

I-260 - MODELAGEM HIDRÁULICA EM SITUAÇÃO DE CRISE

Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Mackenzie. Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica, da USP. Especialização em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública/USP. Especialização em Gestão Pública pela FEESP e MBA em Gestão Empresarial pela FIA/USP. Gerente da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

Kamel Zahed Filho

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica, da USP. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP e Engenheiro da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

Renato de Sousa Ávila

Tecnólogo pela FATEC. Especialização em Gestão Pública pelo Instituto Nacional de Pós Graduação. Tecnólogo da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

Marcelo Frugoli

Engenheiro Mecânico pela Universidade Brás Cubas. Especialização em Gestão Pública pelo Instituto Nacional de Pós Graduação. Engenheiro da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

André Luiz de Freitas

Engenheiro Mecânico pela Universidade Brás Cubas. Especialização em Gestão Pública pelo Instituto Nacional de Pós Graduação. Engenheiro da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção, da SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05429-010 - Brasil - Tel: (11) 3388-8735 - e-mail: vmborges@sabesp.com.br

RESUMO

Cenário de uma densa população, da ordem de 21 milhões de habitantes, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre 2013 e 2015 passou por uma crise de escassez hídrica sem precedentes na sua história. A RMSP conta com um complexo sistema integrado metropolitano para o abastecimento de água. Este trabalho apresenta a inovação no uso de modelagem hidráulica para o enfrentamento de crise hídrica. A experiência de engenheiros em estudos para soluções com base em modelos de simulação hidráulica foi fundamental para a montagem e calibração de um modelo de todo o sistema adutor da região metropolitana. A complexidade de se montar um modelo único e completo do sistema adutor contou com a cooperação entre a equipe. São apresentados os desafios e alguns exemplos de soluções encontradas para o estabelecimento de uma situação menos agravada de abastecimento para a RMSP. Este trabalho deixa a experiência vivida na administração de crise hídrica com propostas de soluções rápidas e com flexibilidade de abastecimento com mais de uma fonte. Espera-se que este trabalho deixe como um legado a estratégia de flexibilidade na infraestrutura no setor de saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Hidráulica, Escassez Hídrica, Abastecimento de Água, Modelo simulador, Sistema Complexo de Abastecimento.

INTRODUÇÃO

As diferenças entre as diversas regiões do Brasil são significativas. Embora o Brasil seja sempre lembrado como um país que tem disponibilidade hídrica abundante, a disponibilidade per capita nas diferentes regiões brasileiras é drasticamente diferente. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) se concentra 20% do produto interno bruto do país e possui uma população de mais de 21 milhões de habitantes. A RMSP é densa e a disponibilidade hídrica é considerada muito pobre pela Organização das Nações Unidas (UNEP, 2008), com menos de 200m³/hab.ano.

A RMSP possui diversos mananciais ou reservatórios de regularização para dar segurança hídrica e garantia de abastecimento na época de estiagem. O período chuvoso ocorre nos meses de outubro a março, onde se espera

que os reservatórios de regularização acumulem água para suprir os períodos de déficits. A região Sudeste do Brasil passou por uma condição de seca extrema entre outubro de 2013 e fevereiro de 2015, quando houve uma ausência de chuvas e altas temperaturas. Uma das regiões mais afetadas pela ausência de chuvas foi a Região Metropolitana de São Paulo e o sistema produtor Cantareira o mais afetado com chuvas muito inferiores à mínima histórica. A vazão de afluência dos reservatórios de regularização foi da ordem de metade da mínima esperada para o mês de janeiro que era próxima de 30m³/s, mínima histórica de 1954.

Cerca de 9 milhões de habitantes, ao final de 2013, eram dependentes do sistema Cantareira e a percepção da possibilidade da instalação de uma crise hídrica exigiu senso de urgência, flexibilidade e adaptação rápida na proposição de soluções para administrar os impactos sociais, econômicos, políticos, de saúde pública, segurança pública e ambientais da melhor forma possível.

Todos os mananciais da RMSP são interligados através do Sistema Integrado Metropolitano (SIM). O presente trabalho contém estudos realizados de alternativas de abastecimento no maior e mais complexo sistema de abastecimento que se tem conhecimento do mundo, com a restrição hídrica jamais vista na história da região. A Figura 1 apresenta os municípios da RMSP que são abastecidos pelo Sistema Integrado Metropolitano.

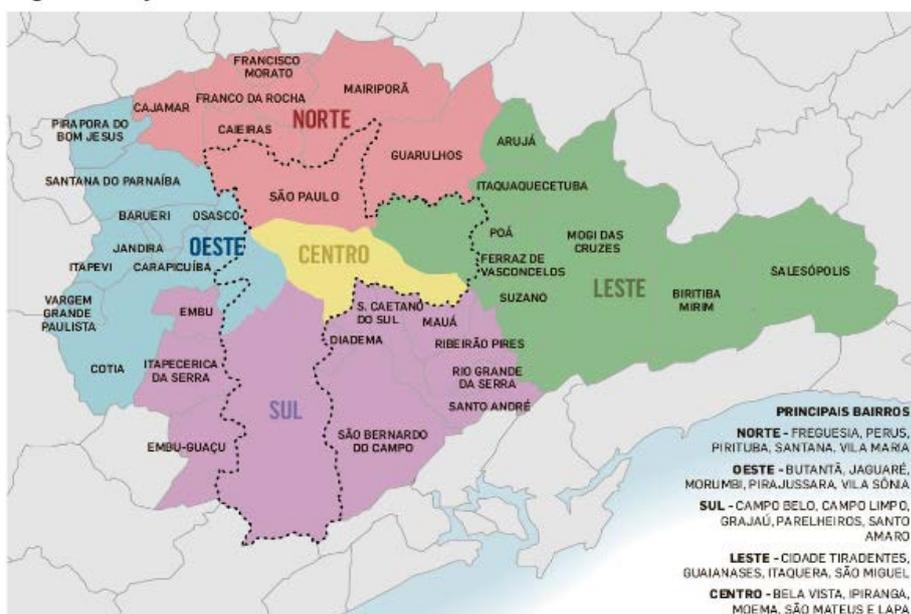


Figura 1 – Mapa do abastecimento da RMSP através do SIM (Fonte: Ilustração elaborada pelo jornal O ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

Uma das primeiras análises foi a hipótese de um rodízio de abastecimento. A prática de rodízio tinha sido utilizada em décadas passadas onde havia infraestrutura inadequada. A metodologia baseava-se blocos de abastecimento que intercalavam cortes de água. As intermitências exigem demais das redes de abastecimento, reduzindo sensivelmente sua vida útil, além de que a falta de pressão nas redes permitem que infiltrações do subsolo avancem sobre a tubulação. Considerando a metodologia utilizada no passado a hipótese de rodízio numa das fases críticas do volume reservado, chegou a possibilidade de abastecimento com 2 dias de água e 5 dias sem água na semana. Entretanto, mesmo nesta opção de rodízio, apesar de penalizar demais a população logo se mostrou insuficiente com o progressivo esvaziamento dos mananciais do sistema Cantareira.

Para reduzir os riscos de caos público com o desabastecimento de 9 milhões de habitantes aplicou-se a técnica de modelagem hidráulica no sistema de abastecimento de água metropolitana de São Paulo (SAM), procurando soluções que aumentassem a flexibilidade entre sistemas produtores de forma que, os mananciais mais cheios pudessem abastecer parte da região que, até então era abastecida pelo Sistema Cantareira.

METODOLOGIA

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) passou por uma crise hídrica entre 2013 e 2015. Este estudo traz a experiência em modelagem hidráulica utilizada nesse período para ajudar no enfrentamento da crise. (SABESP, 2015).

O desafio foi abastecer a população da RMSP, de mais de 20 milhões de habitantes, num dos maiores e mais complexos sistemas de abastecimento do mundo, com a restrição hídrica jamais vista na história da região.

Os modelos matemáticos de simulação hidráulica são ferramentais de apoio ao planejamento, ao projeto e à operação de sistemas de redes de água. Esses modelos são constituídos por equações que representam o balanço de vazões e de energia em uma rede de água. Na RMSP, a SABESP utiliza esses modelos há mais de 35 anos, em estudos de suas estruturas nos seus Planos Diretores de Abastecimento de Água e nas intervenções operacionais necessárias que, ao longo dos anos, confirmam ou corrigem os rumos frente às projeções.

Nos estudos operacionais da rede do SAM, da RMSP utilizam-se o modelo de parte da rede de adução, para facilitar as análises, uma vez que não há interferência hidráulica de uma modificação localizada alguma estrutura ou de uma regra de operação de uma estrutura sobre todo o SAM.

No caso específico da análise estratégica de transferência de áreas que eram servidas pelo Sistema Cantareira por algum outro sistema produtor, foi indispensável que se construísse um modelo geral, que contivesse toda a rede de adução do SAM.

O modelo hidráulico precisou ser montado de forma rápida, sem perder a representação da realidade, com precisão e confiabilidade nos resultados para a pronta execução das obras emergenciais.

Montar um modelo hidráulico de forma rápida, mas que representasse a realidade com precisão e confiabilidade nos resultados para a pronta execução de obras emergenciais, causando o menor impacto à população, foi um grande desafio vencido pela área de engenharia.

Montou-se um modelo hidráulico de operação, ou seja, que representasse a realidade com precisão e confiabilidade, calibrado e validado, de todo o sistema adutor metropolitano, mas simplificado para facilitar as análises em tempo exíguo. O carregamento de dados com vazões reduzidas, baseados na efetividade da reação da população a economia de água e reduções de pressão foram realizados em diversos cenários (WALSKI et al., 2001).

Os dados cadastrais e operacionais estão em sistemas especializados e facilitaram a obtenção de dados para a calibração em regime permanente (HAESTAD METHODS, 2003).

Outra ação como o oferecimento de bônus para incentivar a redução voluntária do consumo pela população trouxe como resultado um novo cenário das cargas piezométricas do SAM (SABESP, 2015).

As reduções do consumo pela população permitiram uma maior interseção entre as áreas de abrangência dos sistemas produtores.

As simulações chegaram a atingir diversos cenários para avaliação da melhor solução. Considerando a RMSP, as contratações de obras e equipamentos são realizadas através de lei específica.

Assim, as intervenções deveriam ser, preferencialmente, nas instalações já existentes, evitando autorizações e licenças e, com equipamentos disponíveis em reservas estratégicas da companhia para garantir agilidade na aquisição e execução das obras. Grande parte das obras acabou sendo realizadas com mão de obra própria para atender a urgência que o problema requeria.

As soluções de projeto foram discutidas em reuniões e compartilhadas com diversas equipes de engenharia quanto à viabilidade de execução. As equipes de manutenção e de campo levantavam as dificuldades de execução dos diversos tipos, como tempo de execução, trânsito, árvores, manutenções de vias públicas e a equipe de modeladores criava novos cenários de simulação até uma solução viável.

Mesmo durante a execução, houve diversas reuniões entre as várias áreas envolvidas e equipes de campo como de engenharia, manutenção e metrologia que ajudavam trazendo novos dados.

RESULTADOS OBTIDOS

Abastecer a população da RMSP, durante a crise de seca extrema durante 2014/2015, com a máxima urgência e o menor desconforto à população através do avanço de outros sistemas produtores sobre a área de abrangência do sistema produtor Cantareira era o desafio. Foram necessárias diversas simulações hidráulicas, em curtíssimo tempo, para identificar potenciais avanços de abrangência de abastecimento de outro sistema produtor sobre o sistema Cantareira.

A RMSP tem um sistema viário complexo e de tráfego intenso chegando a ter restrições de circulação de 20% da frota de veículos durante os dias da semana. Assim, obras de grande porte para o Sistema Integrado Metropolitano necessitam de autorizações e planejamento compartilhado com diversos órgãos públicos para minimizar os impactos à população. A solução de projeto tinha, por consequência, soluções de obras de curto prazo e com a menor interferência nos espaços públicos contribuindo com a redução na retirada de água dos mananciais do sistema Cantareira.

O modelo simulador hidráulico pode ser utilizado na rede de adução para facilitar as análises de soluções de interferências ou de uma modificação localizada ou uma regra de operação de uma estrutura sobre todo o SAM.

A Figura 2 apresenta a entrada de dados dos reservatórios no modelo hidráulico do SAM no software Watercad/Wateregms.

FlexTable: Tank Table (Current Time: 0,000 hours) (Modelo SAM.wtg)

	Elevation (Base) (m)	Elevation (Minimum) (m)	Elevation (Initial) (m)	Elevation (Maximum) (m)	Flow (Out net) (L/s)
10736: Res. Butantã	799,47	800,32	800,32	807,47	-582
10737: Res. Vila Sonia	799,48	800,18	807,00	808,21	-242
10739: Res. Metálico Taboão da Serra Jd. Record-CAM02	842,10	842,20	845,10	851,20	-1.148
10740: Res. Embu Vista Alegre	853,84	853,94	858,37	858,50	-58
10741: Res. Granja Viana	842,30	842,40	848,30	849,00	-201
10742: Res. Embu Centro	854,00	854,10	856,91	858,00	-161
10743: Res. Cotia Centro	846,00	849,00	854,79	855,00	-191
10744: Res. Embu Santo Eduardo 02	851,00	851,10	857,44	857,50	-376
10745: Poço de Sucção da ETA Baixo Cotia	719,35	719,50	722,20	722,30	(N/A)
10746: Res. Jd. Tupã Barueri	802,00	802,25	808,18	808,60	-310
10747: Res. Barueri	780,50	781,10	787,58	789,19	-201
10748: Res. Jandira	786,00	787,30	791,51	792,30	-346
10749: Res. Itapevi cam2	789,94	790,19	795,29	796,00	-442
10750: Res. Morumbi Entrada	833,95	835,95	837,46	839,93	-1.242
10751: Res. Pirajussara	795,00	795,72	800,64	801,00	-211
10752: Res. Santana	799,39	800,09	803,20	803,38	-299
10753: Res. Vila Medeiros	808,75	809,75	813,27	813,62	-405
10754: Res. Vila Maria	770,32	770,52	774,51	775,00	-367
10755: Res. Mooca	791,78	791,78	792,50	796,00	-1.385
10757: Res. Ipiranga 51	790,17	791,17	795,00	795,13	-424
10758: Res. Oswaldo Cruz	795,82	796,82	798,16	799,55	-271
10759: Res. Vila Gerty	795,82	797,82	799,83	801,31	-178
10760: Res. Santa Maria	794,90	795,00	798,80	798,90	-135
10761: Res. Jardim São Luiz	809,00	810,50	812,80	815,50	-2.312
10763: Res. Jardim Angela	830,00	830,10	835,84	836,00	-937
10765: Res. Interlagos	780,00	782,50	783,00	786,50	-824
10766: Res. Grajaú-R2	805,00	805,10	811,40	811,50	-1.704
10770: Cotia-Jardim Atalaia	932,20	933,10	936,50	944,90	-175
10771: Santo Antônio	835,00	835,00	836,00	838,00	-40
10772: Itapecirica Campestre + Centro	820,35	820,50	828,46	829,00	-277
10773: São Pedro	805,00	805,00	807,00	808,00	-20
10774: Jacira	816,00	816,00	817,00	822,00	-40
10775: Embu Guaçu	791,00	791,00	791,60	793,50	-77

163 of 163 elements displayed

Figura 2 – Tabela de entrada de dados dos reservatórios no modelo hidráulico Watercad.

A equipe de engenharia da Sabesp possuía diversos modelos hidráulicos que abrangiam partes do SAM. Durante a crise hídrica a necessidade era de estudar diversos cenários de transposições entre sistemas produtores através da malha do SAM.

Para isto foram agregados os diversos modelos em um modelo hidráulico único. Com isto foi possível analisar simultaneamente mais de 80 propostas de soluções estruturais ou operacionais para escolher aquelas que se mostraram mais eficazes.

Dada a urgência na busca de soluções exigida para minimizar os efeitos da crise hídrica as premissas que balizaram as soluções foram:

- Propor obras ou intervenções que fossem de baixo custo;
- Utilizar equipamentos disponíveis na empresa para evitar tempos de fabricação e licitação;
- Implantar obras que não exigissem licenciamentos ou autorizações ou remoções que dependessem de órgãos externos;
- Garantir a segurança operacional e;
- Implantar obras de pudessem serem executadas em curtíssimo prazo.

Como resultados da simulação hidráulica, com a condição de redução de consumos, surgiram soluções de novos aportes de água associados às obras no sistema adutor do SIM, tais como:

- Recuperação da Linha 1 do França Pinto – A adutora que liga a ETA Rodolfo José Costa e Silva (RJCS) a Estação Elevatória França Pinto recuperada possibilitou a transferência de água da região sul para a região hospitalar da Avenida Paulista, antes abastecida pelo Sistema Cantareira. Esta recuperação se deu em partes degradadas da adutora de aço com a inserção de PEAD (FOLHA DE SÃO PAULO, 2015).
- Ampliação do Booster Vila Sônia – A estação de bombeamento foi ampliada juntamente com as interligações no recalque e sucção do permitindo que as três bombas instaladas no mesmo local físico levasse água da região sul, do Guarapiranga chegasse à região oeste até Osasco.
- Alterações nas Estruturas de Controle Vila Ema e Vila Guarani que possibilitaram a transferência dos sistemas Alto Tietê e Rio Claro sobre a área anteriormente abastecida pelo Cantareira.
- Reversões do Booster Cidade Líder e Cangaíba que possibilitaram o avanço do sistema Alto Tietê sobre o sistema Cantareira.
- Ampliação da ETA Rio Grande, levando água do braço do Rio Grande, da Billings à região sul de Americanópolis e Santo André. O avanço do Rio Grande sobre Americanópolis possibilitou o recuo do sistema Guarapiranga em direção a leste e consequentemente, aumentou o avanço em direção aos setores anteriormente abastecidos pelo Cantareira. O avanço do Rio Grande sobre Santo André trouxe o desdobramento de reduzir o Sistema Rio Claro sobre Santo André e possibilitou que o sistema Rio Claro avançasse em direção ao Sistema Cantareira.
- Ampliação da ETA RJCS associada a obras como a recuperação da adutora ETA RJCS - França Pinto e a ampliação do Booster Vila Sônia que possibilitaram o transporte de maior vazão de água tratada.

A Figura 3 apresenta o esquema hidráulico do SAM com destaque, em vermelho, para a região da Avenida Paulista onde, antes da crise hídrica, era abastecida pelo Sistema Cantareira por gravidade e, passou a ter flexibilidade de abastecimento, sendo abastecido pelo Sistema Guarapiranga com um incremento de vazão com a recuperação da adutora linha 1 e ampliação de bombeamento na Estação Elevatória da Água Tratada França Pinto.

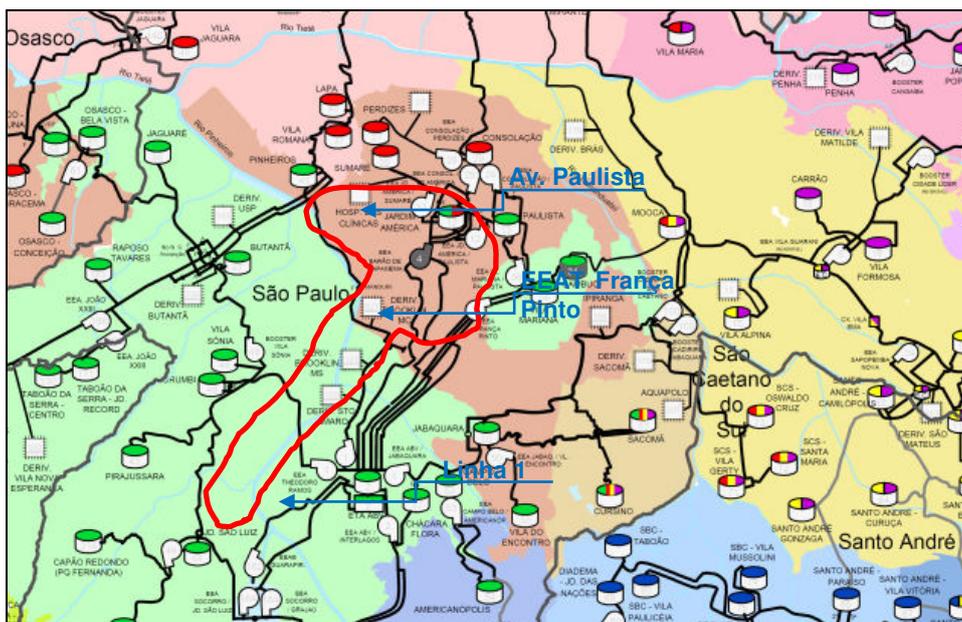


Figura 3 – Esquema hidráulico do SAM com destaque a região da Avenida Paulista.

ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A RMSP passou por uma crise hídrica em 2014 e 2015. As ações de reduções de demanda permitiram soluções de engenharia para maior interseção entre as áreas de abrangência dos sistemas produtores. Estudos que identificaram potenciais avanços com soluções de obras de curto prazo foram realizados através de modelagem hidráulica do sistema adutor metropolitano.

Com o objetivo de reduzir o impacto à população e o risco operacional, a operadora de abastecimento de água da RMSP estruturou um plano para redução das vazões retiradas do sistema Cantareira, cuja estratégia de atuação foi baseada nos pontos centrais tais como: campanhas publicitárias para o uso consciente da água; incentivo à redução do consumo de água dos clientes através de implantação de um Programa de Bônus; transferência de água tratada de outros sistemas produtores para a área atendida pelo Sistema Cantareira; intensificação do programa de combate às Perdas, com redução do tempo de conserto de vazamentos, ampliação das setorizações, ampliação do percentual de rede coberto por válvulas redutoras de pressão e redução das pressões nas redes, diminuindo vazamentos. As ações de reduções de demanda permitiram soluções de engenharia para maior interseção entre as áreas de abrangência dos sistemas produtores. Estudos que identificaram potenciais avanços com soluções de obras de curto prazo foram realizados através de modelagem hidráulica do sistema adutor do SIM (SABESP, 2015).

A montagem do modelo hidráulico e o carregamento de dados operacionais associados ao GIS e SCADA/PIMS reduzem o tempo gasto com o levantamento de dados em plantas cadastrais e campanhas de medições em campo.

A calibração do modelo hidráulico permitiu uma grande confiabilidade nos resultados obtidos minimizando o custo de implantação. A aderência do modelo à realidade era necessária para explorar ao máximo as potencialidades, oferecendo um retorno imediato à população. Para otimizar a fase de calibração deste projeto, inicialmente foram juntadas cerca de seis partes do sistema adutor previamente calibrados.

A urgência da crise exigiu da equipe de modelagem soluções de implantação de curto prazo. Por consequência, a estratégia teve tempo de implantação reduzido e, como consequência a manutenção no fornecimento de água.

O resultado da modelagem hidráulica foi de se transferir mais água em adutoras com pequenas intervenções, como o caso da recuperação de para aumentar a vazão da Estação de Bombeamento do França Pinto, levando água do sistema Guarapiranga para a região da Avenida Paulista (centro econômico e hospitalar de São Paulo) até então abastecida em grande parte pelo Cantareira. De forma semelhante, a ampliação do Booster Vila Sônia possibilitou identificar no modelo hidráulico que poderia se veicular mais água do sistema Guarapiranga para a região oeste. Assim, foi possível avaliar que havia potencial de se ampliar as Estações de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista (Sistema Guarapiranga) e Rio Grande, respectivamente em 2,0 m³/s e 0,5 m³/s.

Estes novos aportes de água associados às obras no SAM, como as citadas e ainda, alteração nas Estruturas de Controle Vila Ema e Vila Guarani, reversão do Booster Cidade Líder e Cangaíba entre outras permitiram uma maior interseção entre os sistemas. Estas interseções possibilitaram o avanço de outros sistemas produtores sobre a área antes abastecida pelo sistema Cantareira, reduzindo a retirada de água dos mananciais deficitários.

A Figura 4 apresenta o esquema hidráulico de abastecimento da RMSP com destaque na região leste onde estão localizados os Boosters Cangaíba e Cidade Líder e as Estruturas de Controle Vila Ema e Vila Guarani que tiveram intervenções que possibilitaram os avanços do Sistema Alto Tietê e Rio Claro sobre o Cantareira.

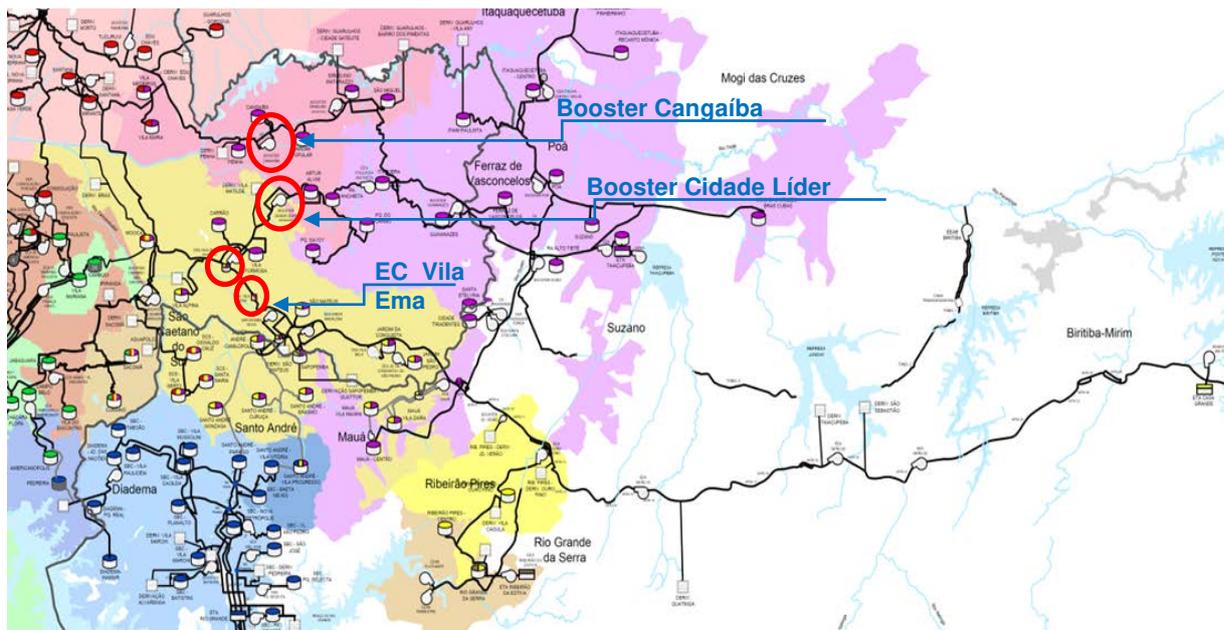


Figura 4 – Esquema hidráulico do SAM com destaque a região leste.

A análise dos cálculos no software, com as ferramentas de cores e gráficos, associado à experiência dos engenheiros, trouxe soluções eficientes que, juntos com as demais ações usadas para administrar a crise hídrica, reduziu significativamente a retirada do sistema Cantareira dos antes 33m³/s (2013) para 13,5m³/s (2015).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este projeto serve de exemplo mundial na superação de uma escassez hídrica muito diferente da série histórica.

O fato de não ter sido feito um rodízio impacta positivamente a sociedade como um todo. Serviços essenciais como hospitais não foram impactados. Estabelecimentos comerciais como bares, restaurantes e, inclusive, lavanderias puderam manter suas atividades normalmente, sem afetar o seu lucro. Nem tampouco as pessoas deixaram de ter água para seu consumo e higiene pessoal ou de suas casas. As pessoas não deixaram de frequentar estabelecimentos comerciais ou usar serviços que dependessem de água. Empresas e escritórios puderam manter o funcionamento normal de seus banheiros, sem impactar na produtividade de seus funcionários. Fábricas que utilizam água em seus processos produtivos não fecharam.

O modelo hidráulico de todo o Sistema Integrado Metropolitano permitiu otimizar, através de diversos cenários, a melhor qualidade do atendimento à população na situação de crise hídrica extrema.

A calibração do modelo hidráulico permite uma grande confiabilidade nos resultados obtidos minimizando o custo de implantação. Entretanto, esta tarefa fica muito complexa e exige muito tempo quando o modelo em questão é de todo o sistema adutor da Região Metropolitana de São Paulo. A aderência do modelo à realidade era necessária para explorar ao máximo as potencialidades, oferecendo um retorno imediato à população.

A solução de flexibilidade entre os sistemas produtores de água possibilitou manter o abastecimento de água, contribuindo para o desenvolvimento regional e a ordem social evitando uma evacuação da população e manteve as boas condições de saúde pública e qualidade de vida à população da região metropolitana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORGES, V. M. N. A. *Modelagem hidráulica na crise hídrica da Região Metropolitana de São Paulo*. Revista SANEAS, Ano X, Ed. 60, p. 29-33. Dez-Fev/2017. São Paulo. 2017.
2. FOLHA DE SÃO PAULO. *Av. Paulista troca Cantareira pelo Guarapiranga; veja infográfico em 3D*. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/08/1672406-av-paulista-troca-cantareira-pelo-guarapiranga-veja-infografico-em-3d.shtml>>. Acessado em: 29 mai. 2017.
3. HAESTAD METHODS; ET AL. *Advanced water distribution modeling and management*. Haestad Press. Waterbury, CT. USA. First Edition, 2003.
4. O ESTADO DE SÃO PAULO. *Região Oeste de SP é novo 'gargalo' do abastecimento*. 2016. Disponível em: <<http://book.boxnet.com.br/Visualizar/?t=003BC83381784B42996B55CCC16FF0030100000D26DA9CBE7F9D9F5B9026B4DAEB7761FA91E56AC82A356545BBED0D66E48D62CC08C9B8E636B099950E8AA0B59F1CFE9C221DE7CE89D9EF660A31054C74B8BB2>>. Acessado em: 29 mai. 2017.
5. SABESP. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. *CHESS - Crise hídrica, estratégia e soluções da Sabesp: para a Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo. 2015.
6. SABESP. *Relatório de sustentabilidade. São Paulo, 2013*. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioamb/sabesp_rs_2013_portugues_impresao.pdf>. Acessado em: 07 set. 2016.
7. WALSKI, T. M.; CHASE, D. V.; SAVIC, D. A. *Water distribution modeling*. Haestad Press. Waterbury, CT, USA. First Edition, 2001.