



## **METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE LIMITE OPERACIONAL ALTO PARA OTIMIZAÇÃO DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA**

### **RESUMO**

Desenvolveu-se um algoritmo capaz de determinar os Limites Operacionais com base em valores observados em um intervalo de um ano completo, que forma aplicadas nos reservatórios com a finalidade de verificar sua confiabilidade. Buscou-se, na fase de desenvolvimento do algoritmo, avaliar quais parâmetros e critérios mais relevantes para o cálculo de velocidades de subida do nível d'água e alturas mínimas entre o Limite Operacional e a Boia e Segurança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reservatório, Otimização e Limite Alto.

### **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia e um aplicativo computacional capaz de definir os limites operacionais máximos de segurança dos reservatórios do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, procurando melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos armazenados nos reservatórios, contemplando também aspectos de segurança operacional deste sistema.

### **INTRODUÇÃO.**

As informações obtidas por telemetria e comandos à distância do sistema de reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo foram centralizadas a partir de 1980 com a implantação do Sistema de Controle Operacional da Adução (SCOA). Atualmente o sistema conta com cerca de 154 centros de reservação. A correta operação do conjunto de reservatórios, procurando otimizar a vazão a ser liberada para o atendimento da demanda, além de melhorar a utilização dos recursos armazenados, considerando sempre a segurança do Sistema Adutor Metropolitano, constitui-se num ponto particularmente importante dentro do controle operacional dos reservatórios. Os limites operacionais são essenciais à segurança do sistema adutor, pois seus objetivos são de evitar extravasamento, ou entrada de ar nas tubulações de saída, ou desabastecimento. As primeiras alterações e definição destes limites eram baseadas em experiências dos controladores do CCO (Centro de Controle da Operação). Em 1987, procurou-se definir novos Limites Operacionais Máximos de Reservatórios baseados em critérios estatísticos dos dados históricos do SCOA. Embora tenha sido dado um passo importante para melhorar a segurança do sistema, as atualizações destes limites não foram feitas de forma automática e sistemática. Foi elaborado pelo então Departamento de Desenvolvimento - APD, um estudo para diagnosticar e apresentar propostas para melhorar a utilização do SAM (Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo), em que são discutidas as influências dos limites operacionais. Foram discutidos tanto aspectos de segurança operacional do sistema quanto a melhor utilização da reservação. A elevação do limite operacional máximo possibilitaria uma melhor utilização dos recursos hídricos armazenados. Neste sentido, a criação de uma metodologia capaz de atualizar os Limites Altos de forma automática a partir de uma conexão direta com o sistema SCOA, aumentando, com isso, o volume útil dos reservatórios, e ao mesmo tempo, considerando a segurança operacional do sistema adutor, foi o ponto central deste trabalho.

### **JUSTIFICATIVA.**

A importância deste projeto se foca em dois pontos primordiais: aumentar a capacidade de reservação do sistema atual e preservar a segurança do sistema adutor de forma a evitar extravasamentos nos reservatórios. Aumentar a capacidade do sistema de reservatórios esbarra em alguns problemas relacionados ao custo de construção de novos reservatórios e espaço urbano. As construções de novas instalações pressupõem a disponibilidade de locais estratégicos na cidade, de preferência mais elevados da região metropolitana. Além disso, existe o custo de desapropriação destes terrenos. Desta forma, a redefinição dos limites operacionais pode levar a ganhos nos volumes úteis de reservação de grande valia, garantindo-se a segurança operacional.



## CONSIDERAÇÕES GERAIS.

A operação de reservatórios se concretiza com a abertura ou fechamento de válvulas de controle na entrada dos reservatórios e partidas ou desligamentos de bombas, aumentando ou diminuindo as vazões aduzidas aos reservatórios sempre que se fizer necessário. Para tomadas das decisões, além das informações da vazão aduzida e a posição de abertura das válvulas de controle, o CCO toma por base as medidas de nível, pressão junto às válvulas de controle e dos consumos setoriais calculados a partir dos valores de vazão aduzida e variação de nível nos reservatórios em tempo real. Quando o nível d'água no reservatório ultrapassa uma cota de segurança, é acionado um alarme luminoso nos terminais de controle, denominado alarme de Limite Alto. O controlador, ciente deste alarme, age no sentido de reduzir o nível d'água. Se por algum motivo o nível continuar a se elevar, a boia de segurança atua provocando a paralisação da adução através do fechamento da válvula ou desligamento da elevatória. Portanto, este limite representa um controle de segurança dos reservatórios com o objetivo de se evitar o extravasamento. Os níveis operacionais de interesse para operação dos reservatórios podem ser observados na Figura 1. Os níveis d'água são medidos a partir de medidores ultrassônicos instalados nas lajes de cobertura dos reservatórios.

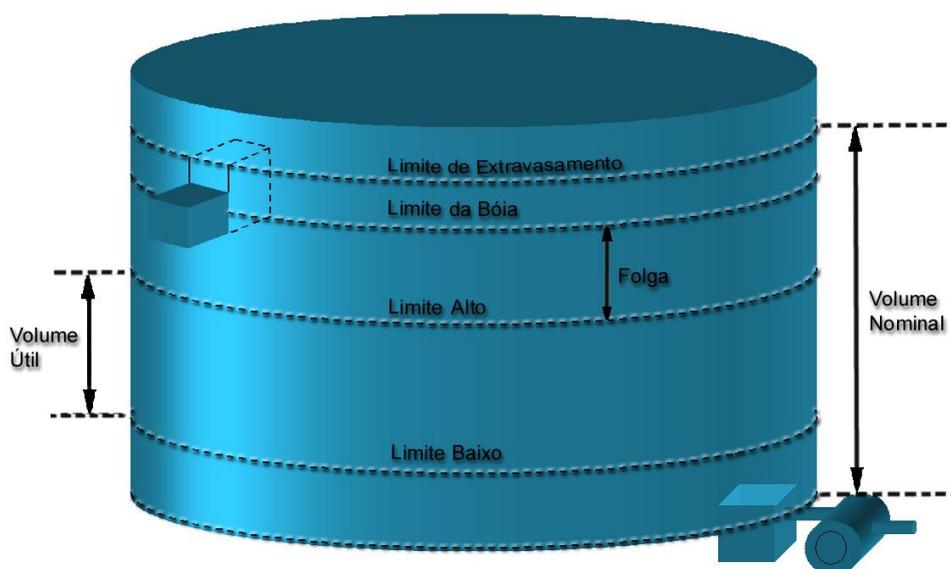


Figura 1 - Níveis operacionais dos reservatórios setoriais.

Os limites de segurança de extravasamento são:

- **Limite de Extravasamento (L.E):** Limite máximo entre volume útil e o extravasador, a partir da superação dessa altura pela lâmina d'água, começa a haver perda d'água pelo sistema de extravasamento.
- **Limite da Boia (L. Boia):** Nível d'água a partir do qual é acionado o mecanismo de uma boia que atua localmente no fechamento da válvula de controle do reservatório ou desligamento da elevatória, independente da atuação do controlador do CCO. A boia é considerada um recurso de segurança extrema.
- **Limite Alto (L.A):** Limite operacional referido ao nível do reservatório, onde é emitido um alarme visual nos monitores dos controladores. Isto permite que o controlador possa atuar no fechamento da válvula de controle em tempo hábil para que não haja extravasamento ou atuação da boia de segurança.
- **Folga ( $\square h$ ):** Altura correspondente à diferença de cota entre o Limite da Boia e o Limite Alto. Emitido o alarme de Limite Alto, a subida do nível terá esta folga mínima para que o controlador atue no fechamento da válvula antes de atingir a boia de segurança.
- **Limite Baixo (L.B):** Nível mínimo de segurança operacional. A diferença entre o L.A e L.B define o volume útil do reservatório.



## CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS LIMITES OPERACIONAIS.

A definição do limite alto operacional baseou-se em determinar a folga entre o limite operacional máximo e a boia de segurança. A folga é calculada como sendo o produto do tempo que o controlador leva para reconhecer o alarme e atuar na válvula, somado ao tempo de fechamento da válvula de controle pela velocidade de subida da lâmina d'água. Admitiu-se que a boia de segurança, quando existente, atue na mesma posição conforme o relatório técnico "Definição de Limites Operacionais Máximos de Reservatórios, DOC 242/1987", situado a 20 cm abaixo do nível do extravasor. Na ausência de boia de segurança, admitiu-se a existência de uma boia de segurança fictícia, situado a 10 cm abaixo do nível do extravasor, afim de considerar as possíveis diferenças construtivas do extravasor.

Adotou-se um intervalo de tempo de 5 minutos para a percepção do alarme do limite alto e início de atuação da válvula de controle e admitiu-se uma lei de fechamento linear e um coeficiente de segurança de 1,2 para o tempo de fechamento das válvulas. No início do enchimento do reservatório a velocidade de subida é elevada, pois a válvula de controle está totalmente aberta e à medida que o nível d'água sobe, a válvula é gradualmente fechada, o que leva à redução da velocidade de subida do nível d'água. Desta forma, admitir toda a altura do reservatório para avaliar a subida pode ser considerado um critério extremamente conservador. Portanto, considerou-se para a análise, os dados de níveis e aberturas de válvulas situados acima de 70% da altura útil do reservatório.

As velocidades de subida do nível d'água são calculadas em função da variação do nível d'água e o intervalo de tempo em que se deu esta variação. Considerou-se apenas variações crescentes dos níveis d'água e eliminou-se variações bruscas, resultando em velocidades muito discrepantes não condizentes com a realidade. Avaliou-se então, conjuntamente, as posições da válvula de controle e/ou status de bomba e os valores registrados dentro da faixa de estudo do reservatório, descartando-se todos os dados que apresentaram alguma indicação de problemas de comunicação ou falta de energia. Efetuou-se, assim, o cálculo dos diversos limites alto em cada situação. Portanto, os critérios de expurgo para validação dos dados utilizados foram:

- Velocidades de subida menor ou igual a zero;
- Nível do reservatório abaixo de 70% de sua altura útil;
- Nível do reservatório menor que zero ou maior que o limite de extravasamento;
- Posição da válvula menor que zero ou maior que 100%;
- Status de bomba diferente de desligado e ligado (zero e um).

Com os dados qualificados e selecionados, pode-se calcular os limites altos nos vários instantes através da equação:

$$L_{Alto_i} = L_{Boia} - \{ [t_{rec} + (t_f \times \Theta_i \div 100 \times CS)] \times [(NA_i - NA_{i-1}) \div (t_{si} - t_{si-1})] \} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

- $L_{Alto_i}$  Limite Alto da Câmara no instante  $i$  [m]
- $L_{Boia}$  Limite da Boia da Câmara [m]
- $t_{rec}$  Tempo de Reconhecimento do Operador [min]
- $t_f$  Tempo de Fechamento Total da Válvula de Controle [min]
- $\Theta_i$  Posição da Válvula no instante  $i$  [%]
- $CS$  Coeficiente de segurança [20%]
- $NA_i$  Nível da Câmara no instante  $i$  [m]
- $NA_{i-1}$  Nível da Câmara no instante anterior a  $i$  [m]
- $t_{si}$  Tempo relativo ao instante  $NA_i$
- $t_{si-1}$  Tempo relativo ao instante  $NA_{i-1}$



## CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DO TEMPO DE DESLIGAMENTO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA (EEA).

Nos casos de reservatórios operados integralmente por Estação Elevatória de Água (EEA), adotou-se 100% para os valores de  $\Theta_i$  e, em substituição ao Tempo de Fechamento Total da Válvula de Controle (tf), calculou-se o tempo de desligamento total da EEA através da equação:

$$t_d = (t_c \times q) + \{[(2 \times L \div a) \times 10] \div 60 \times (q - 1)\} \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

- $t_d$  Tempo de Desligamento Total da EEA [min]
- $t_c$  Tempo de Desligamento do Conjunto Moto-Bomba [min]
- $q$  Quantidade de Conjuntos Moto-Bomba Ligados a Desligar
- $L$  Comprimento da Adutora [m]
- $a$  Celeridade [m/s]

O tempo de desligamento do conjunto e a celeridade adotada nesses casos, exceto quando outrora especificado, é de 2 minutos e 900 m/s, respectivamente. A quantidade de conjuntos moto-bomba ligados a desligar deverá ser determinada em função do risco que se pretende assumir. Particularmente, quando o desligamento da EEA que abastece o reservatório ocorre de forma automática / programada, sem atuação direta do operador, desconsidera-se o tempo de reconhecimento do operador. Assim, arredondou-se o resultado final dessa equação para o próximo valor inteiro.

A definição dos Limites Operacionais de Segurança baseou-se em determinar a folga entre o limite operacional máximo (Limite Alto) e a boia de segurança. Sabendo-se o intervalo de tempo que o controlador do sistema leva para reconhecer o alarme de Limite Alto e tomar alguma providência, o tempo de fechamento da válvula de controle ou desligamento da EEA e a velocidade de subida da lâmina d'água, é possível determinar a altura (folga) mínima necessária para que sejam feitas manobras nas válvulas de controle, de forma a manter o sistema em equilíbrio sem acionamento da boia de segurança.

O intervalo de tempo para percepção do alarme de Limite Alto foi adotado em função dos registros históricos do SCOA onde estão armazenados os horários que o controlador percebeu o alarme de Limite Alto e quando foi dado um comando para o acionamento da válvula de controle. A diferença entre os dois tempos fornece o tempo de reconhecimento do alarme. As velocidades de subida do nível d'água, baseadas em valores observados nos meses anteriores de operação, são calculadas em função da variação do nível d'água e o intervalo de tempo que se deu esta variação, conforme exemplo do esquema da Figura 2.

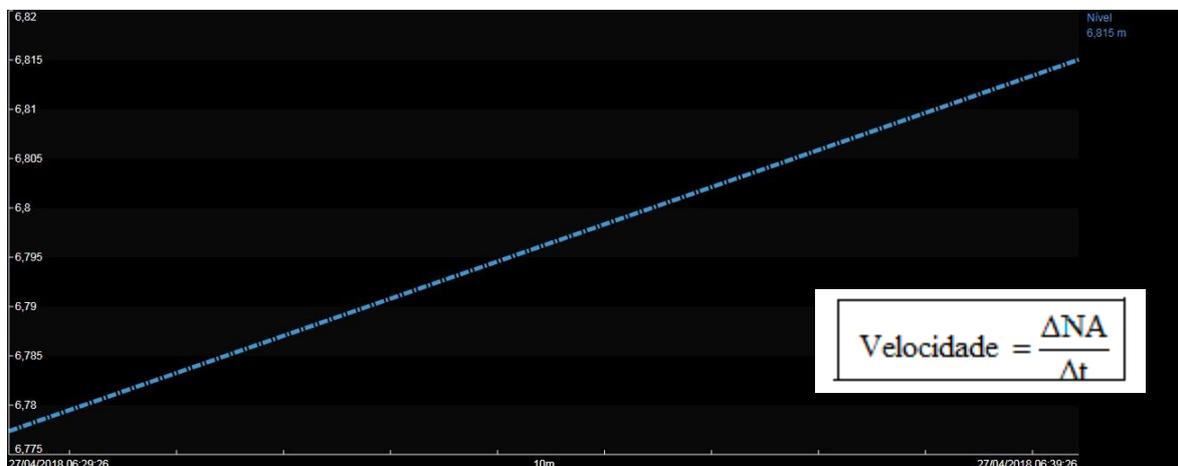


Figura 2 – Cálculo da Velocidade de subida do nível d'água.



## CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS UTILIZADOS

Os dados operacionais obtidos do PI Data Link compreendiam um período de 12 meses. Isto possibilitou a verificação de possíveis mudanças nas regras operacionais. Foram verificadas as alturas em um período de um ano, dessas informações foram retirados os dados relativos as velocidades de subida do reservatório. O tempo de reconhecimento do alarme de Limite Alto foi adotado com base em registros históricos do SCOA. Em média, este intervalo situa-se por volta de 5 minutos. Para o tempo de fechamento das válvulas admitiu-se uma lei de fechamento linear.

## RESULTADOS OBTIDOS

A tabela 1 apresenta o resumo dos resultados obtidos dos reservatórios analisados. Os Limites Altos atuais foram obtidas a partir dos dados cadastrais dos reservatórios que são:

- Cota do Limite de Extravasamento
- Cota do Limite da Boia de Segurança
- Cota do Limite Atual
- Cota do Limite Baixo

**Tabela 1 - Comparação das Análises de Limite Alto calculadas.**

Reservatórios	Limite Alto antigo	Limite Alto atual	Variação do volume útil	
	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(%)
Jardim São Luiz	4,9	5,64	3778	21,08%
Mooca	4,76 / 5,13	5,47 / 5,82	8438	23,20%
Osasco - Vila Iracema	8,2	8,08	-273	-1,62%
Perus	7,75	8,21	262	6,60%
Alto Pinheiros	4,64	4,62	-80	-1,02%
Poá	5	5,68	721	15,45%
Ferraz de Vasconcelos	4,95	5,04	76	3,05%
Arujá	4,6 / 5,13	4,64 / 5,15	38	1,29%
Vila Mariana	7,57	8,1	2022	21,06%
Alto Jardim Ângela	5,7	5,75	82	0,98%
Vila Formosa	4,1	4,35	1382	10,00%
Chácara Flora	6,78	7,62	439	15,00%
Americanópolis	5,23	5,41	464	5,57%
Jaraguá	7,4	7,74	786	5,20%

## CONCLUSÕES

Observa-se que dos 14 reservatórios estudados, 12 deles foram otimizados, e proporcionaram um ganho de até 18.488.000 litros em reservação, sem comprometer a segurança do reservatório, além disso percebe-se que 2 reservatórios estavam operando com possível risco de extravasão.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E DADOS UTILIZADOS.

O desenvolvimento de uma metodologia e o projeto básico do aplicativo para o cálculo dos limites operacionais foi baseado nas seguintes informações:

1. Relatório DOC.242/87 - "Definição de Limites Operacionais Máximos de Reservatórios.
2. Planilha com análise preliminar, contendo sugestão de critérios e aplicadas a casos piloto.
3. Dados operacionais das válvulas de controle (tempos de fechamento).
4. Banco de Dados do SCOA.
5. RT MAGG 001-2014 - Analise Limite Alto Jardim São Luiz.
6. RT MAGG 167-2015 - Analise Limite Alto Mooca.
7. RT MAGG 042-2014 - Analise Limite Alto Osasco Vila Iracema.
8. RT MAGG 131-2013 - Analise Limite Alto Pinheiros R1.
9. CI 166-2015 - RT 191-2015 - Analise Limites Alto Poa-Ferraz-Aruja.
10. MAGG 055-2013 - Analise Limite Alto - Perus.
11. CI 183\_2013 - RT MAGG 182-2013 - Analise Limite Alto Jaragua.
12. MAGG 188-2014 - Analise Limite Alto Americanopolis.
13. MAGG 119-2013 - Analise Limite Alto Chacara Flora.
14. CI 118-2015 - RT 136-2015 Analise Limite Alto Vila Mariana.
15. CI 036\_2014 - RT MAGG 041-2014 - Analise Limite Alto Jardim Angela.
16. MAGG 030-2013 - Analise Limite Alto - Vila Formosa.
17. Metodologia e Aplicativo Computacional para Definição de Limites Operacionais de Segurança dos Reservatórios do Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, SP ,2002.

Estas informações foram obtidas junto a :

CCO : Centro de Controle da Operação.

MMOE : Divisão de Manutenção Elétrica e Instrumentação.