Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Engenharia Elétrica – Sistemas Eletrônicos

**Letícia Maria Santos Samuel**

# Ações de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes: Um Estudo de Caso

Juiz de Fora
2025

**Letícia Maria Santos Samuel**

# Ações de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes: Um Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Orientador Cristiano Gomes Casagrande

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Samuel, Letícia.
Ações de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes: Um Estudo de Caso / Letícia Maria Santos Samuel. – 2025.
64 f. : il.

Orientador Cristiano Gomes Casagrande
Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Engenharia Elétrica – Sistemas Eletrônicos, 2025.

1. Eficiência Energética. 2. Saneamentos. 3. Motor. 4. Bomba. 5.Inversor de Frequência. I. II. Casagrande, Cristiano. III. Título.

**Letícia Maria Santos Samuel**

**Ações de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes: Um Estudo de Caso**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Aprovado em 20 de Agosto de 2025

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Cristiano Gomes Casagrande - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Dr. Israel Filipe Lopes
Universidade Federal de Juiz de Fora

*Dedico este trabalho a todos que sonharam esse sonho junto comigo.*

## AGRADECIMENTOS

Faltam-me palavras para expressar a gratidão e felicidade que sinto por ter finalmente concluído minha graduação.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus. Sem sua presença em minha vida, nada disso seria possível. Ele foi meu refúgio em tempos de aflição, assim como a primeira pessoa a quem agradecia por cada conquista, e dessa vez, não foi diferente.

Minha gratidão aos meus pais, Dalton e Luziê, é imensurável. Com minha mãe, professora, aprendi a ter apreço pela educação e entender sua importância em minha vida. Com meu pai, aprendi a lutar e persistir para conquistar os meus objetivos. Seu apoio foi imprescindível para esta jornada, se fui capaz de chegar até aqui, foi porquê eles me forneceram toda a estrutura necessária, tanto material quanto emocional. Obrigada por terem investido na minha formação acadêmica desde minha infância e obrigada, principalmente, por não desistirem de mim e por não me permitirem desistir. Agradeço também à minha avó materna, Maria, que foi peça principal na minha criação, que cuidou dos netos para que nossos pais pudessem trabalhar. Nunca esquecerei seus conselhos e ensinamentos, de escutar toda semana "Que Deus te guie, te guarde e te proteja".

Agradeço ao meu namorado, Igor, que acompanhou de perto grande parte desta graduação e sempre esteve ao meu lado, nos bons e maus momentos. Agradeço também a todos os demais familiares e amigos pelo apoio durante esse período.

Às amizades que conquistei ao longo do curso, meu muito obrigada. Vocês foram essenciais para tornar tudo mais leve e prazeroso. Desde o companheirismo para estudar, para realizar trabalhos, aos ouvidos atentos para escutar desabafos e oferecer conforto.

Ao corpo docente da Faculdade de Engenharia, gratidão por todo o conhecimento compartilhado, por cada conselho e acessibilidade. Cada professor que tive ao longo das diversas disciplinas cursadas, desde o ciclo básico às matérias mais específicas, possuem papel importante na minha formação.

Ao meu orientador, agradeço por ter aceito o convite, mas agradeço também pelas oportunidades a mim ofertadas, como a monitoria em Circuitos Trifásicos, bem como o Treinamento Profissional em Iluminação Pública, que, por sua vez, despertou meu interesse no assunto, bem como na Eficiência Energética, tema principal deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Por fim, agradeço à equipe da DEODE Inovação e Eficiência em Energia LTDA, local onde vivenciei de perto a Eficiência Energética, desde sistemas de iluminação, de condicionamento ambiental, fontes incentivadas e sistemas motrizes. Neste local conheci excelentes engenheiros eletricistas, que foram importantes para minha formação profissional, proporcionando todo o conhecimento e materiais necessários para desenvolver este trabalho.

"É justo que muito custe o que muito vale."
(Santa Teresa d'Ávila)

## RESUMO

A Eficiência Energética é um assunto que vem sendo amplamente explorado devido às preocupações com a sustentabilidade e eficiência operacional. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso de um sistema motriz, pertencente a uma indústria de saneamento. O estudo possui como estrutura a revisão bibliográfica de assuntos que envolvem o saneamento, sua aplicabilidade na eficiência energética e conceitos sobre os equipamentos que os compõem. Além disso, é analisado de maneira minuciosa o caso específico de um Serviço Autônomo de Água e Esgoto, bem como são propostas melhorias para o local, através da análise do sistema anterior às AEEs e dimensionamento dos novos equipamentos. Utilizando conceitos de eficiência energética, foi proposto um *retrofit* do sistema, onde os equipamentos obsoletos são substituídos por equivalentes eficientes e com alta tecnologia. Com este projeto, faz-se possível atender as demandas do local, tendo como resultado economia de energia, redução de demanda em horário de ponta, equipamentos com maior vida útil, alívio no Sistema Elétrico de Potência, dentre outros benefícios.



Palavras-chave: Eficiência Energética. Sistema Motriz. Saneamento. Motor. Bomba. Inversor de Frequência. Economia de Energia. Redução de Demanda na Ponta.

**ABSTRACT**

Energy Efficiency is a subject that has been widely explored due to concerns about sustainability and operational efficiency. This work aims to carry out a case study of a driving system, belonging to a sanitation industry. The structure of the study is a bibliographical review of subjects involving sanitation, its applicability to energy efficiency and concepts about the equipment that composes it. Furthermore, the specific case of an Autonomous Water and Sewage Service is analyzed in detail, as well as improvements to the site are proposed, through the analysis of the current system and sizing of new equipment. Using energy efficiency concepts, a *retrofit* of the system was proposed, where obsolete equipment is replaced with efficient, high-technology equivalents. With this project, it is possible to meet the demands of the site, resulting in energy savings, reduced demand during peak hours, equipment with a longer useful life, relief in the Electrical Power System, among other benefits.

Key-words: Energy Efficiency. Drive System. Sanitation. Motor. Pump. Frequency Inverter. Energy Savings. Peak Demand Reduction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES


Figura 1 – Partes Integrantes de um Motor . . . . . 15
Figura 2 – Princípio de Funcionamento de um Inversor de Frequência . . . . . 16
Figura 3 – Trajeto do Líquido em uma Bomba Centrífuga . . . . . 17
Figura 4 – Estação de Tratamento de Água . . . . . 18
Figura 5 – Casa de Máquinas ETA . . . . . 22
Figura 6 – Painéis Elétricos . . . . . 22
Figura 7 – Dados de Placa do CMB02 . . . . . 23
Figura 8 – Dados de Placa do CMB03 . . . . . 24
Figura 9 – Medições de Energia . . . . . 27
Figura 10 – Metodologia de Medição de Vazão e Pressão para Levantamento da Curva de Operação do Sistema . . . . . 30
Figura 11 – Curva do Sistema Obtida. . . . . 32
Figura 12 – Parametrização do Sistema Antigo . . . . . 33
Figura 13 – Sugestões de Bombas a Serem Utilizadas . . . . . 33
Figura 14 – Bomba Hidráulica KSB Ômega 100-310B . . . . . 34
Figura 15 – Curva de Operação da Bomba Proposta . . . . . 35
Figura 16 – Características do Motor de 200CV Escolhido . . . . . 36
Figura 17 – Motor Elétrico WEG W22 IR4 Super Premium 200CV 2P 315S/M 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D . . . . . 37
Figura 18 – Dados do Inversor de Frequência Proposto - CFW110312T4SZ . . . . . 38
Figura 19 – Inversor de Frequência Proposto - CFW110312T4SZ . . . . . 39
Figura 20 – Painel Elétrico - AFW110312T4SZ . . . . . 39
Figura 21 – Parametrização do Ponto Operacional Médio Proposto . . . . . 40
Figura 22 – Desempenho da Bomba Selecionada para o CMB02 . . . . . 40
Figura 23 – Desempenho da Bomba Selecionada para o CMB03 . . . . . 40
Figura 24 – Conjugado do Motor Escolhido para a operação em 46Hz e 47Hz . . . . 42
Figura 25 – Processo de Medição de Energia do Sistema Antigo. . . . . 45
Figura 26 – Processo de Medição de Vazão do Sistema Antigo. . . . . 46
Figura 27 – Processo de Medição de Energia do Novo Sistema. . . . . 49
Figura 28 – Processo de Medição de Vazão do Novo Sistema. . . . . 50
Figura 29 – Fatura do Cliente . . . . . 55
Figura 30 – Resolução Homologatória nº 3.459 de 20 de maio de 2025 . . . . . 56
Figura 31 – Cálculo do CEE e CED para o Sistema e para o Consumidor . . . . . 57
Figura 32 – Casa de Máquinas Após o *retrofit* . . . . . 58
Figura 33 – Painéis Elétricos Após o *retrofit* . . . . . 59

## LISTA DE TABELAS


Tabela 1 – Dados dos Conjuntos Motobomba Contemplados pelo Projeto. . . . . 24
Tabela 2 – Perfil de Funcionamento do Conjunto Motobomba 02. . . . . 25
Tabela 3 – Perfil de Funcionamento do Conjunto Motobomba 03. . . . . 26
Tabela 4 – Dados dos Conjuntos Motobomba Contemplados pelo Projeto. . . . . 27
Tabela 5 – Medições de Pressão e Vazão para Aquisição da Curva do Sistema. . . 31
Tabela 6 – Resultados Esperados Quanto à Energia. . . . . 44
Tabela 7 – Resultados Esperados Quanto à Demanda em Horário de Ponta. . . . . 44
Tabela 8 – Resultados de Economia de Energia e Redução de Demanda na Ponta Esperados. . . . . 44
Tabela 9 – Perfil de Funcionamento do CMB02 Antigo a partir de Medições. . . . 46
Tabela 10 – Resultados Obtidos do CMB02 Antigo de Consumo e Vazão a partir de Medições. . . . . 47
Tabela 11 – Perfil de Funcionamento do CMB03 Antigo a partir de Medições. . . . 47
Tabela 12 – Resultados Obtidos do CMB03 Antigo de Consumo e Vazão a partir de Medições. . . . . 48
Tabela 13 – Resultados de Consumo de Energia e Demanda na Ponta dos Conjuntos Motobomba Atuais Após Medições. . . . . 48
Tabela 14 – Perfil de Funcionamento do Novo CMB02 a partir de Medições. . . . . 51
Tabela 15 – Resultados Obtidos do Novo CMB02 de Consumo e Vazão a partir de Medições. . . . . 51
Tabela 16 – Perfil de Funcionamento do Novo CMB03 a partir de Medições. . . . . 52
Tabela 17 – Resultados Obtidos do Novo CMB03 de Consumo e Vazão a partir de Medições. . . . . 52
Tabela 18 – Resultados de Consumo de Energia e Demanda na Ponta dos Novos Conjuntos Motobomba Após Medições. . . . . 53
Tabela 19 – Resultados de Consumo de Energia da Linha de Base Ajustado. . . . . 54
Tabela 20 – Variações Entre os dados Estimados e Medidos . . . . . 55
Tabela 21 – Valores de CEE e CED Utilizados. . . . . 58
Tabela 22 – Benefícios Monetários. . . . . 58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| AEE | Ação de Eficiência Energética |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CEE | Custo Evitado de Energia |
| CED | Custo Evitado de Demanda |
| COFINS | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social |
| EE | Economia de Energia |
| ICMS | Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços |
| CMB | Conjunto Motobomba |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| MCA | Metros de Coluna D'Água |
| PIMVP | Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Perfomance |
| PIS | Programa de Integração Social |
| RDP | Redução de Demanda na Ponta |
| SAAE | Serviço Autônomo de Água e Esgoto |
| UC | Unidade Consumidora |

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO . . . . . 12**
1.1 Motivação . . . . . 12
1.2 Objetivo . . . . . 12

**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . . 14**
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA . . . . . 14
2.2 MOTORES ELÉTRICOS . . . . . 14
2.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA . . . . . 16
2.4 BOMBAS HIDRÁULICAS . . . . . 17
2.5 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA . . . . . 18

**3 METODOLOGIA . . . . . 19**

**4 ESTUDO DE CASO . . . . . 21**
4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO . . . . . 21
4.2 DADOS DO SISTEMA ANTIGO . . . . . 21
4.2.1 Consumo de Energia e Demanda na Ponta Atuais . . . . . 25
4.2.2 Ponto Operacional . . . . . 30
4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PROPOSTO . . . . . 32
4.3.1 Bomba Centrífuga Proposta . . . . . 33
4.3.2 Motor Elétrico Proposto . . . . . 34
4.3.3 Método de Partida Proposto . . . . . 37
4.3.4 Consumo de Energia e Demanda na Ponta Propostos . . . . . 39

**5 RESULTADOS . . . . . 44**

**6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . . 60**
6.1 CONCLUSÕES . . . . . 60
6.2 TRABALHOS FUTUROS . . . . . 61

**REFERÊNCIAS . . . . . 62**

# 1 INTRODUÇÃO

O termo eficiência é diretamente relacionado ao rendimento e à performance de algo ou alguém. No âmbito da energia elétrica, ser eficiente diz respeito a gerir os recursos disponibilizados de maneira ordeira e consciente em conjunto com o melhor aproveitamento possível. Desta maneira, a eficiência energética busca a eficiência operacional em união com a redução dos impactos ambientais que o consumo excessivo de energia elétrica ocasiona.

Com isso, o estudo desenvolvido busca a análise das Ações de Eficiência Energética (AEEs) voltadas aos sistemas motrizes presentes nas empresas de saneamento, propondo melhorias e trazendo soluções inovadoras e tecnológicas para os locais.

Este documento consiste na análise da aplicabilidade da eficiência energética em sistemas de saneamento, estudando seus principais componentes, sendo eles motores e bombas. Além disso, serão mensurados os resultados obtidos através da execução do projeto proposto, tornando-se palpável, tanto em termos de energia como em termos de economia monetária, os impactos positivos que as AEEs causam.

## 1.1 Motivação

A motivação deste estudo é baseada na necessidade e importância da implementação das Ações de Eficiência Energética nos setores de saneamento no Brasil. É observada a precarização do setor, amplamente composto por equipamentos obsoletos e ineficientes, que funcionam, por vezes, sob péssimas condições de conservação e operação. Também é notória a sobrecarga do Sistema Elétrico de Potência, dado que é alta a demanda do setor, que possui equipamentos elétricos de alta potência que funcionam por longos períodos diários.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética, PNEf, documento que contém metas de eficiência energética até 2030, o custo das perdas de energia elétrica no setor de saneamento chega em cerca de 800 bilhões de reais anualmente, onde parte deste valor é consequência da ineficiência dos sistemas (Ministério de Minas e Energia, 2023). Somado a isso, de acordo com a organização Alliance to Save Energy, o setor consome cerca de 2 a 3% do consumo mundial de energia (James et al., 2002).

Com isto, é possível concluir que a necessidade da eficientização de tais locais é de suma importância em quesitos monetários e sustentáveis.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo é a proposta de aplicação de AEEs em um Serviço Autônomo de Água e Esgoto, havendo a análise das condições dos equipamentos do sistema, assim como de sua operação. Após isso, é realizado um projeto de *retrofit* do sistema, sendo

dimensionados novos equipamentos para o compor. Por fim, são elucidados os resultados reais do projeto e é realizada uma análise de economia de energia e redução de demanda em horário de ponta, como também uma breve análise dos benefícios financeiros agregados.

Este estudo é dividido em 6 capítulos que possuem o desenvolvimento do tema em questão, sendo o primeiro esta breve introdução.

O segundo capítulo trata-se da fundamentação teórica, base para todo o estudo realizado, onde são elucidados os principais conceitos que envolvem este trabalho, tais como eficiência energética, motores, bombas e Estações de Tratamento de Água, local específico do projeto.

O terceiro capítulo, por sua vez, possui as metodologias utilizadas para as medições de vazão, pressão e energia elétrica, capazes de definir os dados de operação do sistema, assim como serão úteis para projetar o novo sistema.

O quarto capítulo é o estudo do caso da Estação de Tratamento de Água de um Serviço Autônomo de Água e Esgoto, onde serão determinadas todas as suas principais características e o dimensionamento dos equipamentos substitutos aos obsoletos de acordo com o necessário para atender o sistema.

O Capítulo 5 possui todos os resultados obtidos a partir do estudo, sendo eles o consumo de energia e a demanda em horário de ponta em dois momentos: anterior e posterior à implementação das Ações de Eficiência Energética. Com isto, são calculados os benefícios de economia de energia e redução de demanda na ponta, bem como os benefícios monetários intrínsecos a partir de tarifas de energia reais.

Por fim, o sexto e último capítulo traz as conclusões obtidas acerca do estudo de caso e trabalhos futuros que podem ser realizados com o objetivo de enriquecer tecnicamente o projeto.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por diversas vezes, a eficiência energética pode ser definida como a redução do consumo de energia de determinado equipamento. No entanto, este simples fato não traduz um real estado de eficiência. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) define que a eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo resultado com menor gasto energético (EPE, 2025). Desta maneira, a eficiência energética baseia-se em fazer mais ou, pelo menos, a mesma coisa, com menor recurso, mantendo-se o conforto e a qualidade. Assim, pode-se concluir que a eficiência está relacionando diretamente consumo de energia e produção.

Um exemplo de eficiência energética em sistemas motrizes é que, em média, um motor de alto rendimento economiza cerca de 20 a 30% de energia quando comparado a um modelo tradicional, fora o simples fato de a grande maioria dos sistemas motrizes serem sobredimensionados, ou seja, possuírem potência instalada superior ao necessário(ABESCO, 2025).

A eficiência energética possui relação com a parte técnica e a comportamental. A primeira refere-se à substituição dos equipamentos obsoletos e ineficientes por equipamentos mais eficientes, enquanto a parte comportamental é baseada na gestão dos recursos energéticos através da mudança de hábitos, como, por exemplo, na logística do processo(Salomão, 2010). A eficiência energética é um dos principais meios para o combate ao desperdício de energia. Isso se dá pelo fato de a área promover o uso dos recursos de maneira otimizada e atua contra o desperdício através da diminuição de perdas, redução de custos no que diz respeito aos custos operacionais e de energia; e economia dos recursos naturais utilzados, que possui por consequência a redução dos impactos que os processos causam no meio ambiente.

## 2.2 MOTORES ELÉTRICOS

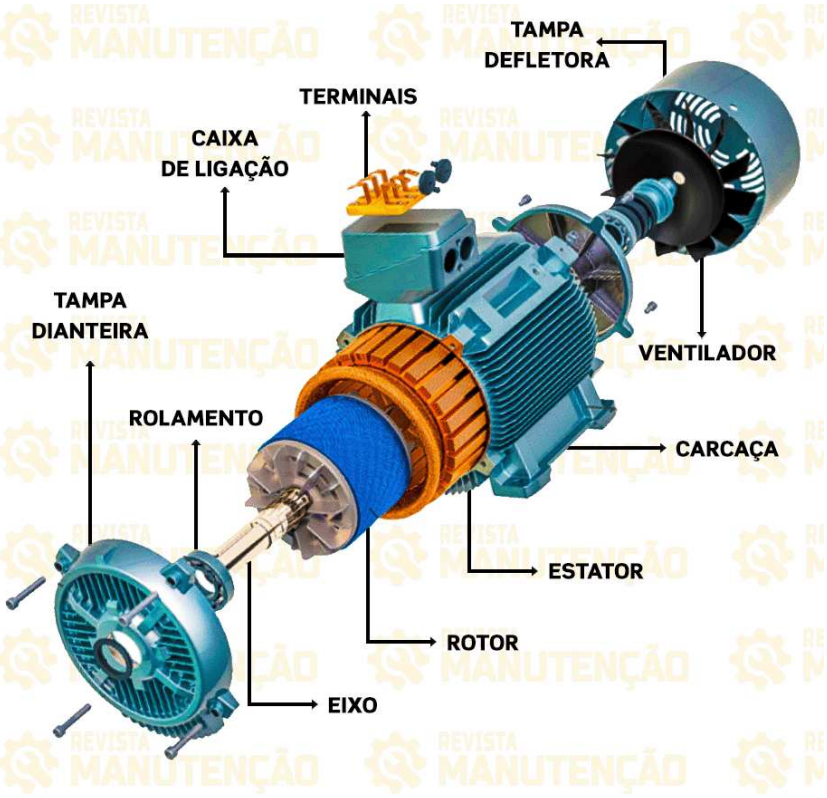
Um motor de indução, ou assíncrono, é uma máquina elétrica cujo princípio de funcionamento é baseado na indução eletromagnética, dependendo de uma ação transformadora para tal. Basicamente, a partir da injeção de corrente alternada em seu estator, é gerado um campo magnético girante que, por sua vez, induz corrente no rotor, resultando em rotações.(Chapman, 2013)

A estrutura responsável pelo funcionamento do equipamento é composta por duas partes: estator, ou parte estacionária e rotor, ou parte rotativa. O estator é composto de uma carcaça que fornece suporte físico e enrolamentos para o caminho do fluxo magnético, enquanto o rotor, ou armadura, é um eixo com um núcleo constituído em sua superfície,

composto, por sua vez, por ranhuras para alojar os enrolamentos da armadura.

As tampas garantem a resistência mecânica necessária para o equipamento, além de proteger tanto o motor quanto os indivíduos que estiverem nas suas proximidades. O rolamento é o componente mecânico que permite a rotação do eixo e do rotor, cuja função é reduzir o atrito entre as partes móveis da máquina. O ventilador, por sua vez, possui o papel de refrigeração, dado que, com a passagem de corrente elétrica, é ocasionado o Efeito Joule. Por fim, a caixa de ligação e os terminais possuem função de abrigar e proteger o cabeamento(Revista Manutenção, 2025). A Figura 1 elucida os componentes anteriormente citados.

Figura 1 – Partes Integrantes de um Motor




**Fonte:** (Revista Manutenção, 2025)

A velocidade do rotor de um motor de indução é sempre menor que a velocidade do estator, graças ao escorregamento, obtido através da diferença entre a velocidade do rotor e do estator. O atraso do rotor em relação ao estator é oriundo do movimento relativo do rotor em relação ao campo magnético do estator, que induz uma tensão que, por sua vez, produz uma corrente no rotor. Essa corrente interage com o campo magnético do estator. Somado a isso, o rotor possui estrutura indutiva, justificando ainda o atraso observado. O escorregamento possui estreita relação com o torque induzido necessário para o funcionamento do equipamento.

As vantagens da utilização de motores de indução vão desde a simplicidade e

facilidade de operação, alta variedade de aplicações e baixa manutenção.

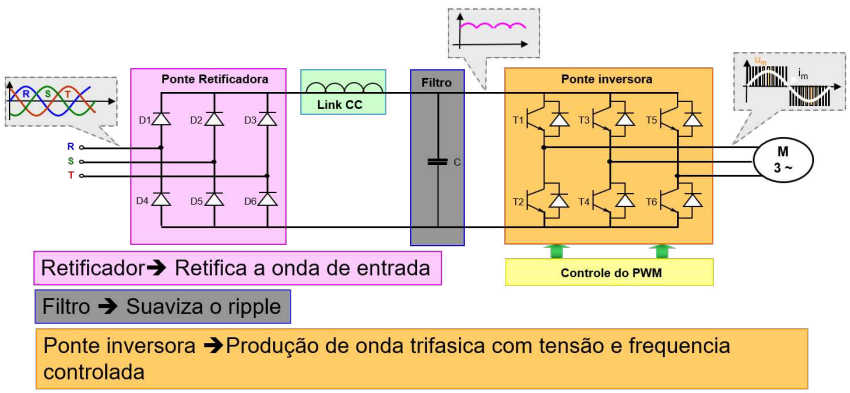
Uma característica importante que deve ser levada em consideração na escolha de um motor elétrico é sua eficiência, ou seja, o desempenho da máquina na entrega de potência mecânica na ponta de seu eixo em sua saída frente à potência elétrica absorvida. Essa eficiência está diretamente relacionada às perdas mecânicas, como por exemplo, o atrito, como as perdas elétricas do próprio enrolamento. O motor que foi proposto no projeto é de alta eficiência, possuindo valor de 96,8% com 100% de carga.

## 2.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Um motor assíncrono possui corrente de partida elevada, que ultrapassa em muitas vezes sua corrente nominal de operação. Essa corrente elevada pode causar sérios danos ao sistema elétrico ao qual o equipamento está conectado, bem como ao equipamento por si só, como superaquecimento, disparo de dispositivos de proteção e instabilidade na rede. Desta maneira, com o objetivo de diminuir a corrente de partida, são utilizados os métodos de partida.

Na atualidade, está sendo disseminada a utilização de inversores de frequência, cujo objetivo é controlar com precisão a velocidade e aceleração dos motores elétricos. Os inversores de frequência convertem o sinal de tensão senoidal da rede elétrica em onda quadrada através da modulação por largura de pulso (PWM). Seu princípio de funcionamento é baseado na Figura 2:

Figura 2 – Princípio de Funcionamento de um Inversor de Frequência




**Fonte:** (Schneider, 2020)

A ponte retificadora possui papel de transformar o sinal elétrico proveniente da rede em um sinal retificado, ou seja, mantendo apenas o ciclo positivo. Em sequência, há um capacitor modelando um filtro de corrente contínua, que realiza a redução da ondulação de tensão a fim de tornar o sinal o mais próximo de um sinal constante. Por fim, há a ponte inversora, cujo papel é modular o sinal recebido por sua largura de pulso. De acordo com a distância entre os pulsos, ocorre variação na frequência elétrica.

Suas vantagens são a simples instalação e parametrização, partida suave do motor, identificação de falhas e baixa manutenção. Em contrapartida, o custo é elevado e há necessidade de pessoas capacitadas para sua manutenção(Schneider, 2020).

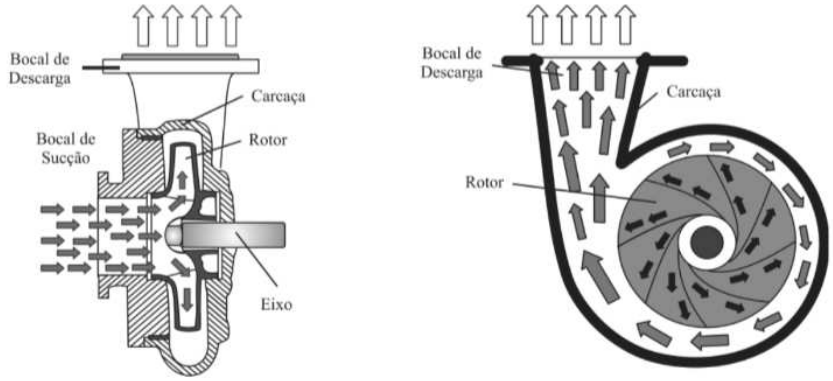
## 2.4 BOMBAS HIDRÁULICAS

A bomba hidráulica é um equipamento que realiza a conversão de energia mecânico-motriz em energia mecânico-hidráulica. Uma bomba centrífuga possui papel de carga de um motor elétrico, que por sua vez, irá acioná-la. Esse tipo de equipamento é utilizado quando há necessidade de transportar um fluido de um lugar a outro, quando ele não possui meios para fazê-lo por si só. Desta maneira, o uso de bombas hidráulicas em sistemas de saneamento é crucial desde a captação da água de uma fonte até o abastecimento de um reservatório.

As bombas podem ser classificadas, no que diz respeito ao fluxo do líquido bombeado, como bombas de fluxo radial, de fluxo misto e axial. Na primeira classificação, o líquido recalcado possui direção perpendicular ao eixo. As bombas de fluxo misto, por sua vez, recalcam o fluido de maneira inclinada em relação ao eixo. Por fim, as bombas axiais possuem saída paralela em relação ao eixo do equipamento.

A bomba utilizada é do tipo axial, sendo amplamente aplicada em estações de tratamento de água, foco deste trabalho. Além disso, é utilizada também em sistemas de irrigação e indústrias. O equipamento deve partir escorvado, ou seja, completamente cheio de líquidos. O fluido, após entrar no bocal de sucção segue o caminho para as periferias do equipamento devido à ação centrífuga do impelidor, onde adquire velocidade e pressão. Em seguida, ele vai para a carcaça e sai pelo bocal de descarga ou recalque(Lima, 2022), conforme Figura 3:

Figura 3 – Trajeto do Líquido em uma Bomba Centrífuga




**Fonte:** Mecânica das Bombas (Lima, 2022)

Existem diversos tipos de bombas centrífugas, sendo que a utilizada nesse estudo é classificada como axial. Nesse tipo de equipamento, o fluido entra e sai da bomba

paralelamente ao eixo do rotor. Além disso, o modelo escolhido é bipartido, que possui carcaça dividida em duas partes através do plano axial, havendo a possibilidade de acessar suas partes internas de maneira facilitada para possíveis manutenções. De acordo com o manual da fabricante da bombas KSB, o equipamento pode chegar a uma vazão de 2880m$^3$/h, altura manométrica de 210m e pressão de serviço de 25bar, comprovando sua vasta aplicabilidade, não somente em saneamentos, como também em sistemas de resfriamento e construção naval(KSB - Solutions.For Life., 2025).

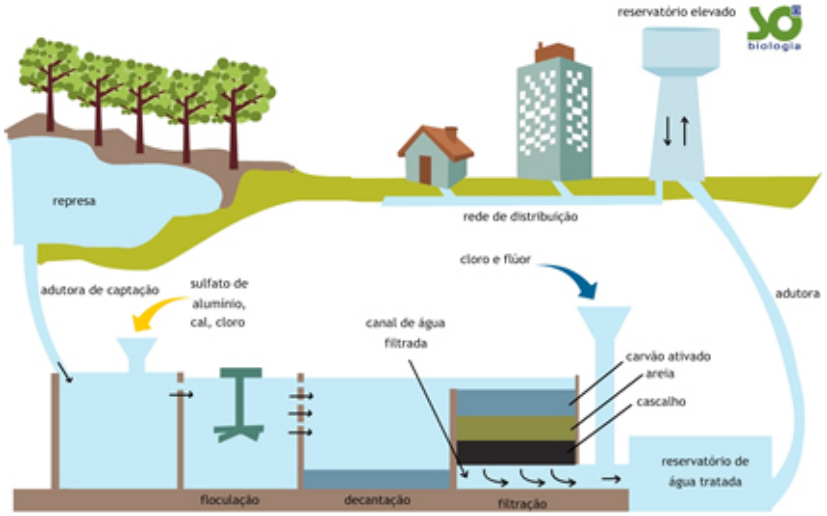
## 2.5 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é uma instalação cuja principal função é tratar, ou seja, purificar através de processos químicos, a água captada de fontes como rios, represas e reservatórios. A água, após passar pelos devidos processos de tratamento, torna-se adequada para o consumo humano e utilização em processos industriais.

Seu funcionamento consiste em etapas interligadas que transformam a água captada em água tratada. Após a captação, a água bruta sofre o processo de tratamento, onde produtos químicos são adicionados com o intuito de retirar partículas finas através da aglutinação, para serem decantadas e filtradas. Por fim, é realizada a desinfecção do líquido para eliminar microrganismos prejudiciais à saúde humana. Após todo o processo, a água é armazenada e segue para o seu devido destino, que, no caso do saneamento básico, a população da cidade em questão(Projeto Ambiental, Soluções Sustentáveis, 2022).

A Figura 4 retrata o funcionamento de uma ETA.

Figura 4 – Estação de Tratamento de Água




**Fonte:** Só Biologia (Virtuous Tecnologia da Informação, 2025)

# 3 METODOLOGIA

A metodologia de medição do sistema é baseada no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance de 2012 (PIMVP). O PIMVP é baseado na Medição e Verificação (M&V), processo utilizado para realizar medições com o objetivo de determinar de maneira palpável a economia real de uma instalação. Esta economia é obtida através da comparação entre os resultados medidos antes e após as Ações de Eficiência Energética (denominados períodos de Linha de Base e de Determinação da Economia), conforme a Equação 3.1:

$$Economia = Consumo_{antes} - Consumo_{depois} \pm Ajustes \tag{3.1}$$

Estes ajustes são utilizados para ajustar o consumo ou a demanda em um conjunto comum de condições, contemplando as diferentes condições que determinam tanto o consumo anterior quanto o posterior às AEEs.

Além disso, o PIMVP (EVO, 2012) pauta metodologias de medição de acordo com o sistema encontrado, sendo elas as opções A, B, C e D. Para a aplicação em questão, onde será utilizado inversor de frequência para provocar variação na velocidade do motor e, consequentemente, da bomba, a opção escolhida é a opção B: Medição de todos os parâmetros. Utilizando esta opção, todos os parâmetros necessários para o cálculo da energia são medidos. Os ajustes serão realizados de maneira a analisar ambos períodos de medições sob uma mesma perspectiva, havendo maior acurácia no cálculo das economias.

O modelo de economia utilizado será o Consumo de Energia Evitado, que fornece a Economia Evitada, calculada sob a perspectiva do período de determinação da economia, ou seja, após a execução do projeto, o relacionando com o consumo de energia que seria obtido se não houvesse acontecido a AEE.

Neste estudo, são medidas as grandezas de energia e vazão, sendo a última mensurada por se enquadrar na condição de uma variável independente, dado que o consumo de energia elétrica é diretamente proporcional à vazão bombeada pelo sistema.

As medições foram realizadas em duas situações diferentes, antes e após a implementação do projeto.

Para as medições de energia, em ambos períodos, foi utilizado o medidor Acuvim L, da fabricante Accuenergy, estando devidamente calibrado e com tempo de integralização de 1 minuto. A cada intervalo de integralização, os dados de frequência, tensões de fase e linha, corrente, potências ativa, reativa e aparente, bem como o fator de potência são coletados e registrados em memória de massa.

As medições de vazão, por sua vez, foram realizadas com dois medidores diferentes.

No primeiro período, foi utilizado o medidor TCM Ultraflow 200B, da fabricante Techmeter, calibrado e com tempo de integralização de 5 minutos; onde, a cada intervalo, coletava os dados de vazão do sistema. No período após a execução do projeto, fez-se uso do equipamento AT600, da fabricante GE, igualmente calibrado e com tempo de integralização de 1 minuto.

Com os dados medidos de ambas variáveis, pode ser empregada a técnica estatística de regressão linear de maneira a correlacionar a vazão com o consumo de energia. As variações nas medições de vazão podem ser oriundas de diversos fatores, tais como a sazonalidade ou necessidades locais de bombear mais ou menos água. Desta maneira, a regressão linear é capaz de correlacionar tanto o consumo anterior quanto o posterior às ações de eficiência energética de maneira a tratá-los sob a mesma realidade, havendo confiabilidade nos cálculos.

A altura manométrica, também denominada pressão, é medida com o objetivo de obter a curva de operação do sistema. A grandeza possui como unidade metros de coluna d'água, indicando quantos metros a água deverá vencer de maneira a alcançar o local desejado.

Por fim, para a escolha da bomba centrífuga, é utilizado o software da fabricante de bombas KSB, denominado *EasySelect*. No programa, basta adicionar os dados do sistema, como ponto operacional e fluido a ser bombeado, para obter a bomba centrífuga ótima da KSB para a aplicação, isto é, o equipamento que possuirá maior rendimento.

# 4 ESTUDO DE CASO

## 4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Para o presente estudo de caso, foi selecionada uma Unidade Consumidora pertencente a um Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Por motivos de proteção de dados, o projeto será intitulado como "Projeto de Eficientização do Sistema Motriz do SAAE", contemplando a ETA do cliente.

Esta estação tem capacidade nominal de tratamento de 130 l/s e a água tratada é encaminhada para um total de três reservatórios que abastecem as residências do município (que também possuirá sua identidade preservada). O controle de vazão da unidade, quando necessário, é realizado através do estrangulamento das válvulas responsáveis por permitir a passagem de água. A ETA possui uma casa de máquinas composta por quatro conjuntos motobombas (conjunto composto por um motor elétrico e uma bomba centrífuga), compostos por motores de 250CV de 2 polos e bombas bipartidas.

## 4.2 DADOS DO SISTEMA ANTIGO

A coleta de dados do sistema anterior às ações de eficiência energética, bem como a interação com o cliente, objetivando a compreensão de suas necessidades, é uma etapa crucial para a concepção do projeto.

A partir de tais dados, torna-se factível o estudo de possíveis melhorias a serem implementadas, utilizando equipamentos mais eficientes e implementando processos de automação, de maneira a viabilizar o projeto através da economia de energia e redução da demanda em horário de ponta, não havendo prejuízos em termos de produção.

O sistema possui 4 conjuntos motobombas, onde todos são compostos por motores da fabricante WEG de 250CV, modelo trivolt, podendo ser conectados em 220, 380 e 440V, e bombas da fabricante Imbil modelo BP 150-330, bem como painéis elétricos de acionamento por *soft starter*.

As Figuras 5 e 6 apresentam a casa de máquinas do SAAE e os painéis de acionamento, respectivamente. Na primeira figura, os conjuntos estão indicados em ordem, enquanto na segunda figura, o painel do CMB02 é denominado 01 e o painel do CMB03 é o 04.

Figura 5 – Casa de Máquinas ETA




**Fonte:** DEODE (2023)

Figura 6 – Painéis Elétricos




**Fonte:** DEODE (2023)

Os conjuntos CMB02 e CMB03 (conjuntos motobomba 02 e 03) atuam como conjuntos principais, enquanto os demais (CMB01 e CMB04) são conjuntos reserva, sendo utilizados em momentos de necessidade.

Para as ações de eficiência energética, foram selecionados os conjuntos CMB02 e CMB03, pois possuem maior tempo de funcionamento e, consequentemente, maior

deterioração. Os demais equipamentos não foram selecionados devido à pequena atuação em comparação com os demais. Seus respectivos dados de placa e demais detalhes são apresentados nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Dados de Placa do CMB02




**Fonte:** DEODE (2023)

Figura 8 – Dados de Placa do CMB03



**Fonte:** DEODE (2023)

A Tabela 1 indica o compilado dos dados coletados dos conjuntos motobomba.

Tabela 1 – Dados dos Conjuntos Motobomba Contemplados pelo Projeto.

| Dados dos Conjuntos Motobomba | CMB02 | CMB03 |
|---|---|---|
| Fabricante do Motor | WEG | WEG |
| Potência (CV/kW) | 250/185 | 250/185 |
| Carcaça | 315S/M | 315S/M |
| Número de Polos | 2 | 2 |
| Rotação nominal (rpm) | 3575 | 3570 |
| Acionamento | Soft Starter | Soft Starter |
| Tensão de Operação (V) | 220/380/440 | 220/380/440 |
| Corrente de Operação (A) | 572/331/286 | 584/340/292 |
| Fabricante da Bomba | Imbil | Imbil |
| Modelo da Bomba | BP 150 330 | BP 150 330 |

**Fonte:** DEODE (2023)

### 4.2.1 Consumo de Energia e Demanda na Ponta Atuais

A estimativa do consumo de energia e demanda em horário de ponta do sistema é necessária para compreender a maneira com a qual os equipamentos estão operando no que tange às grandezas elétricas, bem como para poder mensurar a economia de energia e a redução de demanda em horário de ponta que as AEEs podem ocasionar.

De maneira a obter o perfil de funcionamento do sistema, foram coletados os dados do sistema de monitoramento existente no SAAE, que coleta dados instantâneos de vazão, sendo possível estimar o tempo de funcionamento. Os resultados estão nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Perfil de Funcionamento do Conjunto Motobomba 02.

| Mês Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Funcionamento Fora do Horário de Ponta (h) | Vazão Média (l/s) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 14,38 | 1,48 | 12,90 | 51,21 |
| 2 | 14,43 | 0,15 | 14,28 | 47,80 |
| 3 | 14,32 | 0,78 | 13,54 | 49,51 |
| 4 | 11,64 | 0,52 | 11,13 | 51,27 |
| 5 | 13,91 | 0,81 | 13,10 | 50,19 |
| 6 | 12,67 | 0,38 | 12,29 | 49,04 |
| 7 | 14,04 | 0,46 | 13,58 | 50,66 |
| 8 | 13,13 | 0,29 | 12,84 | 50,90 |
| 9 | 14,93 | 1,15 | 13,78 | 52,73 |
| 10 | 16,97 | 1,27 | 15,71 | 51,70 |
| 11 | 16,16 | 1,81 | 14,34 | 54,69 |
| 12 | 18,66 | 1,79 | 16,87 | 54,69 |
| **Média** | 14,60 | 0,91 | 13,70 | 51,20 |

**Fonte:** Supervisório do SAAE

Tabela 3 – Perfil de Funcionamento do Conjunto Motobomba 03.

| Mês Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Funcionamento Fora do Horário de Ponta (h) | Vazão Média (l/s) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 14,47 | 1,48 | 12,99 | 52,73 |
| 2 | 15,80 | 0,00 | 15,80 | 48,74 |
| 3 | 16,86 | 0,80 | 16,06 | 50,49 |
| 4 | 13,54 | 0,00 | 13,54 | 53,77 |
| 5 | 15,12 | 0,88 | 14,24 | 53,80 |
| 6 | 13,54 | 0,00 | 13,54 | 53,59 |
| 7 | 14,11 | 0,46 | 13,65 | 53,29 |
| 8 | 12,73 | 0,00 | 12,73 | 52,66 |
| 9 | 14,92 | 1,11 | 13,81 | 53,31 |
| 10 | 15,76 | 0,00 | 15,76 | 51,60 |
| 11 | 16,01 | 1,82 | 14,19 | 54,18 |
| 12 | 16,76 | 0,00 | 16,76 | 53,71 |
| **Média** | 14,97 | 0,55 | 14,42 | 52,66 |

**Fonte:** Supervisório do SAAE

Além disso, foram realizadas medições nos painéis de acionamento dos conjuntos por meio do medidor Acuvim L, da fabricante Accuenergy, de maneira a coletar as grandezas elétricas, como tensões, correntes, potência e fator de potência. A Figura 9 apresenta a medição, enquanto a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

Figura 9 – Medições de Energia



**Fonte:** DEODE (2023)

Tabela 4 – Dados dos Conjuntos Motobomba Contemplados pelo Projeto.

| Grandeza Elétrica | CMB02 | CMB03 |
|---|---|---|
| Tensão entre as Fases A e B Média (V) | 380,99 | 380,53 |
| Tensão entre as Fases B e C Média (V) | 382,67 | 382,23 |
| Tensão entre as Fases C e A Média (V) | 380,41 | 380,05 |
| Corrente da Fase A (A) | 330,91 | 323,72 |
| Corrente da Fase B (A) | 318,93 | 316,73 |
| Corrente da Fase C (A) | 354,67 | 343,46 |
| Potência Média (kW) | 197,32 | 187,96 |
| Fator de Potência | 0,87 | 0,87 |

**Fonte:** DEODE (2023)

O carregamento de um motor é dado pela razão entre a potência absorvida e a potência nominal do equipamento, conforme Equação 4.1:

$$carregamento = \frac{potência_{requerida}}{potência_{e_{nominal}}} \tag{4.1}$$

Onde a potência nominal é dada por:

$$potência_{e_{nominal}} = \frac{potência_{nominal}}{rendimento_{nominal}} \tag{4.2}$$

Considerando o rendimento nominal de 96% para ambos os motores, apesar de os equipamentos não possuirem tal dado em suas placas, o valor é razoável, como pode-se inferir a partir de dados obtidos do equipamento semelhante, da linha W22 IR3 Premium (WEG, 2025). Com isso, foram obtidos os seguintes valores de carregamento, utilizando a 4.1:

$$potência_{elétrica_{nominal CMB02,CMB03}} = \frac{185kW}{0,96} = 192,71kW \tag{4.3}$$

Para o CMB02, obtém-se:

$$carregamento_{CMB02} = 102,39\% \tag{4.4}$$

$$carregamento_{CMB02} = 97,53\% \tag{4.5}$$

A partir dos dados medidos, é possível observar a operação de ambos conjuntos em condições preocupantes, pois um deles está atuando no fator de serviço e o outro próximo à potência nominal, assumindo que o rendimento dos equipamentos está em 96%. Isso se deve ao fato da degradação do desempenho devido a desgastes superaquecimentos, bem como o tempo elevado de uso e a falta da manutenção preventiva. O fator de serviço de um motor elétrico é alcançado a partir do momento em que a potência requerida por ele ultrapassa a nominal. A operação em fator de serviço pode trazer vários danos ao equipamento, sendo o pior deles a queima total do motor, tornando-o inoperante.

Sabe-se que a energia consumida é dada pela Equação 4.6:

$$E_{consumida} = P_{média} * T_{funcionamento/dia} * Dias_{ano} \tag{4.6}$$

Onde:

- $E_{consumida}$ é a energia consumida e, MWh/ano;
- $P_{média}$ é a potência média utilizada pelo motor, em kW;
- $T_{funcionamento/dia}$ é o tempo médio de funcionamento diário;
- $Dias_{ano}$ é o número de dias de funcionamento do sistema, em um ano;
- 1000, constante utilizada para mensurar a energia em MWh/ano.

Sabendo que o sistema de saneamento funcionam todos os dias ao longo do ano, é obtido:

$$E_{consumidaCMB02} = \frac{197,32kW * 14,6h * 365}{1000} = 1051,52MWh/ano \tag{4.7}$$

$$E_{consumidaCMB03} = \frac{187,56kW * 14,97h * 365}{1000} = 1024,84MWh/ano \tag{4.8}$$

A demanda em horário de ponta é obtida através do produto entre a potência média utilizada pelo fator de coincidência na ponta.

O fator de coincidência na ponta (FCP) é dado pela Equação 4.9:

$$FCP = \frac{Funcionamento_{Ponta}}{Horas_{Ponta}} \tag{4.9}$$

Onde:

- $FCP$ é o fator de coincidência na ponta, sendo um valor adimensional;
- $Funcionamento_{Ponta}$ é o tempo de funcionamento do equipamento em horário de ponta;
- $Horas_{Ponta}$ são as horas disponíveis na ponta, que, para todas as concessionárias de energia, são 3 horas.

Por fim, a demanda em horário de ponta é obtida a partir da Equação 4.10:

$$Demanda_{ponta} = Potência_{Média} * FCP \tag{4.10}$$

Utilizando a Equação 4.10:

$$Demanda_{pontaCMB02} = 197,32kW * \frac{0,91h}{3h} = 59,85kW \tag{4.11}$$

$$Demanda_{pontaCMB03} = 187,56kW * \frac{0,55h}{3h} = 34,39kW \tag{4.12}$$

### 4.2.2 Ponto Operacional

A definição do ponto operacional do sistema é de grande importância para o dimensionamento dos equipamentos propostos, de maneira a obter a curva operativa. A curva do sistema foi obtida através da regressão linear dos dados de medição de vazão e pressão no barrilete de recalque, além da consideração de perdas a montante do medidor de pressão, tendo por consequência a pressão corrigida. Na Figura 10 está apresentada as medições de vazão e pressão. No processo de aquisição da curva do sistema, as válvulas presentes no barrilete de recalque foram abertas gradativamente de maneira a obter a pressão referente a cada vazão medida.

Figura 10 – Metodologia de Medição de Vazão e Pressão para Levantamento da Curva de Operação do Sistema




**Fonte:** DEODE (2023)

A Tabela 5 apresenta os dados medidos que foram utilizados para realizar a regressão da curva, enquanto a Figura 11 apresenta a modelagem do sistema.

Tabela 5 – Medições de Pressão e Vazão para Aquisição da Curva do Sistema.

| Vazão ($m^3/h$) | Pressão (m.c.a) |
|---|---|
| 10,00 | 123,68 |
| 20,00 | 123,65 |
| 30,00 | 123,68 |
| 40,00 | 123,75 |
| 50,00 | 123,87 |
| 60,00 | 124,05 |
| 70,00 | 124,27 |
| 80,00 | 124,54 |
| 90,00 | 124,87 |
| 100,00 | 125,24 |
| 110,00 | 125,67 |
| 120,00 | 126,14 |
| 130,00 | 126,67 |
| 140,00 | 127,24 |
| 150,00 | 127,87 |
| 160,00 | 128,54 |
| 170,00 | 129,27 |
| 180,00 | 130,05 |
| 190,00 | 130,87 |
| 200,00 | 131,75 |
| 210,00 | 132,68 |
| 220,00 | 133,66 |
| 230,00 | 134,68 |
| 240,00 | 135,76 |
| 250,00 | 136,89 |
| 260,00 | 138,07 |
| 270,00 | 139,30 |
| 280,00 | 140,58 |
| 290,00 | 141,90 |
| 300,00 | 143,28 |
| 310,00 | 144,71 |
| 320,00 | 146,19 |
| 330,00 | 147,72 |
| 340,00 | 149,30 |
| 350,00 | 150,93 |
| 360,00 | 152,62 |
| 370,00 | 154,35 |
| 380,00 | 156,13 |
| 390,00 | 157,96 |
| 400,00 | 159,84 |
| 410,00 | 161,77 |
| 420,00 | 163,76 |
| 430,00 | 165,79 |
| 440,00 | 167,87 |
| 450,00 | 170,01 |
| 460,00 | 172,19 |
| 470,00 | 174,42 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Figura 11 – Curva do Sistema Obtida.




**Fonte:** DEODE (2023)

Uma vez obtida a curva do sistema, é possível calcular o ponto operacional através da vazão média dos conjuntos antigos, que, de maneira conservadora, foi adotada como 60 l/s.

A Equação 4.13 elucida o cálculo da pressão requerida pelo sistema:

$$H_{sistema} = 0,0002512462 * v_{operação}^2 - 0,0102886384 * v_{operação} + 23,7583412075 \quad (4.13)$$

$$H_{sistema} = 133,2581 m.c.a. \quad (4.14)$$

Onde:

- $H_{sistema}$ é a pressão, em m.c.a., requerida pelo sistema a partir da vazão de operação;
- $v_{operação}$ é a vazão de operação, em m$^3$/h.

Com isso, obteve-se o seguinte ponto operacional: 60l/s a 133,26m.c.a.

## 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PROPOSTO

O primeiro passo para determinar os equipamentos substitutos aos obsoletos previamente citados é determinar a bomba centrífuga que será utilizada. A partir do equipamento escolhido, obtém-se a potência que este irá consumir, bem como a rotação de operação onde haverá máximo rendimento.

### 4.3.1 Bomba Centrífuga Proposta

Para a seleção da bomba, foram utilizados dois recursos, sendo eles o catálogo das curvas características das bombas da fabricante KSB e o seu respectivo software, denominado *EasySelect*, que indica o melhor equipamento através dos parâmetros do sistema fornecidos. Tais dados são pressão e vazão, tendo a água como o fluido a ser bombeado. A entrada do dado de vazão, denominado Caudal, é em $m^3/h$. Desta forma, é necessário transformar 60l/s em $m^3/h$. A transformação é obtida por:

$$vazão_{[m^3/h]} = 3,6.vazão_{[l/s]} \tag{4.15}$$

Onde:

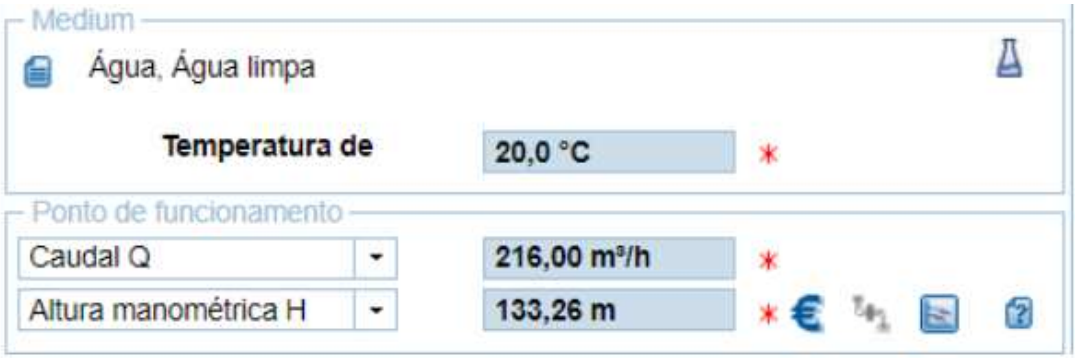
- $3,6$ indica a razão de transformação de litros em metros cúbicos (onde $1m^3$=1000l), e a conversão de segundos em horas (onde 1h=3600s).

Através da Equação 4.16 acima, obtém-se:

$$vazão_{[m^3/h]} = 216\ m^3/h \tag{4.16}$$

A partir de tal indicação, o software direciona o melhor produto que atenderá às necessidades informadas, o diâmetro do rotor, velocidade mecânica e potência requerida. A Figura 12 apresenta a parametrização do ponto operacional e a Figura 13 apresenta as bombas elegíveis, onde o equipamento selecionado está destacado na cor vermelha, sendo este o modelo Omega 100-310B, o mais eficiente para a aplicação.

Figura 12 – Parametrização do Sistema Antigo




**Fonte:** KSB *EasySelect*

Figura 13 – Sugestões de Bombas a Serem Utilizadas

| | Linha de produção | Tamanho da bomba | Preços desde | Preç | Selecci | Rendimento | Potência absorvida | Velocidade | Passagem livre | NPSH requerido | Potência máx. da curva | Relação Q / Cbep | Diametro hidraulico efectivo | Impulsor de diametro máximo | Caudal mássico | Caudal | Altura manométrica de compressão | Pressão de compressão | Caudal mínimo admissível |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Omega | 100-310 B | a pedido | | ✔ | 79,08 % | 98,89 kW | 2887 rpm | 11 mm | 6,24 m | 122,11 kW | 80,10 % | 325 mm | 325,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 85,54 m³/h |
| 2 | Omega | 100-310 A | a pedido | | | 75,66 % | 103,24 kW | 2751 rpm | 15 mm | 4,39 m | 143,44 kW | 61,23 % | 325 mm | 325,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 181,57 m³/h |
| 3 | Omega | 125-290 B | a pedido | | | 69,54 % | 112,83 kW | 2983 rpm | 12 mm | 6,68 m | 175,58 kW | 44,66 % | 301 mm | 301,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 143,76 m³/h |
| 4 | Omega | 125-290 A | a pedido | | | 65,54 % | 119,57 kW | 2929 rpm | 19 mm | 6,45 m | 206,43 kW | 40,94 % | 301 mm | 301,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 164,19 m³/h |
| 5 | Omega | 150-605 B | a pedido | | | 61,65 % | 127,01 kW | 1562 rpm | 11 mm | 2,53 m | 252,78 kW | 39,85 % | 560 mm | 560,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 169,22 m³/h |
| 6 | Omega | 200-670 B | a pedido | | | 54,41 % | 143,36 kW | 1347 rpm | 12 mm | 1,95 m | 285,13 kW | 31,69 % | 655 mm | 655,0 mm | 59,88 kg/s | 216,00 m³/h | 133,26 m | 13,04 bar.r | 185,07 m³/h |

**Fonte:** KSB *EasySelect*

Uma imagem da bomba hidráulica escolhida é apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Bomba Hidráulica KSB Ômega 100-310B



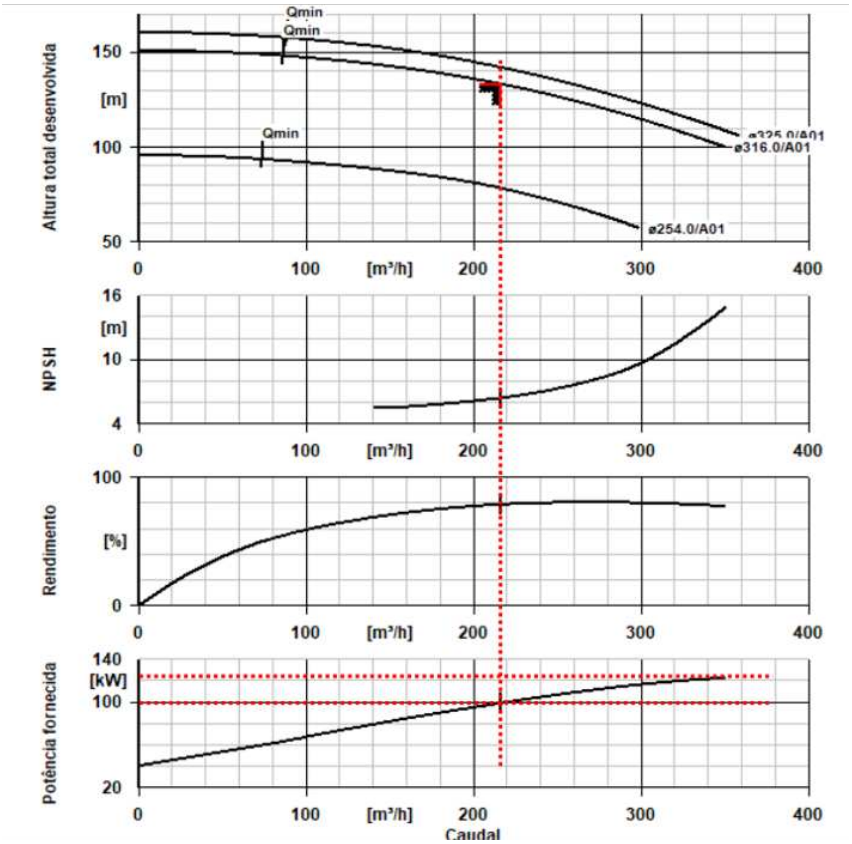
**Fonte:** KSB - Solutions.For Life. (2025)

### 4.3.2 Motor Elétrico Proposto

Como pode ser observado na Figura 13, a potência requerida pelo equipamento no ponto operacional é de 98,89kW. Contudo, o sistema do SAAE constitui uma rede com abastecimento em marcha, ou seja, opera sob variações contínuas de carga, sendo necessária uma abordagem mais conservadora. Por este motivo, a potência requerida a ser considerada será a maior possível, que neste caso, é de 122,11kW. Somado a isso, o fabricante orienta um acréscimo de 10% na potência requerida para haver uma reserva de potência. Tem-se, então, 134,32kW.

A Figura 15 possui as curvas da bomba selecionada. Em destaque, há a potência absorvida no ponto de operação observado e a máxima potência absorvida.

Figura 15 – Curva de Operação da Bomba Proposta




**Fonte:** DEODE (2023)

Desta forma, a potência do motor elétrico que melhor atende à potência necessária em cavalos (unidade comumente utilizada para denominar a potência de motores) é calculada a partir da Equação 4.17:

$$P_{CV} = P_{kW} * 1,36 \tag{4.17}$$

Onde:

- $P_{CV}$ é a potência, em cavalos;
- $P_{kW}$ é a potência, em kilowatts;
- 1,36 é a constante de transformação.

Portanto:

$$P_{CV} = 182,67CV \tag{4.18}$$

Com isto, é necessário um motor elétrico cuja potência seja de pelo menos 182,67CV. No entanto, o modelo comercial disponível para esta aplicação é de 200CV, que leva em

consideração as características da bomba, o conservadorismo por questões de segurança e as recomendações do fabricante da bomba centrífuga.

O motor escolhido é da fabricante WEG, modelo W22 IR4 Super Premium 200CV 2P 315 S/M 220/380/440V.A linha W22 atende aos níveis de rendimento especificados na Portaria Interministerial n.º 1, de 29 de junho de 2017(Ministério de Minas e Energia, 2017) (que exige nível mínimo de eficiência IR3 - Premium, para serem comercializados no Brasil). Dessa forma, promove redução do consumo de energia, oferece ótima relação custo-benefício e consequentemente maior produtividade e gastos reduzidos para a indústria. O modelo IR4 Super Premium possui rendimento superior ao mínimo exigido pela legislação vigente. Além disso, possui intervalos de lubrificação estendidos, gerando menor necessidade de intervenções para manutenção e baixas temperaturas de operação, aumentando a vida útil do sistema de isolamento e, por consequência, do motor(WEG, 2022). As principais características do motor elétrico escolhido estão apresentadas na Figura 16.

Figura 16 – Características do Motor de 200CV Escolhido

**FOLHA DE DADOS**

**Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola**

Cliente :

Linha do produto : W22 Super Premium Trifásico — Código do produto : 13027559

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carcaça | : 315S/M | Tempo de rotor bloqueado | : 54s (frio) 30s (quente) |
| Potência | : 150 kW (200 HP-cv) | Elevação de temperatura | : 80 K |
| Número de polos | : 2 | Regime de serviço | : S1 |
| Frequência | : 60 Hz | Temperatura ambiente | : -20°C a +40°C |
| Tensão nominal | : 220/380/440 V | Altitude | : 1000 m |
| Corrente nominal | : 460/266/230 A | Grau de proteção | : IPW55 |
| Corrente de partida | : 3818/2210/1909 A | Método de refrigeração | : IC411 - TFVE |
| Ip/In | : 8.3 | Forma construtiva | : B3D |
| Corrente a vazio | : 132/76.4/66.0 A | Sentido de rotação¹ | : Ambos |
| Rotação nominal | : 3580 rpm | Nível de ruído² | : 81.0 dB(A) |
| Escorregamento | : 0.56 % | Método de partida | : Partida direta |
| Conjugado nominal | : 40.8 kgfm | Massa aproximada³ | : 1092 kg |
| Conjugado de partida | : 240 % | | |
| Conjugado máximo | : 300 % | | |
| Classe de isolamento | : F | | |
| Fator de serviço | : 1.25 | | |
| Momento de inércia (J) | : 2.33 kgm² | | |
| Categoria | : N | | |

| Potência | 50% | 75% | 100% |
|---|---|---|---|
| Rendimento (%) | 94.4 | 95.6 | 96.2 |
| Cos Φ | 0.79 | 0.86 | 0.89 |

| Esforços na fundação | |
|---|---|
| Tração máxima | : 417 kgf |
| Compressão máxima | : 1510 kgf |

| | Dianteiro | Traseiro |
|---|---|---|
| Tipo de mancal | 6314 C3 | 6314 C3 |
| Vedação | WSeal | WSeal |
| Intervalo de lubrificação | 4000 h | 4000 h |
| Quantidade de lubrificante | 27 g | 27 g |
| Tipo de lubrificante | Mobil Polyrex EM | |

**Fonte:** WEG (2025)

A Figura 17 apresenta uma imagem do motor elétrico proposto.

Figura 17 – Motor Elétrico WEG W22 IR4 Super Premium 200CV 2P 315S/M 3F 220/380/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D



**Fonte:** WEG (2025)

### 4.3.3 Método de Partida Proposto

Por fim, foi selecionado o método de partida para os conjuntos motobombas contemplados pelo presente projeto. Na atualidade, a melhor escolha de acionamento para motores nesta faixa de potência é o inversor de frequência, pois a partida do equipamento elétrico se dá de forma suave, reduzindo, a longo prazo, necessidades de rebobinamento e aumentando a vida útil do motor. Além disto, atende exatamente o ponto de operação com a rotação necessária de 2887 rpm, permite o funcionamento em outras situações de vazão e altura manométrica e abre espaço para outras possíveis automações.

A escolha do inversor de frequência foi baseada no número de polos do motor proposto e na corrente máxima de operação.

Na folha de dados do motor (Figura 16), é possível observar que, em 380V, sua tensão de operação, a corrente nominal é 266A. A partir do catálogo de inversores de frequência modelo CFW11 da WEG, mesma fabricante do motor elétrico, o modelo cuja capacidade de corrente mais se aproxima do valor necessário para a operação do motor em questão é o modelo CFW110312T4SZ, cujas principais características estão na Figura 18.

O modelo CFW11 possui aplicações industriais e possui uma gama de funções, boa resposta estática e dinâmica e alta capacidade de sobrecarga(WEG, 2025). O termo "0312"em seu modelo diz respeito à corrente nominal de entrada trifásica com sobrecarga normal, enquanto "T4" e "SZ" referem-se à tensão de alimentação, de 380V a 480V e montagem sem adicionais, respectivamente.

Figura 18 – Dados do Inversor de Frequência Proposto - CFW110312T4SZ

# FOLHA DE DADOS
Inversores de Frequência



## Características principais

| | |
|---|---|
| Referência | : SRCFW110312T4SZ |
| Código do produto | : 11270542 |
| Linha de produto | : CFW11 |

**Dados básicos**

| | |
|---|---|
| Tensão nominal de entrada | : 380-480 V |
| Tensão mínima - máxima de entrada | : 323-528 V |
| Número de fases | |
| De entrada | : 3 |
| De saída | : 3 |

| Faixa de tensões de alimentação | 380-480 V | |
|---|---|---|
| Regime de sobrecarga | Normal (ND) | Pesada (HD) |
| Corrente nominal | 312 A | 242 A |
| Corrente de sobrecarga 60 s | 343A | 363A |
| Corrente de sobrecarga 3 s | 468A | 484A |

**Motor máximo aplicável**

| Tensão / Frequência | Potência (cv / kW) [1] | |
|---|---|---|
| | Sobrecarga Normal (ND) | Sobrecarga Pesada (HD) |
| 380V / 50Hz | 220 / 160 | 150 / 110 |
| 380V / 60Hz | 200 / 150 | 150 / 110 |
| 400V / 50Hz | 220 / 160 | 175 / 132 |
| 400V / 60Hz | 200 / 150 | 150 / 110 |
| 440V / 50Hz | 250 / 185 | 200 / 150 |
| 440V / 60Hz | 250 / 185 | 200 / 150 |
| 460V / 60Hz | 270 / 200 | 200 / 150 |
| 480V / 60Hz | 270 / 200 | 200 / 150 |

| | |
|---|---|
| Frenagem reostática [2] | : Standard sem frenagem |
| Alimentação da eletrônica | : Interna |
| Parada de segurança | : Não |
| Filtro RFI interno [3] | : Com filtro (categoria C3) |
| Filtro externo | : Não disponível |
| Indutor do Link | : Sim |
| Cartão de memória | : Incluso no produto |
| Porta USB | : Padrão no produto |
| Frequência de rede | : 50/60Hz |
| Faixa de frequência de rede (mínima - máxima) | : 48-62 Hz |
| Desequilíbrio entre fases | : Menor ou igual a 3% da tensão de linha nominal de entrada |
| Tensões transientes e sobretensões | : Categoria III |
| Corrente nominal de entrada monofásica | |
| - Sobrecarga (ND) | : |
| - Sobrecarga (HD) | : |
| Corrente nominal de entrada trifásica | |
| - Sobrecarga (ND) | : 312A |
| - Sobrecarga (HD) | : 242A |
| Fator de potência típico de entrada | : 0.94 |
| Fator de deslocamento típico | : 0.98 |
| Rendimento típico na condição nominal | : ≥ 98% |
| Número máximo conexões (de rede) por hora | : 60 |
| Alimentação da potência em corrente contínua | : Não permite |
| Frequência de chaveamento padrão | |
| - Sobrecarga ND | : 2,5 kHz |
| - Sobrecarga HD | : 2,5 kHz |
| Frequência de chaveamento selecionáveis | : 1,25; 2; 2,5 e 5 kHz |
| Relógio de tempo real | : Sim, na HMI |
| Função Copy | : Sim, via HMI/MMF |

Potência dissipada:

| Tipo de montagem | Sobrecarga | | Sobrecarga (*) | |
|---|---|---|---|---|
| | ND | HD | ND | HD |
| Em superfície | 3957 W | 3046 W | Não aplicável | Não aplicável |
| Em flange | 826 W | 614 W | Não aplicável | Não aplicável |

**Fonte disponível ao usuário**

| | |
|---|---|
| Tensão de saída | : 24 Vcc |
| Capacidade máxima | : 500 mA |

**Fonte:** WEG (2025)

As Figuras 19 e 20 elucidam o inversor de frequência e seu devido painel, cujo modelo segue suas especificações, que, neste caso, é do modelo AFW110312T4SZ.

Figura 19 – Inversor de Frequência Proposto - CFW110312T4SZ



**Fonte:** WEG (2025)

Figura 20 – Painel Elétrico - AFW110312T4SZ



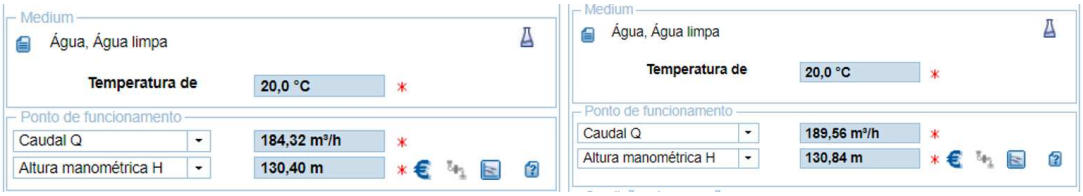
**Fonte:** WEG (2025)

### 4.3.4 Consumo de Energia e Demanda na Ponta Propostos

Para fins de estimativa do consumo de energia proposto, o desempenho das bombas foi analisado no ponto médio de vazão observado a partir dos dados do supervisório. Por conseguinte, foi analisado o desempenho da bomba selecionada para cada conjunto em seu ponto operacional.

Na Figura 21 há a parametrização do ponto operacional médio proposto, enquanto nas Figuras 22 e 23, há o desempenho da bomba KSB Omega 100-310B para cada conjunto em seu ponto de operação.

Figura 21 – Parametrização do Ponto Operacional Médio Proposto




**Fonte:** KSB *EasySelect*

Figura 22 – Desempenho da Bomba Selecionada para o CMB02

| | Linha de produção | Tamanho da bomba | Preços desde | Preç | Selecci | Rendimento | Potência absorvida | Velocidade | Passagem livre | NPSH requerido | Potência máx. da curva | Relação Q / Qbep | Diametro hidraulico efectivo | Impulsor de diametro máximo | Caudal mássico | Caudal | Altura manométrica de compressão | Pressão de compressão | Caudal mínimo admissível |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Omega | 100-310 B | a pedido | | ✓ | 76,45 % | 85,48 kW | 2807 rpm | 11 mm | 5,61 m | 112,57 kW | 70,28 % | 325 mm | 325,0 mm | 51,10 kg/s | 184,32 m³/h | 130,40 m | 12,76 bar.r | 83,19 m³/h |

**Fonte:** KSB *EasySelect*

Figura 23 – Desempenho da Bomba Selecionada para o CMB03

| | Linha de produção | Tamanho da bomba | Preços desde | Preç | Selecci | Rendimento | Potência absorvida | Velocidade | Passagem livre | NPSH requerido | Potência máx. da curva | Relação Q / Qbep | Diametro hidraulico efectivo | Impulsor de diametro máximo | Caudal mássico | Caudal | Altura manométrica de compressão | Pressão de compressão | Caudal mínimo admissível |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Omega | 100-310 B | a pedido | | ✓ | 76,99 % | 87,58 kW | 2820 rpm | 11 mm | 5,71 m | 114,02 kW | 71,96 % | 325 mm | 325,0 mm | 52,55 kg/s | 189,56 m³/h | 130,84 m | 12,81 bar.r | 83,55 m³/h |

**Fonte:** KSB *EasySelect*

Faz-se necessário calcular o torque do motor para o ponto de operação estipulado. O conjugado é dado pela Equação 4.19:

$$\tau = \frac{P_{req}}{\frac{2\pi * n}{60}} * 0,10197162 \tag{4.19}$$

Onde:

- $\tau$ é o torque, em kgfm;
- $P_{req}$ é a potência requerida pela bomba, em Watts;
- $n$ é a rotação do motor;
- $0,10197162$ é uma constante utilizada para o cálculo, que converte N para kgf.

Para o CMB02, a partir da Figura 22, há uma potência requerida de 85,48kW e uma rotação de 2807 rpm. Portanto, a partir da Equação 4.19:

$$\tau_{CMB02} = 29,65kgfm \tag{4.20}$$

Para o CMB03, conforme Figura 23, a potência requerida pela bomba é de 87,58kW, enquanto a velocidade mecânica é de 2820 rpm. O resultado do torque é:

$$\tau_{CMB02} = 30,24kgfm \tag{4.21}$$

A velocidade elétrica é obtida a partir da Equação 4.22:

$$n_{elétrica} = \frac{n_{mecânica}}{60} \tag{4.22}$$

Onde:

- $n_{elétrica}$ é a velocidade elétrica, ou frequência, em Hertz, equivalente a rotações por segundo;
- $n_{mecânica}$ é velocidade mecânica, em rotações por minuto;
- 60 é a constante que representa quantos segundos há em um minuto.

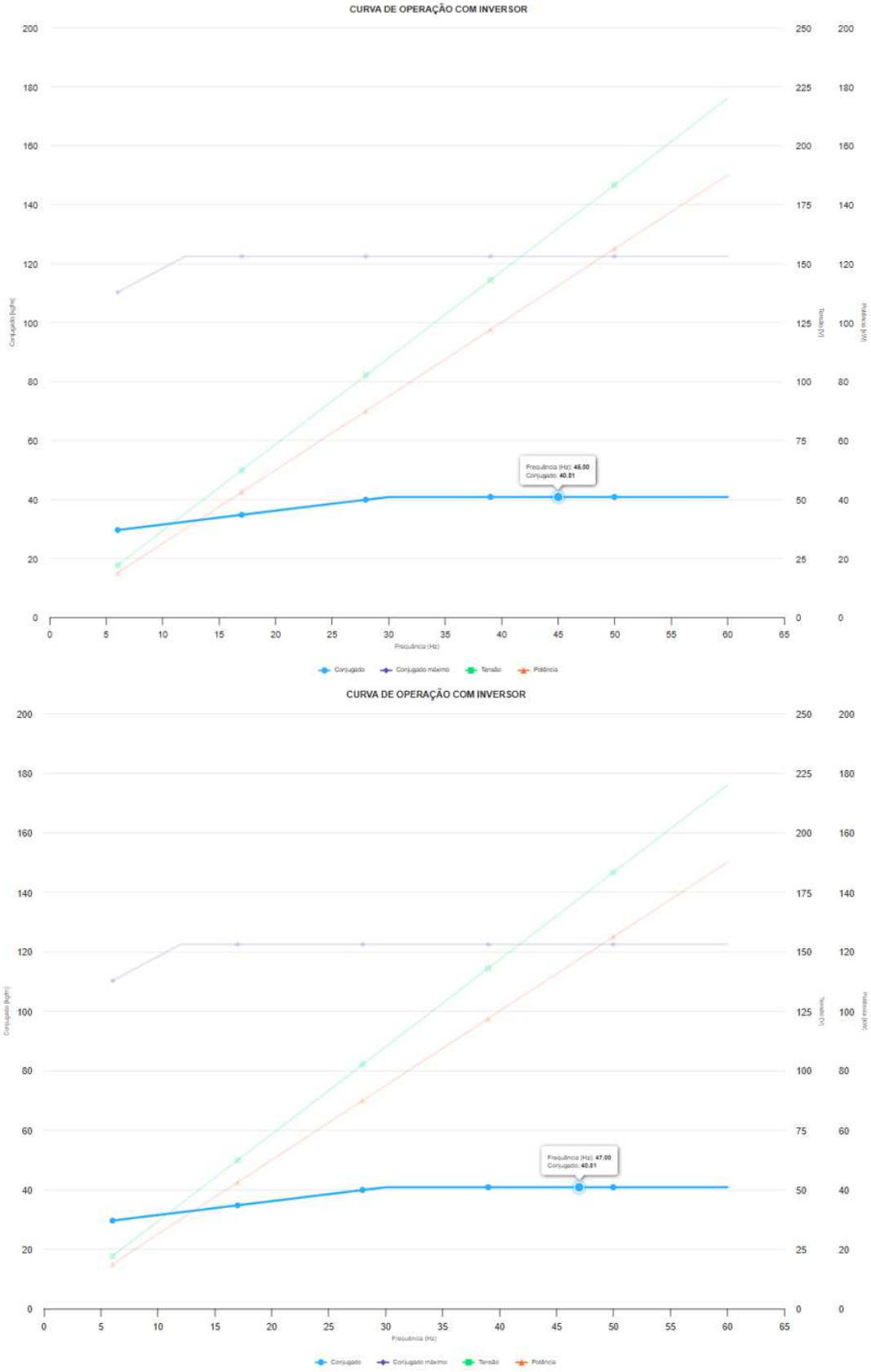
Calculando a frequência para cada conjunto motobomba, a partir da Equação 4.22:

$$n_{elétricaCMB02} = 46,783Hz \tag{4.23}$$

$$n_{elétricaCMB03} = 47Hz \tag{4.24}$$

A partir da curva de desempenho do motor escolhido na operação com inversor de frequência, é possível observar que, para as duas frequências de operação, o motor possui torque de 40,81kgfm, conforme Figura 24:

Figura 24 – Conjugado do Motor Escolhido para a operação em 46Hz e 47Hz




**Fonte:** WEG (2025)

Conforme pode ser observado, as potências requeridas pelas bombas no ponto médio de operação são, respectivamente, 85,48kW e 87,58kW. Com isto, é possível calcular o carregamento dos motores propostos, tendo como dado a potência nominal de 200CV(equivalente a 150kW), fazendo uso da Equação 4.1:

$$carregamento_{CMB02} = 54,82\% \tag{4.25}$$

$$carregamento_{CMB03} = 56,17\% \tag{4.26}$$

Com os dados de carregamento em mãos, observa-se a operação mais segura e a possibilidade de aumentar a carga em momentos futuros.

Torna-se factível, desta maneira, estimar o consumo de energia do sistema proposto, através da Equação 4.6:

$$E_{consumidaCMB02} = \frac{85,48kW * 14,6h * 365}{1000} = 455,52MWh/ano \tag{4.27}$$

$$E_{consumidaCMB03} = \frac{87,58kW * 14,97h * 365}{1000} = 478,54MWh/ano \tag{4.28}$$

Realizando os cálculos para a demanda em horário de ponta, obtém-se, a partir da Equação 4.10:

$$Demanda_{pontaCMB02} = 85,48kW * \frac{0,91h}{3h} = 25,93kW \tag{4.29}$$

$$Demanda_{pontaCMB03} = 87,58kW * \frac{0,55h}{3h} = 16,06kW \tag{4.30}$$

# 5 RESULTADOS

A partir do projeto apresentado, pode-se mensurar os possíveis resultados que as ações de eficiência energética trarão para a Unidade Consumidora contemplada. Em primeiro lugar, é elucidado o consumo de energia elétrica dos conjuntos motobomba ao longo do ano, em MWh/ano, como pode ser observado na Tabela 6:

Tabela 6 – Resultados Esperados Quanto à Energia.

| Referência | Energia Consumida Antes (MWh/ano) | Energia Consumida Depois (MWh/ano) |
|---|---|---|
| CMB02 | 1.051,52 | 455,52 |
| CMB03 | 1.024,84 | 478,54 |
| Total | 2.076,36 | 934,06 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Além disso, torna-se factível a apresentação da demanda em horário de ponta dos equipamentos, que está na Tabela 7:

Tabela 7 – Resultados Esperados Quanto à Demanda em Horário de Ponta.

| Referência | Demanda na Ponta Antes (kW) | Demanda na Ponta Depois (kW) |
|---|---|---|
| CMB02 | 59,85 | 25,93 |
| CMB03 | 34,39 | 16,06 |
| Total | 94,24 | 41,99 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Por fim, de maneira a poder mensurar a economia de energia e a redução de demanda em horário de ponta, basta realizar a subtração dos dados obtidos antes das ações de eficiência energética com os dados estimados de consumo após as AEEs, como é apresentado nas Equações 5.1 e 5.2:

$$EE = Energia_{Antes} - Energia_{Depois} \tag{5.1}$$

$$RDP = Demanda_{Antes} - Demanda_{Depois} \tag{5.2}$$

Aplicando as Equações acima, são esperados os seguintes resultados, elucidados na Tabela 8:

Tabela 8 – Resultados de Economia de Energia e Redução de Demanda na Ponta Esperados.

| Parâmetro | Valor |
|---|---|
| Economia de Energia (MWh/ano) | 1.142,3 |
| Redução de Demanda na Ponta (kW) | 52,25 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Após toda a concepção do projeto e aceite do cliente para com os benefícios estimados, foram realizadas medições dos conjuntos motobombas durante 14 dias para obter, de maneira mais assertiva, o consumo dos equipamentos em um momento anterior às AEEs, extrapolando os dados de 14 dias para 365 dias. As Figuras 25 e 26 elucidam as medições de energia e vazão feitas.

Figura 25 – Processo de Medição de Energia do Sistema Antigo.



**Fonte:** DEODE (2024)

Figura 26 – Processo de Medição de Vazão do Sistema Antigo.



**Fonte:** DEODE (2024)

Os resultados obtidos no que diz respeito ao funcionamento estão nas Tabelas 9, enquanto os resultados de consumo são apresentados na Tabela 10. Os dias 2, 3, 9 e 10 referem-se a finais de semana, onde não há horário de ponta, portanto, não foram contabilizados para o cálculo da média.

Tabela 9 – Perfil de Funcionamento do CMB02 Antigo a partir de Medições.

| Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Potência Média (kW) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|---|---|
| Dia 1 | 20,42 | 0,6 | 219,65 | 219,56 |
| Dia 2 | 19,75 | 0,0 | 217,60 | 0,0 |
| Dia 3 | 20,00 | 0,0 | 217,74 | 0,0 |
| Dia 4 | 19,75 | 0,6 | 202,13 | 203,83 |
| Dia 5 | 21,58 | 0,6 | 207,94 | 218,96 |
| Dia 6 | 20,83 | 0,6 | 217,62 | 220,43 |
| Dia 7 | 21,50 | 0,6 | 220,09 | 220,21 |
| Dia 8 | 21,25 | 0,6 | 220,25 | 220,53 |
| Dia 9 | 19,67 | 0,0 | 217,82 | 0,0 |
| Dia 10 | 22,00 | 0,0 | 205,49 | 0,0 |
| Dia 11 | 20,58 | 0,6 | 210,18 | 210,03 |
| Dia 12 | 20,25 | 0,6 | 209,54 | 204,72 |
| Dia 13 | 20,58 | 0,6 | 201,39 | 200,24 |
| Dia 14 | 19,42 | 0,6 | 197,88 | 197,89 |
| Média | 20,54 | 0,6 | 211,81 | 211,64 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Tabela 10 – Resultados Obtidos do CMB02 Antigo de Consumo e Vazão a partir de Medições.

| Referência | Consumo (kWh/dia) | Vazão($m^3$/dia) |
|---|---|---|
| Dia 1 | 4.484,47 | 4.336,01 |
| Dia 2 | 4.297,55 | 4.177,35 |
| Dia 3 | 4.354,83 | 4.246,89 |
| Dia 4 | 3.992,02 | 3.667,55 |
| Dia 5 | 4.488,08 | 4.240,14 |
| Dia 6 | 4.533,68 | 4.376,78 |
| Dia 7 | 4.731,95 | 4.590,34 |
| Dia 8 | 4.680,38 | 4.515,52 |
| Dia 9 | 4.283,81 | 4.146,93 |
| Dia 10 | 4.520,77 | 4.255,67 |
| Dia 11 | 4.326,28 | 4.163,54 |
| Dia 12 | 4.243,09 | 4.054,87 |
| Dia 13 | 4.145,33 | 3.794,88 |
| Dia 14 | 3.842,16 | 3.413,86 |
| Média | 4.351,74 | 4.115,35 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Para o CMB03, os mesmos dados estão descritos nas Tabelas 11 e 12:

Tabela 11 – Perfil de Funcionamento do CMB03 Antigo a partir de Medições.

| Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Potência Média (kW) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|---|---|
| Dia 1 | 19,67 | 3,00 | 171,20 | 168,33 |
| Dia 2 | 21,58 | 0,0 | 187,88 | 0,0 |
| Dia 3 | 20,58 | 0,0 | 174,50 | 0,0 |
| Dia 4 | 19,58 | 3,00 | 195,13 | 198,22 |
| Dia 5 | 19,67 | 3,00 | 201,10 | 205,73 |
| Dia 6 | 19,08 | 3,00 | 204,46 | 210,73 |
| Dia 7 | 19,00 | 3,00 | 210,80 | 210,53 |
| Dia 8 | 19,00 | 3,00 | 209,28 | 212,35 |
| Dia 9 | 19,00 | 0,0 | 193,22 | 0,0 |
| Dia 10 | 19,25 | 0,0 | 189,36 | 0,0 |
| Dia 11 | 20,08 | 3,00 | 196,24 | 197,22 |
| Dia 12 | 18,08 | 3,00 | 184,69 | 183,93 |
| Dia 13 | 21,00 | 3,00 | 187,43 | 191,25 |
| Dia 14 | 20,17 | 3,00 | 190,85 | 189,87 |
| Média | 19,70 | 3,00 | 192,58 | 196,82 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Tabela 12 – Resultados Obtidos do CMB03 Antigo de Consumo e Vazão a partir de Medições.

| Referência | Consumo (kWh/dia) | Vazão($m^3$/dia) |
|---|---|---|
| Dia 1 | 3.366,97 | 3.464,18 |
| Dia 2 | 4.055,03 | 4.244,94 |
| Dia 3 | 3.591,79 | 3.712,38 |
| Dia 4 | 3.821,39 | 3.897,34 |
| Dia 5 | 3.954,90 | 4.024,19 |
| Dia 6 | 3.901,70 | 3.969,68 |
| Dia 7 | 4.005,20 | 4.016,12 |
| Dia 8 | 3.976,29 | 3.975,56 |
| Dia 9 | 3.671,20 | 3.806,50 |
| Dia 10 | 3.645,26 | 3.809,74 |
| Dia 11 | 3.941,07 | 4.043,29 |
| Dia 12 | 3.339,78 | 3.536,17 |
| Dia 13 | 3.935,98 | 4.155,71 |
| Dia 14 | 3.848,91 | 3.989,49 |
| Média | 3.789,68 | 3.907,17 |

**Fonte:** Elaboração Própria

O cálculo utilizado para cálculo do consumo de energia é dado pela Equação 5.3:

$$Energia_{consumida} = \frac{Consumo_{kWh/dia}.Dias_{funcionamento}}{100} \tag{5.3}$$

Onde

- é o consumo médio em kWh/dia medido;
- é o número de dias, em um ano, em que há funcionamento;

Além disso, a demanda em horário de ponta é obtida diretamente através da média de cada conjunto.

Por fim, em méritos de consumo e demanda em horário de ponta, foram observados os seguintes resultados, relatados na Tabela 13:

Tabela 13 – Resultados de Consumo de Energia e Demanda na Ponta dos Conjuntos Motobomba Atuais Após Medições.

| Referência | Energia Consumida (MWh/ano) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|
| CMB02 | 1.588,39 | 211,64 |
| CMB03 | 1.383,23 | 196,82 |
| Total | 2.971,62 | 408,46 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Conforme observado na Tabela13, o consumo de energia e a demanda na ponta de ambos conjuntos motobomba sofreram aumentos significativos. Isso se deu pelo fato de o

sistema ter operado por mais tempo e, por consequência, consumiu mais que o esperado a partir do projeto.

Em um momento posterior à execução do projeto, houve um novo período de medição de quatorze dias de maneira a observar o perfil de funcionamento do novo sistema, bem como adquirir seus dados de consumo. As Figuras 27 e 28 apresentam as medições de energia e vazão do novo sistema.

Figura 27 – Processo de Medição de Energia do Novo Sistema.




**Fonte:** DEODE (2025)

Figura 28 – Processo de Medição de Vazão do Novo Sistema.




**Fonte:** DEODE (2025)

Os mesmos dados para cálculo de consumo de energia e demanda em horário de ponta durante 14 dias, e seus resultados são apresentados nas Tabelas 14, 16, 15 e 17.

Tabela 14 – Perfil de Funcionamento do Novo CMB02 a partir de Medições.

| Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Potência Média (kW) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|---|---|
| Dia 1 | 21,73 | 0,00 | 127,77 | 0,00 |
| Dia 2 | 19,93 | 0,00 | 114,16 | 0,00 |
| Dia 3 | 22,72 | 3,00 | 109,79 | 115,10 |
| Dia 4 | 20,62 | 3,00 | 117,06 | 123,70 |
| Dia 5 | 23,02 | 0,00 | 121,13 | 0,00 |
| Dia 6 | 24,00 | 3,00 | 112,00 | 106,84 |
| Dia 7 | 24,00 | 3,00 | 113,01 | 118,91 |
| Dia 8 | 24,00 | 0,00 | 117,13 | 0,00 |
| Dia 9 | 20,53 | 0,00 | 118,31 | 0,00 |
| Dia 10 | 24,00 | 3,00 | 118,08 | 143,53 |
| Dia 11 | 21,02 | 3,00 | 127,22 | 142,58 |
| Dia 12 | 23,95 | 3,00 | 113,07 | 117,46 |
| Dia 13 | 24,00 | 3,00 | 108,97 | 102,88 |
| Dia 14 | 23,78 | 3,00 | 109,05 | 110,55 |
| Média | 22,66 | 3,00 | 115,98 | 120,17 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Tabela 15 – Resultados Obtidos do Novo CMB02 de Consumo e Vazão a partir de Medições.

| Referência | Consumo (kWh/dia) | Vazão($m^3$/dia) |
|---|---|---|
| Dia 1 | 2.711,67 | 5.449,47 |
| Dia 2 | 2.275,69 | 4.665,92 |
| Dia 3 | 2.494,15 | 5.133,37 |
| Dia 4 | 2.413,37 | 4.927,25 |
| Dia 5 | 2.788,06 | 5.745,23 |
| Dia 6 | 2.688,08 | 5.535,60 |
| Dia 7 | 2.712,30 | 5.582,70 |
| Dia 8 | 2.811,14 | 5.874,75 |
| Dia 9 | 2.429,23 | 5.039,52 |
| Dia 10 | 2.833,84 | 5.770,90 |
| Dia 11 | 2.673,77 | 5.385,63 |
| Dia 12 | 2.708,01 | 5.912,13 |
| Dia 13 | 2.615,23 | 5.427,18 |
| Dia 14 | 2.593,61 | 5.334,08 |
| Média | 2.624,87 | 5.445,43 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Tabela 16 – Perfil de Funcionamento do Novo CMB03 a partir de Medições.

| Referência | Funcionamento Diário (h) | Funcionamento em Horário de Ponta (h) | Potência Média (kW) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|---|---|
| Dia 1 | 24,00 | 0,00 | 119,13 | 0,00 |
| Dia 2 | 18,80 | 0,00 | 109,07 | 0,00 |
| Dia 3 | 24,00 | 3,00 | 117,19 | 114,93 |
| Dia 4 | 16,08 | 3,00 | 117,61 | 118,87 |
| Dia 5 | 24,00 | 0,00 | 109,27 | 0,00 |
| Dia 6 | 16,65 | 2,35 | 111,85 | 91,59 |
| Dia 7 | 23,23 | 3,00 | 115,61 | 113,14 |
| Dia 8 | 20,78 | 0,00 | 117,31 | 0,00 |
| Dia 9 | 18,87 | 0,00 | 111,70 | 0,00 |
| Dia 10 | 22,37 | 3,00 | 107,03 | 104,25 |
| Dia 11 | 22,67 | 3,00 | 109,39 | 114,92 |
| Dia 12 | 23,92 | 3,00 | 111,42 | 116,41 |
| Dia 13 | 19,67 | 1,48 | 106,53 | 51,94 |
| Dia 14 | 23,75 | 3,00 | 107,96 | 112,23 |
| Média | 21,34 | 2,76 | 112,22 | 104,25 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Tabela 17 – Resultados Obtidos do Novo CMB03 de Consumo e Vazão a partir de Medições.

| Referência | Consumo (kWh/dia) | Vazão($m^3$/dia) |
|---|---|---|
| Dia 1 | 2.859,06 | 5.928,83 |
| Dia 2 | 2.050,55 | 4.203,25 |
| Dia 3 | 2.812,47 | 5.712,55 |
| Dia 4 | 1.891,50 | 4.745,22 |
| Dia 5 | 2.622,45 | 5.392,73 |
| Dia 6 | 1.862,30 | 4.781,82 |
| Dia 7 | 2.685,91 | 5.462,62 |
| Dia 8 | 2.438,06 | 4.940,58 |
| Dia 9 | 2.107,39 | 4.296,35 |
| Dia 10 | 2.393,94 | 4.869,00 |
| Dia 11 | 2.479,45 | 5.076,20 |
| Dia 12 | 2.664,88 | 5.446,60 |
| Dia 13 | 2.095,03 | 4.271,60 |
| Dia 14 | 2.564,05 | 5.248,70 |
| Média | 2.624,87 | 5.413,12 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Desta forma, foram obtidos os seguintes resultados, apresentados na Tabela 18:

Tabela 18 – Resultados de Consumo de Energia e Demanda na Ponta dos Novos Conjuntos Motobomba Após Medições.

| Referência | Energia Consumida (MWh/ano) | Demanda na Ponta (kW) |
|---|---|---|
| CMB02 | 958,08 | 120,17 |
| CMB03 | 874,10 | 104,25 |
| Total | 1.832,18 | 224,42 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Para a obtenção da economia de energia, adotando o cálculo do consumo de energia evitado, onde o período pré-*retrofit* será ajustado às condições do período pós-*retrofit*.

Esse ajuste é feito através da técnica matemática de regressão linear, onde é equacionada uma reta de ajuste dos dados da variável independente, a vazão, do período da linha de base, às condições encontradas no período de determinação da economia, de maneira a estabelecer uma correlação.

A Equação 5.4 exemplifica a reta:

$$y = a.x + b \tag{5.4}$$

Onde:

- $y$ será o resultado da correlação;
- $a$ é o coeficiente angular da reta, que indica, neste caso, a taxa de variação da vazão medida;
- $x$ é a própria vazão do período de determinação, variável independente do processo;
- $b$ é o termo independente.

Os dados de $a$ e $b$ foram obtidos através da função "PROJ.LIN"do software Excel, da Microsoft. Tal função determina a equação da reta que reflete da melhor maneira os dados fornecidos, sendo eles o consumo, em kWh/dia, e a vazão, em $m^3$/dia. Desta maneira, a equação obtida foi:

$$y = 0,75.x + 1.243,62 \tag{5.5}$$

- $0,75$ é dado em kWh/$m^3$;
- $1.243,62$ possui unidade de medida em kWh/dia.

$$y = 1,01.x - 149,75 \tag{5.6}$$

- $1,01$ é dado em kWh/m$^3$;
- $149,75$ possui unidade de medida em kWh/dia.

Com as Equações 5.5 e 5.6, é possível ajustar os dados da linha de base às condições encontradas na determinação da economia.

Desta maneira, ajustando o consumo de energia da linha de base, elucidado na Tabela 18, onde a energia consumida é a variável $x$, obtida a partir das Tabelas 15 e 17, é possível concluir que:

$$y_{CMB02} = 0,75.(5.413,12) + 1.243,62 = 5.303,46kWh/dia \tag{5.7}$$

$$y_{CMB03} = 1,01.(5.026,86) - 149,75 = 4.927,38kWh/dia \tag{5.8}$$

Para obter o consumo em MWh/ano, basta multiplicar pelos dias em que o sistema opera, isto é, 365 dias e dividir o total por 1000. Portanto, o consumo ajustado da linha de base será:

Tabela 19 – Resultados de Consumo de Energia da Linha de Base Ajustado.

| Referência | Energia Consumida (MWh/ano) |
|---|---|
| CMB02 | 1.935,76 |
| CMB03 | 1.798,49 |
| Total | 3.734,25 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Com os consumos de energia elétrica ajustados, torna-se factível calcular as economias obtidas com o projeto. A Economia de Energia (EE) é dada pela Equação 5.9:

$$EE = Energia_{antes_{ajustada}} - Energia_{depois} \tag{5.9}$$

$$EE = 1.902,07MWh/ano \tag{5.10}$$

Por fim, a Redução de Demanda na Ponta (RDP) é calculada através da Equação 5.11:

$$RDP = Demanda_{antes} - Demanda_{depois} \tag{5.11}$$

$$RDP = 184,03kW \tag{5.12}$$

É possível observar, a partir dos resultados obtidos, como o *retrofit* de sistemas motrizes pode ser benéfico para o cliente e como o projeto é atrativo em termos de economia. Apesar do aumento do tempo de funcionamento, não houve prejuízos para o projeto. A Tabela 20 apresenta as variações percentuais dos dados estimados e medidos:

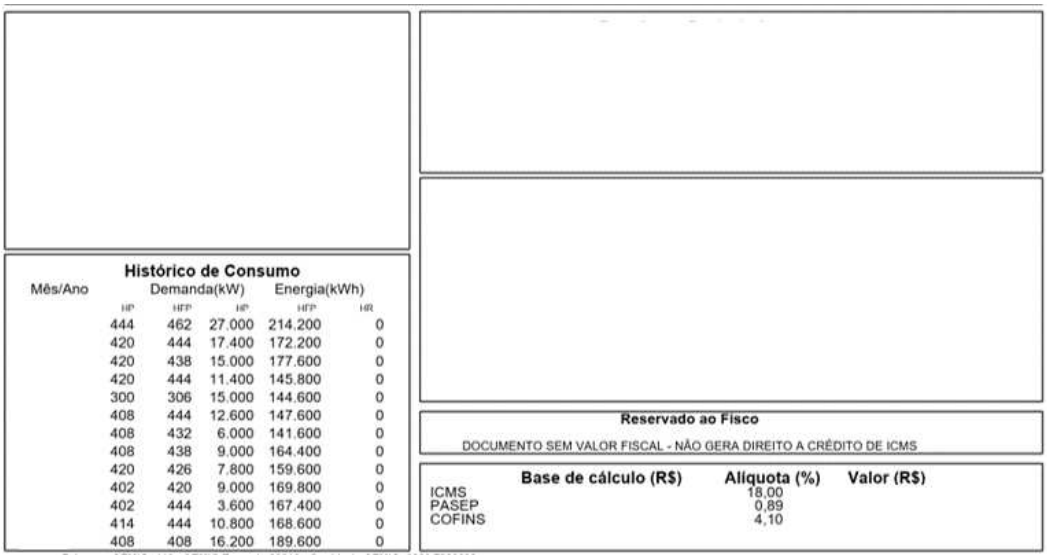
Tabela 20 – Variações Entre os dados Estimados e Medidos

| Descrição | Valor Estimado | Valor Medido | Variação % |
|---|---|---|---|
| Economia de Energia (MWh/ano) | 1.142,3 | 1.902,07 | 66,51% |
| Redução de Demanda na Ponta (kW) | 52,25 | 184,03 | 352,11% |

**Fonte:** Elaboração Própria

Por consequência, há a economia monetária intrínseca à substituição dos equipamentos antigos e com tecnologia obsoleta por equipamentos eficientes, que, por possuírem maior rendimento, irão consumir menos energia. Esta economia monetária pode ser mensurada tanto para a concessionária quanto para o consumidor, através de informações como CEE (Custo Evitado de Energia), CED (Custo Evitado de Demanda), suficientes para o cálculo do benefício para o sistema; e a adição dos impostos do consumidor, como PIS, COFINS, ICMS e Encargos Setoriais retirados de faturas de energia. Um exemplo de fatura do cliente com seu histórico de consumo e impostos está na Figura 29.

Figura 29 – Fatura do Cliente




**Fonte:** DEODE (2023)

De maneira a mensurar a economia monetária, pode-se utilizar uma tarifa de energia recente e aplicá-la à situação. A ANEEL homologa anualmente, de acordo com as concessionárias de energia, as tarifas de energia aplicadas à cada classe de consumidor. As taxas são denominadas TE e TUSD, onde a primeira significa Tarifas de Energia e a segunda Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição. A concessionária que possui maior

extensão de rede no estado de Minas Gerais é a CEMIG Distribuição. Para ela, em 20 de maio de 2025, foi publicada a Resolução Homologatória nº 3.459(ANEEL, 2025). Assumindo que o consumidor está conectado à rede de distribuição no nível de tensão do subgrupo A4 modalidade azul, referente à faixa de tensão de 2,3kV a 25kV, há a seguinte referência na Resolução Homologatória nº 3.459 de 20 de maio de 2025, que consta na Figura 30:

Figura 30 – Resolução Homologatória nº 3.459 de 20 de maio de 2025

| SUBGRUPO | MODALIDADE | ACESSANTE | POSTO | TARIFAS DE APLICAÇÃO | | | BASE ECONÔMICA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | TUSD | | TE | TUSD | | TE |
| | | | | R$/kW | R$/MWh | R$/MWh | R$/kW | R$/MWh | R$/MWh |
| | | UFV XANGRILA 2 | NA | 11,26 | 0,00 | 0,00 | 10,79 | 0,00 | 0,00 |
| | | UFV XANGRILA 3 | NA | 11,26 | 0,00 | 0,00 | 10,79 | 0,00 | 0,00 |
| | | UTE METALSIDER | NA | 8,83 | 0,00 | 0,00 | 8,44 | 0,00 | 0,00 |
| | | NOVO GERADOR | NA | 7,15 | 0,00 | 0,00 | 7,11 | 0,00 | 0,00 |
| A3 (69kV) | AZUL | NÃO SE APLICA | P | 34,97 | 115,54 | 469,12 | 33,69 | 108,40 | 461,62 |
| | | | FP | 13,12 | 115,54 | 289,97 | 12,22 | 108,40 | 292,38 |
| | AZUL APE | NÃO SE APLICA | P | 34,97 | 38,88 | 0,00 | 33,69 | 36,04 | 0,00 |
| | | | FP | 13,12 | 38,88 | 0,00 | 12,22 | 36,04 | 0,00 |
| | SCEE - AZUL | NÃO SE APLICA | P | 34,97 | 115,54 | 29,90 | 33,69 | 108,40 | 46,68 |
| | | | FP | 13,12 | 115,54 | 29,90 | 12,22 | 108,40 | 46,68 |
| | DISTRIBUIÇÃO | NEOENERGIA COELBA | P | 34,97 | 27,06 | 0,00 | 33,69 | 24,76 | 0,00 |
| | | | FP | 13,12 | 27,06 | 0,00 | 12,22 | 24,76 | 0,00 |
| | | | NA | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | GERAÇÃO | NÃO SE APLICA | NA | 11,30 | 0,00 | 0,00 | 11,20 | 0,00 | 0,00 |
| A3a (30 a 44kV) | AZUL | NÃO SE APLICA | P | 68,21 | 153,23 | 475,91 | 66,77 | 144,35 | 468,35 |
| | | | FP | 22,81 | 153,23 | 296,77 | 22,00 | 144,35 | 299,12 |
| | AZUL APE | NÃO SE APLICA | P | 68,21 | 41,24 | 0,00 | 66,77 | 38,42 | 0,00 |
| | | | FP | 22,81 | 41,24 | 0,00 | 22,00 | 38,42 | 0,00 |
| | SCEE - AZUL | NÃO SE APLICA | P | 68,21 | 153,23 | 36,69 | 66,77 | 144,35 | 53,41 |
| | | | FP | 22,81 | 153,23 | 36,69 | 22,00 | 144,35 | 53,41 |
| | VERDE | NÃO SE APLICA | NA | 22,81 | 0,00 | 0,00 | 22,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | P | 0,00 | 1.809,05 | 475,91 | 0,00 | 1.765,61 | 468,35 |
| | | | FP | 0,00 | 153,23 | 296,77 | 0,00 | 144,35 | 299,12 |
| | VERDE APE | NÃO SE APLICA | NA | 22,81 | 0,00 | 0,00 | 22,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | P | 0,00 | 1.697,06 | 0,00 | 0,00 | 1.659,68 | 0,00 |
| | | | FP | 0,00 | 41,24 | 0,00 | 0,00 | 38,42 | 0,00 |
| | SCEE - VERDE | NÃO SE APLICA | NA | 22,81 | 0,00 | 0,00 | 22,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | P | 0,00 | 1.809,05 | 36,69 | 0,00 | 1.765,61 | 53,41 |
| | | | FP | 0,00 | 153,23 | 36,69 | 0,00 | 144,35 | 53,41 |
| | GERAÇÃO | NÃO SE APLICA | NA | 13,01 | 0,00 | 0,00 | 13,02 | 0,00 | 0,00 |
| A4 (2,3 a 25kV) | AZUL | NÃO SE APLICA | P | 68,21 | 153,23 | 475,91 | 66,77 | 144,35 | 468,35 |
| | | | FP | 22,81 | 153,23 | 296,77 | 22,00 | 144,35 | 299,12 |
| | AZUL APE | NÃO SE APLICA | P | 68,21 | 41,24 | 0,00 | 66,77 | 38,42 | 0,00 |
| | | | FP | 22,81 | 41,24 | 0,00 | 22,00 | 38,42 | 0,00 |

**Fonte:** ANEEL (2025)

A ANEEL fornece as planilhas base para o cálculo dos benefícios de um projeto baseados nas medições realizadas nos sistemas nos períodos anterior e posterior às medidas de eficiência. Em uma de suas abas, denominada "3° Ciclo", são elucidados os cálculos necessários para obter o CEE e CED do sistema e do consumidor. De maneira resumida, a aba possui instruções para preenchimento doa dados de acordo com o grupo tarifário do cliente, a resolução homologatória e os impostos. Em seu final, são calculados os custos evitados de energia e demanda. Os dados que devem ser preenchidos estão nas células destacadas na cor amarela. Os dados "C1", "C2", "Cp" e "Cfp" são retirados da resolução homologatória (conforme Figura 30, enquanto o "FC" é um dado obtido de acordo com a concessionária, mas usualmente utilizado como 0,7. Os valores de ICMS, PIS e COFINS foram retirados da fatura de energia do cliente, que estão na Figura 29. A Figura 31 apresenta uma parte da aba "3° Ciclo" da planilha com os dados devidamente preenchidos.

Figura 31 – Cálculo do CEE e CED para o Sistema e para o Consumidor

| | | | Sistema | Consumidor |
|---|---|---|---|---|
| C1 | Custo unitário da demanda no horário de ponta | R$/kW.mês | 68,21 | |
| C2 | Custo unitário da demanda no horário fora de ponta | R$/kW.mês | 22,81 | |
| Cp | Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira verde | R$/MWh | 629,14 | |
| Cfp | Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde | R$/MWh | 450,00 | |
| FC | Fator de carga do segmento elétrico imediatamente a montante daquele considerado ou que sofreu a intervenção, ou ainda, na falta deste, admitir-se-á o médio da distribuidora dos últimos 12 meses | 1 | 0,70 | |
| LP | Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta | 1 | 0,5476 | |
| LE1 | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta | 1 | 0,3852 | |
| LE2 | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta | 1 | 0,2696 | |
| LEp | Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta | 1 | 0,3370 | |
| LE3 | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta | 1 | 2,2938 | |
| LE4 | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta | 1 | 1,6198 | |
| LEfp | Constante de perda de energia no posto de fora de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta | 1 | 2,0130 | |
| | Encargos setoriais | | | 0,00% |
| | ICMS | | | 18,00% |
| | PIS | | | 0,89% |
| | COFINS | | | 4,10% |
| CEE | Custo Unitário Evitado de Energia | R$/MWh | 475,69 | 610,58 |
| CED | Custo Unitário Evitado de Demanda | R$/kW-ano | 968,41 | 1.243,01 |
| | Taxa de desconto | % aa | 8,0% | |
| **Valores adotados** | | | **Sistema** | **Consumidor** |
| CEE | Custo Unitário Evitado de Energia | R$/MWh | 475,69 | 610,58 |
| CED | Custo Unitário Evitado de Demanda | R$/kW-ano | 968,41 | 1.243,01 |

**Fonte:** ANEEL

A Tabela 21 apresenta os valores obtidos para o CEE e CED do sistema e do consumidor.

Tabela 21 – Valores de CEE e CED Utilizados.

| Descrição | CEE (R$/MWh) | CED (R$/kW-ano) |
|---|---|---|
| Sistema | 475,69 | 968,41 |
| Consumidor | 610,58 | 1.243,01 |

**Fonte:** Elaboração Própria

A partir dos dados das Tabelas 18 e 20, em união com os valores obtidos na Tabela 21, é possível calcular o benefício monetário tanto para o Sistema Elétrico de Potência quanto para o SAAE, referenciado na Tabela 22:

Tabela 22 – Benefícios Monetários.

| Descrição | Energia(R$/ano) | Demanda (R$/ano) | Total (R$/ano) |
|---|---|---|---|
| Sistema | 904.795,68 | 178.216,49 | 1.083.012,17 |
| Consumidor | 1.161.879,46 | 228.751,13 | 1.391.630,59 |

**Fonte:** Elaboração Própria

Portanto, observa-se que o projeto possui atratividade tanto em termos de economia de energia e redução de demanda na ponta como em economia monetária. A economia monetária do consumidor possui maiores valores pelo fato de serem levados em considerações os impostos pagos já citados.

Por fim, as Figuras 32 e 33 apresentam a casa de máquina e os novos painéis de acionamento após o *retrofit*.

Figura 32 – Casa de Máquinas Após o *retrofit*



**Fonte:** DEODE (2025)

Figura 33 – Painéis Elétricos Após o *retrofit*



**Fonte:** DEODE (2025)

# 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

## 6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso teve por objetivo estudar o caso de um Sistema Autônomo de Água e Esgoto no que diz respeito às possíveis melhorias que podem ser feitas para acarretar benefícios para o cliente e para o sistema elétrico de potência.

A grande problemática dos saneamentos da atualidade é a precarização dos equipamentos, dado que, na grande maioria das situações, o órgão é público e possui poucos investimentos em sua devida operação e manutenção, ocasionando sobrecargas desnecessárias. Pelo fato de serem entidades que possuem funcionamento diário, dado a baixa atenção à sua operação, as tendências são sua interrupção por possíveis queimas de motores e, consequentemente, a interrupção do fornecimento de água tratada à população que o sistema atende.

Como pôde ser observado ao longo deste estudo de caso, os equipamentos elétricos eram significativamente antigos e estavam operando próximos ao limite de sua capacidade nominal, impossibilitando aumento de vazão, oferecendo sérios riscos à sociedade e ao próprio SAAE. O redimensionamento dos motores, bombas e painéis de acionamento trouxeram grandes mudanças ao SAAE, possibilitando até o aumento da carga, dado que seu ponto operacional médio proporciona folga à capacidade de potência que os motores elétricos podem fornecer. Os novos equipamentos, que, por serem mais eficientes, produzem menos perdas elétricas e hidráulicas.

Um outro método que está sendo amplamente utilizado na atualidade é a partida através de inversores de frequência. O simples fato de poder estabelecer diferentes frequências de operação por si só é atrativo. Somado a isso, a partida suave, que não produz picos de corrente no equipamento, aumenta a vida útil dos motores em questão, evitando rebobinamentos e superaquecimento. O uso do inversor de frequência foi fundamental para o resultado expressivo de economia, dado que, no sistema antigo, o controle de vazão era realizado através do estrangulamento das válvulas presentes no sistema. No entanto, utilizando o novo método de acionamento, as válvulas têm a possibilidade de estarem totalmente abertas, cabendo ao inversor de frequência a variação da vazão. Com isto, as perdas nas tubulações foram reduzidas drasticamente.

A partir deste trabalho, conclui-se que o investimento nas ações de eficiência energética em sistemas de saneamento traz uma série de benefícios para o cliente, para a sociedade e para o Sistema Elétrico de Potência. O cliente foi beneficiado por receber equipamentos novos, eficientes e de qualidade, bem como por obter maior segurança no abastecimento. A sociedade que recebe a água tratada do SAAE torna-se um beneficiário a partir do momento em que há garantias maiores da entrega da água em suas casas,

evitando seu racionamento por paradas para manutenção. Por fim, o SEP será aliviado pelo fato de o novo sistema estar consumindo significativamente menos energia e menos demanda em seu horário de ponta, sendo este último de grande importância por possuir grande utilização nesta parte do dia. Sabe-se que o acionamento das usinas termoelétricas e nucleares possui custo elevado que reflete diretamente nas tarifas a serem cobradas dos consumidores pelas concessionárias; logo, a redução no consumo de energia é de grande valia para todos.

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

Tendo como embasamento o estudo realizado sobre eficiência energética em sistemas motrizes, há uma gama de trabalhos futuros que podem ser propostos. A promoção de ações de treinamento de operação e manutenção e a capacitação contínua dos usuários do sistema é de grande valia para o perfeito funcionamento dos novos equipamentos, bem como para estudar maiores melhorias que podem ser realizadas.

Outra área interessante é o aprofundamento no que diz respeito à automação, promovendo mais soluções inteligentes para auxiliar a operação das máquinas, como softwares supervisórios conectados ao inversor de frequência e controles para combater falhas e economizar recursos. A IoT (Internet of Things - Internet das Coisas) está em constante expansão, principalmente no setor industrial, de maneira a otimizar processos.

O estudo acerca do equivalente, em toneladas de gás carbônico evitados, bem como das árvores plantadas a partir da economia de energia obtida, enriquece o trabalho no que diz respeito às questões ambientais, dado que é indubitável a necessidade de tornar os sistemas e processos o mais sustentáveis possíveis.

Por fim, o estudo da viabilidade da inserção de uma fonte incentivada no local, de maneira a consumir menor quantidade de energia da rede elétrica bem como a possibilidade de injetar energia na rede.

Estas sugestões não visam apenas a melhoria do funcionamento do saneamento, mas também contribuem para uma maior sustentabilidade e uso dos recursos energéticos disponibilizados, reduzindo os impactos ambientais, bem como a melhoria na qualidade de vida e dos recursos disponibilizados aos beneficiários diretos.

# REFERÊNCIAS


ABESCO (2025). O que é eficiência energética (ee)? *Disponível em: https://www.abesco.com.br/newpage. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

ANEEL (2025). Resolução homologatória n° 3.459, de 20 de maio de 2025. *Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20253459ti.pdf. Acesso em: 05 de agosto 2025.*

Chapman, S. J. (2013). *Fundamentos de máquinas elétricas.* AMGH editora.

DEODE, I. E. E. E. E. L. (2023). Projeto de eficientização do sistema motriz do serviço autônomo de Água e esgoto.

DEODE, I. E. E. E. E. L. (2024). Plano de medição e verificação do projeto de eficientização do sistema motriz do serviço autônomo de Água e esgoto.

DEODE, I. E. E. E. E. L. (2025). Relatório de medição e verificação do projeto de eficientização do sistema motriz do serviço autônomo de Água e esgoto.

EPE (2025). Eficiência energética. *Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

EVO (2012). Protocolo internacional de medição e verificação de performance. *Disponível em: https://irp.cdn-website.com/87cccaea/files/uploaded/PIMVP_2012-PTBR.pdf. Acesso em: 06 de agosto 2025.*

James, K., Campbell, S. L., and Godlove, C. (2002). Watergy: Taking advantage of untapped energy and water efficiency opportunities in municipal water systems. *Alliance to Save Energy.*

KSB - Solutions.For Life. (2025). Bomba de instalação a seco omega. *Disponível em: https://www.ksb.com/pt-br/lc/produtos/bomba/bomba-de-instalacao-a-seco/omega/OOOA. Acesso em: 10 de agosto 2025.*

Lima, E. P. C. (2022). *Mecânica das bombas.* Interciência.

Ministério de Minas e Energia (2017). Portaria interministerial n° 1, de 29 de junho de 2017. *Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/cgiee-1/2017portariainterministerialmmemcticmdicn_12017motoreseletricostrifasicos.pdf. Acesso em: 05 de agosto 2025.*

Ministério de Minas e Energia (2023). Plano nacional de eficiência energética. *Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos. Acesso em: 10 de agosto 2025.*

Projeto Ambiental, Soluções Sustentáveis (2022). Estação de tratamento de Água (eta): Entenda o funcionamento e legislação. *Disponível em: https://projetoambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-agua-eta/. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

Revista Manutenção (2025). Motores elétricos: componentes e suas aplicações. *Disponível em: https://revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/eletrica/motores-eletricos-componentes-e-suas-aplicacoes.html. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

Salomão, T. M. (2010). Eficiência energética: projetos luminotécnicos em plantas industriais. *Universidade de São Paulo.*

Schneider (2020). Inversor de frequência: para que serve e como funciona? *Disponível em: https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2020/10/22/o-que-e-um-inversor-de-frequencia-e-como-escolher-a-melhor-opcao/. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

Virtuous Tecnologia da Informação (2008-2025). As estações de tratamento da água. *Disponível em: https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/Agua7_2.php. Acesso em: 07 de agosto 2025.*

WEG (2022). W22 super premium - motor de indução trifásico. *Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h85/h3f/WEG-w22-super-premium-motor-de-inducao-trifasico-50041203-brochure-portuguese-pdf. Acesso em: 05 de agosto 2025.*

WEG (2025). Afw110312t4sz. *Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%AAncia/Montados-em-Pain%C3%A9is/Acionamento-com-Inversor-de-Frequ%C3%AAncia-AFW11/Acionamento-com-Inversor-de-Frequ%C3%AAncia-AFW11/p/MKT_WDC_BRAZIL_FREQUENCY_INVERTER_DRIVE_WITH_AFW11. Acesso em: 05 de agosto 2025.*

WEG (2025). Cfw11 - inversor de frequência. *Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h24/he1/WEG-inversores-de-frequencia-10525554-catalogo-pt.pdf. Acesso em: 05 de agosto 2025.*

WEG (2025). Cfw110312t4sz. *Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%AAncia/Drives-para-Sistemas-Industriais/Inversor-de-Frequ%C3%AAncia-CFW11/INVERSOR-BRCFW110312T4SZ-Mec-F-312A-Trif%C3%A1sico-380-480-V-B%*

*C3%A1sica-IP20-Standard-sem-frenagem-Com-filtro-%28categoria-C3%29-Sem-STO/p/11270542*. *Acesso em: 05 de agosto 2025.*

WEG (2025). W22 ir3 premium 250cv 2p 315 s/m 3f 220/380/440 v 60 hz ic411 - tfve - b3d. *Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Uso-Geral/W22/W22-/W22-IR3-Premium-250-cv-4P-315S-M-3F-220-380-440-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/11277521*. *Acesso em: 20 de agosto 2025.*

WEG (2025). W22 super premium 200cv. *Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Uso-Geral/W22/W22-/W22-Super-Premium-200-cv-2P-315S-M-3F-220-380-440-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/13027559*. *Acesso em: 05 de agosto 2025.*