

## **XI-015 - ANÁLISE DOS RISCOS OPERACIONAIS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS**

**Renato de Sousa Avila<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

**Viviana Marli Nogueira de Aquino Borges<sup>(2)</sup>**

Engenheira e Gerente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

**Andre Luiz de Freitas<sup>(3)</sup>**

Engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

**Kamel Zahed Filho<sup>(4)</sup>**

Engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

**Luis Felipe Macruz<sup>(5)</sup>**

Engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. Divisão de Planejamento, Gestão e Desenvolvimento Operacional da Produção – MAGG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Nicolau Gagliardi, 313, Pinheiros, São Paulo - CEP 05429-010 – Brasil – Tel. (11)3388 9592 - e-mail: [renatosavila@sabesp.com.br](mailto:renatosavila@sabesp.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho visa apresentar um modelo de gestão e eficiência energética para sistemas de bombeamento de água tratada. Através de metodologias de análises, desenvolvidas internamente, é possível avaliar as condições de uso das estações elevatórias de adução existentes no Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo (SAM) de modo a criar uma visão geral e uma avaliação uniforme e padronizada para estas instalações. Sendo possível identificar oportunidades de melhorias nas estruturas existentes e também priorizar os investimentos.

O trabalho contribui para a manutenção da universalização do abastecimento público de água e padronização de conceitos de procedimentos de análises das estações elevatórias.

A metodologia apresentada se mostra uma ferramenta para auxiliar na gestão de sistemas de recalque. Com ela busca-se melhorar a base técnica e proporcionar uma visão ampla das estações elevatórias servindo assim de apoio a tomada de decisão, maximizando os ganhos em muitos aspectos entre eles:

- Imagem da organização
- Redução do consumo de energia elétrica
- Otimização das estruturas existentes
- Garantia de atendimento ao cliente em relação à quantidade
- Melhor planejamento orçamentário dos investimentos
- Aumento de confiabilidade
- Aumento da eficiência energética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência-energética, gestão de riscos, estações elevatórias.

### **OBJETIVO**

Elaborar um diagnóstico situacional das estações de bombeamento e boosters de adução do Sistema Adutor Metropolitano (SAM) contribuindo para a gestão da operação quanto à priorização dos planos de ação corretiva, preventiva, contingencial e de melhoria nestas instalações, visando à regularidade no fornecimento de água potável nos reservatórios setoriais com o menor custo energético possível.

## INTRODUÇÃO

A RMSP abrange uma área de 8.051 km<sup>2</sup> e abriga uma população de aproximada de 20 milhões de habitantes, distribuída por 39 municípios. Destes municípios, 31 são atendidos pelos nove sistemas produtores que formam o Sistema Adutor Metropolitano, sendo que cinco possuem serviços autônomos de distribuição, mas não contam com produção própria de água potável ou são insuficientes para atender suas demandas em sua totalidade e, portanto, compram água por atacado da Sabesp.

O Sistema Adutor Metropolitano – SIM compreende um complexo de 9 estações de tratamento de água (ETAs), 1.250 km de adutoras, 154 centros de reservação, 65 estações elevatórias e boosters de adução.

O presente estudo analisou todas as Estações de Bombeamento de Adução, mesmo aquelas que não pertencem ao centro de custo de manutenção da MA, pois são instalações necessárias para a operação deste Processo. E da mesma forma, não foram consideradas para fins de diagnóstico as Estações de Bombeamento para as Zonas Altas (EEAT ZA), nem as Estações de Bombeamento para as Derivações, pois são instalações do Processo de Distribuição de Água (varejo).

## CONCEITOS

Estação Elevatória de Água Tratada é o local destinado a abrigar um sistema de um ou mais conjuntos motor bomba. Essas estações são instalações dos sistemas de adução de água, com o objetivo de permitir o transporte da água de um reservatório para outro situado em elevação superior, o que não seria possível apenas pela ação da gravidade.

Os "boosters" permitem um incremento da vazão transportada em uma adutora, através do aumento da pressão, nos pontos onde estão localizados. Neste caso, seria possível o transporte de uma vazão menor apenas pela ação da gravidade. As estações elevatórias e "boosters" são instalações compostas por conjuntos motor bomba, que são o acoplamento de motores elétricos a bombas hidráulicas.

O motor transforma a energia elétrica obtida de uma fonte externa em energia mecânica, representada pela rotação de um eixo que acopla o motor a uma bomba hidráulica. A bomba hidráulica transforma a energia mecânica em energia de pressão, através do seu circuito interno composto por um rotor. As bombas hidráulicas são máquinas capazes de converter a energia mecânica oriunda de um motor elétrico, por exemplo, em energia cinética e de pressão do fluido bombeado, a Figura 3.1 apresenta um desenho esquemático de um sistema de água por bombeamento.

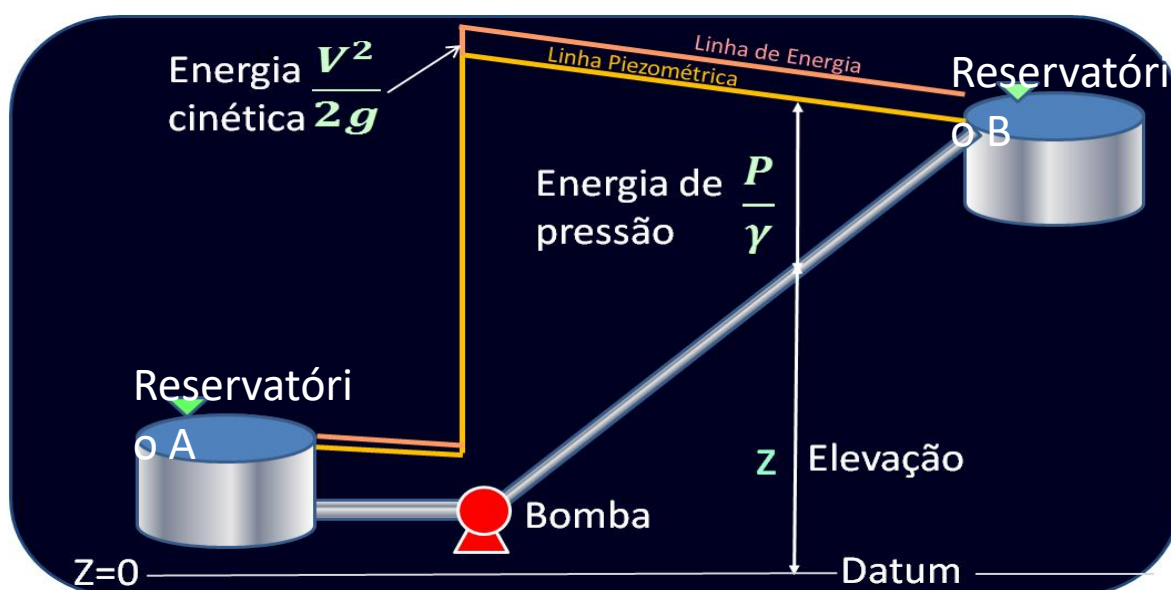


Figura 3.1 - apresenta desenho esquemático de um sistema de água por bombeamento

No Processo Água, as Estações de Bombeamento estão classificadas em Estações de Bombeamento de Água Bruta e de Água Tratada. Estas instalações são comumente chamadas de Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB) e Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT). Dentre as EEAT podemos citar os diversos tipos existentes no SAM:

- EEAT/Booster de Adução: localizadas na Adução recalcam para um, ou mais reservatórios;
- EEAT de Derivação: localizadas na Adução recalcam para Setores (derivação);
- EEAT de Distribuição (ZA): localizadas a jusante de um Reservatório recalcam para um Setor de Zona Alta;
- Booster de Distribuição: localizadas na própria Rede recalcam para Setores deficitários de pressão, normalmente pontas de Rede.

Não serão alvos de diagnósticos as EEAT's de Derivação, de Distribuição, tampouco as Desativadas e aquelas Fora Operação.

Foram identificadas no SIM, 65 Estações de Bombeamento de Adução que foram classificadas considerando-se o esquema hidráulico da instalação. Cada Estação é composta pelos conjuntos motor bomba que necessariamente recalcam para um mesmo destino.

Das 65 estações de bombeamento temos 14 boosteres e 51 estações elevatórias de água.

## **METODOLOGIA E RESULTADOS**

Primeiramente foi realizado o levantamento e estruturação dos dados existentes nos sistemas de informações da Sabesp. Posteriormente foram simulados, através de modelagem hidráulica do SAM, cenários para obtenção de dados de desempenho do Sistema Adutor Metropolitano e por fim apresenta-se uma análise dos resultados conforme os métodos apresentados a seguir.

### **GRAU DE RELEVÂNCIA**

Estabeleceu-se como critério para definição do grau de importância das EEAT's sob o ponto de vista operacional "vazão média de recalque", que representa, de forma indireta, a população atendida. Para essa classificação foram definidos 5 níveis de importância, são eles:

- Grau alto: acima de 2300 L/s
- Grau médio alto: entre 1600 L/s e 2300 L/s
- Grau médio: entre 650 e 1600 L/s
- Grau médio baixo: entre 300 e 650 L/s
- Grau baixo: abaixo de 300 L/s

Esta classificação deve servir de apoio para a engenharia de manutenção na elaboração do grau de criticidade dos conjuntos motor bomba e na priorização no atendimento face as eventuais contingências. Deve servir também para a priorização das análises de investimentos, além de fornecer uma visão geral das Estações de Bombeamento de Adução em operação e a relação entre elas.

O Gráfico 4.1 e a Figura 4.1 demonstram o grau de relevância das 65 EEAT's, separados em 6 níveis (baixo, médio baixo, médio, médio alto, alto e sem dados). Com esse gráfico verifica-se que aproximadamente 44% das EEAT's possuem níveis iguais ou acima do nível médio de relevância (médio, médio alto e alto). Estes devem ser estudados prioritariamente caso a caso buscando assim oportunidades de melhorias.

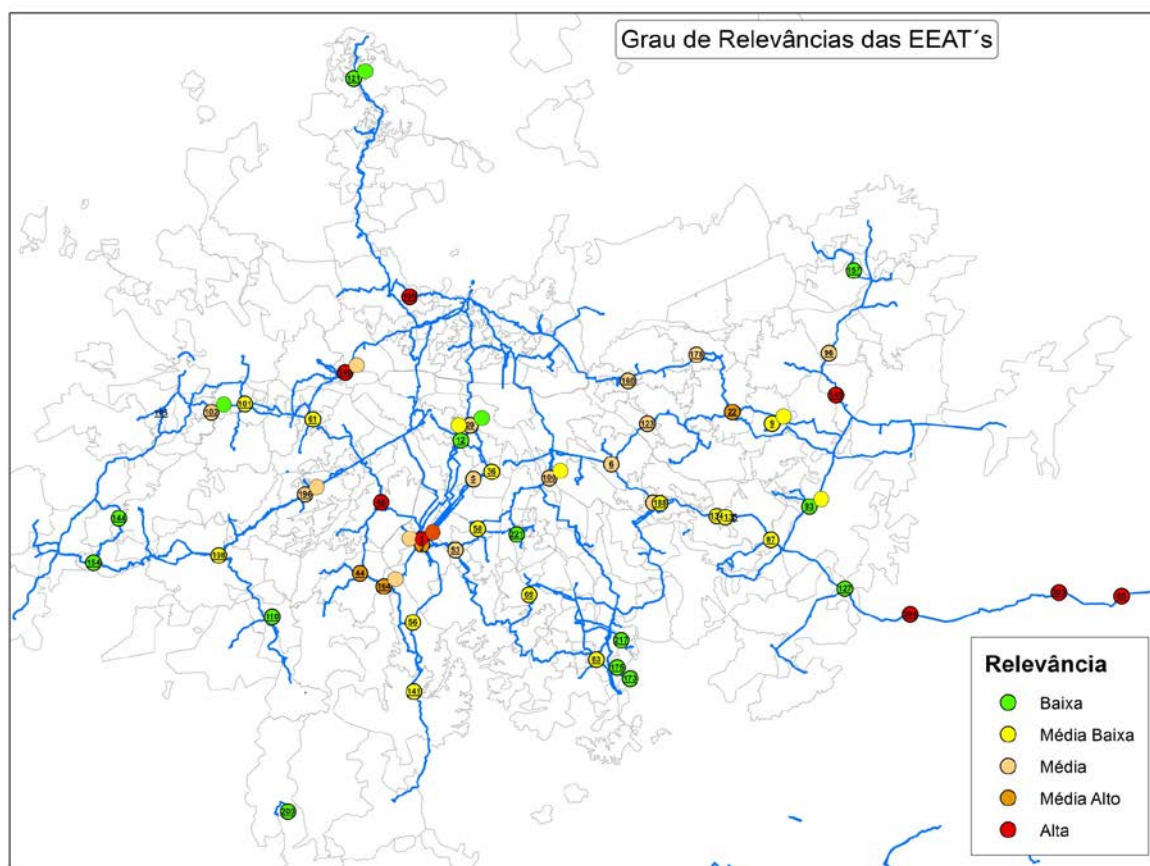


Figura 4.1 - apresenta a distribuição das EEAs quanto a relevância

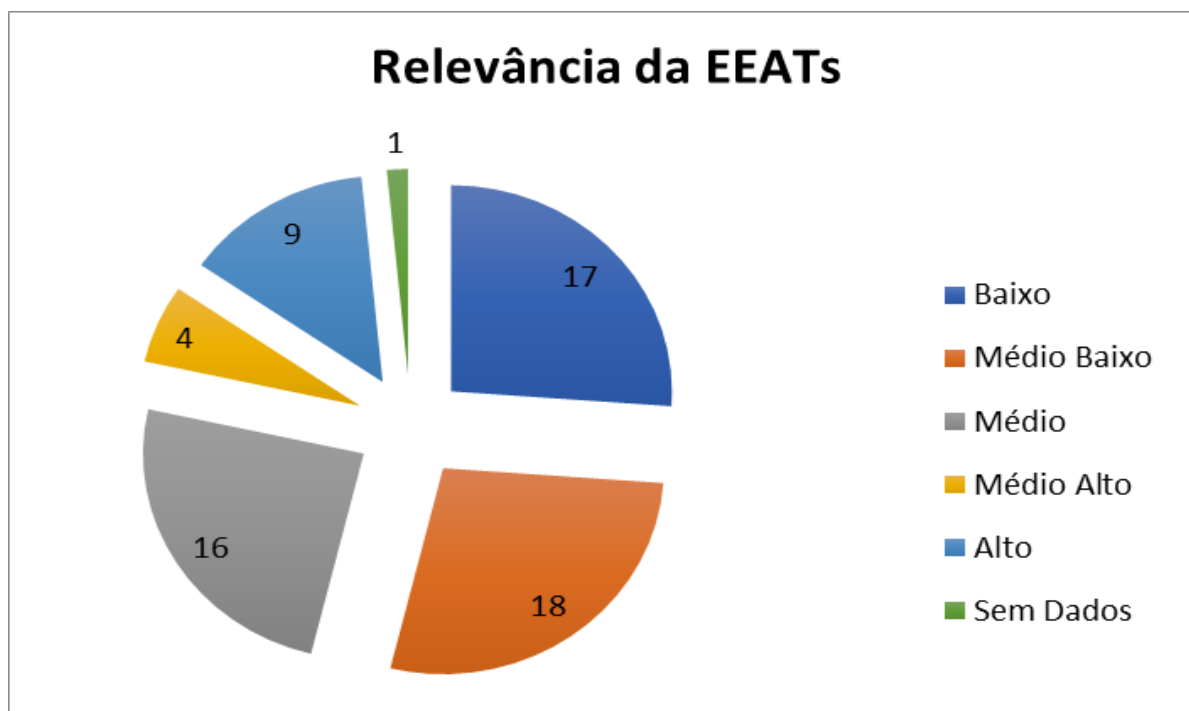


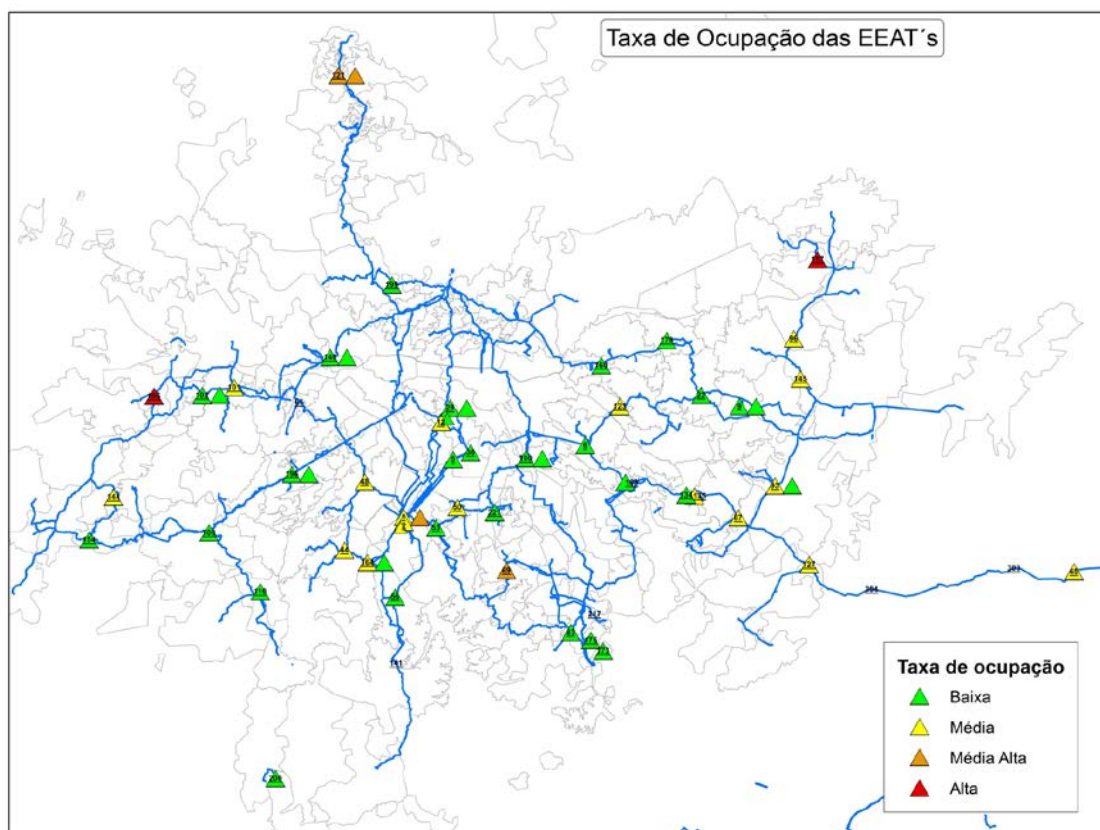
Gráfico 4.1 - Distribuição das EEAT's por relevância

## TAXA DE OCUPAÇÃO

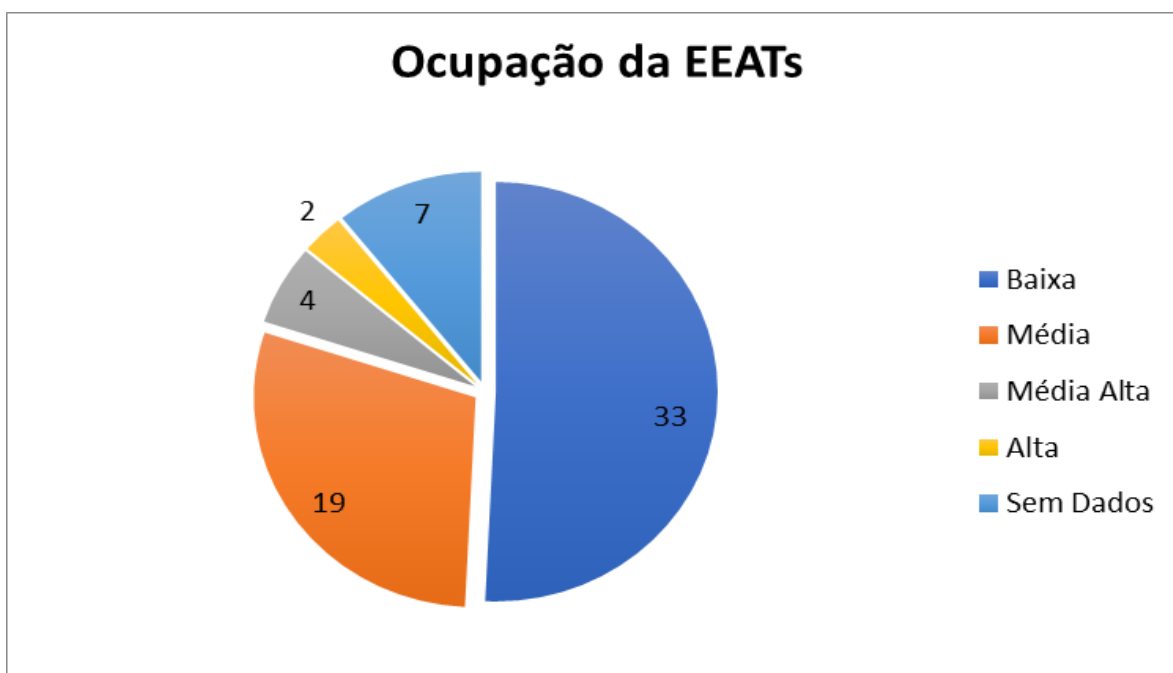
Taxa de ocupação é a relação de horas de operação da EEAT pelo tempo total do período analisado. O número de horas de operação da EEAT é obtido através da média do número de horas de operação de cada conjunto motor bomba da instalação. Para essa classificação foram definidos 5 faixas de ocupação, são elas:

- Alta ocupação: acima de 90%
- Média Alta ocupação: de 75% até 90%
- Média ocupação: de 50% a 75%
- Baixa ocupação: abaixo de 50 %

O gráfico 4.2 e a figura 4.2 mostram os estudos das mesmas 65 EEAT's em relação a taxa de ocupação, definidos por baixo, média, média alta, alta e sem dados. Nesse gráfico percebe-se que a grande maioria das EEAs trabalham em nível Médio ou inferior. Porém encontraram dois casos de alta taxa de ocupação e quatro de média alta.



**Figura 4.2 - apresenta a distribuição das EEAs quanto a ocupação**



**Gráfico 4.2 - Distribuição das EEAT's pela taxa de ocupação**

Nas EEAT's com elevadas taxas de ocupação sugere-se estudo para adequação/ampliação ou outras soluções viáveis.

### **ÍNDICE DE ADEQUAÇÃO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA TRATADA**

O índice de adequação faz uma análise teórica da relação entre a capacidade de bombeamento da estação e a vazão média de bombeamento da mesma no período analisado.

Para realização do cálculo utiliza-se a capacidade de bombeamento da EEAT, obtida através de modelagem hidráulica do modelo do Sistema Adutor Metropolitano, esta capacidade é a vazão obtida com todos os conjuntos motor bomba da instalação ligada com exceção de um grupo, sendo este considerado um grupo reserva. O valor resultando deste cálculo é denominado **vazão limite**.

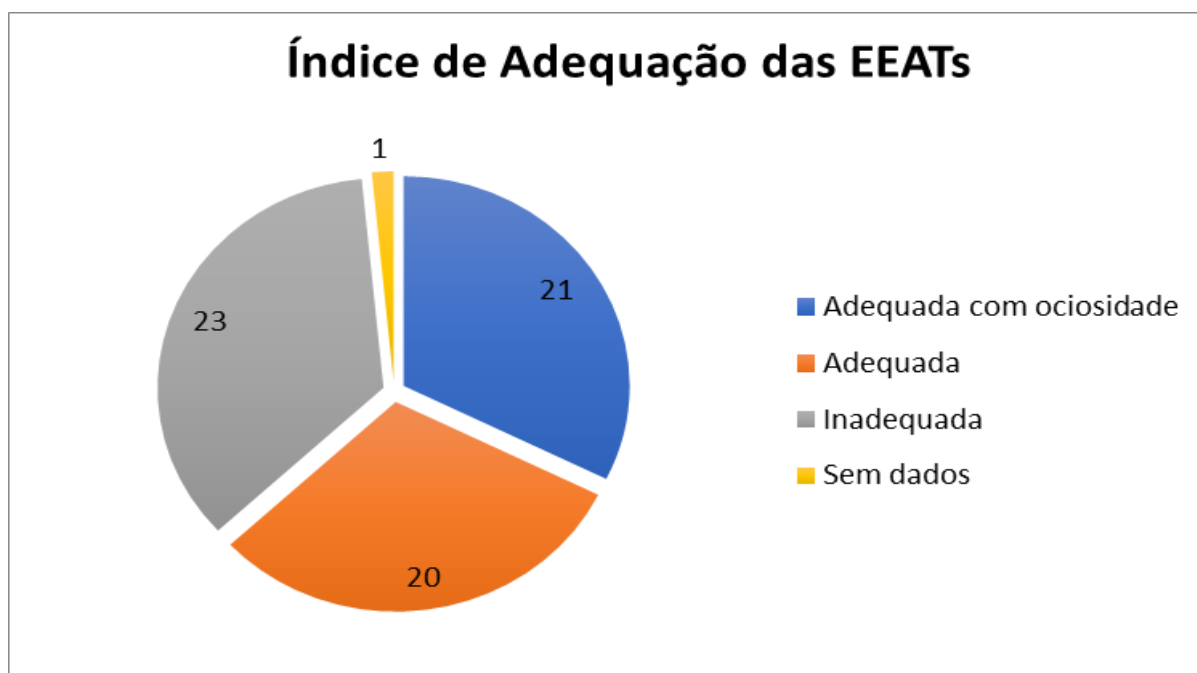
Com base no histórico de vazões do período de análise do estudo obtêm-se a vazão média de bombeamento da instalação. Para efeito de capacidade de bombeamento é necessário observar a vazão no dia de maior consumo (k1), utilizando como referência o Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP observa-se que este valor é de 1,15 para os setores de abastecimento. Para efeito de cálculo do índice utilizou-se a vazão média multiplicada pelo K1, resultando na vazão média ajustada.

Portanto, o Índice de Adequação da Elevatória é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Adequação da Elevatória: } \frac{\text{Vazão média ajustada}}{\text{Vazão Limite}}$$

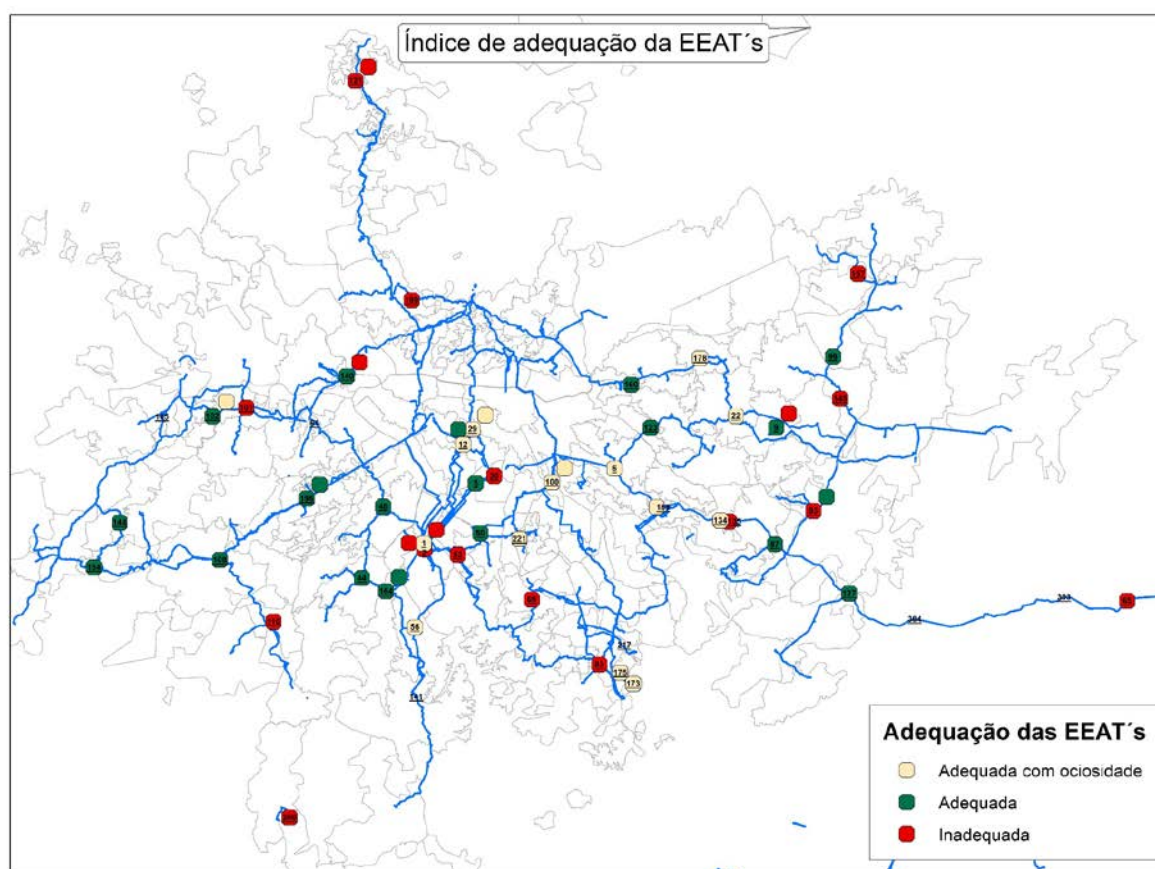
Se o resultado for menor ou igual a 1 a instalação está adequada, ou seja, é capaz de operar na vazão necessária e possui pelo menos 1 conjunto motor bomba reserva. Caso seja maior que 1 a instalação está inadequada, portanto em alguns momentos a EEAT opera sem grupo reserva.

O Gráfico 4.3 apresenta a distribuição das 65 EEATs em relação ao índice de adequação, separados em faixas: adequada com ociosidade (abaixo de 0,75), adequada (até 1), inadequada (acima de 1, ou seja, quando opera no k1, sem grupo reserva). Nesse gráfico percebe-se que cerca de 63% das EEATs estão adequadas.



**Gráfico 4.3 – Distribuição das EEAT's de acordo com o Índice de Adequação.**

As elevatórias com os maiores índices são apresentados na Figura 4.3, de acordo com seu índice de adequação e seus respectivos números SCOA.



**Figura 4.3 - apresenta a distribuição das EEAs quanto ao índice de adequação**

De acordo com o índice 23 elevatórias encontram-se na faixa de inadequada, essas devem ser avaliadas individualmente para compreensão do seu grau de risco, pois quanto maior o índice de adequação maior é o número de horas de operação da EEAT sem grupo reserva. Portanto, as instalações inadequadas devem ser objeto de estudos específicos.

### **POSSIBILIDADE DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO HORÁRIO DE PONTA**

Baseado na taxa de ocupação da EEATs e no índice de adequação foi definido um terceiro índice que tem como objetivo indicar instalações em que há a possibilidade de redução do consumo de energia em horário de ponta.

O índice é calculado através da seguinte fórmula:

Possibilidade de redução: Taxa de ocupação x Índice de adequação

Resultados inferiores a 1 existe a possibilidade de redução, portanto quanto menor o resultado do indicador maior será a probabilidade da redução.

Para ocupação das EEATs adotou-se como foco de estudo as instalações com até 50% de ocupação e o índice de adequação de até 1, ou seja, limite da adequação.

Após a aplicação dos filtros de 50% de ocupação e indicador de adequação menor que 1, percebe-se que existem 25 EEATs com o indicador menor que 0,5, dessa forma, há o potencial de restrição de operação dessas EEATs no horário de ponta, ou seja, em cerca de 40% das instalações do Sistema Adutor Metropolitano.

As instalações com índice menor que 0,5 devem ser priorizadas para estudos específicos de engenharia para operar com regras de restrição de uso no horário de ponta.

Portanto sugere-se estudos hidráulicos da engenharia da operação da adução com o apoio da equipe de operação, para eventual restrição de operação no horário das 17h30 às 20h30 e posterior encaminhamento para análise do contrato de demanda de energia.

### **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

As estações elevatórias e "boosters" são instalações compostas por conjuntos motor bomba, que são o acoplamento de motores elétricos a bombas hidráulicas.

O motor transforma a energia elétrica obtida de uma fonte externa em energia mecânica, representada pela rotação de um eixo que acopla o motor a uma bomba hidráulica.

A bomba hidráulica transforma a energia mecânica em energia de pressão, através do seu circuito interno composto por um rotor. Nessas transformações ocorrem perdas de energia, sendo as principais causas de perdas nos motores de indução:

- Perdas no enrolamento e no cobre (efeito Joule);
- Perdas no ferro (perdas Foucault);
- Perdas mecânicas (atrito dos mancais, ventilação);
- Perda de transmissão entre o motor e a bomba.

Portanto, a eficiência é calculada através da relação da energia elétrica consumida na instalação e a energia efetivamente transferida para o fluido (água). Para cálculo do rendimento utiliza-se a seguinte equação:

$$\eta = \frac{\text{Energia transferida para o fluido}}{\text{Energia elétrica consumida}}$$

Para o cálculo da energia transferida para o fluido utiliza-se a fórmula da Potência Hidráulica, sendo essa energia aproveitada pelo líquido para seu escoamento fora da própria bomba.

$$\text{Potência Hidráulica} = \gamma \times \frac{Q \times H}{75} \quad \text{em cv}$$

Q = Vazão (m³/s)

H = Altura Manométrica (m)

$\gamma$  = peso específico da água (1000 kgf/m³)

Portanto, para o cálculo da eficiência em EEATs são necessários medidores de:

- Vazão;
- Pressão de sucção;
- Pressão de Recalque;
- Consumo de energia elétrica.

Para o caso de energia elétrica o essencial é a medição do consumo em cada conjunto motor bomba, pois dessa forma é possível avaliar a eficiência energética de cada grupo de uma estação elevatória, ou pelo menos medição na entrada da EEAT, quando a subestação de energia abastece outras áreas ou processos (manutenção, tratamento de água e etc.).

Das 65 elevatórias avaliadas 7 apresentam todos os medidores necessários para o cálculo da eficiência energética.

Vale observar que nenhuma instalação possui medição individualizada (bomba a bomba de energia elétrica), dessa forma o cálculo de eficiência será global da EEAT, ou seja, de todos os grupos da EEA juntos, pois não é possível saber o consumo de cada grupo ao longo do período de análise.

Considerando a grande quantidade de EEAs sem medidores necessários para o cálculo de rendimento deve-se executar um planejamento de adequações dessas instalações.

Para o cálculo da eficiência das 7 elevatórias que possuem os medidores realizou-se uma análise de consistência dos dados, com os seguintes passos:

1. Exclusão dos dados de vazão, pressão de recalque e sucção com valores negativos ou quatro vezes acima da média da amostra.
2. Exclusão dos dados de vazão, pressão de recalque e sucção com valores iguais e consecutivos acima duas horas de repetição. Os dados foram extraídos de 15 em 15 minutos no período de um ano.
3. Com base no número de dados excluídos e número de dados total, calculou-se o percentual de dados aproveitados. Com o percentual de dados realizou-se um ajuste no consumo de energia elétrica. Portanto em amostra de 100 dados com aproveitamento de 70, tem-se um percentual de aproveitamento de 70%. Considerando o consumo de uma instalação de 150 kWh no período, ajusta-se esse consumo multiplicado pelo percentual de aproveitamento, ou seja,  $0,7 * 150 = 105$ , portanto consumo ajustado de 105 kWh utilizou-se esse valor para o cálculo do rendimento.

Conforme a classificação estabelecida pela IWA: Ph5 as eficiências em elevatórias de água são divididas em três faixas:

- Bom – 68% a 100%.
- Mediano – 50% a 68%
- Insatisfatório: até 50%.

Avaliando os resultados obtidos para as 4 elevatórias conclui-se que elas se encontram na faixa superior da classificação do IWA, ou seja, tem um rendimento considerado Bom.

## CONCLUSÃO

A análise das elevatórias de água tratada do SIM se mostra essencial para uma boa gestão dos sistemas de bombeamento da MA, tendo em vista a grande complexidade e porte desse.

Este estudo conclui que aproximadamente 44% das EEAT's possuem níveis iguais ou acima do nível Médio de relevância. Ou seja, bombeiam vazões da ordem de grandeza maior que 650l/s (Gráfico 4.1).

Este estudo conclui que a maioria das instalações trabalha com a taxa de ocupação na faixa de classificação Médio ou Inferior. Porém, encontraram-se dois casos de Alta taxa de ocupação e quatro instalações classificadas como Média Alta (Gráfico 4.2).

De acordo com o Índice de Adequação, concluiu-se que 23 elevatórias se encontram na faixa considerada inadequada. Recomenda-se que essas instalações devam ser avaliadas individualmente para compreensão de sua situação (Gráfico 4.3).

Conforme análise, conclui-se que existem 25 EEATs com potencial de redução de operação em horário de ponta. Ou seja, há possibilidade de redução na despesa de energia elétrica em revisão contratual em aproximadamente 40% das instalações do Sistema Adutor Metropolitano.

Dessa forma, sugere-se para essas EEATs estudo hidráulico pela engenharia da operação da adução para eventual restrição de operação no horário de ponta do custo de energia e, posterior encaminhamento de análise do contrato de energia pela célula de energia elétrica.

Das 65 elevatórias avaliadas 7 apresentaram todos os medidores necessários para o cálculo da eficiência energética. Considerando a grande quantidade de EEATs sem medidores necessários para o cálculo de rendimento, deve-se executar um plano de adequações dessas instalações para melhoria da gestão.

Outro fator que deve ser considerado, dada a importância do consumo de energia elétrica, é um plano de medição de energia elétrica individualizada (bomba a bomba).

Para as 4 elevatórias que foram possíveis calcular o rendimento, observa-se que todas estão na faixa de rendimento Bom, conforme o critério da IWA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Efficiency Value Organization (EVO): 2012.
2. AVILA, Renato de Sousa - Relatório Técnico Sabesp - MAGG 177 2014 Diagnóstico das EEAs e Boosters de Adução, 2014.
3. IWA - Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Água e Resíduos Prestados aos Utilizadores 2017.
4. BENTLEY INSTITUTE, MANUAL WaterCAD/GEMS V8i, Projeto e modelagem de redes de distribuição de água.
5. NETO, Azevedo - Manual de Hidráulica - Editora Edgard Blucher.

6. TSUTIYA, Milton Tomoyuki - Abastecimento de Água - Editora Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
7. HAESTAD METHODS – Advanced Water Distribution Modeling and Management – editora Haestad Methods - 2003.