

## 26º Encontro Técnico AESABESP

### DESAFIOS ENVOLVIDOS NA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. ESTUDO DE CASO: SETOR DE ABASTECIMENTO BONSUCESSO, GUARULHOS-SP

**Juliana Caroline de Alencar da Silva**<sup>(1)</sup>

Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Bióloga pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Graduanda em Engenharia Ambiental, Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil, área de concentração: Hidráulica Sanitária, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professora na Universidade Mogi das Cruzes. Consultora em Estudos Hidráulicos e Hidrológicos na AGESAN/CIETECUSP.

**Luiz Eduardo Mendes**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de São Paulo, Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo e Mestrando no Centro Paula Souza. Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. Gerente no SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto - de Guarulhos.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Av. Prof. Almeida Prado, 271 - Cidade Universitária - 05508-900 - São Paulo, SP – Brasil. Telefone: (11) 3091-5529 - e-mail: juliana.caroline.silva@usp.br

**Endereço**<sup>(2)</sup>: SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto - de Guarulhos. Departamento de Controle de Perdas. Unidade Gopoúva, Av. Emilio Ribas, 1247 - 07020-010 - Guarulhos, SP – Brasil. Telefone: (11) 24725326 - e-mail: luizmendes@saaeguarulhos.sp.gov.br

#### RESUMO

Nos últimos anos, devido à escassez hídrica pela qual passam os grandes centros urbanos, houve um crescente aumento da preocupação com a otimização de sistemas de abastecimento de água, a fim de garantir a continuidade do fornecimento deste recurso para o usuário frente ao crescente aumento na demanda. O Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Guarulhos vem adotando diversas técnicas inovadoras a fim de obter a otimização de seu sistema de abastecimento de água, dentre essas, se destaca a modelagem hidráulica, que serve de suporte para tomada de decisão e proposição de novas estruturas nos setores de abastecimento. O presente estudo tem como objetivo avaliar o processo de otimização de sistemas de abastecimento de água através da modelagem hidráulica, para tanto foi detalhado o setor de abastecimento Bonsucesso, situado no município de Guarulhos, destacando os principais desafios envolvidos no processo e os resultados obtidos com a implantação das estruturas propostas com base no modelo matemático construído.

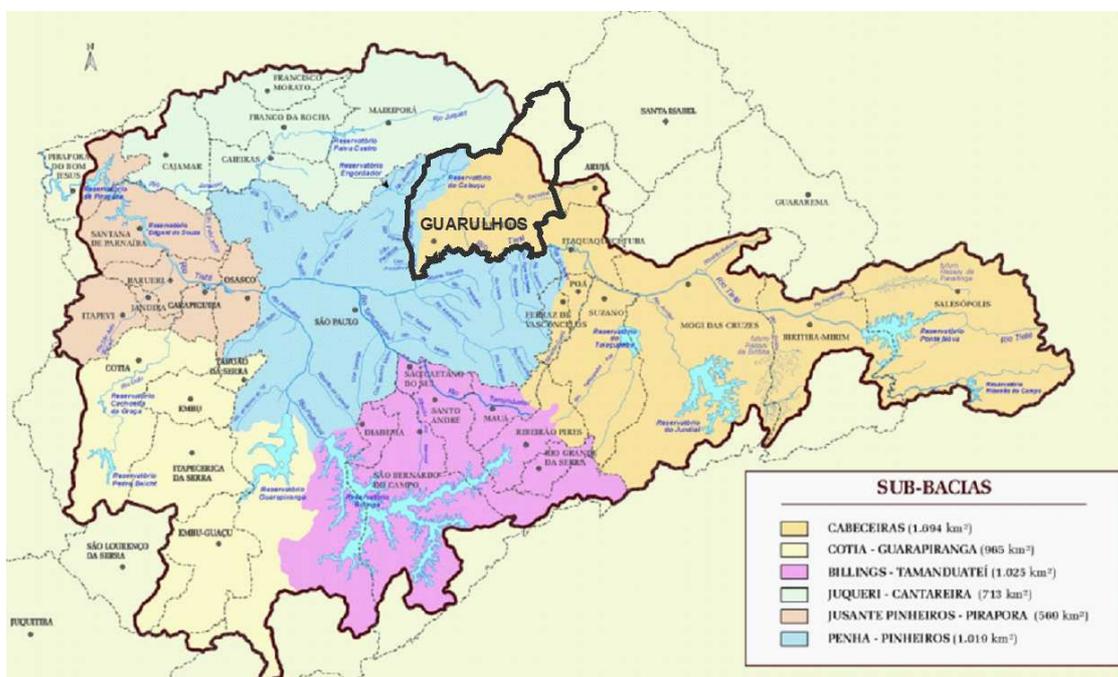
**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de perdas, Sistemas de Abastecimento de Água, Modelagem Hidráulica

#### INTRODUÇÃO

A bacia do Alto Tietê tem uma taxa de crescimento elevada e devido à situação social da cidade, a população de baixa renda é levada a ocupar as áreas periféricas que em boa parte inclui importantes áreas de proteção de mananciais, e ainda ocupar áreas de várzeas outrora desocupadas. Essa ocupação resulta em um grave problema no que se refere aos recursos hídricos, uma vez que estas áreas são ocupadas sem planejamento e sem a infraestrutura sanitária necessária, resultando em degradação ambiental e problemas de saúde pública, havendo ainda o agravamento da crise hídrica, uma vez que essa degradação da qualidade das águas dos mananciais utilizados para abastecimento das cidades contribui para diminuição da disponibilidade hídrica. Portanto há nessas áreas uma grande demanda por investimentos em habitação e infraestrutura básica (Silva & Porto, 2003).

Os municípios da bacia do Alto Tietê, como é o caso do Município de Guarulhos, conforme mostrado na Ilustração 1 a seguir, tem como particularidade a baixa disponibilidade hídrica, pois a malha hídrica presente nestes municípios é composta por rios de cabeceira. Apesar da baixa disponibilidade hídrica, a região concentra grandes centros urbanos, graças ao processo histórico de colonização da mesma, o que resulta por

sua vez em uma elevada demanda hídrica. Grandes cidades como São Paulo, por exemplo, devido à baixa disponibilidade hídrica e ao estágio atual de degradação dos seus corpos d'água, usa como alternativa a transposição de água de bacias vizinhas, como é o caso da transposição de 33m<sup>3</sup>/s de água das bacias dos Rios Piracicaba e Juqueri para a bacia do Alto Tietê (ANA/DAEE, 2013).



**Ilustração 1 - Bacia do Alto Tietê. Fonte: Adaptado de Silva (2003).**

Atualmente o responsável pela prestação de serviços relativos ao Sistema de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do município é o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), que enfrenta um grande desafio no seu propósito de realizar o abastecimento do município, uma vez que seus mananciais não são capazes de atender toda sua demanda, sendo necessário importar parte da água que o município necessita da Companhia Metropolitana de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), o restante do atendimento se dá através de poços tubulares e de dois pequenos mananciais superficiais, os reservatórios Cabuçu e Tanque Grande. A Prefeitura de Guarulhos (2008) aponta como principais desafios para o abastecimento do município, a inadequada distribuição espacial dos reservatórios de água tratada; a estruturação da rede primária e sub-adutoras; a indisponibilidade de um cadastro técnico confiável; a inexistência de uma setorização eficiente do sistema; e o elevado nível de perdas na rede de distribuição.

Diante deste panorama, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Guarulhos vem adotando diversas técnicas inovadoras a fim de obter a otimização de seu sistema de abastecimento de água, dentre elas, se destaca a modelagem hidráulica do sistema que serve de suporte para tomada de decisão e proposição de novas estruturas nos setores de abastecimento como por exemplo, Válvulas Redutoras de Pressão (VRP's), Booster's, novas redes de distribuição, adutoras e reservatórios.

Modelos matemáticos hidráulicos baseiam-se no princípio de linearização da perda de carga e no equacionamento do sistema de forma matricial, a fim de distribuir os fluxos ao longo nos trechos e nós (Righetto, 2001). A otimização se dá através do estudo do modelo calibrado, o que envolve incorporar no modelo as características físicas da rede, como diâmetros, coeficientes de rugosidade, consumos e a elevação dos nós e dispositivos.

A construção de um modelo matemático apresenta diversos desafios, pois depende da existência de um cadastro digital fidedigno do sistema existente. Um dos grandes desafios encontrados pelas companhias de saneamento em desenvolver um cadastro digital eficiente, se deve em partes à existência de redes antigas que foram cadastradas somente em meio físico, e em partes pela existência de intervenções realizadas pelas equipes operacionais que não são reportadas às equipes de cadastro, o que representa um grande desafio para a otimização de sistemas de abastecimento de água.

Construído o modelo matemático, é necessária a calibração do modelo, ou seja, devem ser realizadas verificações no modelo numérico para garantir que o mesmo reflita com certa precisão a situação real do sistema, para tanto é necessário comparar os dados apresentados no modelo com os obtidos em campo.

Segundo Righetto (2001), a escolha dos pontos onde serão comparadas as pressões e vazões obtidas no modelo matemático com aquelas verificadas em campo, é determinante para uma eficiente calibração do modelo matemático. Sendo necessário priorizar pontos críticos para o abastecimento, ou seja, os nós mais periféricos.

Feita a calibração inicia-se a etapa de otimização do sistema, que envolve o estudo de diversos cenários alternativos e escolha do mais adequado com base em critérios técnicos e econômicos.

Com o passar do tempo, há a deterioração dos ramais e redes, o que pode levar a rompimentos nas tubulações, resultando em micro vazamentos que muitas vezes acabam sendo absorvidos pelo solo, ou escoados pelo sistema de drenagem e de esgotos, tornando difícil sua identificação. É sabido que pressões elevadas resultam em maiores volumes perdidos em vazamentos, desta forma, como medida auxiliar, muitas companhias vem adotando a redução da pressão de fornecimento nas redes de distribuição (Morais et al., 2010).

O SAAE de Guarulhos pretende através da modelagem hidráulica de seus setores de abastecimento, subsidiar a implantação de VRP's em pontos estratégicos a fim de reduzir o consumo e as perdas do sistema, e consequentemente a demanda por água em seus setores de abastecimento, garantindo um sistema com maior segurança no fornecimento.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é, através da análise do estudo de caso, o setor de abastecimento Bonsucesso, auxiliar na compreensão dos principais desafios envolvidos na otimização de sistemas de abastecimento de água e na montagem de modelos hidráulicos que reproduzam sistemas existentes. Além disso, apresentar quais são os principais benefícios da utilização do modelo na proposição de intervenções e os retornos obtidos com as mesmas.

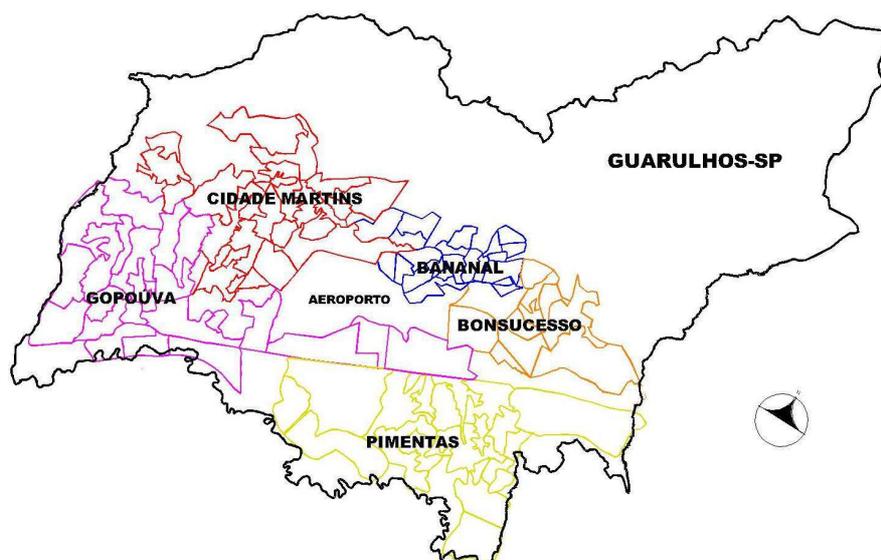
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO**

O município de Guarulhos situa-se no planalto atlântico, apresentando relevos convexos e suavizados na forma de colinas, ocupando uma área de 317Km<sup>2</sup> que se distribui por duas bacias hidrográficas, 84,6% na bacia do Alto Tietê e 16,4% na bacia do Paraíba do Sul (Graça et al., 2008). Segundo o Censo do IBGE de 2010 (2012), o Município de Guarulhos, situado no Estado de São Paulo, conta com uma população de 1.221.979 habitantes. Localizado na porção norte da Região Metropolitana de São Paulo, o município é o segundo mais populoso do Estado de São Paulo.

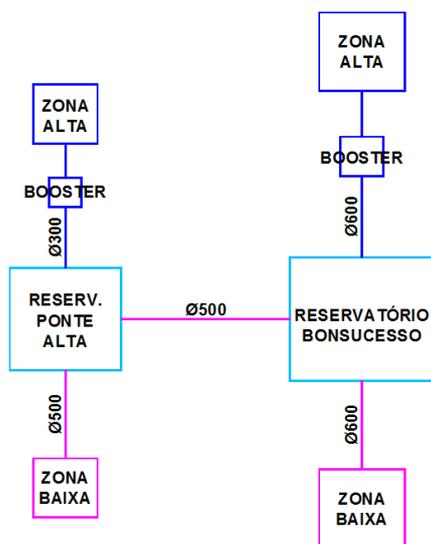
Segundo Graça et al. (2008), um dos grandes impulsionadores do crescimento e desenvolvimento da Cidade é o Aeroporto de Cumbica, localizado na porção central urbana do município. A consolidação da zona urbana se deu com a implantação das rodovias Presidente Dutra (BR 116) e Fernão Dias (BR 381) na segunda metade do século XX.

A abastecimento do município se dá através de 5 setores: Gopoúva, Cidade Martins, Pimentas/Cumbica, Bananal/Lavras e Bonsucesso, conforme mostrado na Ilustração 2 (SAAE, 2012). Os setores foram objeto de estudo na construção de modelos matemáticos que resultaram na proposição de VRP's por todo o sistema de abastecimento. Neste artigo, será detalhada a construção do modelo matemático do setor de abastecimento Bonsucesso, cujo modelo faz parte de uma série de medidas adotadas no setor a fim de reduzir a dependência da água aduzida da SABESP.



**Ilustração 2 - Setores de Abastecimento do Município de Guarulhos. Fonte: Elaborado pelos autores.**

O setor Bonsucesso apresenta um reservatório que atende por gravidade a zona baixa através de uma adutora de 600mm e por meio de um booster a zona alta através de uma adutora de 600mm. Além disso atende um segundo reservatório que por sua vez atende a subárea denominada Ponte Alta através de uma adutora de 500mm que atende sua zona baixa e de outra de 300mm, que através de um booster atende sua zona alta. Tal esquema de atendimento é apresentado na Ilustração 3 a seguir.



**Ilustração 3 - Esquema de atendimento - Setor Bonsucesso. Fonte: Elaborado pelos autores.**

### MODELAGEM HIDRÁULICA

O modelo hidráulico do setor, foi construído no software Epanet, software amplamente utilizado no mercado para estudos relativos a sistemas de abastecimento de água, servindo de subsídio à tomada de decisão para implantação de VRP's, novas redes e adutoras no setor.

Para montagem do modelo são necessárias as seguintes etapas: 1) Primeiramente é necessário o levantamento do cadastro dos elementos existentes no setor de abastecimento, como redes, adutoras, reservatórios, VRP's, Booster's e registros, além da consulta aos profissionais que atuam no setor a fim de obter as informações que potencialmente não estão contidas no cadastro; 2) De posse do cadastro prossegue-se

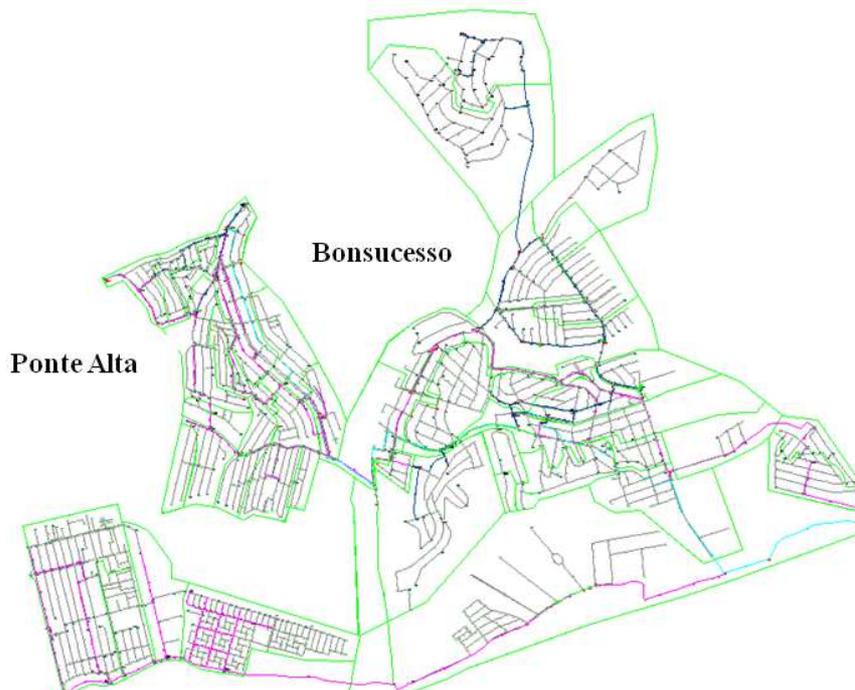
com o lançamento das informações coletadas no software, tal procedimento demanda muito tempo, pois requer que o modelador lance precisamente todas as informações obtidas no modelo; 3) Com o modelo montado, é possível realizar a primeira simulação e verificação da coerência do modelo junto aos operadores do sistema; 4) Aferição das vazões e das pressões através da verificação de pontos críticos em campo; 5) Após a verificação, prosseguir com as possíveis correções das inconsistências encontradas no modelo; 6) Estando o modelo calibrado, ou seja, o cenário existente aferido, prossegue-se com a montagem dos cenários futuros propostos; 7) Por fim junto aos operadores do sistema, verifica-se a melhor alternativa futura para o setor de abastecimento. A avaliação das 7 etapas do processo de construção do Modelo e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

## RESULTADOS

Etapa 1: A primeira etapa de trabalho, referente ao levantamento das informações cadastrais, demandou a capacitação do cadastro técnico junto ao setor técnico de cadastros do SAAE e diversas reuniões junto à equipe de operação a fim de elucidar os pontos falhos do cadastro.

Etapa 2: De posse das informações obtidas, processou-se a construção do modelo. Neste estágio o principal desafio encontrado foi o processamento do modelo, pois envolveu a criação de 1618 nós e 2360 trechos.

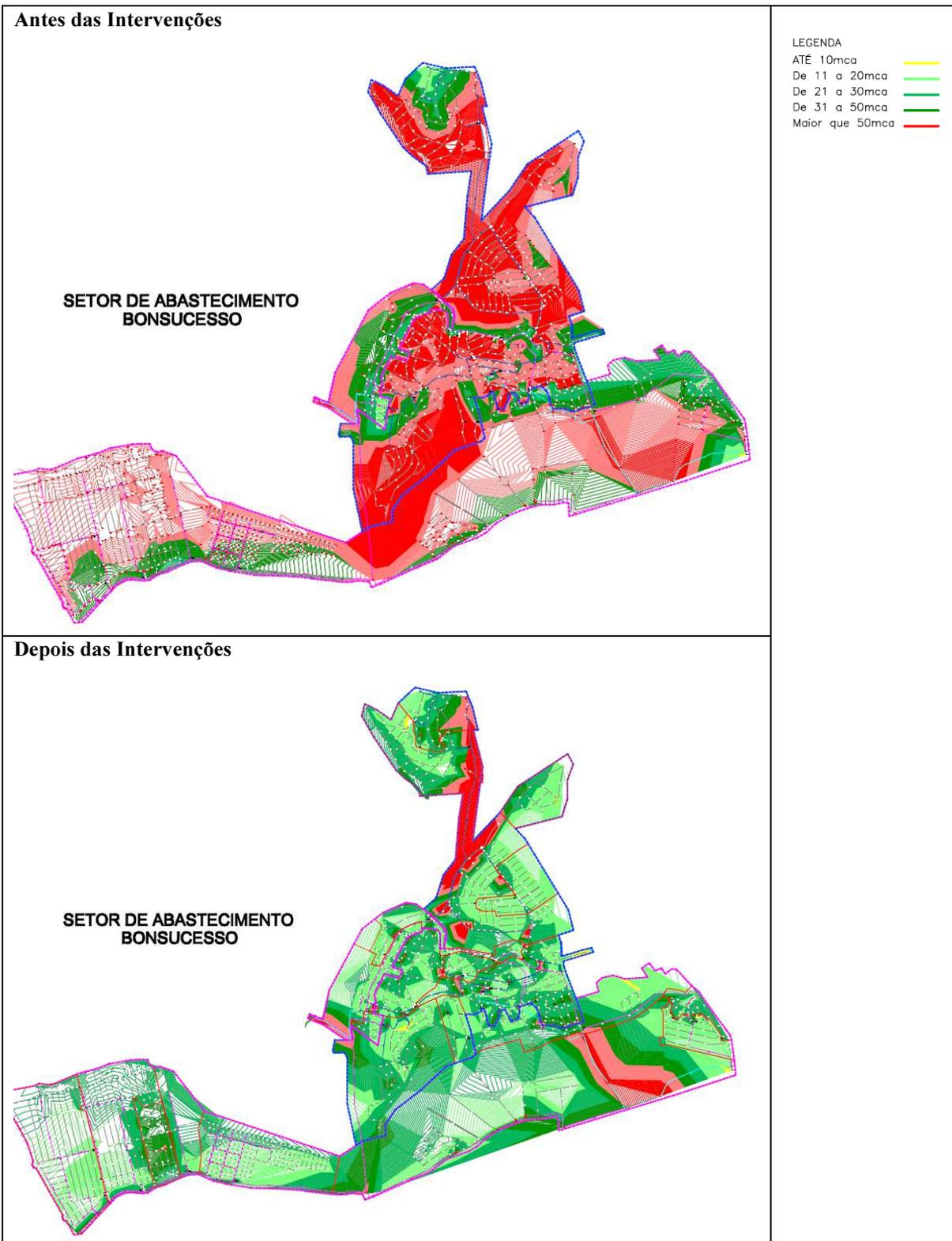
Etapa 3: Após reunião com a equipe de operação do sistema foi possível obter o modelo físico do sistema finalizado. A ilustração 4 a seguir mostra o modelo construído, onde é possível observar os setores de abastecimento e as Redes de distribuição - abaixo de 150mm em cinza e acima em azul (ZA) e Magenta (ZB).



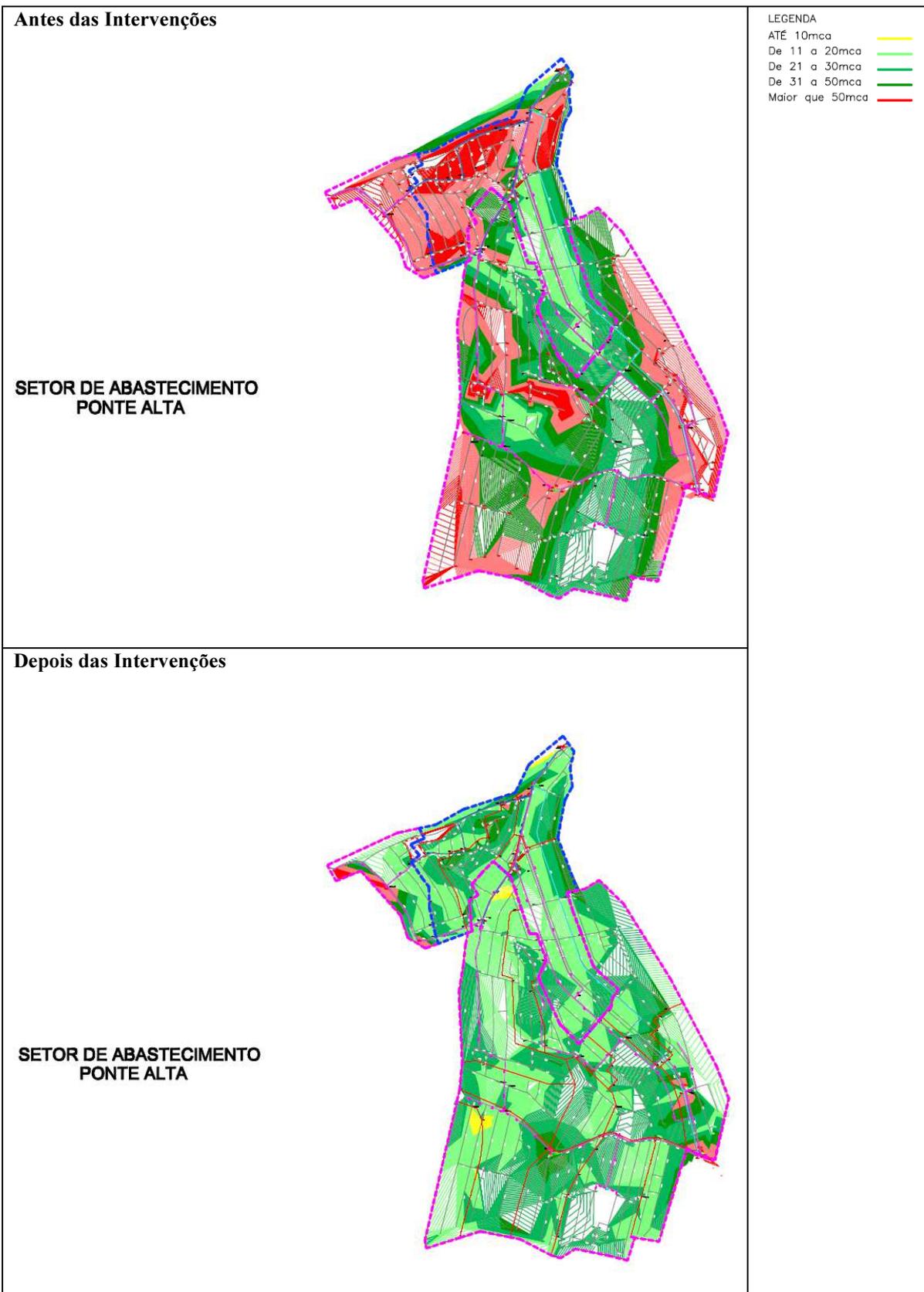
**Ilustração 4 - Subsetores de Abastecimento do setor Bonsucesso e suas redes de distribuição e adutoras. Fonte: Elaborado pelos autores.**

Etapa 4: Realizada a verificação se as pressões e vazões apresentadas pelo modelo eram adequadas às observadas em campo e realizados os devidos ajustes, Etapa 5, foi realizada a montagem dos cenários futuros, Etapa 6.

Etapa 7: A análise realizada pela equipe de operação do sistema resultou na seleção do cenário com a proposição de 47 VRP's, que resultou na redução significativa das pressões do setor de abastecimento, conforme mostrado nas Ilustrações 5 e 6, a seguir.



**Ilustração 5 - Setor Bonsucesso e suas pressões antes e depois das intervenções. Fonte: Elaborado pelos autores.**



**Ilustração 6 - Ponte Alta - Subsetor do setor Bonsucesso - e suas pressões antes e depois das intervenções. Fonte: Elaborado pelos autores.**

## CONCLUSÕES

O estudo da montagem do modelo hidráulico revelou que são dois os pontos críticos para a construção de modelos matemáticos que representem sistemas de abastecimento de água. O primeiro deles é a existência de um cadastro técnico do sistema existente de boa qualidade, pois a sua existência propicia a montagem de um modelo mais fidedigno. O segundo é a verificação das pressões e vazões apresentadas pelo modelo com aquelas aferidas em campo. O estudo demonstrou ainda, o quanto efetiva é a adoção de VRP's em pontos estratégicos para redução das pressões em setores de abastecimento, uma vez que o modelo apresentou pressões significativamente menores posteriormente à proposição de VRP's, o que foi posteriormente aferido em campo com a implantação dos equipamentos.

Conclui-se portanto, que para que a Modelagem matemática é uma ferramenta eficiente no estudo de sistemas de abastecimento de água, no entanto para que sua eficiência seja plena, é necessário que haja uma melhor estruturação dos sistemas de cadastro do sistema existente pelas concessionárias.

## RECOMENDAÇÕES

Com a crescente demanda pelo recurso água, é notória a importância de estudos relativos à otimização de sistemas de abastecimento de água, desta forma, recomenda-se para estudos futuros que sejam elaboradas estratégias para otimização do sistema de cadastro de redes existentes, a fim de auxiliar as concessionárias na realização da interface entre os agentes de campo e os de escritório.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ANA/DAEE - Agência Nacional de Águas e Departamento de Águas e Energia Elétrica – Dados de Referência da Outorga do Sistema Cantareira, Agosto de 2013.
2. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo demográfico 2010, 2012.
3. GRAÇA, B. A., SAAD, A. R., ANDRADE, M. R. M. D., OLIVEIRA, A. M. D. S., ETCHEBEHERE, M. L. D. C., & QUEIROZ, W. D. - Condicionantes Geoambientais no Processo Histórico da Ocupação Territorial do Município de Guarulhos, estado de São Paulo, Brasil. Revista Geociências-UnG, v. 6, n. 1, p. 163-190, 2008.
4. MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. de. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. Pesquisa Operacional, v. 30, n. 1, p. 15-32, 2010.
5. Prefeitura de Guarulhos - Plano Diretor de Drenagem Diretrizes, Orientações e Propostas Guarulhos, SP – Dezembro/2008 - Disponível em: < [http://servicos.guarulhos.sp.gov.br/destaques/coord\\_assunt\\_aerop/plano\\_diretor\\_drenagem.pdf](http://servicos.guarulhos.sp.gov.br/destaques/coord_assunt_aerop/plano_diretor_drenagem.pdf)>.
6. RIGHETTO, A. M. Calibração de modelo hidráulico de rede de distribuição de água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 3, p. 33-44, 2001.
7. SAAE - Atualização e Adequação do Plano Municipal de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Município de Guarulhos (PMAE) – Outubro/2012 - Disponível em: <<http://www.saaeguarulhos.sp.gov.br:8081/Download/PMAE%20-%20S%C3%8DNTSESE%20PUBLICA%C3%87%C3%83O%20-%20FINAL%20-%20WORD%2097-2003.pdf>>.
8. SILVA, R. T.; PORTO, M. F. D. A. - Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. Estudos Avançados, v. 17, n. 47, p. 129-145, 2003.