

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAM PATRICK HECKLER

**ESTUDO DE CASO SOBRE EFICIÊNCIA E FATURAMENTO ENERGÉTICO EM
BOMBAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA
INDUSTRIAL NO HORÁRIO DE PONTA**

MEDIANEIRA

2025

WILLIAM PATRICK HECKLER

**ESTUDO DE CASO SOBRE EFICIÊNCIA E FATURAMENTO ENERGÉTICO EM
BOMBAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA
INDUSTRIAL NO HORÁRIO DE PONTA**

**Case study about efficiency and energy billing on an industrial river water
pumping station at peak consumption hours**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Luis Paulo Zanolla Boschetti

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

WILLIAM PATRICK HECKLER

**ESTUDO DE CASO SOBRE EFICIÊNCIA E FATURAMENTO ENERGÉTICO EM
BOMBAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA
INDUSTRIAL NO HORÁRIO DE PONTA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 13/fevereiro/2025

Luis Paulo Zanolla Boschetti
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yuri Ferruzzi
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Amauri Massochin
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2025

RESUMO

Este trabalho aborda o estudo de caso do uso de bombas de captação de água em uma indústria, com foco na análise do faturamento energético e na viabilidade de reduzir o tempo de operação das bombas no período de ponta. O estudo se justifica na necessidade de otimizar os custos de energia, especialmente em horários com tarifas mais elevadas, alinhando-se às estratégias de eficiência energética. O objetivo principal foi avaliar os ganhos potenciais dessa mudança operacional e comparar as projeções com os resultados reais alcançados após a implementação. A metodologia incluiu a análise dos dados históricos do tempo de funcionamento das bombas, das necessidades do processo e do histórico de consumo. Os resultados mostraram uma redução de 17,22% da fatura de energia no primeiro ano de implementação. O trabalho também abordou os desafios de gestão de mudanças na indústria, destacando a importância de ações como ajustes nos planos de controle, reconfiguração da automação e treinamento das equipes para assegurar a eficácia da transição. A conclusão ressalta que o projeto trouxe benefícios tangíveis, tanto econômicos quanto culturais, ao fomentar uma abordagem mais sustentável e estratégica na gestão energética da indústria.

Palavras-chave: custo industrial; energia elétrica - consumo; bombas hidráulicas.

ABSTRACT

This work addresses a case study on the use of water pumping systems in an industrial setting, focusing on energy billing analysis and the feasibility of reducing pump operation time during peak periods. The study is justified by the need to optimize energy costs, especially during hours with higher tariffs, aligning with energy efficiency strategies. The main objective was to evaluate the potential gains from this operational change and compare the projections with the actual results achieved after implementation. The methodology included analyzing historical data on pump operating times, process requirements, and consumption history. The results showed a 17.22% reduction in energy bills during the first year of implementation. The study also addressed the challenges of change management in the industry, highlighting the importance of actions such as adjustments to control plans, system automation reconfiguration, and team training to ensure an effective transition. The conclusion emphasizes that the project delivered tangible benefits, both economic and cultural, by promoting a more sustainable and strategic approach to energy management in the industry.

Keywords: industrial cost; electric power consumption; pumping machinery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1: Grupos e Subgrupos tarifários | 11 |
| Figura 2: Diagrama de uma bomba centrífuga | 15 |
| Figura 3: Transformações energéticas em conjunto motor-bomba | 16 |
| Figura 4: Mapa de processo da captação de água | 17 |
| Figura 5: Distribuição do tempo de parada das bombas por dia | 18 |
| Figura 6: Distribuição do tempo de parada ao longo do dia | 19 |
| Figura 7: Distribuição do tempo de parada no horário de ponta | 20 |
| Figura 8: Gráfico de distribuição do consumo de água no horário de ponta | 20 |
| Figura 9: Tarifas de demanda e consumo para o subgrupo A4 | 22 |
| | |
| Quadro 1: Comparativo antes x depois | 23 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Enquadramento Subgrupo A4..... | 14 |
| Tabela 2: Histórico de consumo e valor da fatura..... | 21 |
| Tabela 3: Simulação de consumo e valor da fatura no melhor cenário | 24 |
| Tabela 4: Simulação de consumo e valor da fatura no cenário médio | 24 |
| Tabela 5: Retorno real obtido após 12 meses | 25 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL | 10 |
| 2.1 | Consumidor | 10 |
| 2.2 | Grupos e subgrupos consumidores..... | 11 |
| 2.3 | Postos tarifários | 11 |
| 2.3.1 | Posto tarifário de ponta | 12 |
| 2.3.2 | Posto tarifário intermediário..... | 12 |
| 2.3.3 | Posto tarifário fora ponta | 12 |
| 2.4 | Modalidades Tarifárias | 12 |
| 2.4.1 | Modalidade convencional | 12 |
| 2.4.2 | Modalidade horária branca..... | 13 |
| 2.4.3 | Modalidade horária verde..... | 13 |
| 2.4.4 | Modalidade horária azul | 13 |
| 2.5 | Enquadramento | 13 |
| 3 | BOMBAS | 15 |
| 4 | ANÁLISE DA PLANTA | 17 |
| 4.1 | Mapa de processo | 17 |
| 4.2 | Histórico de consumo..... | 21 |
| 5 | PROPOSTA DE MUDANÇA | 23 |
| 5.1 | Alternativa de processo..... | 23 |
| 5.2 | Retorno estimado | 23 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 25 |
| 7 | CONCLUSÃO | 26 |
| | REFERÊNCIAS..... | 27 |

1 INTRODUÇÃO

Sendo a água um recurso importantíssimo para diversos processos industriais, são utilizadas diversas estratégias para que essa água esteja disponível a esses processos, podendo ser oriundos da rede pública, ou rede privada de abastecimento de água, sendo esta proveniente de: poços artesianos (mananciais subterrâneos) ou rios (mananciais superficiais), em alguns casos, são utilizadas combinações dessas possibilidades

Esse trabalho trata de uma unidade industrial que utiliza captação de água de um rio, através de bombas elétricas, em uma unidade com seu próprio contrato de fornecimento de energia, não compartilhando nenhuma função com a indústria em si, como toda a carga da unidade está destinada as bombas de captação de água, isso implica diversas particularidades quanto ao perfil de consumo da energia elétrica, que pode trazer problemas, ou numa visão mais otimista, oportunidades para melhorar a eficiência energética e diminuir o custo. Para que se tome vantagem dessas oportunidades, é preciso conhecer, além da curva de carga das bombas, o grupo tarifário e a modalidade tarifária que a unidade se encontra, as aplicações de postos tarifários para os grupos e modalidades específicos, e suas possíveis alternativas.

Com todas essas informações, foi possível elaborar soluções de automação do processo, para que se atinja uma melhor eficiência energética sem afetar em nenhum momento o fornecimento de água para a indústria.

Especificamente essa unidade, se enquadra no subgrupo A4, com fornecimento de energia em 13,8kV. Atualmente na modalidade horária verde, estando sujeita ao posto(horário) tarifário de ponta, os desdobramentos desse tipo de contrato e os demais serão abordados ao longo do trabalho.

2 ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Proret – Procedimentos de Regulação Tarifária, em seu Módulo 7: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição – Submódulo 7.1 PROCEDIMENTOS GERAIS, define.

Estrutura Tarifária é um conjunto de tarifas aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, que refletem a diferenciação relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e os postos tarifários.

O custo regulatório referente à Receita Requerida ou à Receita Anual é calculado nos procedimentos de revisão ou de reajuste tarifário. Esse custo é desmembrado em vários elementos tarifários que correspondem às diferentes funções de custos: Transporte, Perdas, Encargos e Aquisição de Energia para Revenda. Por sua vez, essas categorias de custo são combinadas para estabelecer as tarifas finais:

- a) TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição;
- b) TE – Tarifa de Energia.

A partir das funções de custos, é possível construir, para ambos TUSD e TE, as diferentes modalidades tarifárias, com base em critério temporal, postos tarifários, e por faixa de tensão, os grupos/subgrupos tarifários.

Para facilitar a análise, serão apresentados os agentes do sistema tarifário, assim como definições que compõe a estrutura tarifária.

2.1 Consumidor

É a pessoa física ou jurídica responsável por uma instalação conectada a rede elétrica de uma concessionária de energia. (ANEEL,2021)

2.2 Grupos e subgrupos consumidores

Devido à grande diversidade dos níveis de potência e energia consumida, os consumidores atendidos são separados nos grupos A e B, para que a tarifação esteja de acordo com o impacto de cada um no sistema.

O grupo A compreende todos os consumidores atendidos com uma tensão de fornecimento acima de 2,3kV, além dos que são conectados através de ramais de distribuição subterrânea. Ficando então no grupo B os demais consumidores atendidos em tensão inferior a 2,3kV.

Para melhor individualizar as características de variação nos padrões de consumo de suas unidades, surgem 6 subgrupos para o grupo A, divididos por nível de tensão, já o grupo B é dividido em 4 subgrupos, definidos pela classe de consumo, conforme a Figura 1.

Figura 1: Grupos e Subgrupos tarifários

| GRUPO A | | GRUPO B | |
|----------|------------------------|----------|--------------------|
| SUBGRUPO | TENSÃO DE FORNECIMENTO | SUBGRUPO | CLASSE DE CONSUMO |
| A1 | $\geq 230\text{kV}$ | B1 | Residencial |
| A2 | 88kV a 138kV | B2 | Rural |
| A3 | 69kV | B3 | Demais Classes |
| A3a | 30kV a 44kV | B4 | Iluminação Pública |
| A4 | 2,3kV a 25kV | | |
| AS | Subterrâneo | | |

Fonte: Ferreira, Marangoni e Konopatzki (2015)

2.3 Postos tarifários

Com o objetivo de incentivar os grandes consumidores a concentrarem seus consumos nos horários com menor sobrecarga no sistema, foram criados postos tarifários com o objetivo de corrigir distorções causadas pelos custos de geração da energia elétrica em horários específicos.

2.3.1 Posto tarifário de ponta

Também conhecido como o horário de ponta, é o horário de 3 (três) horas diárias consecutivas, que são definidos pela distribuidora de acordo com a curva de carga do seu sistema elétrico e aprovados pela ANEEL. Esse posto não se aplica aos sábados, domingos, e feriados nacionais conforme a Resolução Normativa N°1000, da ANEEL (2021).

Para a área de concessão da Copel, o Horário de Ponta inicia às 18 h e finaliza 21 h.

2.3.2 Posto tarifário intermediário

Período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao posto ponta. (ANEEL,2021)

2.3.3 Posto tarifário fora ponta

Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta e intermediário. (ANEEL,2021)

2.4 Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias definem qual o enquadramento do consumidor quanto a aplicação dos postos tarifários, assim como uma divisão entre a tarifa que será exercida para a contratação de demanda, medida em kW, seja ela no posto de ponta ou fora ponta, assim como a tarifa de consumo de energia, medida em kWh. (ANEEL,2021)

2.4.1 Modalidade convencional

É caracterizada por uma única tarifa, para o consumo, sem tarifa para demanda, e independente do horário no dia.

2.4.2 Modalidade horária branca

Possui 3 tarifas diferenciadas de consumo de energia, sem tarifa para demanda, e divididas da seguinte forma:

- Uma tarifa para o posto tarifário ponta;
- Uma tarifa para o posto tarifário intermediário;
- Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta.

2.4.3 Modalidade horária verde

A modalidade tarifária horária verde é caracterizada por:

- Uma tarifa para a demanda, sem segmentação horária;
- Uma tarifa para o consumo de energia elétrica no posto tarifário ponta;
- Uma tarifa para o consumo de energia elétrica no posto tarifário fora ponta.

2.4.4 Modalidade horária azul

A modalidade tarifária horária azul é caracterizada por:

- Uma tarifa para a demanda para o posto tarifário ponta;
- Uma tarifa para a demanda para o posto tarifário fora de ponta;
- Uma tarifa para o consumo de energia elétrica no posto tarifário ponta;
- Uma tarifa para o consumo de energia elétrica no posto tarifário fora ponta.

2.5 Enquadramento

O enquadramento das modalidades tarifárias com o subgrupo A4 pode ser visto na Tabela 1, assim como as tarifas a serem aplicadas neste caso.

Tabela 1: Enquadramento Subgrupo A4

| Grupo | Subgrupo | Modalidade | TUSD | | | | TE | | | |
|-------|---------------------------|--------------------|-------------|-------------------|---------------|-----------------------|-------------|-------------------|---------------|--------------|
| | | | Ponta | Interme diária | Fora Ponta | Sem posto | Ponta | Interme diária | Fora Ponta | Sem posto |
| A | A4 (2,3 kV a 25 kV) | Azul | R\$/kW | | R\$/kW | R\$/MW h | R\$/MW h | | R\$/MW h | |
| | | Verde | R\$/M Wh | | R\$/MW h | R\$/kW | R\$/MW h | | R\$/MW h | |
| | | Convencional B. | | | | R\$/kW R\$/MW h | | | | R\$/MW h |
| | | Distribuição | R\$/kW | | R\$/kW | R\$/MW h | | | | R\$/MW h |
| | | Geração | | | | R\$/kW | | | | |

Fonte: Adaptado de ANEEL (2012)

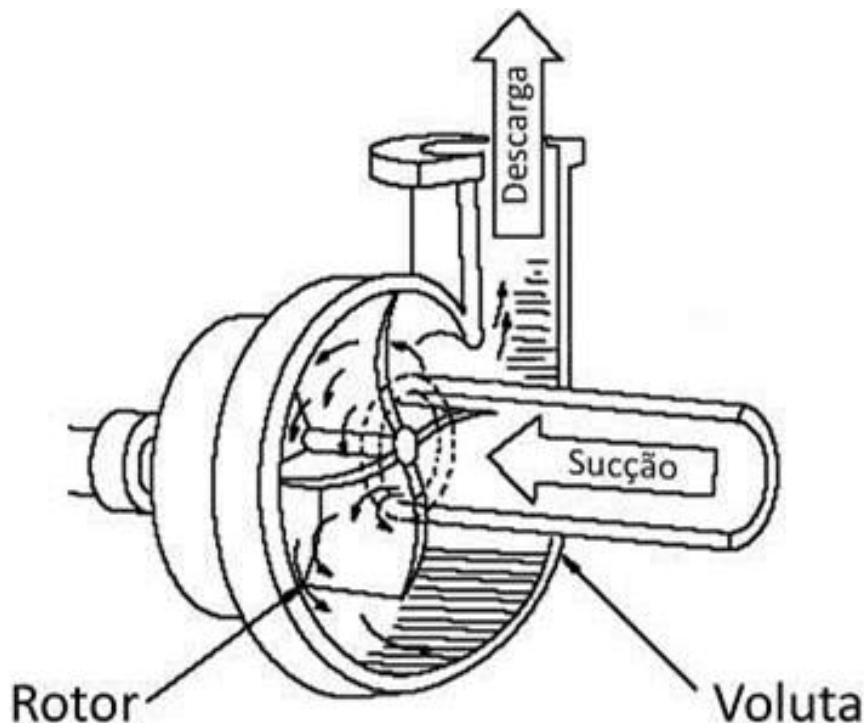
3 BOMBAS

Uma bomba hidráulica é uma máquina projetada para mover fluido através de tubos pressurizados, inclusive contra os efeitos da gravidade. Isso é feito convertendo a energia mecânica recebida do motor em energia hidráulica na forma de pressão e energia cinética. Em princípio, qualquer motor pode ser usado; na prática, os motores elétricos dominam. (GOMES,2012)

Quando a aplicação demanda de grandes volumes de água mas não de grandes alturas manométricas, a classe mais indicada é a Bomba Centrífuga, nesta classe, a vazão é diretamente proporcional a corrente elétrica do motor. (KASPER,2022)

A energia centrífuga é transferida para o líquido através pás girantes, dessa forma, acontece um fluxo de bombeamento gerado pela pressão. (DEGRAUS,2019)
O funcionamento da bomba centrífuga está exemplificado na Figura 2.

Figura 2: Diagrama de uma bomba centrífuga

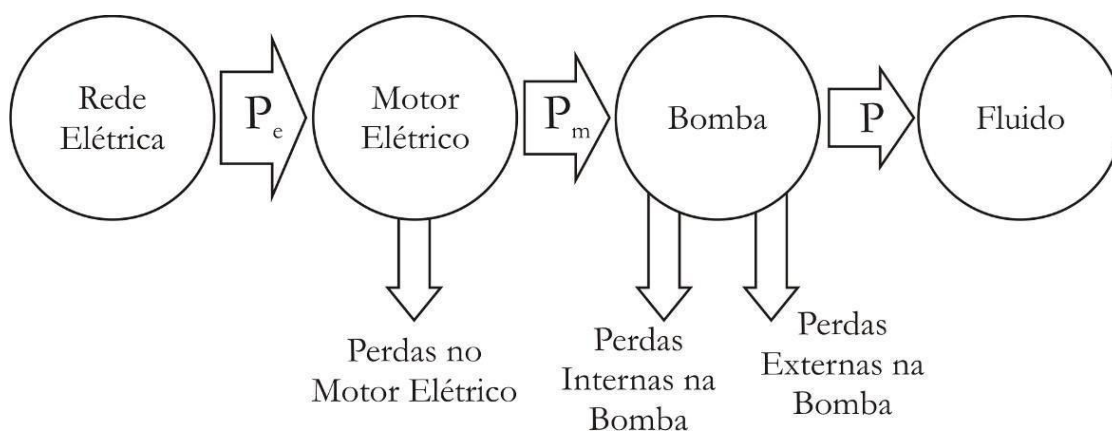


Fonte: Gomes (2012)

A composição básica de um sistema de bombeamento é: uma tubulação de sucção, o conjunto motor-bomba e uma tubulação de recalque. (OLIVEIRA, 2020)

Na Figura 3, está demonstrado graficamente todas as transformações de energia que ocorrem em um sistema de bombeamento utilizando um motor elétrico acoplado a uma bomba.

Figura 3: Transformações energéticas em conjunto motor-bomba



Fonte: Gomes (2012)

4 ANÁLISE DA PLANTA

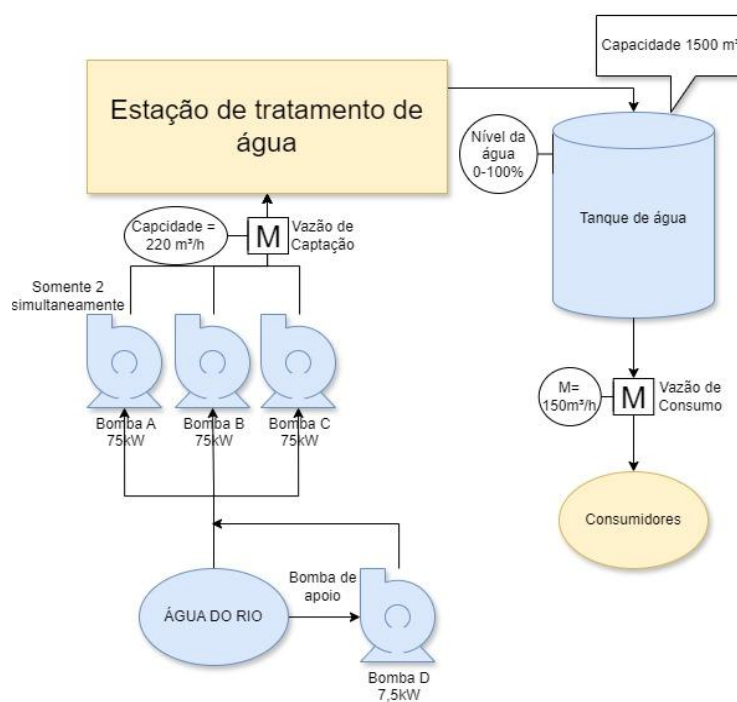
Como citado anteriormente, o consumidor objeto de estudo deste trabalho atualmente é enquadrado no subgrupo A4, e optante da modalidade horária verde, isto é, possui uma tarifa para a demanda, sem segmentação horária, uma tarifa para o consumo no horário de ponta e uma tarifa para o horário fora de ponta.

De acordo com um mapa de processo e a curva de carga dessa unidade consumidora, foi analisada a viabilidade de uma mudança no processo de captação e bombeamento de água, visando uma redução de custos.

4.1 Mapa de processo

Na Figura 4, pode-se observar um mapa de processo simplificado da captação de água, contendo os itens de interesse para o estudo deste trabalho, sendo, a potência das bombas e o nível de capacidade de armazenamento, além da capacidade de bombeamento das bombas para captação, e da vazão média de consumo da indústria.

Figura 4: Mapa de processo da captação de água

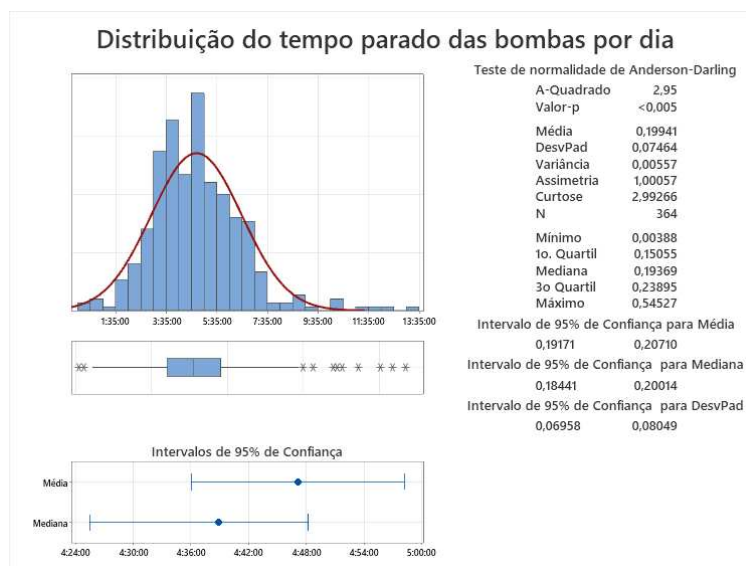


Fonte: Autoria própria (2024)

O controle do acionamento das bombas se dá de acordo com a medição de nível do tanque de armazenamento, de modo a manter o tanque com nível entre 90% e 98%, ou seja, quando o nível desce até 90% o bombeamento é ativado, e quando atinge 98%, as bombas são desligadas. Por motivos de segurança de processo, o nível do tanque de armazenamento não pode ser menor do que 75%.

O acionamento entre as bombas A, B e C ocorrem sempre em pares, isso é feito para manter a redundância e em caso de falha, ter a disponibilidade imediata para retomar a operação, a capacidade necessária para o abastecimento é atendida pelo acionamento de 2 bombas. Sendo que a bomba D é uma bomba submersa, posicionada de forma a ser acionada como apoio em momentos de baixa do rio, bombeando água para a calha de coleta das demais bombas, por ter uma potência consideravelmente menor, seu impacto não foi analisado de forma isolada. Visto que o acionamento não acontece durante todo o período diário, e não temos dados para o consumo energético instantâneo, a avaliação foi de acordo com os seguintes itens: (a) qual o tempo diário em que as bombas estão desligadas, e (b) a distribuição de horários em que isso ocorre. Essas informações são importantes pois o objetivo é concentrar o maior tempo de parada possível no período de ponta.

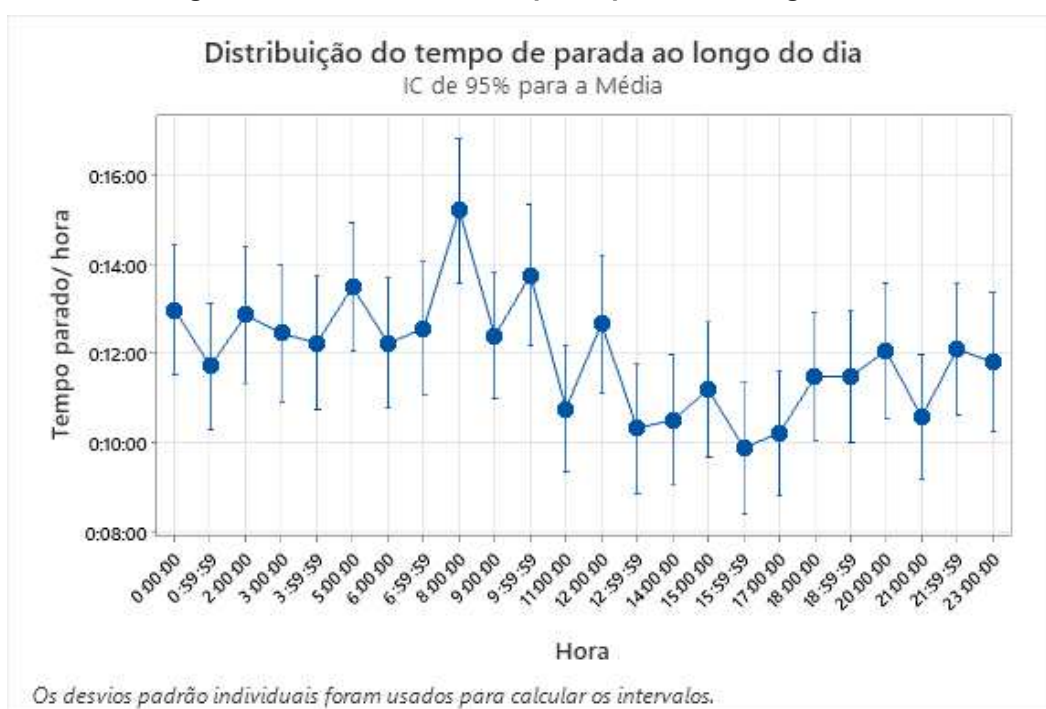
Figura 5: Distribuição do tempo de parada das bombas por dia



Fonte: Autoria própria (2024)

Utilizando o banco de dados que armazena as informações do processo, foram extraídos os valores de tempo desligado por dia e tempo desligado por hora, durante o período de 1 ano. A distribuição dos tempos de parada encontrados pode ser vista na Figura 5. Devido à presença de valores atípicos, para as análises, foi utilizado o valor da mediana de 4:38 h/dia de tempo desligado. Também foram coletados os valores de hora em hora para o tempo desligado das bombas, sua distribuição ao longo do dia pode ser vista na Figura 6. Essa distribuição mostra que não existe uma concentração do tempo de parada em um horário específico.

Figura 6: Distribuição do tempo de parada ao longo do dia

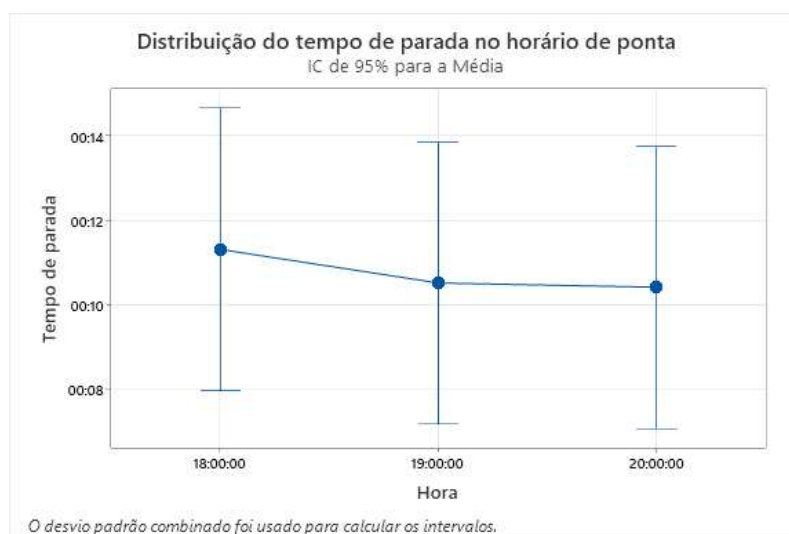


Fonte: Autoria própria (2024)

Fazendo um corte do gráfico apresentado na Figura 6. Considerando somente o horário de ponta, entre 18:00 e 21:00, é obtida uma média de 35 minutos durante o horário de ponta onde o consumo é nulo a cada dia, distribuídos conforme apresenta a Figura 7.

Esses dados mostram que na situação anterior, os consumidores significativos da unidade de captação de água funcionavam em média durante 2 h e 25 min do total de 3 h do período de ponta, ou seja, 80% do tempo de ponta estava em pleno consumo.

Figura 7: Distribuição do tempo de parada no horário de ponta

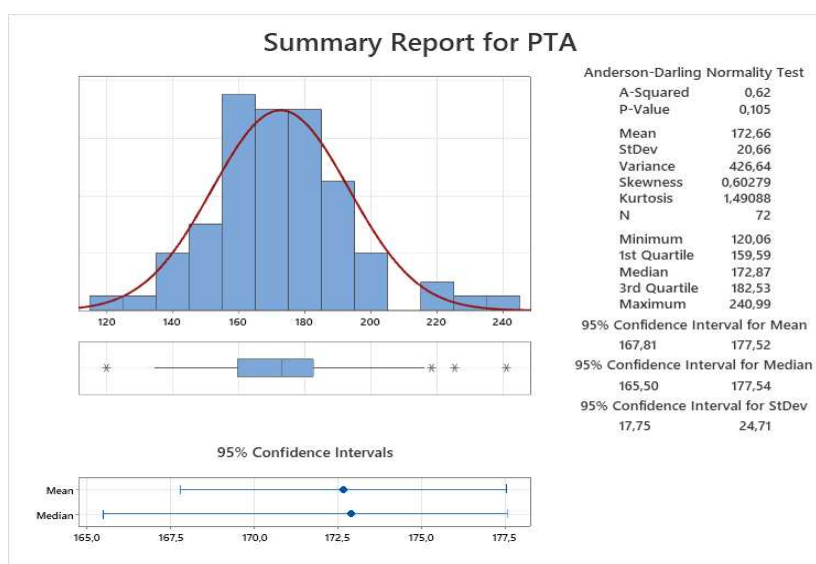


Fonte: Autoria Própria (2024)

Para entender o limite de redução desse tempo de consumo no horário de ponta, é preciso avaliar a vazão média de consumo de água do reservatório e o tempo de esvaziamento até o limite seguro para o processo, que é de 75% do reservatório com água.

Na Figura 8, pode-se ver a distribuição da média do consumo de água durante o período de ponta, que é de 150 m³/h.

Figura 8: Gráfico de distribuição do consumo de água no horário de ponta



Fonte: Autoria própria (2024)

No melhor caso, onde se inicia o horário de ponta com o tanque em 98% de sua capacidade total de armazenamento que é de 1500 m³, o tempo de esvaziamento até a margem de segurança seria de aproximadamente 2 h e 18 min, ou seja, a possibilidade de estar em pleno consumo em apenas 23% do período de ponta.

4.2 Histórico de consumo

Para estimar a redução, foi necessário avaliar o histórico de consumo dessa unidade consumidora, após isso, foi possível elaborar uma simulação de acordo com as considerações de processo descritas no item 4.1.

A tabela 2 mostra o histórico de consumo energético no período de um ano.

Tabela 2: Histórico de consumo e valor da fatura

| Mês | Consumo FP(KWh) | Consumo PT(KWh) | Valor Fatura(R\$) |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 46392 | 6764 | R\$ 40.940,01 |
| 2 | 49721 | 6922 | R\$ 42.885,51 |
| 3 | 53429 | 7799 | R\$ 46.594,63 |
| 4 | 49002 | 7288 | R\$ 43.345,54 |
| 5 | 46815 | 6630 | R\$ 40.848,27 |
| 6 | 44484 | 6375 | R\$ 39.168,43 |
| 7 | 47188 | 6766 | R\$ 41.326,49 |
| 8 | 45888 | 6613 | R\$ 40.365,91 |
| 9 | 52615 | 7389 | R\$ 45.301,97 |
| 10 | 49066 | 7072 | R\$ 42.901,09 |
| 11 | 49745 | 7237 | R\$ 43.589,99 |
| 12 | 51555 | 7651 | R\$ 45.369,53 |
| Total anual | | | R\$ 512.637,37 |

Fonte: Autoria própria (2024)

Deve-se também pontuar que a demanda contratada do objeto de estudo é de 120 kW, esse valor é fixo para todos os cálculos, de modo que não havia nenhum histórico de ultrapassagem deste valor e não é prevista nenhuma mudança na demanda do sistema.

Os valores das tarifas de consumo no horário de ponta, consumo no horário fora de ponta e demanda utilizados para o cálculo da fatura são os valores divulgados publicamente pela concessionária de energia, conforme a Figura 9.

Figura 9: Tarifas de demanda e consumo para o subgrupo A4

| Escolha sua tarifa | | | Fora de ponta | | | |
|-------------------------------|-----|--|---------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Grupo Tarifário | | | Sem imposto | 24,22 TUSD (R\$/kW) | 0,27554 TE (R\$/kWh) | 0,09275 TUSD (R\$/kWh) |
| A1 | A3 | A4 | | | | |
| A2 | A3a | A5 | Com imposto | 31,60 TUSD (R\$/kW) | 0,359... TE (R\$/kWh) | 0,12101 TUSD (R\$/kWh) |
| Modalidade tarifária | | | | | | |
| Azul | | Verde | | | | |
| Azul - Poder Público Estadual | | Verde - Aquicultura e Irrigação em Ho... | | | | |
| | | | Ponta | | | |
| | | | Sem imposto | 24,22 TUSD (R\$/kW) | 0,43489 TE (R\$/kWh) | 1,25120 TUSD Ponta (R\$/kWh)* |
| | | | | | | |
| | | | Com imposto | 31,60 TUSD (R\$/kW) | 0,56741 TE (R\$/kWh) | 1,63245 TUSD (R\$/kWh) |

Fonte: COPEL (2024)

O cálculo simplificado da fatura é dado a seguir:

$$VF = TarD \cdot Dem + TarPT \cdot ConsPT + TarFP \cdot ConsFP$$

- VF = Valor da Fatura [R\$]
- TarD = Tarifa de demanda [R\$/kW]
- Dem = Demanda contratada[kW]
- TarPT = Tarifa de consumo no horário de ponta [R\$/kWh]
- ConsPT = Consumo de energia no horário de ponta [kWh]
- TarFP = Tarifa de consumo no horário fora de ponta [R\$/kWh]
- ConsFP = Consumo de energia no horário fora de ponta [kWh]

Para este estudo, não estão consideradas ultrapassagens de demanda, visto que não existe histórico de ultrapassagem e não estão planejadas mudanças que possam alterar essa situação. Também não está considerado o consumo de energia reativa devido fator de potência fora do limite de 0,92 especificado pela concessionária.

5 PROPOSTA DE MUDANÇA

Para a proposta de mudança, foi apresentada uma alternativa de funcionamento do sistema, no ponto dos níveis de desligamento e religamento em relação ao nível dos tanques de água tratada, mostrados anteriormente.

5.1 Alternativa de processo

De acordo com as informações mostradas no capítulo 4. Pode-se considerar uma alternativa ao processo, alterando o nível para religada das bombas de 90% para 75% somente durante o horário de ponta, respeitando os limites de segurança. De acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Comparativo antes x depois

| Antes | | | Depois | | |
|----------------|------------|-------|----------------|------------|-------|
| | Fora ponta | Ponta | | Fora ponta | Ponta |
| Desliga bombas | 98% | 98% | Desliga bombas | 98% | 98% |
| Religa bombas | 90% | 90% | Religa bombas | 90% | 75% |

Fonte: Autoria própria (2024)

Essa mudança previu uma redução de 80% do período em plena carga para 23% do período em plena carga durante o horário de ponta considerando o melhor cenário. Onde no início do horário de ponta, o nível dos tanques está em 98%, e o consumo durante o período se mantenha na média de 150 m³/h.

5.2 Retorno estimado

Para calcular o retorno estimado do projeto, foram consideradas duas possibilidades, o melhor cenário apresentado em 5.1 e um cenário médio.

Para o melhor cenário, a redução de consumo em plena carga durante o horário de ponta passa de 2 horas e 18 minutos para 48 minutos, e o cenário médio considera uma redução para 1 hora. Isso representa uma redução no consumo de 69,57% no melhor cenário e 56,62% no cenário médio. O cálculo mês a mês para esses casos podem ser vistos nas tabelas 3 e 4, mostradas abaixo.

Tabela 3: Simulação de consumo e valor da fatura no melhor cenário

| SIMULAÇÃO COM REDUÇÃO PONTA – MELHOR CENÁRIO | | | | |
|--|-----------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mês | Consumo FP(KWh) | Consumo PT(KWh) | Valor Fatura(R\$) | Economia |
| 1 | 51097,39 | 2058,61 | R\$ 32.847,40 | R\$ 8.092,61 |
| 2 | 54536,30 | 2106,70 | R\$ 34.603,86 | R\$ 8.281,65 |
| 3 | 58854,39 | 2373,61 | R\$ 37.263,71 | R\$ 9.330,91 |
| 4 | 54071,91 | 2218,09 | R\$ 34.626,00 | R\$ 8.719,54 |
| 5 | 51427,17 | 2017,83 | R\$ 32.915,98 | R\$ 7.932,29 |
| 6 | 48918,78 | 1940,22 | R\$ 31.541,22 | R\$ 7.627,21 |
| 7 | 51894,78 | 2059,22 | R\$ 33.231,49 | R\$ 8.095,01 |
| 8 | 50488,35 | 2012,65 | R\$ 32.453,96 | R\$ 7.911,95 |
| 9 | 57755,17 | 2248,83 | R\$ 36.461,59 | R\$ 8.840,38 |
| 10 | 53985,65 | 2152,35 | R\$ 34.439,98 | R\$ 8.461,11 |
| 11 | 54779,43 | 2202,57 | R\$ 34.931,46 | R\$ 8.658,52 |
| 12 | 56877,43 | 2328,57 | R\$ 36.215,69 | R\$ 9.153,84 |
| | | Total anual | R\$ 411.532,33 | R\$ 101.105,04 |

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 4: Simulação de consumo e valor da fatura no cenário médio

| SIMULAÇÃO COM REDUÇÃO PONTA – CENÁRIO MÉDIO | | | | |
|---|-----------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Mês | Consumo FP(KWh) | Consumo PT(KWh) | Valor Fatura(R\$) | Economia |
| 1 | 50215,13 | 2940,87 | R\$ 34.364,76 | R\$ 6.575,25 |
| 2 | 53633,43 | 3009,57 | R\$ 36.156,67 | R\$ 6.728,84 |
| 3 | 57837,13 | 3390,87 | R\$ 39.013,26 | R\$ 7.581,37 |
| 4 | 53121,30 | 3168,70 | R\$ 36.260,91 | R\$ 7.084,63 |
| 5 | 50562,39 | 2882,61 | R\$ 34.403,28 | R\$ 6.444,99 |
| 6 | 48087,26 | 2771,74 | R\$ 32.971,32 | R\$ 6.197,10 |
| 7 | 51012,26 | 2941,74 | R\$ 34.749,30 | R\$ 6.577,19 |
| 8 | 49625,78 | 2875,22 | R\$ 33.937,45 | R\$ 6.428,46 |
| 9 | 56791,39 | 3212,61 | R\$ 38.119,16 | R\$ 7.182,81 |
| 10 | 53063,22 | 3074,78 | R\$ 36.026,44 | R\$ 6.874,65 |
| 11 | 53835,48 | 3146,52 | R\$ 36.554,94 | R\$ 7.035,05 |
| 12 | 55879,48 | 3326,52 | R\$ 37.932,03 | R\$ 7.437,50 |
| | | Total anual | R\$ 430.489,53 | R\$ 82.147,84 |

Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com as simulações, a economia anual para o melhor cenário é de R\$ 101.105,04, e para o cenário médio é de R\$ 82.147,84. Esses valores representam uma redução 19,72% e 16,02% ao ano, respectivamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após serem implementadas as mudanças descritas em 5.1, os resultados foram medidos mês a mês e podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5: Retorno real obtido após 12 meses

| RETORNO REAL | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Mês | Consumo FP(KWh) | Consumo PT(KWh) | Valor Fatura(R\$) | Economia Real |
| 1 | 51023,22 | 2664,34 | R\$ 34.144,32 | R\$ 6.795,69 |
| 2 | 51852,13 | 2525,15 | R\$ 34.235,99 | R\$ 8.649,52 |
| 3 | 61095,71 | 3193,69 | R\$ 40.143,61 | R\$ 6.451,02 |
| 4 | 50636,82 | 2838,68 | R\$ 34.342,37 | R\$ 9.003,17 |
| 5 | 52316,79 | 2731,56 | R\$ 34.913,11 | R\$ 5.935,16 |
| 6 | 45530,31 | 2277,15 | R\$ 30.655,96 | R\$ 8.512,47 |
| 7 | 52203,54 | 2829,54 | R\$ 35.074,29 | R\$ 6.252,20 |
| 8 | 54914,12 | 2836,98 | R\$ 36.391,73 | R\$ 3.974,18 |
| 9 | 53261,17 | 2542,55 | R\$ 34.950,62 | R\$ 10.351,34 |
| 10 | 55054,16 | 2767,98 | R\$ 36.307,17 | R\$ 6.593,92 |
| 11 | 57179,01 | 3221,91 | R\$ 38.325,68 | R\$ 5.264,31 |
| 12 | 51583,56 | 2885,96 | R\$ 34.900,81 | R\$ 10.468,72 |
| Total anual | | | R\$ 424.385,66 | R\$ 88.251,70 |

Fonte: Autoria própria (2024)

Apesar da variação ao longo dos meses, o resultado no primeiro ano após a mudança foi positivo, o tempo de funcionamento em plena carga no horário de ponta reduziu de 2 horas e 18 minutos para 54 minutos, uma redução de 60% no consumo de ponta, sendo esse valor equivalente a uma economia de R\$ 88.251,70, ou 17,22% do total anual comparado ao período anterior a mudança.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo de caso sobre o faturamento energético, focado no uso de bombas de captação de água em uma unidade consumidora industrial, evidenciou a relevância de iniciativas voltadas para a redução do consumo no período de ponta. A análise demonstrou que, por meio da redução do tempo de operação das bombas nesse período, foi possível alcançar resultados financeiros positivos, uma economia de 17,22% em relação ao último período de um ano. Embora os ganhos reais tenham apresentado pequenas variações mensais, eles permaneceram próximos às projeções iniciais, confirmando a viabilidade e o impacto da estratégia adotada.

Além dos benefícios financeiros, este projeto destacou a importância da gestão de mudanças no ambiente industrial. A implementação bem-sucedida dessa alteração exigiu um planejamento cuidadoso, que incluiu ajustes nos planos de controle, a reprogramação da automação do sistema e, principalmente, o treinamento do time operacional responsável pela execução. Esses elementos garantiram a adesão da equipe ao novo modelo de operação e a continuidade do desempenho esperado.

Por fim, o estudo reforça que iniciativas como esta não apenas contribuem para a redução de custos operacionais, mas também, fortalecem a cultura de eficiência energética e inovação dentro da indústria. Essa experiência serve de referência para futuras implementações, enfatizando a necessidade de um equilíbrio entre planejamento técnico e engajamento humano para o sucesso de projetos de transformação organizacional.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, Samir de Oliveira; MARANGONI, Filipe; KONOPATZKI, Evandro Andre. Análise dos benefícios da adesão à tarifa branca como forma de gestão energética residencial. **XXXV Encontro nacional de engenharia de produção**. Fortaleza. 2015. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_214_267_28239.pdf> Acesso em: 12 dez. 2024

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), **Resolução Normativa nº 1.000/2021**. Disponível em:

<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2024

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), **Procedimentos de Regulação Tarifária – Proret, Módulo 7 – Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica, Submódulo 7.1 – Procedimentos Gerais – Versão 2.8 – REN nº1060/2023**. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20231060_2_1.pdf> Acesso em: 12 dez. 2024

GOMES, Heber Pimentel. Et al. **Manual de sistemas de bombeamento: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2012.

KASPER, G. **Dimensionamento de sistema de bombeamento de água utilizando energia solar**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2022.

DEGRAUS. **Entenda o funcionamento de uma bomba centrífuga**. 2019.

Disponível em: <<https://degraus.com.br/entenda-o-funcionamento-de-uma-bomba-centrifuga>>. Acesso em: 12 dez. 2024.

OLIVEIRA, J. X. **Economia de energia elétrica de um sistema de bombeamento tipicamente industrial**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.