

## III-971 – MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO E OTIMIZAÇÃO ATRAVÉS DO SOFTWARE HYDRANET

### **Luís Fernando Machado<sup>(1)</sup>**

Graduado em Tecnologia em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp e em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo – Fesp. Trabalha desde 2019, na Toraqua Technologies, com aplicação da tecnologia termodinâmica juntos aos clientes das companhias de saneamento e indústrias. Atualmente, ocupa o cargo de executivo de vendas, sendo o responsável pelo portfólio Riventa.

### **André Vizioli Gomes<sup>(2)</sup>**

Pós-graduado em Processos Químicos, Petroquímicos, Farmacêuticos e Controle e Automação. Engenheiro Ambiental, Diretor da Toraqua Technologies, desenvolvendo marcas e tecnologias internacionais no Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua do Poliéster, 398 – Distrito Industrial Abdo Najar - Americana – São Paulo - CEP: 13.474-764 - Brasil - Tel: +55 (19) 99292-1779 - Tel: +55 (19) 3461-8738 - e-mail: [l.machado@toraqua.com.br](mailto:l.machado@toraqua.com.br)

### **RESUMO**

No Brasil, a indústria do saneamento está em constante pressão para melhorar o desempenho em suas operações. Impulsionado por novas políticas públicas o setor busca reduzir o índice de perdas de água e os custos com energia elétrica. Neste sentido, a empresa inglesa Riventa composta por uma equipe multidisciplinar de especialistas em monitoramento de rendimento de bombas de água e esgoto desenvolveram equipamentos de medição que permite desvendar os principais parâmetros operacionais de uma estação elevatória. Concomitantemente, através do software de otimização em tempo real, Hydranet, é possível obter recomendações sobre quais bombas operar, quais as melhores associações de bomba, quais as velocidades utilizar para obter o menor custo operacional, levando em consideração tarifas variáveis, reservação, demanda e desempenho dos ativos. Portanto, o monitoramento de rendimento de bomba e a otimização em tempo real baseadas em dados precisos é uma poderosa ferramenta para minimizar o custo operacional com energia elétrica e direcionar os tomadores de decisão a realizar investimentos para uma economia a longo prazo baseado em um processo de decisão tangível e transparente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento de rendimento de bomba, Otimização em tempo real, Redução do custo de energia elétrica, Gestão de ativos.

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, a indústria do saneamento está em constante pressão para melhorar o desempenho em suas operações. Impulsionado por novas políticas públicas o setor busca reduzir o índice de perdas de água e os custos com energia elétrica.

Segundo Gomes (2012), “manter a qualidade do serviço de abastecimento concomitantemente com o combate à diminuição do excesso do consumo de energia elétrica, depende de um conjunto de ações nas áreas das engenharias hidráulica, mecânica e elétrica”.

Neste sentido, a empresa inglesa Riventa composta por uma equipe multidisciplinar de especialistas em monitoramento de rendimento de bombas de água e esgoto desenvolveram equipamentos de medição que permite desvendar os principais parâmetros operacionais de uma estação elevatória. Concomitantemente, através do software de gestão Hydranet é possível obter recomendações em tempo real sobre quais bombas operar, quais as melhores associações de bomba, quais as velocidades utilizar para obter o menor custo operacional, levando em consideração tarifas variáveis, reservação, demanda e desempenho dos ativos.

O conhecimento dos parâmetros operacionais, tais como: potência elétrica do motor, altura manométrica total, vazão e rendimento da bomba, sem necessidade de interrupção da operação e de forma precisa, confiável, instantânea e sincronizada com a operação do sistema, possibilita aos tomadores de decisão gerenciar de maneira

mais eficiente os ativos e otimizar as estações elevatórias para que possam atender a demanda, independentemente da faixa de vazão que operam, ao menor custo energético possível.

## OBJETIVO

O trabalho objetiva evidenciar a obtenção de dados precisos e de alta qualidade provenientes do monitoramento termodinâmico e a otimização em tempo real do sistema de bombeamento por meio de recomendações operacionais para atendimento da demanda com redução do custo com energia elétrica utilizando o Hydranet.

## VISÃO GERAL DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO DE RENDIMENTO DE BOMBA

A otimização da estação de bombeamento pode ser alcançada por meio de programação informada e seleção de velocidade das bombas para atingir uma demanda necessária com a maior eficiência possível. Para conseguir isso, é fundamental estabelecer curvas individuais da bomba e do sistema que requerem medição de altura manométrica, potência, rendimento hidráulico e vazão (Clifford, 2016).

O método convencional para medição de desempenho calcula a potência de saída da bomba através de medições de pressão diferencial e vazão volumétrica através da bomba. A potência de entrada para a bomba é geralmente obtida pela medição da potência elétrica bruta e uma suposição do rendimento do motor. Este método é muitas vezes caro para implementar no local devido à necessidade de um medidor de vazão a ser instalado em cada bomba, o que nem sempre é possível devido a restrições de espaço físico que também limitam a precisão da aplicação.

A técnica termodinâmica para medição de desempenho de bombas utiliza um método de mapeamento de entalpia – entropia para determinar a eficiência da bomba sem a necessidade de medição direta da vazão.

A premissa está enraizada na termodinâmica fundamental, pois se você medir quaisquer duas variáveis de estado termodinâmicas que incluem temperatura e pressão, poderá calcular qualquer outra variável de estado que inclua entalpia e entropia.

A definição convencional de rendimento hidráulico é mostrada na Equação 1.

$$\eta_H = \frac{\text{Energia de saída}}{\text{Energia de entrada}} = \frac{\text{Energia hidráulica}}{\text{Energia no eixo da bomba}} = \frac{\rho g H Q}{P_e \eta_m} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\eta_H$  = rendimento hidráulico (%);  
 $\rho$  = densidade do fluido ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );  
 $g$  = aceleração da gravidade ( $\text{ms}^{-2}$ );  
 $H$  = altura manométrica total (m);  
 $Q$  = vazão (l/s);  
 $P_e$  = potência elétrica de entrada (kW);  
 $\eta_m$  = rendimento do motor (%).

Considerando isso em termos de perdas de sistemas leva à Equação 2.

$$\eta_H = \frac{\text{Energia de saída}}{\text{Energia de entrada}} = \frac{\text{Energia de saída}}{\text{Energia de saída} + \text{Perdas}} = \frac{1}{1 + \frac{\text{Perdas}}{\text{Energia de saída}}} \quad \text{Equação 2}$$

Substituir a definição de perdas termodinâmicas (Equação 3) e a definição de potência de saída para o fluido (Equação 4) na Equação 2 leva à definição de rendimento hidráulico mostrada na Equação 5.

$$\text{Perdas} = \rho C_p \Delta T Q \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$C_p$  = capacidade de calor específico do fluido ( $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{K}$ );

$\Delta T$  = diferencial de temperatura através da bomba (°K).

$$\text{Energia de saída} = \rho g H Q \quad \text{Equação 4}$$

$$\eta_H = \frac{1}{1 + \frac{\rho c_p \Delta T Q}{\rho g H Q}} = \frac{1}{1 + \frac{c_p \Delta T}{g H}} \quad \text{Equação 5}$$

A equação 5 demonstra que o rendimento da bomba é obtido utilizando apenas a medição de temperatura e pressão, sendo que o valor de vazão é derivado a partir dos outros parâmetros medidos. Não necessitar da medição desta grandeza para conhecer o desempenho do sistema é uma vantagem da aplicação deste tipo de método e que o diferencia dos demais, já que na utilização de outras formas de medição, os valores de vazão são fundamentais.

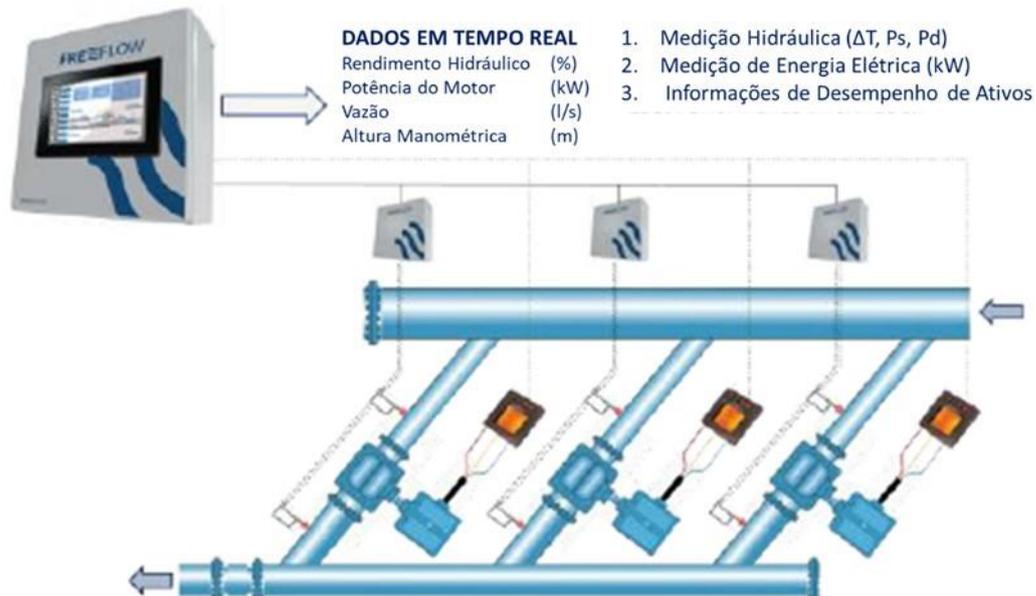
Usando esta definição, a taxa de fluxo agora pode ser calculada através do rearranjo da Equação 1, conforme mostrado na Equação 6.

$$Q = \frac{P_e \eta_m \eta_H}{\rho g H} \quad \text{Equação 6}$$

Segundo Clifford (2016, p.3), os principais benefícios da aplicabilidade deste método de medição de rendimento de bomba são:

- ✓ Custo comparativamente baixo para compra do equipamento;
- ✓ Requisitos de instalação simples e, conseqüentemente, de baixo custo de implantação;
- ✓ Não necessita de trechos retos na tubulação para efetuar uma medição precisa;
- ✓ Adequado para estações de bombeamento com altura manométrica total maiores que 15 mca;
- ✓ Tem limitações de altura manométrica total para obter a melhor precisão.

Um esquema típico de instalação de um sistema termodinâmico FreeFlow é mostrado na Figura 1.



**Figura 1 - Sistema de medição de rendimento Freeflow.**

## **OTIMIZAÇÃO A NÍVEL DA ESTAÇÃO**

Utilizando as medições termodinâmicas de rendimento de bombas, por meio de uma combinação de análise em tempo real e da avaliação dos dados registrados, pode-se quantificar as seguintes informações a nível da estação:

- ✓ Curvas individuais da bomba;
- ✓ Curvas do sistema; e
- ✓ Perfil de demanda.

Devido a grande quantidade de dados gerados, um sistema automatizado de suporte à decisão, conhecido pelas siglas SSD, pode ser criado para calcular, em tempo real, a combinação de bombas mais eficientes e suas respectivas velocidades. Isto seria extremamente difícil de alcançar manualmente por causa do grande número de combinações possíveis.

Para se ter uma ideia, uma estação composta por 10 bombas com velocidade fixa terá 1023 combinações possíveis para escolher e se forem bombas de velocidade variável as combinações são infinitas.

Conforme Clifford (2016) para sistemas com variação da curva do sistema, a altura manométrica e, conseqüentemente o rendimento da bomba mudam constantemente. Devido a isso, o uso do monitoramento em tempo real permite que o sistema de suporte à decisão se modele as essas mudanças e calcule o rendimento ou consumo específico de todas as combinações possíveis em todas as circunstâncias possíveis e recomende a melhor combinação que proporcionará o menor custo operacional possível para a estação de bombeamento.

## **MODELAGEM DE REDE**

Segundo Clifford (2016) os procedimentos de otimização de rede tradicionais contemplam o desenvolvimento de modelos hidráulicos estáticos e algoritmos de otimização. Contudo, os sistemas de distribuição de água são sistemas dinâmicos e, por isso, tendem a causar imprecisão nos resultados da simulação do modelo.

Ainda segundo o autor, é possível superar essa problemática com a utilização de modelos hidráulicos em tempo real gerados com base em dados mais recentes da bomba, do sistema e da demanda obtidos pelo sistema de monitoramento termodinâmico FreeFlow.

## **OTIMIZAÇÃO DE REDE**

A combinação da otimização a nível da estação e de técnicas de modelagem de rede permite a criação de modelos hidráulicos em tempo real que ajudam a superar problemas atuais do estado da arte. Ao utilizar as duas técnicas combinadas é possível criar um sistema de suporte à decisão – a Riventa criou o Hydranet que é o software de gestão em nuvem - que utiliza os dados de rendimento da bomba em tempo real obtidos do monitoramento termodinâmico de rendimento de bomba e os combina com os dados hidráulicos da rede para fornecer um modelo hidráulico dinâmico constantemente atualizado, capaz de remover algumas das suposições tradicionais exigidas na otimização de rede (CLIFFORD, 2016, p.4).

O Hydranet pode ser usado para programar a operação e as velocidades da bomba, simular e/ou prever os níveis do reservatório e otimizar o tempo de operação em relação às tarifas elétricas

## **ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO E OTIMIZAÇÃO EM TEMPO REAL ATRAVÉS DO HYDRANET**

Para a implantação de um sistema de otimização de rede deve ser seguidas duas etapas:

- ✓ 1º etapa: Monitoramento Termodinâmico em tempo real do rendimento da bomba;
- ✓ 2º etapa: Utilização do Hydranet para permitir a equipe operacional a visualização em tempo real do rendimento da bomba e as instruções de como operar o sistema buscando atender a demanda ao menor custo com energia elétrica.

### 1ª ETAPA: MONITORAMENTO TERMODINÂMICO EM TEMPO REAL

A realização do monitoramento termodinâmico em tempo real do rendimento da bomba deve ser precedida da montagem dos equipamentos.

Na estação elevatória a receber o monitoramento termodinâmico em tempo real deve ser instalado, em cada bomba, um conjunto composto por monitor da bomba, transdutor de pressão e transdutor de temperatura nos pontos de tomada na tubulação de sucção e de recalque, conforme mostra a Figura 2 e 3.

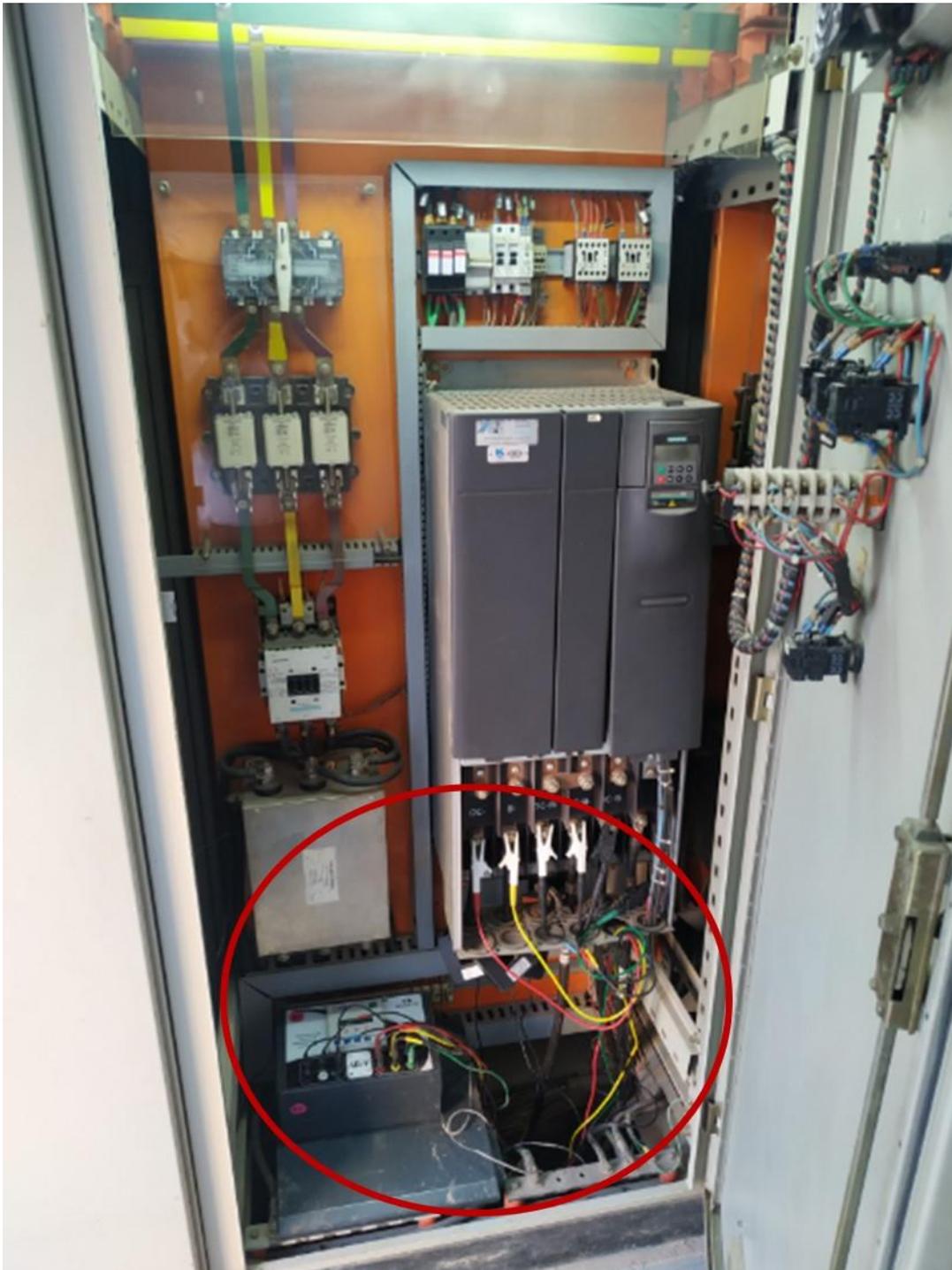


**Figura 2 - Vista do equipamento de medição termodinâmica de rendimento de bomba composto por monitor da bomba, transdutor de temperatura e transdutor de pressão.**



**Figura 3 - Equipamentos para medição do rendimento da bomba instalados nos pontos de tomada na tubulação de sucção e recalque da bomba.**

No painel elétrico de cada bomba é instalado analisador de grandezas elétricas para medição de potência, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4 - Analisador de grandezas elétricas instalado no inversor de frequência.**

Na estação de bombeamento é instalado uma Interface Homem Máquina (IHM), conforme Figura 5.

O equipamento de medição de rendimento de bomba e o analisador de grandezas elétricas de cada bomba enviam os dados medidos através de uma malha sem fio totalmente digital para a IHM que os agrupa e fornece em tempo real as seguintes informações:

- ✓ Rendimento hidráulico (%);
- ✓ Potência do motor (kW);
- ✓ Altura manométrica (m);

✓ Vazão (l/s)

Essas informações são enviadas para uma plataforma digital em nuvem, denominada Hydranet, por um sistema de banda larga, que alimenta o modelo hidráulico.



**Figura 5 - Interface Homem Máquina (IHM).**

## **2º ETAPA: SOFTWARE DE GESTÃO EM TEMPO REAL PARA SUPORTE À DECISÃO - HYDRANET**

O Hydranet é um software de gestão integrado, ou do inglês *Enterprise Resource Planning* (ERP), que unifica informações e permite gerenciar e otimizar recursos.

O Hydranet recebe os dados do monitoramento termodinâmico em tempo real por meio da IHM avalia e fornece recomendações sobre a programação de bombas e programação de válvulas de reservatório (para utilizar o potencial de armazenamento) para alcançar o menor custo operacional. A figura 6 evidencia as etapas do processo de otimização em tempo real.



**Figura 6 - Fluxo das etapas da otimização em tempo real.**

A Tabela 1 evidencia o monitoramento em tempo real das bombas de uma estação de bombeamento. Os dados na última linha da tabela são as médias para cada parâmetro operacional da associação que estava operando no momento da análise, são eles: altura manométrica, potência elétrica, rendimento hidráulico, vazão e consumo específico.

**Tabela 1 - Monitoramento em tempo real do desempenho de cada bomba.**

Real time performance						
NAME	SPEED (RPM)	HEAD (M)	POWER (KW)	PUMP EFF. (%)	FLOW (MLD)	SPE. POW. (KWH/ML)
Pump 01	ON	193.13	397.9	84.4	14	681.7
Pump 02	OFF	0	0	0	0	0
Pump 03	OFF	0	0	0	0	0
Pump 04	ON	193.84	621.5	83.6	22.9	650.6
Pump 05	OFF	0	0	0	0	0
Pump 06	ON	193.56	617.5	79.6	21.7	683.1
Pump 07	ON	193.85	607.5	83.6	22.4	650.2
Pump 08	OFF	0	0	0	0	0
Pump 09	ON	193.34	625.3	80.8	22.4	671.2
Pump 10	OFF	0	0	0	0	0
	-	<b>193.54</b>	<b>2,869.8</b>	<b>82.4</b>	<b>103.4</b>	<b>666</b>

Fonte: Hydranet

A Figura 7 mostra o consumo específico para a combinação otimizada. Observa-se que há uma redução de 2,77% em relação a operação atual, passando dos 666 kWh/ML ou 0,666 kWh/m<sup>3</sup> para 647,5 kWh/ML ou 0,6475 kWh/m<sup>3</sup>.

Eff.	Flow	Spe. Pow.	Combination
81.6	99.9	647.5	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 01</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 02</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: green; color: white;">Pump 03</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: green; color: white;">Pump 04</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 05</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 06</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: green; color: white;">Pump 07</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 08</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: red; color: white;">Pump 09</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: green; color: white;">Pump 10</div> </div>

**Figura 7 - Combinação de bomba otimizada para o menor consumo específico.**

Fonte: Hydranet.

Na figura 8, é possível observar o Hydranet fornecendo orientação em tempo real sobre a melhor combinação de bombas a ser adotada para atender à demanda ao menor custo operacional. Observa-se, ainda, que a operação atual prioriza a associação em paralelo com 5 bombas e a sugestão otimizada para atendimento a demanda atual é a operação com 4 conjuntos em paralelo, proporcionando a redução do consumo específico acima e, conseqüentemente, economia com a redução do custo com energia elétrica.

Pump scheduling			
	Eff.	Flow	Combination
Actual	?	82.3	103.7
			
Optimum	?	81.6	99.9
			

**Figura 8 - Comparativo entre a combinação de bomba atual e a otimizada pelo Hydranet.**

Fonte: Hydranet

O Hydranet também fornece uma avaliação do potencial de economia que poderá ser obtido por bomba caso ela volte a operar na condição de projeto. Essa análise é realizada automaticamente pelo software em função de um intervalo de tempo escolhido para avaliação e baseia-se na curva individual obtida pela medição termodinâmica com o equipamento FreeFlow. A Tabela 2 mostra um modelo desse relatório, com o potencial de economia com redução de energia elétrica e o retorno do investimento com a reforma do equipamento.

Tabela 2 - Modelo de relatório de economia para a bomba 4 de uma determinada estação elevatória com monitoramento em tempo real pelo Freeflow.

**Pump Capital report of Pump 04**  
**From 14/05/2022 to 21/05/2022**  
**Generated the 23/05/2022 - 09:09**

Parameter	Current	Refurbished	Unit
Speed	1,489.0	1,485.0	RPM
Flow rate	298.13	309.49	l/s
Differential Head	170.38	170.38	m
Hydraulic Efficiency	81.21	85.09	%
Shaft Power	613.41	607.73	kW
Drive Efficiency	97.0	97.0	%
Input Power	632.38	626.53	kW
Specific Energy	589.21	562.34	kWh/MI
Utilisation factor	100.0	96.33	%
Annual Volume	9,401,852,473.51	9,401,852,473.51	l/year
Annual energy usage	5,539,644.63	5,287,000.76	kWh/year
Annual energy cost	2,769,822.31	2,643,500.38	£/year
Energy cost saving	126,321.94		£/year
Refurbishment cost	61,249.0		£
PayBack Period	0.48		years

Fonte: Hydranet

As figuras 9 a 11 mostram, respectivamente, as curvas características da bomba. A linha em azul de cada figura representa a curva fornecida pelo fabricante para altura manométrica, potência elétrica e rendimento hidráulico em função da vazão. Os pontos em preto representam os dados provenientes do monitoramento em tempo real pelo FreeFlow. O círculo em vermelho representa a possível operação da bomba após a reforma. O quadrado em vermelho simboliza o ponto de operação.

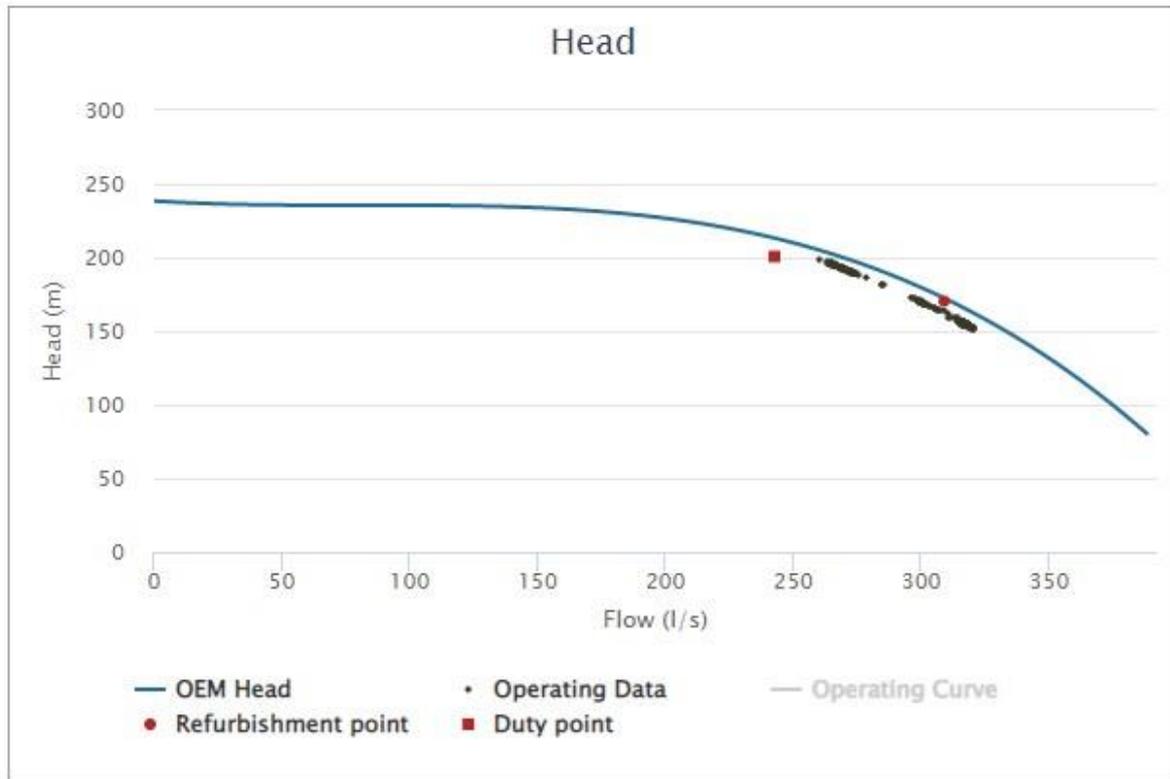


Figura 9 - Gráfico de vazão x altura manométrica obtidos do Hydranet.

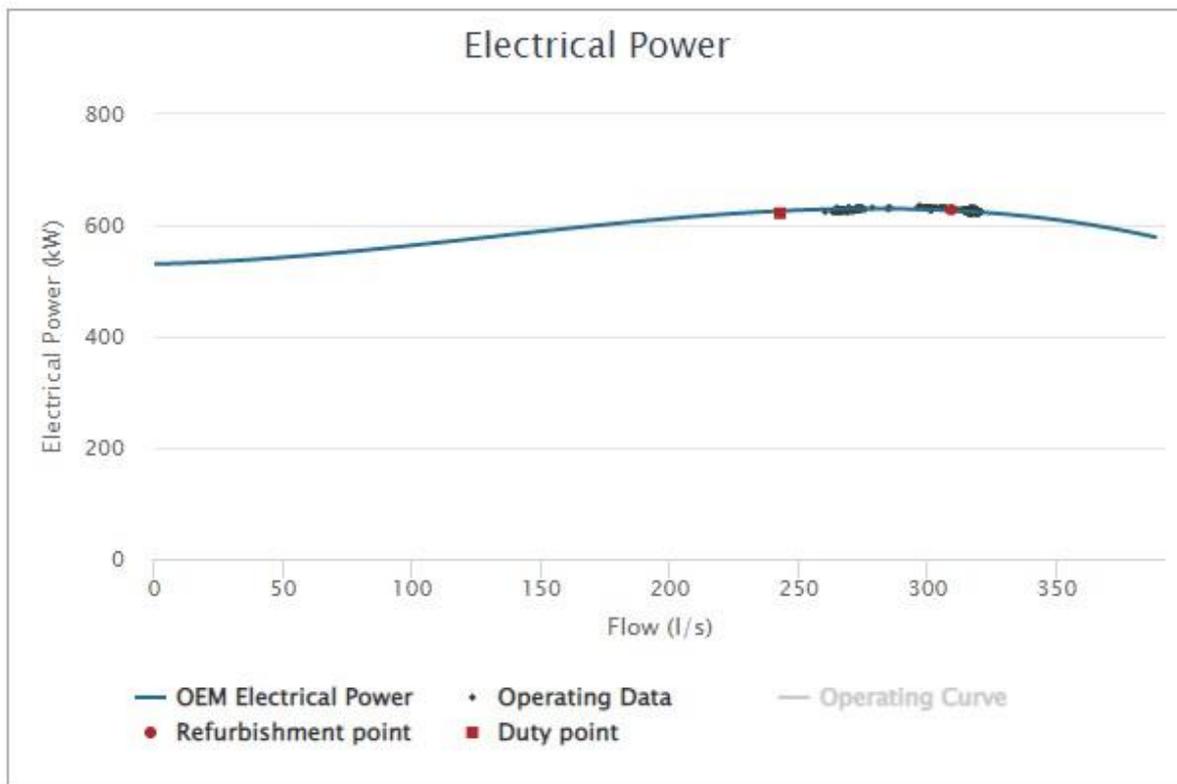


Figura 10 - Gráfico de vazão x potência elétrica obtido do Hydranet.

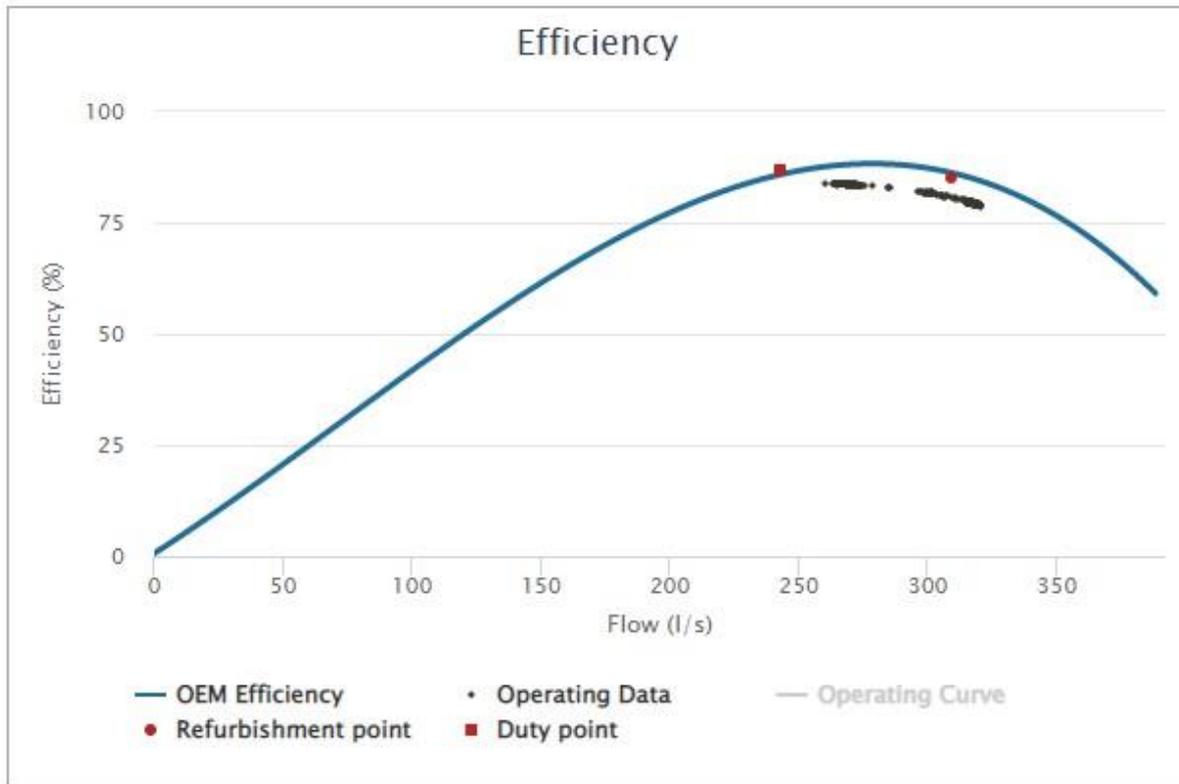


Figura 11 - Gráfico de vazão x rendimento hidráulico obtido do Hydranet.

## RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO EM TEMPO REAL ATRAVÉS DO HYDRANET

O uso do monitoramento termodinâmico para medição do rendimento das bombas e a otimização da estação de bombeamento permite identificar as interações dentro de sua rede, possibilitando programar operações com precisão para atendimento à demanda com reduções significativas de custos com energia elétrica, um processo que seria muito complexo para a equipe operacional realizar utilizando apenas a experiência de trabalho (CLIFFORD, 2016, p.7).

As economias alcançadas da instalação do sistema de otimização de rede em tempo real podem ser categorizadas em 3 níveis:

- ✓ Economia a nível da estação;
- ✓ Economia a nível de rede;
- ✓ Economia de capital.

A economia a nível da estação é obtida através da otimização de cada estação de bombeamento de forma isolada de todo o sistema através da programação de bombas e seleção de velocidade com objetivo de redução do consumo específico.

A economia a nível de rede é alcançada através da otimização do tempo de operação e da previsão quanto aos níveis de armazenamento de água.

A economia de capital é obtida através de ações para redução de OPEX e alocação de CAPEX para redução dos custos operacionais a longo prazo.

## CONCLUSÕES

Os sistemas de bombeamento apresentam alto custo de operação para as companhias de saneamento. Parcela significativa deste custo é proveniente das estações de bombeamento devido ao alto consumo com energia



elétrica. Portanto, se torna imperativo que as empresas do setor de saneamento invistam levando em consideração o capital do investimento em equipamentos e com os custos operacionais.

Desta forma, o monitoramento de rendimento de bomba e a otimização em tempo real baseadas em dados precisos são uma poderosa ferramenta a ser utilizadas para minimizar o custo operacional com energia elétrica e direcionar os tomadores de decisão a realizar investimentos para uma economia a longo prazo baseado em um processo de decisão tangível e transparente.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CLIFFORD, Tom. *Severn Trent Water Melbourne real time pump and turbine network optimization*. Pump Centre Conference, p. 1-8, abr. 2016.
2. GOMES, Heber Pimentel. *Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética*. 2ª edição revisada. P.459, 2012.