



**Encontro Técnico  
AESABESP**

Congresso Nacional  
de Saneamento e  
Meio Ambiente

## “Novas Perspectivas para a Eficiência Energética no Setor de Saneamento: Integração Otimização, Automação e Inteligência Artificial”

Alberto Luiz Francato  
Professor Titular – DRH / FECFAU / UNICAMP



**OBJETIVO**  **S DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**AESABESP**  
Associação dos Engenheiros de Saneamento

# Eficiência Energética:

O conceito de eficiência energética está ligado ao uso racional de energia, que consiste em obter o **melhor serviço** com o **menor dispêndio** de energia.



# Eficiência Energética na visão do Setor de Saneamento:

- Aproveitamento de **oportunidades comerciais e contratuais** de compra de energia elétrica (opções tarifárias, mercado livre de energia, etc);
- **Utilização de subprodutos** do processo para geração de energia (aproveitamento de gases resultantes do tratamento de esgoto para geração termoelétrica);
- Aproveitamento do espaço físico para geração de energia elétrica (**implementação de painéis fotovoltaicos** nas instalações de saneamento);
- Investimentos em processos e equipamentos (modernização de **tecnologias para reduzir o consumo energético** nos processos).



# Gestão de Energia nas Empresas de Saneamento:

O custo com energia elétrica, em empresas de saneamento, chega a ocupar o segundo lugar na lista das maiores despesas, segundo o relatório mais recente do SNIS. Com o fim dos subsídios tarifários, a preocupação com custo de energia ganhou destaque. A gestão de energia nos processos, pautados na eficiência energética, representa um objetivo estratégico para os dias atuais.



# Redução do Custo com Energia ou Ação de Eficiência Energética?

É importante entender que, muitas das ações entendidas como de eficiência energética, na verdade são ações de redução de custos com energia elétrica.

A eficiência energética no saneamento precisa ser entendida como ações que reduzam o consumo de energia a cada unidade de serviço prestado.

Como exemplos, minimizar a quantidade de energia elétrica associada a cada m<sup>3</sup> de água captado, tratado, aduzido e entregue à população ou a cada m<sup>3</sup> de esgoto coletado, aduzido e tratado.



# Consumo de Energia Elétrica no Saneamento:

## COMO FOI O CONSUMO DE ELETRICIDADE EM 2022?

Fonte: EPE (2023)

O consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 509 TWh, cerca de 2,4% maior do que no ano anterior. A distribuição regional, embora ainda concentrada no Sudeste, vem se modificando dentre as regiões, e os movimentos podem ser percebidos ao longo de 2022.

Fonte:  
**EPE 2023**  
**SNIS 2023**



SERVIÇO PÚBLICO  
**16.921**  
GWh

**12,6 TWh**  
consumo total de energia em sistemas de abastecimento de água no SNIS-AE 2022

**0,67 kWh/m<sup>3</sup>**  
índice de consumo de energia em sistemas de abastecimento de água no SNIS-AE 2022

| Serviço               | Atendimento 2022 | Consumo de Energia (TWh) | Cenário Universalizado (TWh) |
|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| Abastecimento de Água | 84,9%            | 12,60                    | 14,84                        |
| Coleta de Esgoto      | 56,0%            | 2,24                     | 3,99                         |
| Tratamento de Esgoto  | 52,2%            | 2,08                     | 3,99                         |
| <b>Total</b>          |                  | <b>16,92</b>             | <b>22,83</b>                 |

## Estimativa do consumo anual de energia elétrica para os serviços de água e esgoto:

|   |           |       |
|---|-----------|-------|
| Consumo total de energia elétrica no Brasil em 2022:    | 509 TWh   | 100%  |
| Consumo de energia elétrica para água e esgoto em 2022: | 16,92 TWh | 3,32% |
| Consumo de energia elétrica - 100% atendimento em 2022: | 22,83 TWh | 4,49% |

# Principal consumo de eletricidade no saneamento:

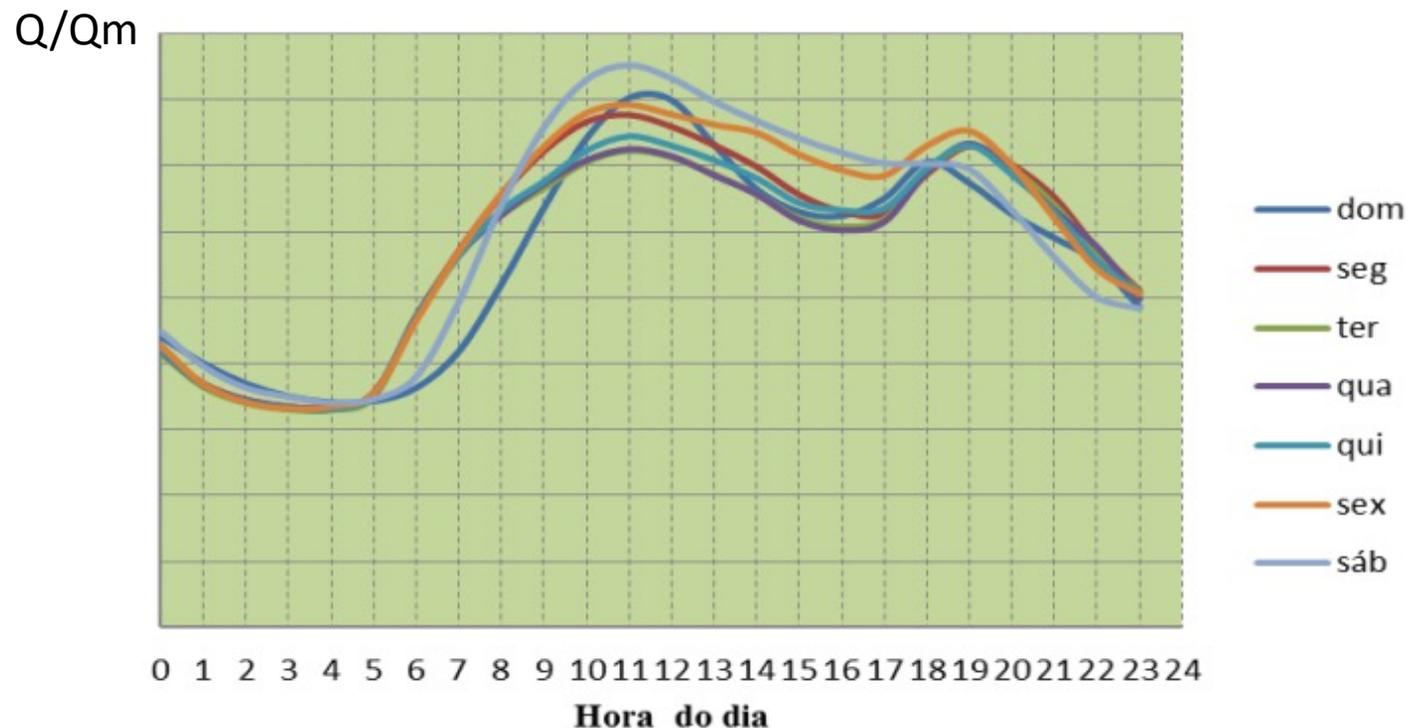
Ao analisar o consumo total de energia elétrica em uma empresa de saneamento, verifica-se que o bombeamento de fluidos é o componente que responde pela maior parcela da energia elétrica faturada.

Neste contexto as ações de eficiência energética na operação direta destes ativos ou as ações que, indiretamente, modificam as regras operacionais dos mesmos são os pontos nevrálgicos para que se consiga a eficiência energética.



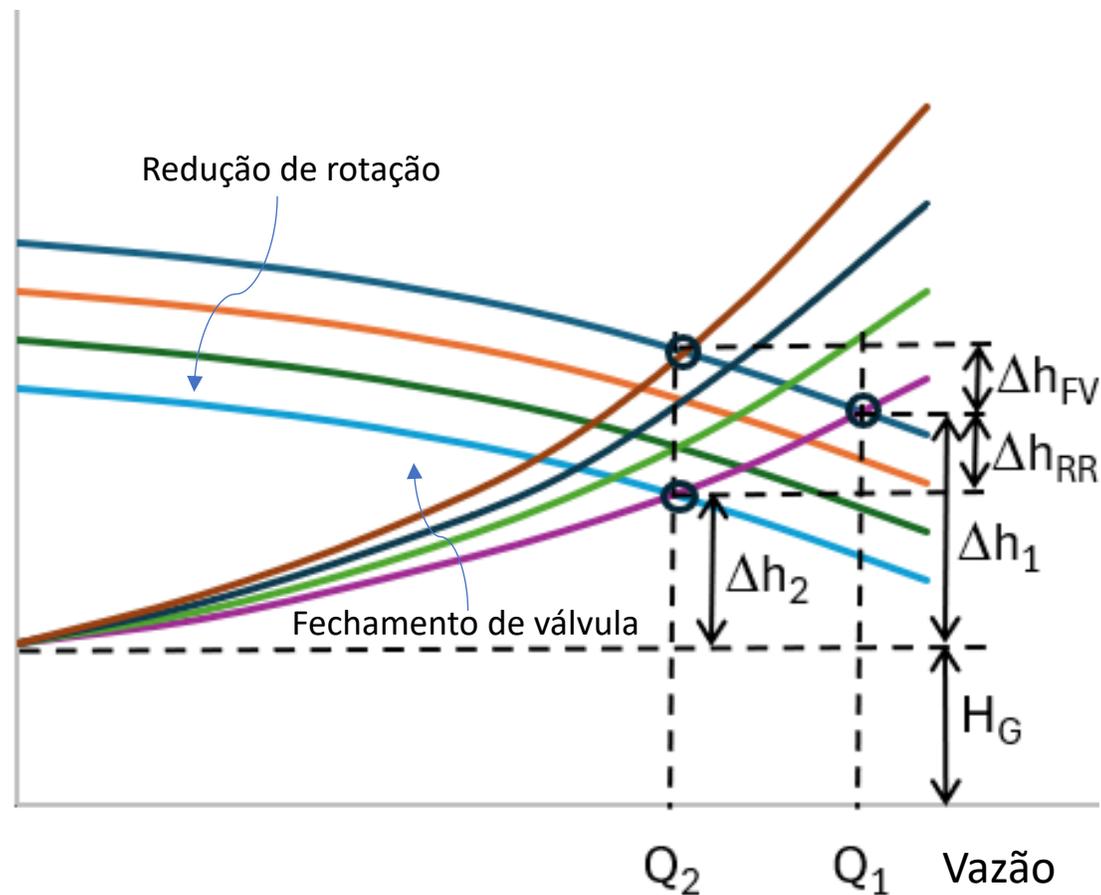
# Variabilidade dos pontos de funcionamento:

As variações nas vazões ao longo do dia requer ajustes constantes no ponto de funcionamento. Isto é feito com válvulas ou inversores de frequência.



# Bombeamento e ajuste de vazões:

Altura Manométrica



Pto. Funcionamento 1 ( $Q_1, H_{M1}$ ):

$$H_{M1} = H_G + \Delta h_1$$

Pto. Funcionamento 2 ( $Q_2, H_{M2,V}$ ):  
(fechamento de válvula de jusante)

$$H_{M2,V} = H_G + \Delta h_1 + \Delta h_{FV}$$

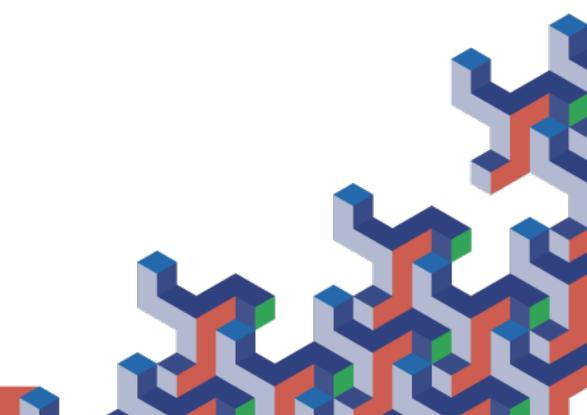
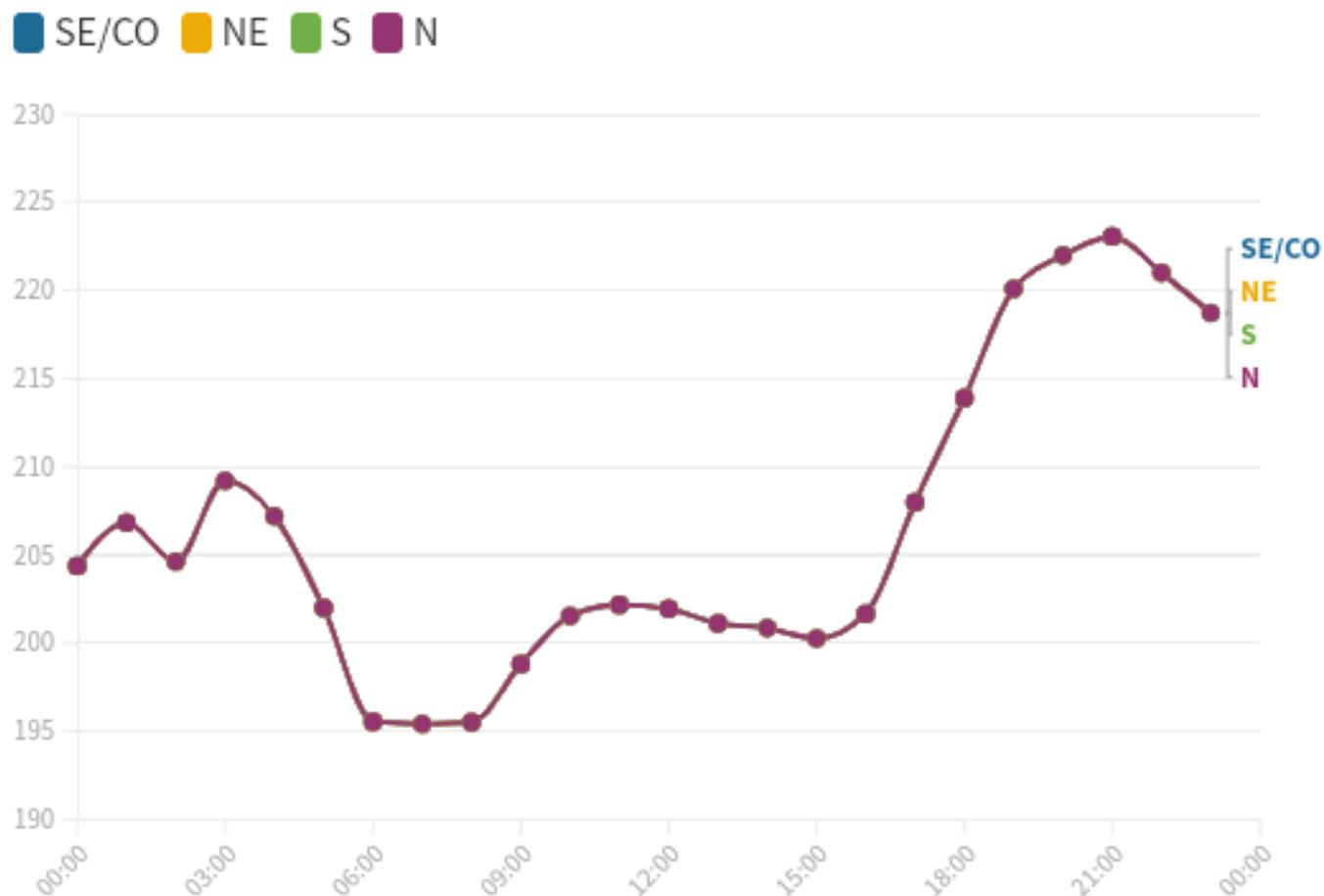
$$Q_2 < Q_1 \text{ e } H_{M2,V} > H_{M1}$$

Pto. Funcionamento 2 ( $Q_2, H_{M2,R}$ ):  
(ajuste de rotação)

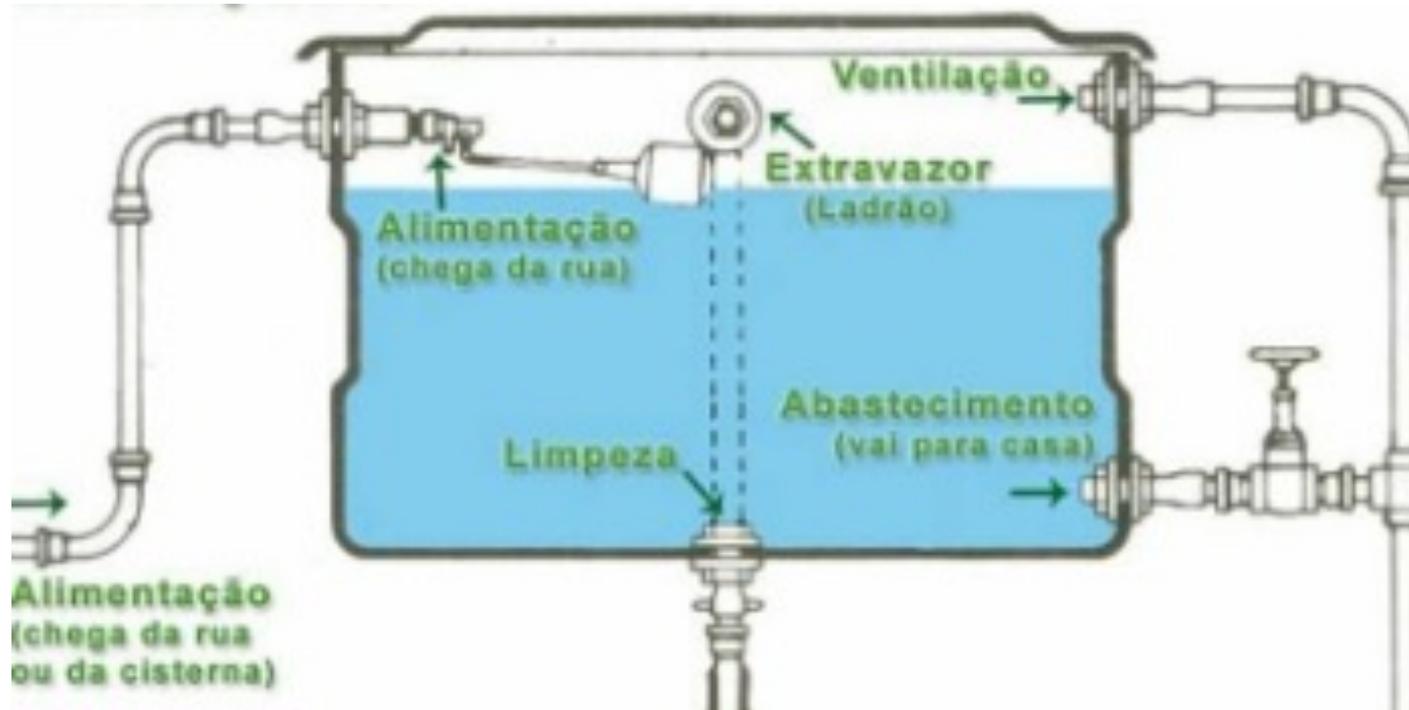
$$H_{M2,R} = H_G + \Delta h_1 - \Delta h_{RR}$$

$$Q_2 < Q_1 \text{ e } H_{M2,R} < H_{M1}$$

# Exemplo de curva de preço horário da energia



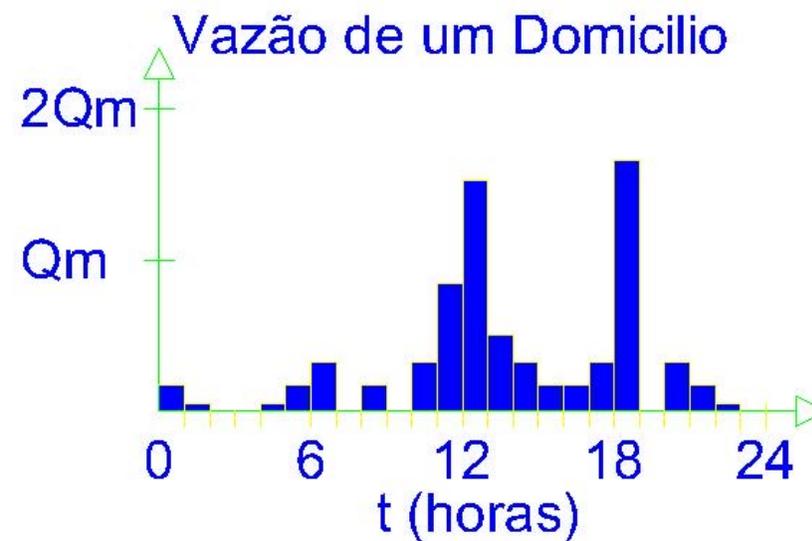
# O reservatório Domiciliar de Água:



**Observação:** O reservatório domiciliar tem a função de garantir suprimento temporário em situações de pane no sistema público. Não é aproveitado a função estratégica de armazenamento. O m<sup>3</sup> de água tem o mesmo valor em qualquer hora do dia.

# Situação:

O perfil de consumo de água em cada domicílio é ainda mais instável que o perfil verificado num dado setor de abastecimento, pois as vazões admitidas têm variações bruscas associadas aos usos intermitentes dos moradores. Os volumes de água consumidos em cada intervalo de tempo (hora) são pequenos quando comparados à capacidade de um reservatório domiciliar (por ex.: 500 litros).



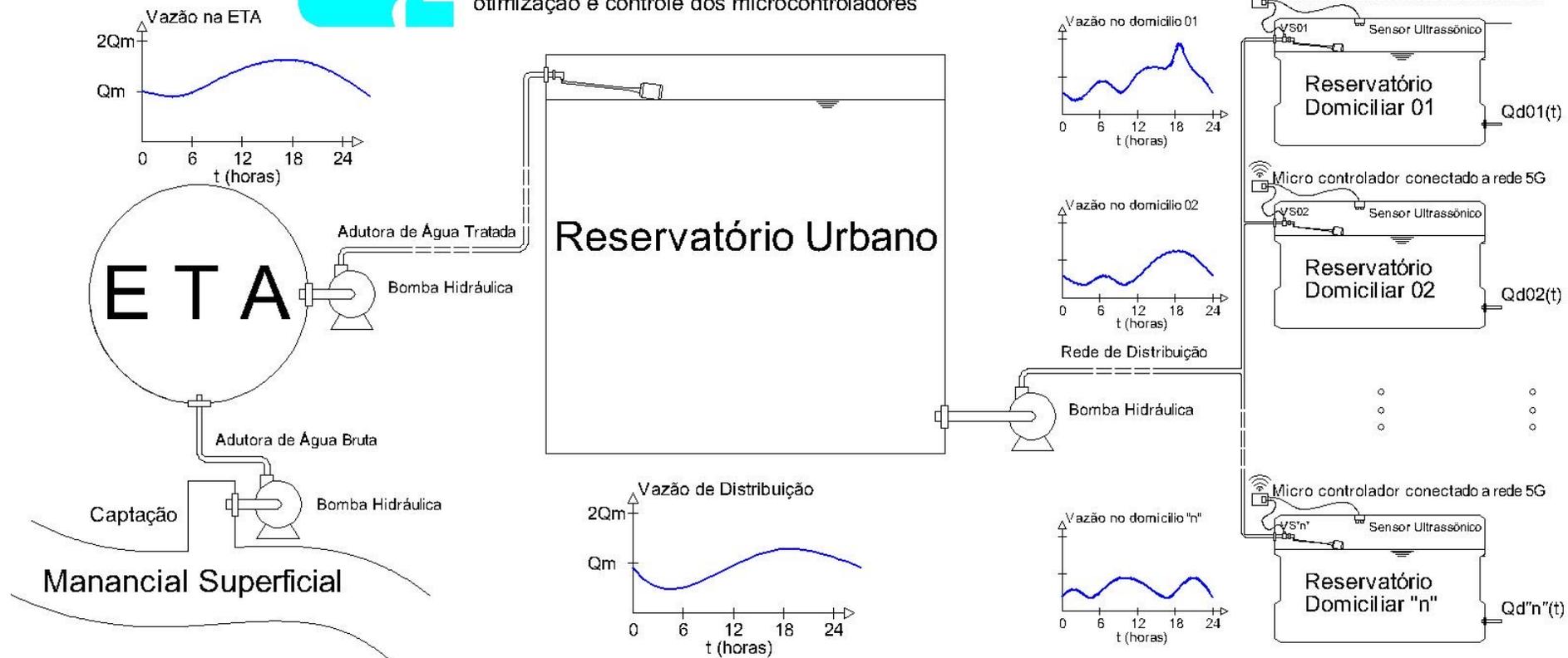
# Hipóteses:

- A adoção de uma válvula solenoide em série com a chave de boia do reservatório domiciliar, pode controlar a entrada de água ao reservatório;
- O estabelecimento de uma curva meta de armazenamento pode ser definida por meio de históricos de consumo horário de água e assim fazer a gestão do volume de água no reservatório domiciliar;
- Atualmente os recursos (hardware e software) estão disponíveis, de fácil instalação e com custos muito acessíveis;
- O usuário não percebe nenhum impacto em seu uso diário de água;
- As companhias de saneamento ganham flexibilidade operacional tanto para atendimento de pico na demanda, quanto nas manobras de manutenção e reestabelecimento após alguma pane.



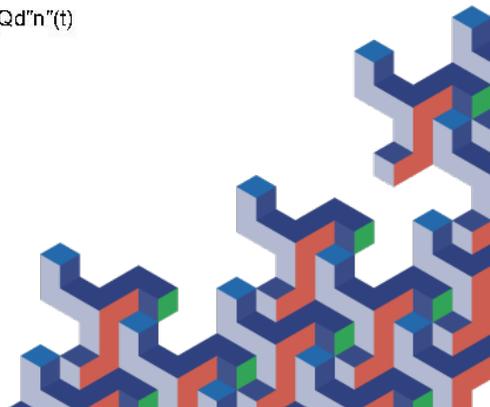
# IA na Gestão de Reservatórios:

servidor e banco de dados em nuvem para otimização e controle dos microcontroladores



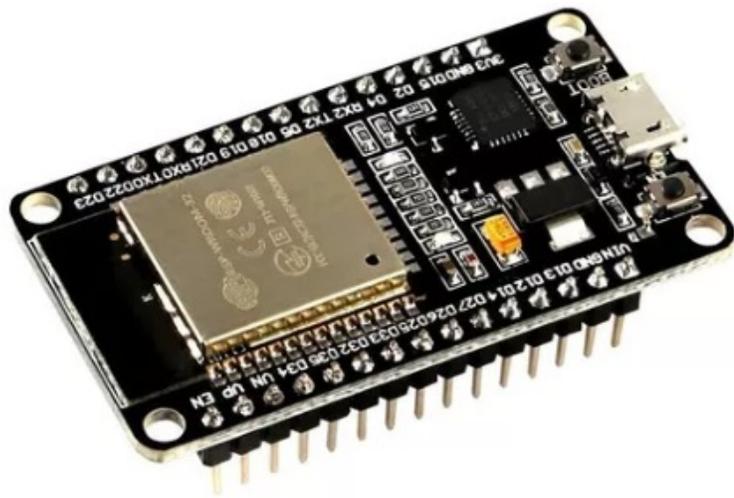
## Tecnologias Envolvidas:

- Previsão de Demanda de Água;
- Otimização da Curva de Armazenamento;
- Comunicação com Banco de Dados em Nuvem;
- Otimização Cooperativa via Teoria dos Jogos;
- Monitoramento do Armazenamento via Automação.



# Recursos Tecnológicos (Hardware):

Do ponto de vista da tecnologia de informação para automação, os recursos já estão disponíveis, pois vários setores da indústria já os utilizam. E têm custos extremamente baratos.



# Recursos Tecnológicos (Software):

Os Softwares já estão disponíveis e carecem de customizações e adequações a cada etapa do processo.

O Solver do Microsoft Excel ou mesmo o Google Planilhas pode fazer a calibração individualizada para cada unidade consumidora (domicílio);

O GAMS, que é um otimizador de grande capacidade é ideal para o modelo de otimização cooperativa dos domicílios contidos no setor de abastecimento e pode ser processado a distância na nuvem;

A IDE do Arduino é a plataforma para o desenvolvimento para modelagem do microcontrolador.



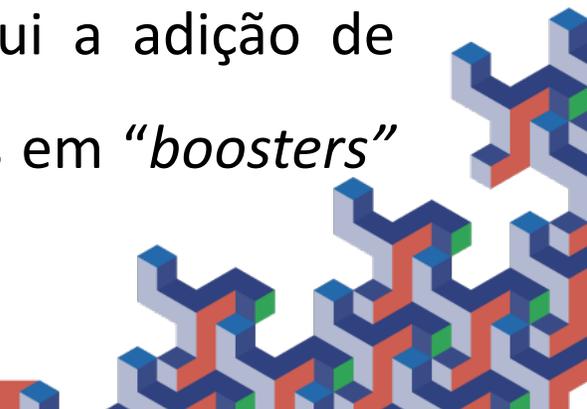
# Benefícios Operacionais:

- Possibilidade de ajustar as vazões de adução de água bruta, tratamento de água e adução de água tratada para valores menos variáveis, ou mais “flats” ao longo do dia;
- Potencial melhoria na qualidade do processo de tratamento de água (melhor controle com as dosagens constantes no tratamento de água);
- Diminuição do número de intervenções humanas no processo;
- Potencial melhoria no índice de manutenção das instalações pois os transientes são bastante reduzidos;
- Maior conforto aos gestores que podem dedicar seu tempo mais voltado às ações estratégicas do que as operacionais.



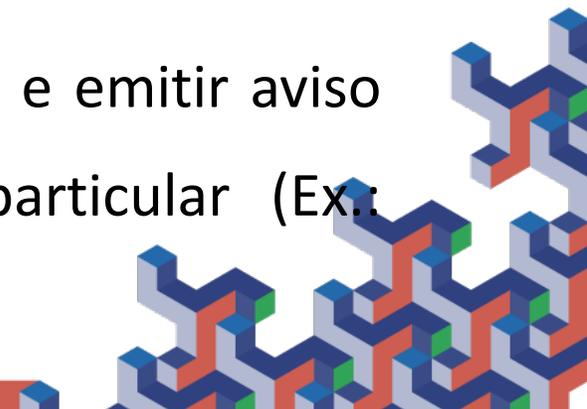
# Benefícios Elétricos:

- Ganhos energéticos com melhores ajustes do ponto de funcionamento das bombas próximos ao rendimento máximo e maior fator de potência dos motores;
- Diminuição da demanda de energia elétrica advinda da diminuição das vazões nos horários de ponta, podendo, até mesmo, reavaliar as potências dos transformadores elétricos, pois no uso convencional eles ficam superdimensionados em parte do dia com consideráveis “perdas no ferro”;
- Diminuição da utilização de inversores de frequência, o que diminui a adição de harmônicas na rede de distribuição de energia elétrica, pois as vazões em “*boosters*” deixam de necessitar constantes ajustes de vazões.



# Benefícios Ambientais:

- Potencial diminuição de perdas físicas de água, pois estão diretamente relacionadas com a carga (pressão) no interior das tubulações, ou seja, os pontos potenciais de vazamentos, perdem menos água se o sistema operar com pressões menores, em função da suavização das vazões;
- Nas captações de água bruta superficial, a diminuição dos picos de vazões em mananciais com escassez, em determinadas épocas do ano, representa menores danos a fauna e a flora aquática;
- Detecção de padrões “estranhos” no consumo da unidade domiciliar e emitir aviso automático ao usuário de que existe problema na instalação particular (Ex.: esquecimento de torneira aberta).



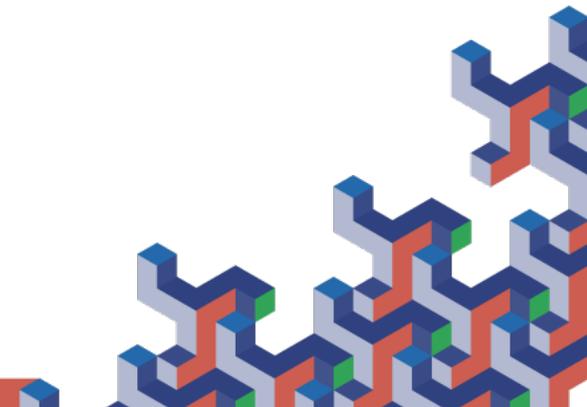
# Benefícios Econômicos:

- Para os usuários é possível pensar na adoção de um futuro “smart hidrômetro” onde a tarifa de água possa ser horária e assim o planejamento individual pode levar a adoção de hábitos que reduzam o custo mensal com a conta de água;
- Para as empresas de saneamento existe a possibilidade de postergar ampliações nas instalações que sejam necessárias somente para os horários de pico e que ficam parte do dia ociosas;
- Redução dos custos com energia elétrica advindos da diminuição das vazões nos horários de ponta, podendo, até mesmo, efetuar um planejamento onde não há operação do sistema no horário de ponta de demanda de energia elétrica;
- Redução nos valores de contrato de demanda com a concessionária de Energia Elétrica.



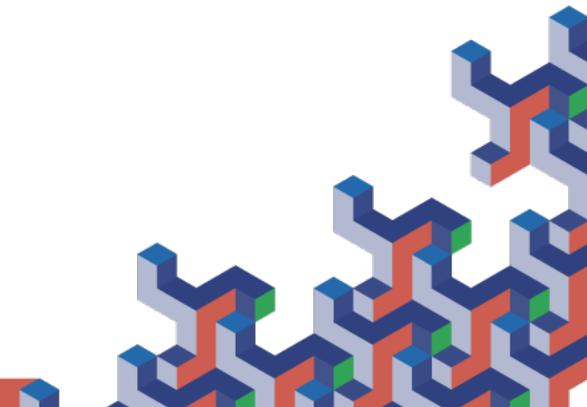
# Operações em Situações Emergenciais:

- Na hipótese de falta de energia elétrica, como a válvula solenoide é do tipo “normalmente aberta”, o sistema passa a operar na situação comum, controlado por chave de boia que permanece instalada no reservatório, porém, a jusante da válvula solenoide;
- Imaginando uma pane no microcontrolador local, que não possibilita fechamento da válvula solenoide, a chave de boia atua na situação de reservatório cheio, não possibilitando desperdício de água por extravasamento desnecessário;



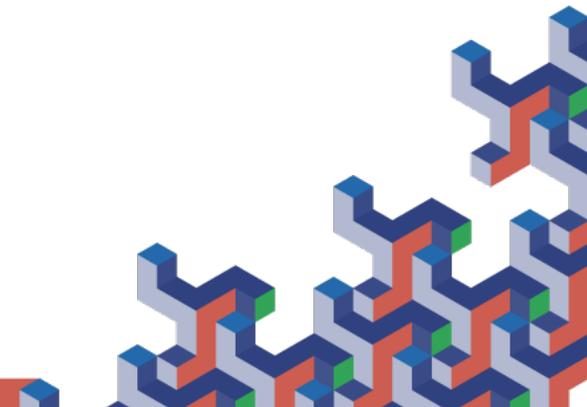
# Operações em Situações Emergenciais:

- Nas situações de reabastecimento de água, após interrupção no fornecimento de água por um dado intervalo de tempo, é possível minimizar o tempo de reabastecimento (ao menos em condições mínimas) o mais rápido possível a todas as ligações, pois no sistema convencional os reservatórios das residências que ficam nas cotas topográficas mais baixas, são os primeiros a receberem água, sendo que os de cota mais altas são os últimos e começam a receber água apenas após os primeiros serem totalmente supridos;
- Com a inteligência artificial é possível, por meio das válvulas solenoide de cada reservatório domiciliar, controlar os reabastecimentos de modo a proporcionar um reabastecimento linear a todos os domicílios, independentemente de suas cotas.



# Expectativas de Resultados:

No ambiente do LPESE da FECFAU/UNICAMP esta pesquisa tem passado por montagem de protótipos em escala reduzida com simulação de demanda realizada por mini bombas hidráulicas (12V) que, por meio de controle PWM (*Pulse Width Modulation*) do microcontrolador é possível obter variação da tensão que alimenta a bomba e assim cria-se, artificialmente curvas de demanda contínuas. Próximos passos serão um projeto piloto, dentro do contexto de uma “*smart city*”.





Muito Obrigado!

Alberto Luiz Francato

Professor Titular DRH / FECFAU / UNICAMP

[francato@unicamp.br](mailto:francato@unicamp.br)

Outubro/2024

