteração da pressão na entrada do setor para RNF com 944 mca;
- Colocação de quatro válvulas de redução de pressão, sendo válvula 1 no trecho 1 DN 100 mm e parâmetro de controle de 50 mca, válvula 2 no trecho 65 DN 200 mm e parâmetro

de controle de 26 mca, válvula 3 no trecho 62 DN 150 mm e parâmetro de controle de 76 mca e válvula 4 no trecho 113 DN 50 mm e parâmetro de controle de 25 mca e

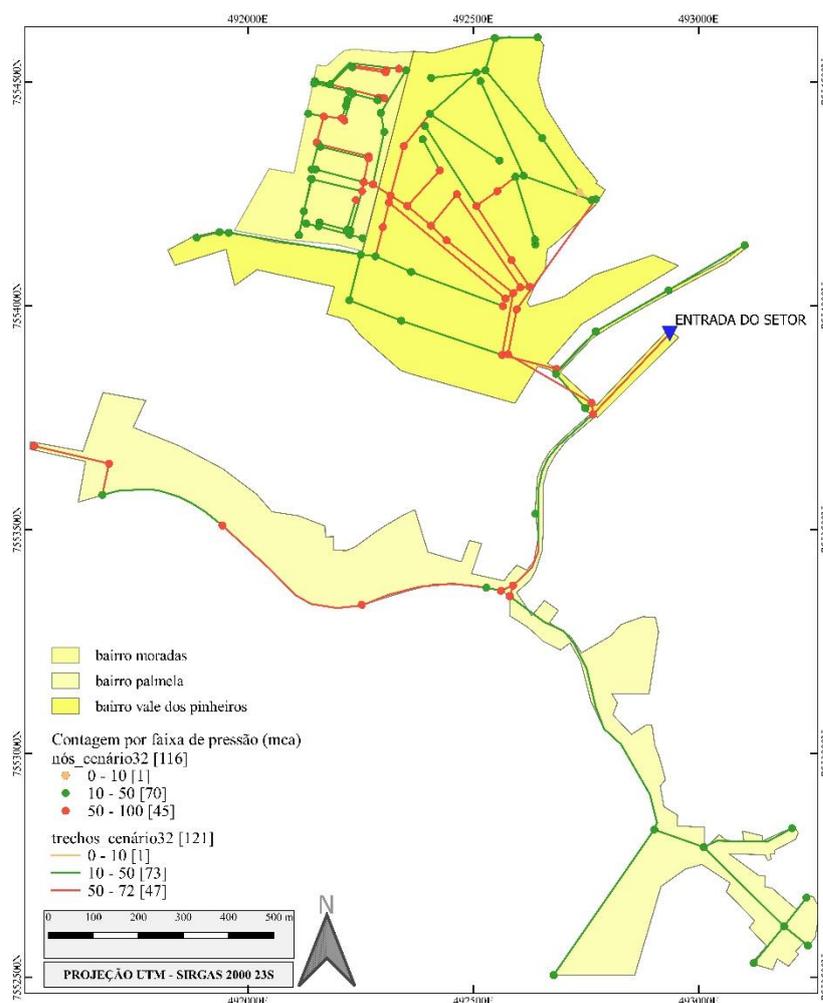
c) Inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96.

Os valores das pressões dos nós referentes ao Cenário 32 obtidos no Epanet foram exportados e classificados no SIG para a obtenção dos mapas de pressões do Cenário 32.

Na simulação hidráulica para o cenário 32 observa-se a incidência de 1 trecho e 1 nó, na faixa abaixo de 10 mca, a incidência de 73 trechos e 70 nós, na faixa entre 10 e 50 mca e a incidência de 47 trechos e 45 nós, na faixa acima de 50 mca. A pressão média dos nós no cenário 32 é de 44,4 mca, se enquadra abaixo do valor recomendado pela NBR 12.218 de 50 mca.

A figura 11 apresenta o mapa da contagem de nós e trechos por faixas de pressões no cenário 32.

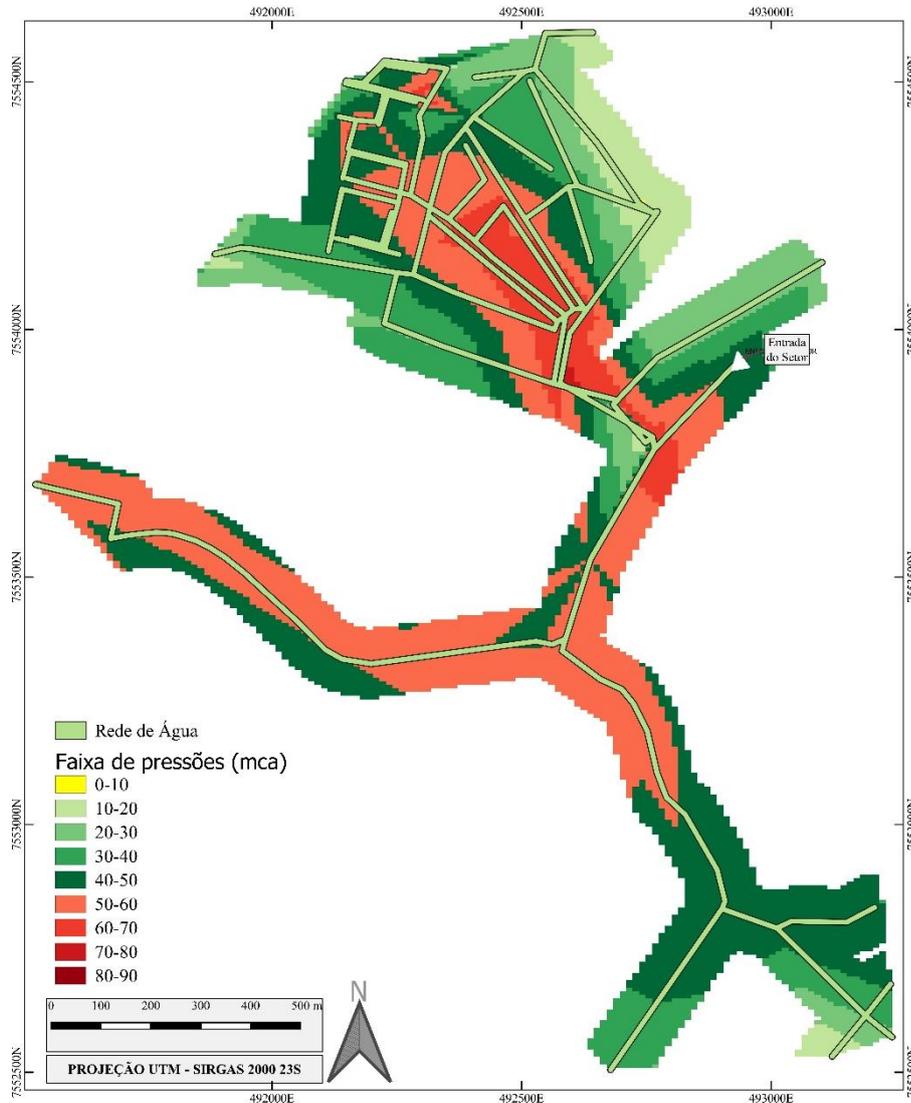
Figura 11 - Mapa da Contagem de Nós - Cenário 32



Fonte: Autor

O mapa de pressões gerado para o Cenário 32 com classificação das pressões de 10 em 10 mca (Fig. 12) permite a visualização das variações das pressões. Com as alterações propostas houve grande melhoria no comportamento da rede em relação ao Cenário 01.

Figura 12 - Mapa de Pressões - Cenário 32



Fonte: Autor

5.2.3 Cenário de referência 35

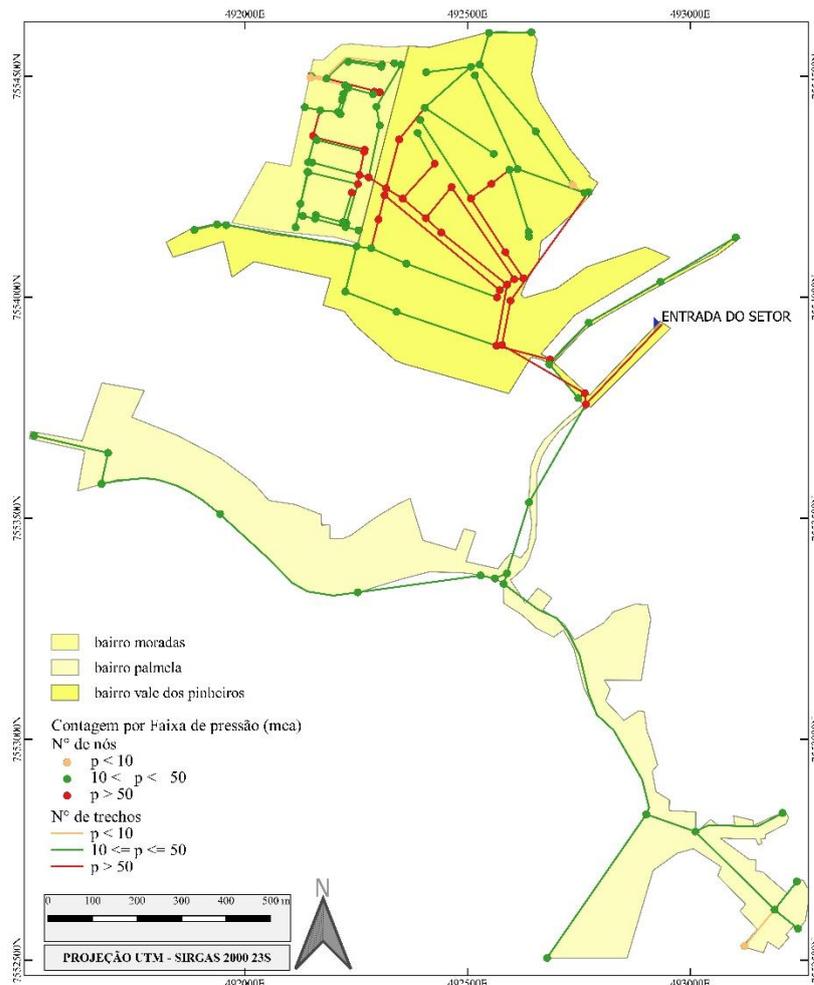
O Cenário 35, foi desenvolvido por GONÇALVES (2019) em seu estudo a partir de modelo calibrado por SANTOS (2016). Foi acrescentada uma nova bomba na configuração do cenário 32, resultando os seguintes ajustes na rede: a) Ajuste da pressão na entrada do setor para RNF 940 mca; b) Colocação de quatro válvulas de redução de pressão: válvula 1 no trecho 1 DN 100 mm e parâmetro de controle de 50 mca, válvula 2 no trecho 65 DN 200 mm e

parâmetro de controle de 26 mca, válvula 3 no trecho 62 DN 150 mm e parâmetro de controle de 76 mca e válvula 4 no trecho 113 DN 50 mm e parâmetro de controle de 25 mca; c) Inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 e d) Inserção de bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 13.

Os valores das pressões dos nós referentes ao Cenário 35 obtidos no Epanet foram exportados e classificados no SIG para a obtenção dos mapas de pressões do Cenário 35.

Na simulação hidráulica para o cenário 35, observa-se a incidência de 7 trechos e 4 nós, na faixa abaixo de 10 mca, a incidência de 78 trechos e 80 nós, na faixa entre 10 e 50 mca e a incidência de 36 trechos e 32 nós, na faixa acima de 50 mca (Fig. 13). A pressão média dos nós no cenário 35 é de 41,0 mca, se enquadra abaixo do limite superior do valor recomendado pela NBR 12.218 de 50 mca.

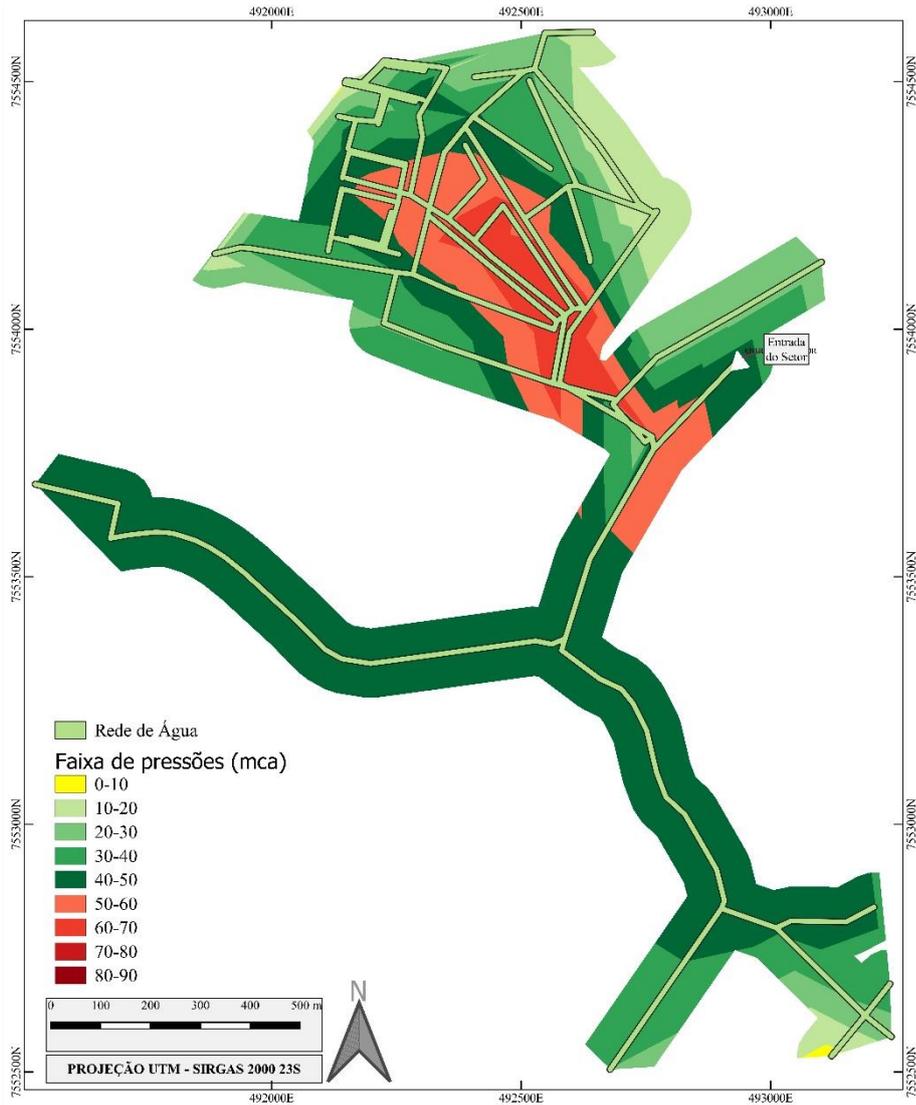
Figura 13 - Mapa da Contagem de Nós e Trechos - Cenário 35



Fonte: Autor

O mapa de pressões gerado para o Cenário 35 com classificação das pressões de 10 em 10 mca permite a visualização das variações das pressões (Fig.14) e pode-se observar que com as alterações houve grande melhoria da rede em relação ao Cenário 01 e uma pequena melhoria em relação ao Cenário 32.

Figura 14 - Mapa de Pressões - Cenário 35



Fonte: Autor

5.2.4 Apresentação tridimensional das análises de pressões dos cenários

As Figuras 15 a 20 ilustram em imagens tridimensionais a inserção das pressões obtidas e permite visualizar as melhorias no comportamento da rede para os cenários propostos.

Figura 15 - Análise Tridimensional - Cenário 01 – Vista Geral



Fonte: Adaptado de Google Satélite

Figura 16 - Análise Tridimensional - Cenário 01 – Vista Detalhe



Fonte: Adaptado de Google Satélite

Figura 17 - Análise Tridimensional - Cenário 32 – Vista Geral



Fonte: Adaptado de Google Satélite

Figura 18 - Análise Tridimensional - Cenário 32 – Vista Detalhe



Fonte: Adaptado de Google Satélite

Figura 19 - Análise Tridimensional - Cenário 35 – Vista Geral



Fonte: Adaptado de Google Satélite

Figura 20 - Análise Tridimensional - Cenário 35 - Vista Detalhe



Fonte: Adaptado de Google Satélite

5.2.5 Comparação das pressões nos cenários analisados

A Tabela 1 apresenta o resumo de incidência de nós da rede entre as faixas de pressões para os cenários propostos. Lembrando que a faixa recomendada pela NBR 12.218 deve estar no intervalo entre 10 e 50 mca (ABNT, 2017).

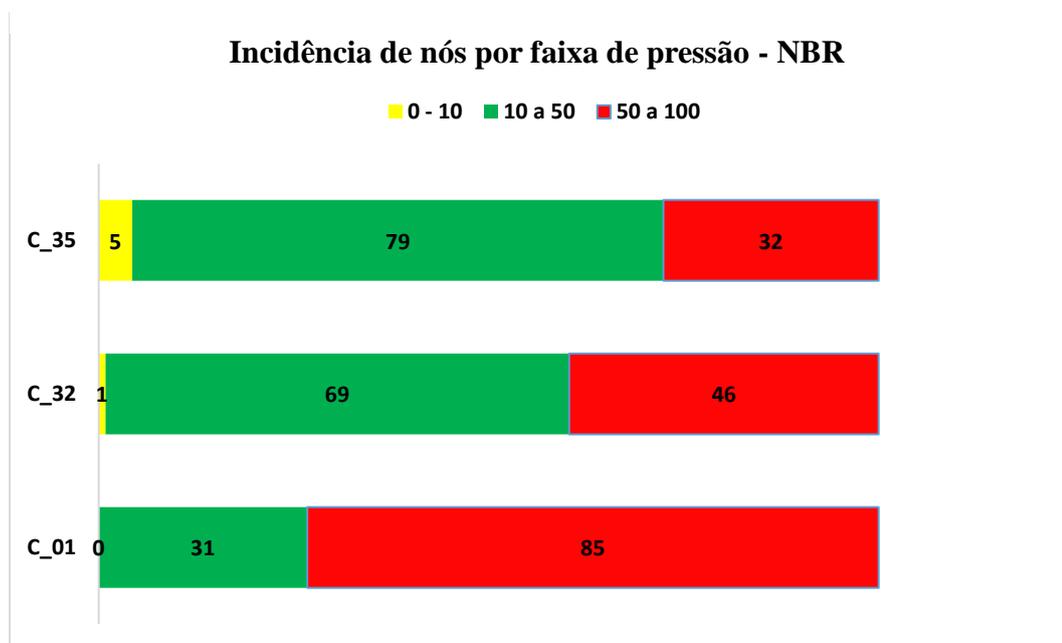
Tabela 1 - Incidência de nós por faixa de pressões recomendadas

PRESSÕES NBR (mca)	INCIDÊNCIA DE NÓS POR FAIXA DE PRESSÃO		
	Cenário 01	Cenário 32	Cenário 35
0 a 10	0	1	5
10 a 50	31	69	79
50 a 100	85	46	32

Fonte: Autor

A Figura 21 apresenta a comparação das variações da incidência de nós da rede entre as faixas de pressão nos Cenário 01, Cenário 32 e Cenário 35.

Figura 21 - Incidência de nós por faixa de pressão - NBR



Fonte: Autor

Assim, a análise dos vazamentos por pressões tem o objetivo de comparar a variação de pressões dos nós da rede.

A Tabela 2 apresenta o resumo de pressão média obtido para os cenários propostos e os índices de vazamentos.

Tabela 2 - Pressão média e índice teórico de vazamentos dos cenários

	Pressão média (mca)	Índice de vazamentos
Cenário 01	62,3	57,4%
Cenário 32	44,4	48,2%
Cenário 35	41,0	46,6%

Fonte: Autor

5.2.6 Análise de Perdas por pressões

A análise de perdas dos cenários de pressões na rede de distribuição mostra a redução de perdas por pressões e também que o sistema apresenta ganho com a economia de recursos, confirmados pela diminuição do índice de vazamentos. Observa-se a migração de pressão dos nós para faixas inferiores confirmando a redução de pressões para o Cenário 32 e para o Cenário 35 em relação ao Cenário 01.

A partir das análises obtidas através de simulação hidráulica foram identificadas possibilidades que podem ser incorporadas ao sistema com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema de distribuição de água em estudo. Os resultados apresentados demonstram o potencial do SIG na comparação e visualização dos cenários.

5.3 Análise de Eficiência Energética

5.3.1 Dados gerais da rede em estudo

Os dados gerais dessa rede são: Comprimento total de 12.775 metros, 121 trechos e 117 nós. O ano de início de operação da rede é estimado no ano de 2000, com horizonte de projeto de 20 anos (até o ano de 2020) e a população atendida, estimada em 2014 é de aproximadamente 2.000 habitantes (485 edificações residenciais).

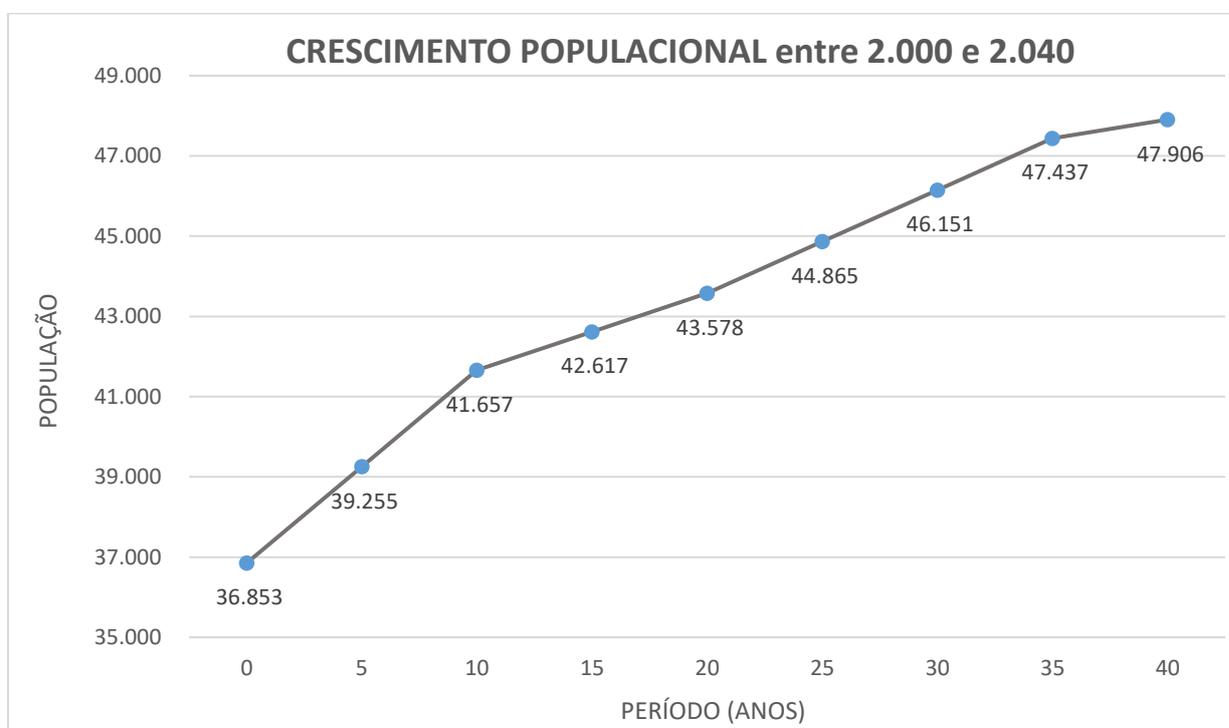
Indicadores são instrumentos de gestão que definem o perfil de uma rede de distribuição de água, o que ajuda o órgão gestor a propor melhorias. A importância de se estudar os indicadores é que estes auxiliam no diagnóstico de um sistema. Em sistemas hidro energéticos pode-se relacionar consumo de energia, vazão de entrada do setor, demanda e pressões, a fim de identificar os sistemas e ter ferramentas para minimizar os custos energéticos e maximizar a confiabilidade hidráulica (Soares, 2016).

5.3.2 Crescimento populacional

Para a elaboração de perfil de crescimento demográfico da população do município no período entre o ano 2000 e 2040, foram utilizados dados do Censo de 2000 e 2010 do IBGE e a projeção de crescimento populacional 2020-2060 da Fundação João Pinheiro.

O crescimento populacional utilizado para a alteração dos consumos de água dos nós no decorrer dos períodos de análise da rede é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Crescimento Populacional do Município



Fonte: Autor baseado nos Censos 2000 e 2010 do IBGE e projeção 2020-2060 da FJP (2018)

5.3.3 Fatores de demandas dos nós

Com a evolução populacional são calculados os fatores de demanda dos nós para períodos de 5 anos. O ano de 2020 é considerado com o fator de valor 1 por ser o ano de eficiência máxima para o horizonte de projeto (20 anos). Os demais valores são obtidos segundo a variação proporcional para o ano de 2020 e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores das demandas dos nós

ANO		POPULAÇÃO	FATOR
2000	0	36.927	0,8457
2005	5	39.255	0,9008
2010	10	41.657	0,9959
2014	15	42.617	0,9779
2020	20	43.578	1
2025	25	44.865	1,0295
2030	30	46.151	1,0590
2035	35	47.437	1,0886
2040	40	47.906	1,0993

Fonte: Autor

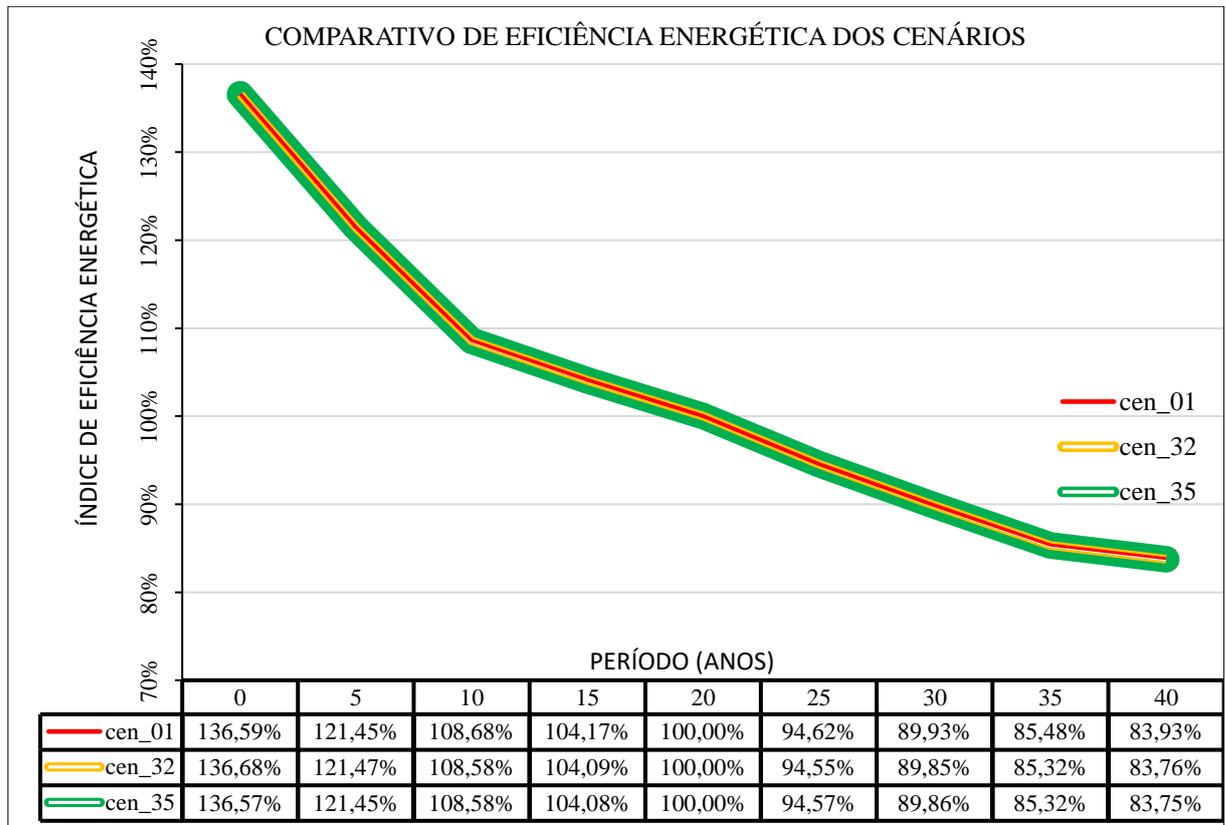
5.3.4 Aplicação do índice de Eficiência Energética (I_{EE})

A partir da alteração no Epanet dos consumos nodais, que são substituídos pelos fatores de consumos nodais resultantes da variação de população no decorrer dos anos, são calculados no simulador hidráulico, os valores da energia dissipada durante a distribuição para o consumo.

Esses valores obtidos a partir da somatória das perdas nos trechos da rede para os cenários anuais, serão os índices de Energia Dissipada (i_{ED}).

A partir dos valores do i_{ED} obtidos são calculados o indicador de Eficiência Energética (I_{EE}) conforme a variação para o ano de 2020 e estão apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Índice de Eficiência Energética dos Cenários



Fonte: Autor

5.3.4 Análise de Eficiência Energética

O indicador de Eficiência Energética (I_{EE}) quantifica a relação entre a energia dissipada da rede no cenário de referência, previsto no projeto original da rede e um cenário qualquer de avaliação da rede, onde o último é calculado dentro dos limites operacionais da rede em um determinado tempo específico, considerando a variação da demanda.

Observa-se que os cenários seguem a mesma diminuição de Eficiência Energética e que o relevo acidentado da região (fator Z_n) apresenta grande relevância no cálculo dos Indicadores de Eficiência.

Ressaltando que as alterações de demanda no consumo da população, a existência grande número de lotes vazios a serem construídos e a implantação de condomínios horizontais que vem ocorrendo atualmente podem alterar os indicadores.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante os estudos do sistema de distribuição de água de uma pequena rede localizada em região montanhosa demonstram a importância das análises em busca da eficiência do sistema, levando-se em consideração a implantação do projeto, o controle de pressões na rede e a demanda futura do sistema.

As análises comparativas de cenários realizadas em ambiente SIG permitiram uma visualização espacial dos cenários e comportamento das variáveis envolvidas na operação da rede que podem ser utilizadas para a eficiência do sistema.

Assim, através da simulação e comparação de cenários, foi possível identificar melhorias no sistema de distribuição, principalmente, em relação a importância do ajuste da pressão dos nós dentro dos limites da NBR 12.218, a fim de reduzir o índice de vazamentos.

Observa-se que com as alterações propostas nos cenários houve uma redução de perdas de 16% para o Cenário 32 e de 19% para o Cenário 35, quando comparados ao Cenário 01.

Observa-se que o aumento populacional no decorrer do período de 2000 - 2040 não é elevado e o fator topográfico foi predominante nos valores dos indicadores para a rede resultaram indicadores de eficiência idênticos para os cenários.

Pela existência de relevo acidentado e havendo uma concepção do projeto com a utilização de maior número de zonas de pressão a eficiência da rede seria melhorada.

A eficiência máxima da rede projetada ocorre com a demanda máxima de consumo no ano de 2020, estando superdimensionada no período anterior e após subdimensionada no período posterior.

Os indicadores analisados contribuem para a gestão, planejamento da infraestrutura e do crescimento da cidade, a redução das perdas de água tratada e a eficiência hidro energética.

Para estudos futuros, sugere-se a busca de soluções através de ambiente de Sistema de Informação Geográfica para os Sistemas de Abastecimento de Água, garantindo a melhoria de indicadores de gestão, o planejamento integrado da infraestrutura, a redução de perdas e a eficiência hidro energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELBAKI, C. *et al.* Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modeling: a case study of Chetouane in Algeria. **Applied Water Science**, v. 7, n. 3, p. 1561–1567, 2016.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate.** In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, GO. Setembro, 2013

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água.** - ABES, p. 99, 2015

ALVES, H. A. **Estudos de indicadores de eficiência hídrica, energética e de sustentabilidade aplicados a sistemas de distribuição de água real do Sul de Minas Gerais,** Dissertação (Mestrado_ - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2019

ALVES, Z. *et al.* Water distribution network's modeling and calibration. A case study based on scarce inventory data. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 31–40, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218:** Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

AYAD, A.; AWAD, H.; YASSIN, A. Integrated approach for the optimal design of pipeline networks. **Alexandria Engineering Journal**, v. 57, n. 1, p. 87–96, 2018.

BOBSIN, D. **Estudo de demanda hídrica em sistema de abastecimento de água na cidade de São Lourenço - MG.** 112 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

CANTO RÍOS, J. *et al.* Methodology for the identification of apparent losses in water distribution networks. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 238–247, 2014.

CHEUNG, P. B.; FERREIRA, K. R.; PEREZ, A. M. E. A.; COUTINHO, R.; GIROL, G. V.; BARDALES, K. L. N.; OLIVEIRA, P. A.; IDE, C. N. Tecnologias de suporte a decisão para auxiliar a gestão hidroenergética em sistemas de abastecimento de água. In: Heber Pimentel Gomes. (Org.). **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética.** João Pessoa: Editora UFPB, 2010. v. 1, p. 227-245.

CHEUNG, P. B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L. S.; ZANELLA, L.; ABE N.; GOMES, H. P.; SILVA, B. C.; PERTEL, M.; GONÇALVES, R. F. Consumo de Água. In: GONÇALVES, R. F. (org.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

COELHO, B.; ANDRADE-CAMPOS, A. Efficiency achievement in water supply systems - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 59–84, 2014.

CONDURÚ, M; PEREIRA, J. Informação estratégica para a gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água. In: Heber Pimentel Gomes. (Org.). **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética.** João Pessoa: Editora UFPB, 2010, p.111-134

DUARTE, C. **Avaliação do Desempenho Hidroenergético do Sistema de Abastecimento de Água Utinga – Bolonha – Setor Guanabara**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

DUTRA, R. H. DE A.; OLIVEIRA, A. L. DE. Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle de perdas em redes de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 65, n. 208, p. 122–134, 2017.

FJP – Fundação João Pinheiro. Indicadores FJP: **Projeções Populacionais: Minas Gerais e Territórios de Desenvolvimento 2010-2060**. Belo Horizonte: FJP, 2018. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br>. Acesso em: 09 out. 2019.

FORTES, L. R. **Análise de perdas de água e relações energéticas em sistema de distribuição de água utilizando metodologia de balanço hídrico**. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

GAMA, M. C. *et al.* Water distribution network model building, case study: Milano, Italy. **Procedia Engineering**, v. 119, n. 1, p. 573–582, 2015.

GOMES, H.P.; BEZERRA, S.T.M.; LAVOR, W; CARVALHO, P.S.O. Diagnóstico Energético de Sistemas de Distribuição de Água da Paraíba. *In*: Heber Pimentel Gomes. (Org.). **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2010. p.37-51.

GOMES, H. P.; SALVINO, M. M.; SILVA, L. S. A.; FARIAS, P. A. S. S. **Indicador de eficiência da capacidade de transporte de água de uma rede de abastecimento** (Efficiency Indicator of Water Transportation Capacity in a Supply Network). Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA), 2017. Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3113014>.

GONÇALVES, J. P. **Avaliação de estratégias operacionais visando a sustentabilidade hídrica e energética de rede de distribuição de água real do sul de Minas Gerais**. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2019.

HO, C. I.; LIN, M. DER; LO, S. L. Use of a GIS-based hybrid artificial neural network to prioritize the order of pipe replacement in a water distribution network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 177–189, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=29>. Acesso em: 09 out. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de Água 2018 (SNIS 2016)**: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da Eficiência do Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em 09 abr. 2019.

JOWITT, P.W.; XU, C. Optimal Valve Control in Water Distribution Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.116, n.4, p.455-472, July, 1990.

LAMOGLIA, H. A. **Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço - MG**. 236 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2013

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 133p. São Paulo, 2010.

MAIR, M.; RAUCH, W.; SITZENFREI, R. Improving incomplete water distribution system data. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 1055–1062, 2014.

MURANHO, J. et al. Technical Performance Evaluation of Water Distribution Networks based on EPANET. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 70, p.1201-1210, 2014

PENA, M. M. **Aplicação e Análise da Metodologia da IWA para o Controle de Perdas no Sistema de Abastecimento de Água da Baixada de Jacarepaguá - RJ**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

QGIS Development Team, 2018. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 15 abr. 2018.

REGO, A. G. **Desenvolvimento e Aplicação de Modelo para Avaliação de Desempenho Hidroenergético de Sistemas de Abastecimento de Água**. 2016. 326p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, 2016.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2: User's Manual**. Tradução de H. P. GOMES e M. M. SALVINO. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency (EPA), 2000. 200 p. Traduzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil, 2009. Disponível em <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>. Acesso em: 06 set. 2018.

SANTOS, A. C. P. A.; PEREIRA, J. A. R. Utilização de Sistema de Informações Geográficas para controle da ocorrência de vazamentos em redes de distribuição de água potável. *In*: Heber Pimentel Gomes. (Org.). **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2010, p. 99-110.

SANTOS, A. C. P. A. **Desenvolvimento de modelo de sistema de informações geográficas para avaliação da eficiência hidroenergética em sistemas de abastecimento de água**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2015.

SANTOS, J. **Estudo de modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando a eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço – MG**. 185p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

SILVA, A. C. **Estudo Comparativo entre Métodos de Perda de Água e Parâmetros Hidráulicos – Análise do Ciclo de Vida e Aplicação em rede do Sul de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2019.

SILVA, F. G. B. **Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos**. 234 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2003.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: **IDE-Sisema**, 2019. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2019.

SITZENFREI, R.; MÖDERL, M.; RAUCH, W. Automatic generation of water distribution systems based on GIS data. **Environmental Modelling and Software**, v. 47, p. 138–147, 2013.

SOARES, F. R. **Estudo comparativo dos indicadores de eficiência hidro energética em sistemas de distribuição de água**: análise de municípios do sul de Minas Gerais. 122p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

TORRES, J. M.; BRUMBELOW, K.; GUIKEMA, S. D. Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 94, n. 8, p. 1259–1273, 2009.

TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.125, n. 3, p. 277-285, 1999.

VENKATA RAMANA, G.; SUDHEER CHEKKA, V. S. S. Validation and Examination of Existing Water Distribution Network for Continuous Supply of Water Using EPANET. **Water Resources Management**, v. 32, n. 6, p. 1993–2011, 2018.

VILANOVA, M.R.N.; VIANA, A. C.; SALVADOR, E; SANTOS, G. C.; PASCOA, J.C. Redução do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento através da redução das perdas de água: estudo de caso no município de Lavras-MG. *In*: Heber Pimentel Gomes. (Org.). **Sistemas de Saneamento - Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora UFPB, 2010. p.359 -366.

VILANOVA, M. R. N. **Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões**. 2012. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

VICENTINI, L. P. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP

YAZDANI, A.; OTOO, R. A.; JEFFREY, P. Resilience enhancing expansion strategies for water distribution systems: A network theory approach. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 12, p. 1574–1582, 2011.

WALSKI, T.; CHASE, D.; SAVIC, D.; GRAYMAN, W.; BECKWITH, S.; KOELLE, E. **Advanced Water Distribution Modeling and Management**. Haestad Methods, 2003.