

# DIAGNÓSTICO DA RESERVAÇÃO NO SISTEMA INTEGRADO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

**Kamel Zahed Filho<sup>(1)</sup>**

Engenheiro da Sabesp. Unidade de Negócio de Produção de água da Metropolitana. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção.

**Paulo Eduardo Pereira Molezin**

Engenheiro da Sabesp. Unidade de Negócio de Produção de água da Metropolitana. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção.

**Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges**

Gerente da Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção Unidade de Negócio de Produção de água da Metropolitana da Sabesp

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Nicolau Gagliardi, 313 – Pinheiros - São Paulo – São Paulo – CEP: 05429-010 – Brasil – Tel: +55 (11) 3388-8899 – Fax: 3388-8926 – email: [kamelzf@sabesp.com.br](mailto:kamelzf@sabesp.com.br).

**RESUMO** (fonte Arial, corpo 10, maiúscula, negrito, espaçamento simples).

O trabalho faz uma breve descrição do sistema integrado de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Apresenta alguns conceitos básicos de cálculo de volumes úteis de reservatórios de distribuição. Uma ferramenta desenvolvida no ambiente do aplicativo de controle do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) para o cálculo dos volumes úteis dos reservatórios é aplicada a 127 reservatórios. Através de indicadores, é feito um diagnóstico da reserva atual e das necessidades e prioridades de expansão.

**PALAVRAS-CHAVE:** diagnóstico de reservação, sistemas de abastecimento de água.

## **INTRODUÇÃO:**

Nos estudos de planejamento, sempre se faz oportuna a criação de indicadores que possam orientar a priorização de investimentos. O Sistema Integrado (SIM) da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é constituído, no processo de adução de água tratada, por cerca de 140 setores de abastecimento, que são atendidos por reservatórios de distribuição e outros por derivações diretas das adutoras que conduzem água tratada das Estações de Tratamento de Água (ETA) até os setores de distribuição.

A necessidade de investimentos na ampliação da reservação envolve cifras muito grandes, que exigem a sua priorização e definição de um cronograma de expansão compatível com as necessidades dos setores e com as capacidades de investimentos. Além disso, a definição de regras operacionais dos reservatórios de distribuição compatíveis com as capacidades de regularização de consumos desses reservatórios pode permitir economias sensíveis de energia, quando são aduzidos através de estações elevatórias ou “boosters”.

A análise das curvas de consumo em paralelo a de reservação permite dar suporte ao dimensionamento das adutoras de água tratada, das elevatórias de zona alta e ao estudo das regras operacionais, através da simulação do comportamento do nível de água nos reservatórios ao longo do dia, em função das vazões de adução e das vazões de consumos. A análise dos consumos mínimos horários também é um indicativo dos consumos noturnos e das possíveis perdas na rede de distribuição de um setor.

Este trabalho apresenta uma análise dos indicadores de reservação e consumo dos setores do Sistema Adutor Metropolitano (SAM), operados através do Sistema de Controle Operacional da Adução (SCOA). Estudos anteriores na RMSP, já foram efetuados há mais de 10 anos, sendo necessária uma atualização, em vista das alterações observadas nos setores nesse período.

## **O SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO DE SÃO PAULO:**

O Sistema Adutor Metropolitano é composto por 140 Centros de Reservação além de várias derivações para a distribuição diretamente a partir das adutoras de água tratada. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) possui uma população de cerca de 19,7 milhões de habitantes, nos 39 municípios que a compõem, a partir dos oito sistemas produtores que conjuntamente produzem cerca de 69,5 m<sup>3</sup>/s.

O NovoSCOA (Sistema de Controle Operacional da Adução) controla o atendimento de 29 Municípios, que estão integrados no SAM. Desses, seis municípios recebem a água tratada da Sabesp e gerenciam seus sistemas próprios de distribuição. Os demais 10 municípios possuem sistemas de produção próprios e não estão integrados ao SAM (Tabela 2.1).

Tabela 1 - Distribuição dos 39 Municípios na RMSP segundo o Abastecimento de Água

23 Municípios abastecidos pelo SAM e com distribuição de água operada pela Sabesp			
Arujá	Embu-Guaçu	Itapevi	São Bernardo do Campo
Barueri	Ferraz de Vasconcelos	Jandira	São Paulo
Caieiras	Francisco Morato	Osasco	Suzano
Carapicuíba	Franco da Rocha	Poá	Taboão da Serra
Cotia	Itaquaquecetuba	Ribeirão Pires	Vargem Grande Paulista
Embu	Itapecerica da Serra	Rio Grande da Serra	
6 Municípios abastecidos pelo SAM e com distribuição de água autônoma			
Diadema	Mauá	Santo André	
Guarulhos	Mogi das Cruzes	São Caetano do Sul	
9 Municípios abastecidos por Sistemas Isolados operados pela Sabesp e com distribuição de água operada pela Sabesp			
Biritiba Mirim	Juquitiba	Santana de Parnaíba (1)	
Cajamar	Mairiporã	São Lourenço da Serra	
Guararema	Pirapora do Bom Jesus	Salesópolis	
1 Município abastecido por Sistema Isolado e distribuição de água autônomos			
Santa Isabel			
1 – Uma pequena parcela do município de Santana de Parnaíba atualmente é abastecida pelo SAM via rede de distribuição.			

A população é abastecida a partir de redes de distribuição que estão conectadas a reservatórios de distribuição ou, diretamente a adutoras. Este estudo contempla apenas os setores de abastecimento atendidos por reservatórios de distribuição, os quais possuem registros históricos dos dados operacionais.

## CONCEITOS:

### Considerações Gerais

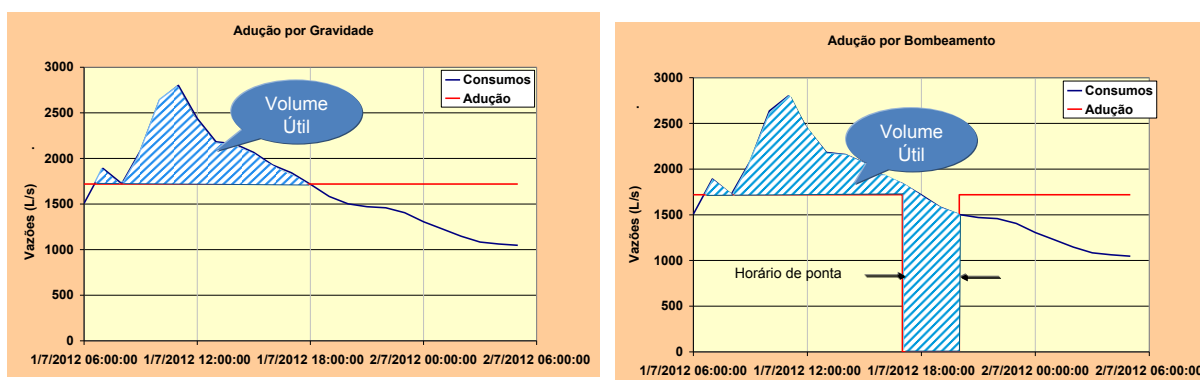
Os reservatórios de distribuição têm a finalidade de regularizar as vazões de consumo de um setor de abastecimento, de forma que a vazão de adução seja constante ao longo do dia. Desta forma, as adutoras não precisam ter a capacidade de transportar as vazões máximas horárias de consumo, o que exigiria diâmetros maiores no seu dimensionamento.

Do ponto de vista da operação em tempo real, esta redução de oscilações das vazões de adução também resulta em condições mais estáveis para sistemas complexos de adução, como é o exemplo do SAM.

Classicamente, o reservatório de distribuição era dimensionado de forma que seu volume atendesse a uma curva horária de consumos de um setor, para uma vazão de entrada fixa no reservatório (Figura 1), ao longo de um dia crítico de consumo. Esse dia crítico é definido como o dia de maior volume consumido ao longo de um ano de operação.

Atualmente, em função de objetivos de redução de despesas com energia elétrica, alguns reservatórios, que são abastecidos por estações elevatórias ou por “boosters”, são dimensionados de forma que, no horário de maior custo de energia (17:30 – 20:30), a vazão de entrada seja nula. Nas demais horas, a vazão de entrada é fixa e igual ao consumo médio do dia crítico, majorado na proporção 24/21, de forma a compensar as três horas em que a vazão de adução ao reservatório é nula (Figura 2).

Figura 3 – Esquema de um reservatório de distribuição e seus limites operacionais

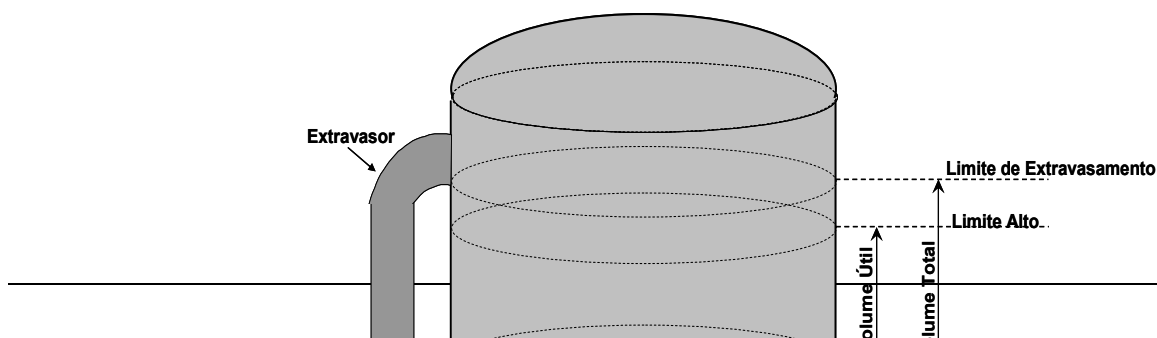


### Limites Operacionais dos Reservatórios

Os limites operacionais dos reservatórios de distribuição, indicados na figura 3, podem ser assim definidos:

**Limite de extravasamento:** Nível de água referenciado a um ponto do fundo do reservatório (nível de referência), a partir do qual se inicia a extravasão do reservatório.

**Limite Alto:** ou Nível máximo operacional. É o nível de água máximo que pode ser armazenado no reservatório em condições normais de operação. Quando o nível de água atinge esse limite, é emitido um alarme ao controlador do reservatório para que seja fechada a válvula de controle da entrada do reservatório ou que sejam desligados os conjuntos moto-bombas que recalcam para o reservatório. Caso a vazão de entrada não seja anulada, o nível de água continuará subindo e será atingido o limite de acionamento da boia.



Limite de Boia: Nível de água, em relação a um nível de referência, a partir do qual a vazão de entrada do reservatório é anulada de forma compulsória, através do fechamento automático da válvula de controle ou do desligamento automático das bombas que aduzem ao reservatório.

Limite de Falta de Água: Nível de água, em relação a um nível de referência, abaixo do qual começa a haver alguma deficiência de abastecimento em algum ponto da rede.

Limite Baixo: É o nível de água mínimo que pode ser armazenado no reservatório em condições normais de operação. Quando o nível de água atinge esse limite, é emitido um alarme ao controlador do reservatório. Caso o nível de água continue diminuindo, poderá haver implicações hidráulicas negativas no sistema, como entrada de ar na tubulação de saída ou cavitação de bombas.

Nível de Referência: É a cota do ponto situado na vertical do medidor de nível junto à laje de fundo do reservatório ou no fundo do rebaixo de saída do reservatório. Com base nos limites operacionais, são definidos:

Volume Total: ou volume nominal é a capacidade de armazenamento do reservatório, considerando o nível de água coincidente com o limite de extravasamento.

Volume Útil: é a capacidade de armazenamento do reservatório, entre o Limite Alto e o maior limite mínimo (falta de água ou limite baixo). Este espaço serve para armazenar um volume de água excedente, quando a vazão de adução é superior à vazão de consumo do reservatório ou para ser deplecionado quando ocorre o inverso.

### **Indicadores de Reservação**

Alguns indicadores de reservação são úteis para se poder comparar a eficiência da reservação de vários reservatórios ou para se avaliar o nível de prioridade que um dado reservatório deve para aumento de sua capacidade.

O Índice de Ocupação do Reservatório (OR) avalia se o volume útil existente do reservatório atende à regularização exigida pela variação horária de consumo de um dado setor. O índice pode ser calculado pela equação 1:

$$OR = \frac{\text{Volume Útil necessário}}{\text{Volume Útil existente}}$$

O Índice de Rendimento de Reservação (RR) avalia a proporção entre o Volume Útil existente e o Volume Total do reservatório. Sua expressão é dada pela equação 2:

$$RR = \frac{\text{Volume Útil existente}}{\text{Volume Total}}$$

O Índice de Criticidade de Reservação é a multiplicação dos índices de rendimento e de ocupação, que pode ser expresso pela equação 3:

$$ICR = \frac{\text{Volume Útil necessário}}{\text{Volume Total}}$$

## **Cálculo do Volume Útil Necessário**

Para o cálculo do volume útil necessário de cada reservatório, foi utilizada uma aplicação desenvolvida no NovoSCOA. Essa ferramenta utiliza os dados de consumos horários de um reservatório de um período de operação definido. Essa aplicação faz o balanço entre as vazões de entrada e saída de um reservatório ao longo de um dia de operação e calcula o volume útil necessário para garantir a vazão de consumo variável ao longo de um dia. O resultado da aplicação é uma curva de frequências acumuladas dos volumes úteis necessários obtidos para cada dia do período escolhido. A vazão de entrada ao reservatório é fixada como sendo igual ao consumo médio do setor durante as 24 horas do dia, quando o reservatório é aduzido por gravidade, ou igual ao consumo médio do setor, majorado na proporção de 24/21, quando o reservatório é aduzido por bombeamento, partindo-se da premissa que a vazão bombeada é nula entre 17:30 e 20:30, período em que a tarifa de energia é mais elevada.

O consumo médio é a média dos consumos horários dos 12 meses anteriores ao mês do dia que está sendo calculado o volume. Desta forma, o consumo médio é recalculado apenas uma vez por mês. Os consumos horários utilizados no cálculo do volume são previamente consistidos. Valores nulos, negativos ou muito afastados do valor médio do consumo do setor são eliminados da série histórica e substituídos por valores interpolados do dia em análise.

Tem-se adotado, no dimensionamento do reservatório, uma garantia de 95%. Desta forma, dias com variações de consumos excepcionais, superiores a esta frequência não são considerados.

## **Curvas de Consumos dos Reservatórios**

Entende-se por consumos de um reservatório, as vazões de saída do reservatório que são distribuídas ao setor de distribuição. Uma curva de consumo de um setor é caracterizada pelos seus valores médios em um dado período (dia, mês, ano) e pela sua forma de variação ao longo de um dia, podendo variar de um dia a outro.

Para caracterizar as variações horárias dos consumos de um reservatório ao longo de um período extenso (anual), pode-se obter uma curva de consumos médios para cada hora do dia. Essa curva obtida com os valores médios de cada hora não é uma sequência cronológica de consumos que foi ou que pode ser observada, mas apenas uma curva que representa uma estatística de valores ao longo do período analisado.

## **DADOS UTILIZADOS**

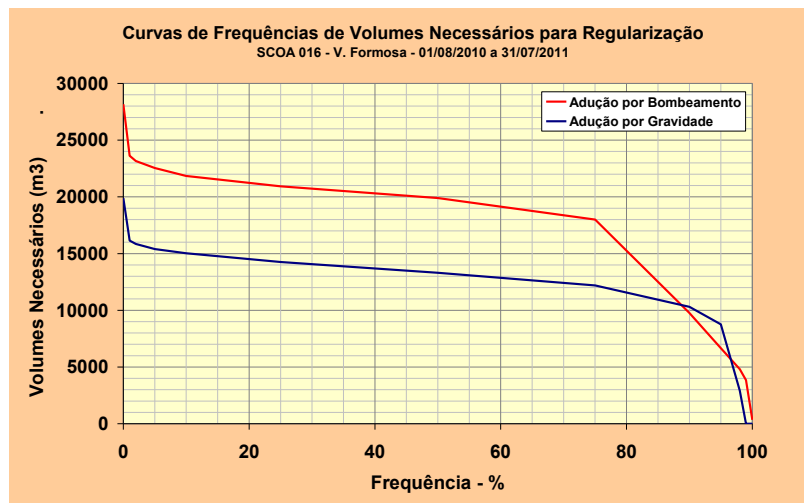
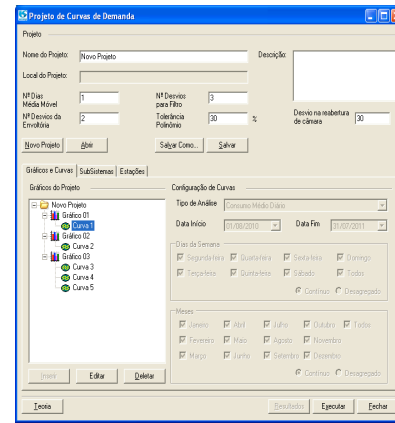
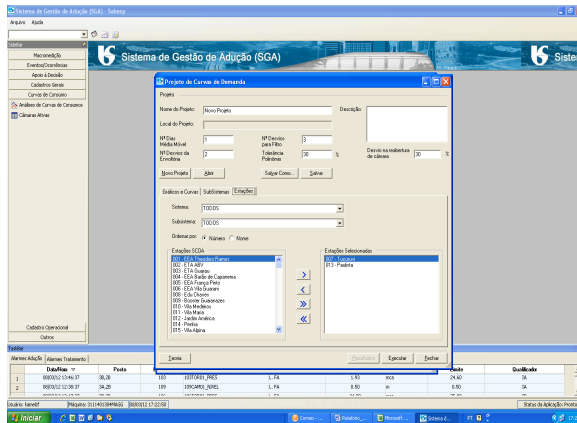
Os dados de consumos foram obtidos da base de dados do NovoSCOA, do período 01 de agosto de 2010 a 31 de julho de 2011.

As características geométricas dos reservatórios (forma, área em planta, nível de extravasamento) e os níveis operacionais dos reservatórios foram obtidas a partir de uma planilha (CADOP) elaborada pelo Cadastro da Produção ou de valores disponíveis no NovoSCOA.

Os dados de população dos setores foram obtidos junto à Unidade de Planejamento da Diretoria Metropolitana (MP), baseados no último censo de 2010.

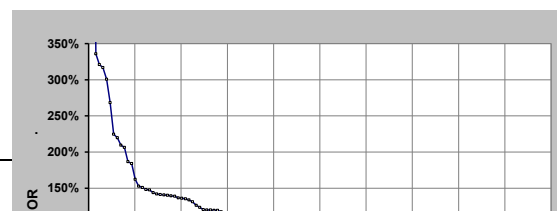
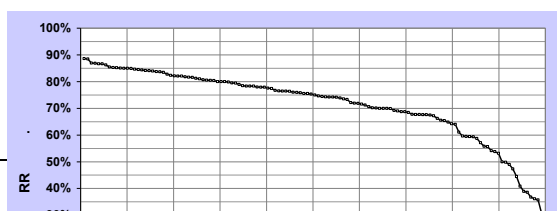
## METODOLOGIA DE CÁLCULO

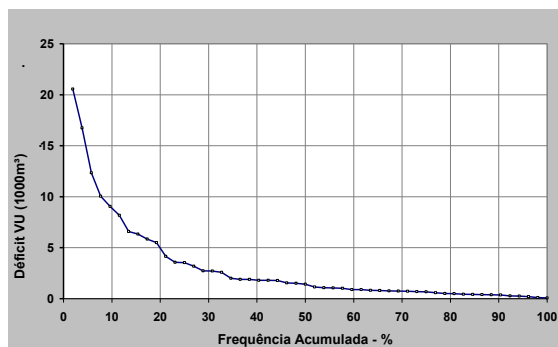
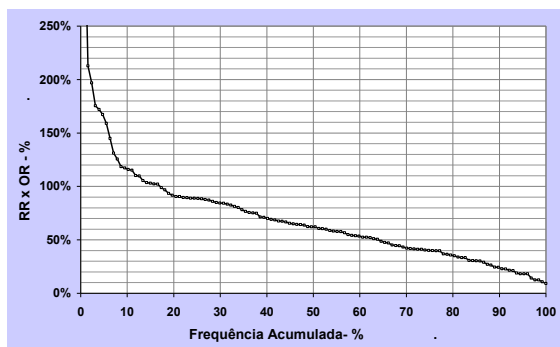
Para os cálculos dos volumes úteis necessários, foi utilizado um aplicativo denominado Análise de Curvas de Consumos desenvolvido no NovoSCOA como parte do Sistema de Gestão da Adução (SGA). A figura 4 apresenta a tela de entrada dos reservatórios a serem analisados e a tela de especificações de parâmetros e curvas a serem obtidas. A figura 5 mostra um exemplo de um gráfico com os resultados dos cálculos, onde se tem uma curva de frequência dos volumes úteis necessários para as condições de adução por gravidade e por bombeamento.



## RESULTADOS

Foram analisados 127 reservatórios. Os volumes úteis totalizam 1.161.858 m<sup>3</sup>. Foram obtidas as curvas de frequência de volumes úteis e como critério de dimensionamento, adotou-se a frequência de 5%, para a definição dos volumes úteis necessários. Com esses resultados, foram calculados os indicadores de reservação RR, OR, ICR e os déficits de volumes úteis atuais, que estão apresentados nas figuras 6 e 7.





O rendimento médio de reservação (RR médio) obtido foi de 71,3%. A ocupação média dos reservatórios analisados (OR médio) é de 71,7%. Entretanto esses valores possuem grande variabilidade entre os reservatórios analisados.

Cerca de 50% dos reservatórios (64 reservatórios) possui rendimento de reservação (RR) inferior a 75%, que é considerado um valor ideal. Isto significa que é possível ganhar uma reservação adicional, caso de alterem os limites operacionais dos reservatórios.

Cerca de 41% dos reservatórios (52 reservatórios) está com sua capacidade de reservação esgotada (OR > 100%) e 35% do total (44 reservatórios) está com ICR > 75%. Isto significa que, mesmo com um aumento de eficiência de reservação é necessária sua ampliação imediata.

O déficit total de reservação nos 52 reservatórios é de 155.000 m<sup>3</sup>, sendo que 10 reservatórios possuem déficits superiores a 5000m<sup>3</sup>.

## CONCLUSÕES

A metodologia aplicada aos reservatórios do sistema integrado (SIM) da RMSP permitiu obter um diagnóstico das reservações setoriais e do nível de aproveitamento individual dos reservatórios.

Como resultado da aplicação, pode-se evidenciar os reservatórios que necessitam ter seus limites operacionais analisados, para ganhos de reservação e outros que precisam ser ampliados.

Através dos indicadores RR, OR e ICR é possível criar-se uma priorização de investimentos no aumento das reservações setoriais e antecipar necessidades de ampliação a médio prazo, daqueles que se encontram com valores próximos dos críticos.

A aplicação da metodologia só é possível com a existência de séries temporais de consumos e de informações confiáveis das características dos reservatórios, o que

evidencia a importância em se manter um cadastro atualizado e um sistema de aquisição e armazenamento de dados confiável.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12217 – Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público – Procedimento. Brasil. 1994.
2. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Brasil. 2011.
3. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Banco de Dados do SCOA. São Paulo. Agosto/2010 a Julho/2011.
4. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Estudo de Otimização da Reservação do Sistema Metropolitano de São Paulo. Revisão 1. APDA. São Paulo.