

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

RAPHAEL SPERINE ANSELMO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM BOOSTERS:
MOTORES DE IMÃS PERMANENTES COM CONTROLE VIA INVERSOR DE
FREQUÊNCIA**

Palhoça

2022

RAPHAEL SPERINE ANSELMO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM BOOSTERS:
MOTORES DE IMÃS PERMANENTES COM CONTROLE VIA INVERSOR DE
FREQUÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.

Palhoça

2022

RAPHAEL SPERINE ANSELMO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM BOOSTERS:
MOTORES DE IMÃS PERMANENTES COM CONTROLE VIA INVERSOR DE
FREQUÊNCIA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 2 de dezembro de 2022.

Professor e orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Francielli Scarpini, Ma. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Thiago Adolfo Sheidt, Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico esse trabalho ao meu avô Milton Anselmo e aos meus pais, Seila Sperine e Milton A. Jr., pelo apoio ininterrupto não só durante o trabalho, mas por toda graduação.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e professor Jorge Alberto Lewis Esswein Junior pela orientação, apoio e motivação durante a realização deste trabalho.

Ao Eng. Milton Anselmo Júnior, que além de ser meu pai e me ajudar no trabalho do dia a dia, fez uma orientação e igual apoio em todo o desenvolvimento deste trabalho.

A minha namorada, Carol, pelo carinho e dedicação no dia a dia e por sempre me incentivar a seguir em frente com minhas idéias.

Ao colega e amigo Eng. Thiago Scheidt pelo constante apoio durante todo o curso.

“É importante atuar pensando no futuro, e não só nas nossas necessidades atuais”
(EGGON JOÃO DA SILVA, 1975).

RESUMO

Esse trabalho tem a finalidade de mostrar como podemos ter uma maior eficiência energética na indústria, com foco em sistemas de bombeamento através da substituição de um sistema por outro mais eficiente, usando a energia de forma inteligente e obtendo a recuperação do investimento através da redução de consumo de energia elétrica. O projeto usado de exemplo, mostra a diferença entre o conjunto de acionamento antigo e o novo, valor investido, ganho de eficiência com a implementação de um sistema de controle variável através do inversor de frequência e tempo de retorno de investimento. Foi dividido em duas etapas, sendo elas: A (troca dos motores) e B (troca do acionamento). O sistema que será usado pertence a SAE Jurere Internacional, localizada em Florianópolis. Onde os motores trabalham sob demanda podendo chegar a 24 horas por dia 365 dias no ano, com potência de 75 cv com regime de funcionamento mínimo de 6000 horas anuais. O modelo escolhido para troca foi o IR4 Wmagnet de ímãs permanentes, que tem ótima relação custo benefício, fácil manutenção, baixos níveis de ruído, vida útil dos rolamentos quatro vezes maior que a dos motores comuns e redução do consumo de energia elétrica. Para a troca foi feito um estudo da aplicação, do funcionamento dos equipamentos e da característica da carga, que é quadrática. Como o sistema esta em funcionamento desde 2015, foi possível medir em tempo real suas características em campo, calcular seu consumo, simular via *software* seu ganho em eficiência baseada nos sistemas antigos e constatar um ótimo ganho de rendimento. Além de verificar seu *payback* de forma simples.

Palavra-chave: Eficiência energética, motor de alto rendimento, economia, quadrática.

ABSTRACT

This work has the purpose of showing how we can have greater energy efficiency in the industry, focusing on pumping systems by replacing one system with another more efficient one, using energy intelligently and obtaining the recovery of the investment through the reduction of electric power consumption. The project used as an example, shows the difference between the old and new drive set, amount invested, efficiency gain with the implementation of a control variable system through the frequency inverter and investment *payback* time. It was divided into two stages, namely: A (motor replacement) and B (drive replacement). The system that will be used belongs to SAE Jurerê Internacional, located in Florianópolis. Where the engines work on demand and can reach 24 hours a day 365 days a year, with a power of 75 hp with a minimum operating regime of 6000 hours per year. The model chosen for replacement was the permanent magnet IR4 Wmagnet, which has an excellent cost-benefit ratio, easy maintenance, low noise levels, bearing life four times longer than that of common motors and reduced electricity consumption. For the exchange, a study was made of the application, the functioning of the equipment and the characteristic of the load, which is quadratic. As the system has been in operation since 2015, it was possible to improve its characteristics in real time in the field, calculate its consumption, simulate via software its gain in efficiency based on the old systems and observe a great gain in yield. In addition to checking your return in a simple way.

Keyword: Energy efficiency, high-performance motor, economy, quadratic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Selo Procel.....	19
Figura 2 - Índice de rendimento motor	22
Figura 3 - Evolução em rendimento.....	22
Figura 4 - Redução do tamanho.....	23
Figura 5 - Curva B x H do ímã	24
Figura 6 - Rendimento WMAGNET X IR3 X IR2	25
Figura 7 - dT para faixa de rotação 10:1	26
Figura 8 - Redução de volume e massa.....	26
Figura 9 - Comparativo do nível e ruído entre os motores Wmagnet, alto rendimento plus e standard	27
Figura 10 - Curva de torque nominal constante	27
Figura 11 - Inversor de frequência CFW11 e motor wmagnet.....	28
Figura 12 - Relação pressão x vazão x potência.....	29
Figura 13 - rendimento x rotação wmagnet.....	30
Figura 14 - Sistema de bombeamento.....	31
Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema booster	32
Figura 16 - Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema.....	33
Figura 17 - Curva da bomba x Curva do sistema	37
Figura 18 – Curva bomba ITA 80.160 x Curva do sistema	37
Figura 19 - Campo de aplicação das bombas de deslocamento positivo e turbobombas	38
Figura 20 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB	41
Figura 21 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB	41
Figura 22 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB	42
Figura 23 - Representação de uma curva característica de um encanamento genérico	43
Figura 24 – Placa Informativa Booster SAE Jurerê.....	44
Figura 25 – Interface homem-máquina do sistema.....	46

Figura 26 - Motor Wmagnet 75 CV IV Polos acoplado em uma Bomba IMBIL	47
Figura 27 - Dados de placa do motor.....	48
Figura 28 - Porta do painel de controle.....	49
Figura 29 - Interior do painel de controle (CLP ao centro).....	50
Figura 30 -Painel de potencia (Inversores de frequência novos CFW11)	51
Figura 31 – Software Superdrive WEG	52
Figura 32 – Monitoração dos parâmetros do inversor 1	53
Figura 33 - IHM do Inversor com o motor em funcionamento	54
Figura 34 - Placa do motor para comparação	55
Figura 35 - Aquisição de dados via software Superdrive WEG.....	56
Figura 36 - Identificação do projeto.....	58
Figura 37 - Dados da fatura de energia	58
Figura 38 - Dados do motor e aplicação	59
Figura 39 - Método de partida	59
Figura 40 - Desempenho	60
Figura 41 - Motor recomendado	60
Figura 42 - Análise Financeira	61
Figura 43 - Conta de luz do cliente.....	65

LISTA DE SIMBOLOS

Q = capacidade ou vazão de bombeamento (L/min ou m^3/h)

$H_{g,s}$ = altura geométrica de sucção ou altura estática de sucção (m)

$H_{g,r}$ = altura geométrica de recalque ou altura estática de recalque (m)

H_g = altura geométrica total (m)

h_{ps} = perda de carga na sucção (m) h_{pr} = perda de carga no recalque (m)

H = altura manométrica total (m)

P = potência fornecida pela bomba (W)

n = número de rotações por minuto da bomba (RPM)

D = diâmetro do rotor da bomba (mm)

ρ = massa específica do fluido (kg/m^3)

η_b = rendimento da bomba

M.C.A = metros de coluna d'água (m)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oportunidades para melhorar a eficiência no uso final	34
Tabela 2 - Oportunidades de melhoria da eficiência na distribuição	34
Tabela 3 - Oportunidades de melhoria da eficiência do bombeamento	35
Tabela 4 - Oportunidades de melhoria da eficiência no sistema em geral	35
Tabela 5 - Oportunidades de economia em sistema de bombeamento	36
Tabela 6 - Consumo de cada conjunto	57
Tabela 7 - Diagrama de fluxo de caixa	62
Tabela 8 - Payback simples.	63
Tabela 9 - Custos do projeto.....	64
Tabela 10 - <i>Payback</i> simples do Projeto Mantendo a Bomba.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	16
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.1.1	Selo Procel	18
2.1.2	Políticas publicas para eficiência energética.....	19
2.2	IMPACTO DOS MOTORES ELÉTRICOS NO CONSUMO BRASILEIRO	20
2.2.1	Índice de rendimento dos motores elétricos de indução	21
2.2.2	Evolução dos motores elétricos.....	22
2.3	MOTOR DE ÍMÃS PERMANENTES	23
2.3.1	Ímãs permanentes.....	23
2.3.2	Wmagnet - motor IR4 e IR5 WEG.....	25
2.4	INVERSOR CFW11 – WMAGNET WEG.....	28
2.4.1	Ganhos com cargas quadráticas	29
2.4.2	Ganhos do conjunto inversor CFW11 + motor Wmagnet	30
2.5	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	31
2.5.1	BOOSTER	31
2.5.2	Balanço típico de energia.....	32
2.5.3	Técnicas para melhora em sistema de bombeamento genérico	33
2.5.4	Melhoria do rendimento da bomba	36
2.5.5	Seleção correta da bomba	38
2.5.6	Curva característica do sistema	42
3	METODOLOGIA E RESULTADOS	44
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	52
3.1.1	SOFTWARE SEE+ WEG	57
3.2	ANÁLISE ECONOMICA	62
3.2.1	Fluxo de caixa	62

3.2.2 Métodos de avaliação de investimentos	63
3.2.2.1 Payback simples (PBS).....	63
3.2.3 Cálculo de Retorno Financeiro.....	64
4 CONCLUSÃO E SUGESTÃO.....	66

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento adequado dos equipamentos buscando maior eficiência na operação de sistemas de bombeamento tem por consequência o ganho econômico e ambiental, uma forma eficaz e sustentável de gerar economia financeira e evitar o desperdício de recursos, conservando o meio ambiente. No setor de saneamento, um dos fatores que deve ser aprimorado é a redução do consumo de energia elétrica.

A preocupação com a economia no uso de energia elétrica é justificável. Os gastos com o consumo de eletricidade ocupam o segundo lugar no *ranking* de custos operacionais das empresas de saneamento brasileiras, perdendo apenas para mão de obra. De toda energia elétrica consumida no País, 2,5% se faz no saneamento, o que corresponde a aproximadamente 9,5 bilhões de kWh/ano. Entre as diversas funções na qual esta quantia é aplicada, 90% é destinado ao funcionamento das estações elevatórias (GOMES, 2005)

Os sistemas de bombeamento são fundamentais na sistemática do saneamento. Através das bombas hidráulicas, eles permitem que ocorra o escoamento de um ponto ao outro sendo possível assim vencer distâncias e desníveis. No entanto, estes sistemas estão sujeitos ao desperdício de água e de energia, por razões como formas de operar inadequadas, falta de manutenção, falhas de projeto, formas contratuais indevidas ou ainda fazendo uso de equipamentos antigos e de baixa eficiência.

Um dos equipamentos que podem ser usados para aperfeiçoar o funcionamento dos sistemas de bombeamento é o inversor de frequência. Os inversores permitem a variação da frequência da corrente alternada que alimenta o motor acoplado à bomba. Essa variação na frequência da corrente faz com que o motor e a bomba trabalhem em uma nova rotação, gerando novas alturas de elevação e novas vazões.

Tomando isto como base, este trabalho tem por objetivo o detalhamento dos setores do sistema onde podemos obter ganhos significativos de eficiência, sendo eles: Setor A: Motor Elétrico, Setor B: Acionamento. Existe um terceiro ponto que seria o Setor C: Bomba d'água, mas como o sistema do SAE Jurerê utiliza uma bomba d'água normalizada, o ganho nesse setor seria basicamente na mudança do rotor da bomba, isso mudaria o ponto de melhor pressão e vazão do sistema, alterando boa parte das variáveis coletadas e estudadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Quando se fala em eficiência energética muitas vezes nos lembramos apenas do conceito da troca de equipamentos antigos por novos mais econômicos, renovar tecnologias e com investimentos em longo prazo. Contudo, esse trabalho com enfoque em sistemas de bombeamento visa apresentar visões diferentes que uma empresa de saneamento pode aderir para facilitar a compreensão e a sua ingressão aos sistemas mais eficientes.

Os itens que possuem uma melhor margem para ganhos de eficiência são os que trabalham mais horas por dia, nesse caminho, os sistemas de abastecimento de água são indispensáveis para a população e os mesmos precisam trabalhar muitas horas por dia, quando não trabalham todas às 24 horas.

O Sistema foi dividido em três setores onde cada setor por si só já é uma grande fonte de economia de energia, se bem dimensionado.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho técnico-científico tem como objetivo identificar e detalhar os pontos de melhoria de sistema de bombeamento, *booster*, além de mensurar a economia nos pontos que já foram trocados por sistemas mais eficientes.

A Estação Pressurizadora de Água, também conhecida como **Booster**, é cada vez mais utilizada pelas concessionárias de saneamento em substituição aos Reservatórios Elevados, uma vez que a pressão e vazão é facilmente regulada através de dispositivo eletrônico e eletromecânico.

1.3 OBJETIVOS

De modo a demonstrar os ganhos de eficiência por partes do sistema, foram elencados os seguintes objetivos gerais e específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa levantar os dados de consumo energético do sistema através dos inversores de frequência, dos dados de placa dos motores, do ponto de trabalho das bombas d'água e do o sistema de controle. Com o objetivo de comparar com os dados dos equipamentos que eram utilizados antes das melhorias e justificar o investimento feito, além de apresentar sua economia por ano e o custo real de um sistema assim hoje.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos para cumprir:

- a) Determinar a pressão mínima e máxima de trabalho do sistema;
- b) Monitorar o consumo diário de energia por bomba/motor;
- c) Levantar o custo de troca dos motores com os inversores;
- d) Levantar o custo de compra e instalação do sistema de controle com inversores de frequência e transmissor de pressão;
- e) Montar uma tabela de *payback* referente à alteração do sistema sem a troca da bomba d'água;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo apresentaremos brevemente o tema e os objetivos do estudo, no capítulo 2 será feita a revisão bibliográfica acerca do tema, no capítulo 3 conhecemos a metodologia utilizada para obtenção dos dados e os resultados do trabalho encerrando no capítulo 4 com a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo discutiremos sobre a história de melhoria de rendimento nos equipamentos, na cobrança por melhor eficiência por parte do governo e serão apresentados conceitos fundamentais sobre a eficiência energética em sistemas de bombeamento com acionamento via inversores de frequência. Além dos equipamentos utilizados para aperfeiçoar o controle do sistema, que é comandado por um circuito em malha fechada. Fundamentação dividida em três partes principais: Motor, Inversor e Bomba d'água.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência significa fazer mais (ou, pelo menos, a mesma coisa) com menos, mantendo o padrão de qualidade. Quando se discute energia, eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço ("realizar trabalho") com menos energia (EPE, 2022).

Cada um de nós pode contribuir para um uso mais eficiente da energia, buscando equipamentos mais eficientes, ou seja, aqueles que usam menos recursos para proporcionar a mesma quantidade de energia útil.

2.1.1 Selo Procel

Com o objetivo de promover o uso eficiente de energia elétrica, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro. Ele fornece as informações sobre a eficiência energética dos equipamentos. Desta forma, na hora de comprar um equipamento, poderemos escolher o mais eficiente. Essa etiqueta também estimula a fabricação de produtos cada vez mais eficientes (EPE, 2022).

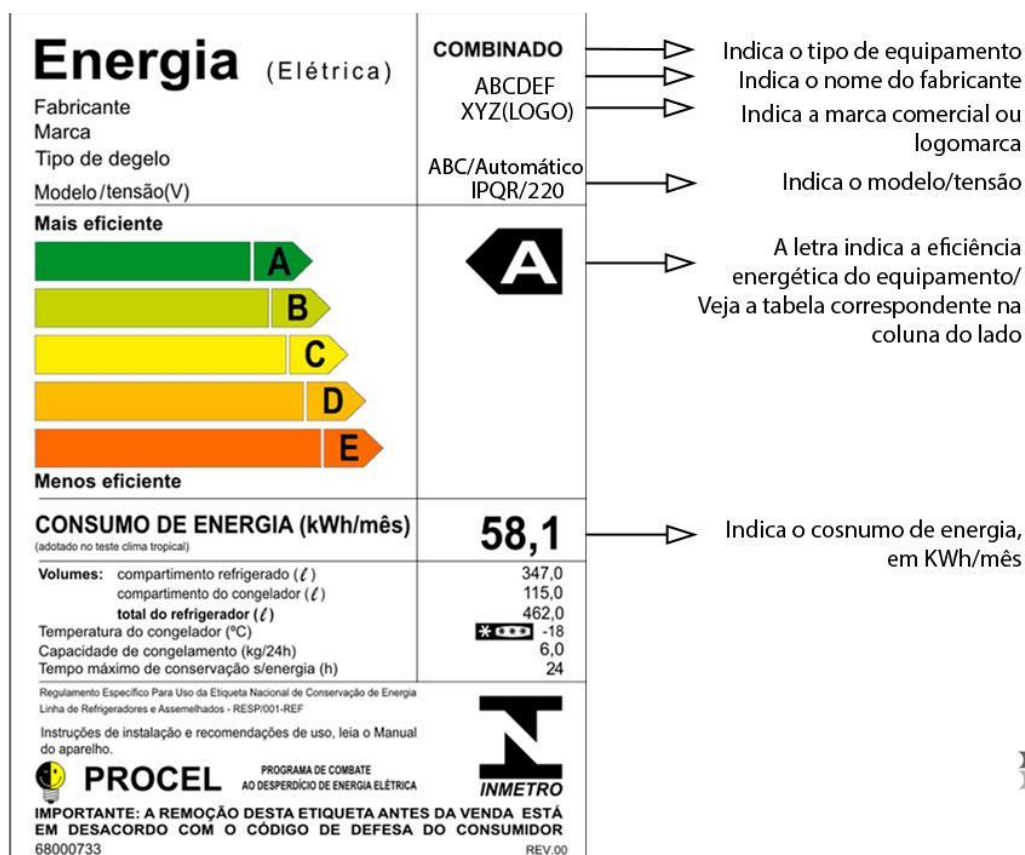
Especificamente para eletricidade, existe o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o Procel. Coordenado pela Eletrobras, o programa tem como seu principal símbolo o Selo Procel.

O Selo Procel indica ao consumidor os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro da sua categoria (ventiladores de teto, lavadoras automáticas, geladeiras). Assim, se você for a uma loja para comprar um eletrodoméstico e escolher aquele

com o selo Procel, saberá que este produto consome menos energia que outro equivalente sem o selo, proporcionando economia na conta de eletricidade e acarretando menos impactos no meio ambiente.

Por outro lado, os fabricantes de produtos como: lâmpadas, TVs, aparelhos de ar-condicionado, etc. tentam fazer produtos cada vez mais eficientes para receberem o selo Procel conforme figura 1, beneficiando toda a sociedade (EPE, 2022).

Figura 1 - Selo Procel



Fonte: <https://www.simbolos.net.br/selo-procel-e-etiqueta-ence/>

2.1.2 Políticas públicas para eficiência energética

LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PORTARIA MME/MCT/MDIC Nº 553 DE 08 DE DEZEMBRO DE 2005.

A Portaria Interministerial Nº 553 estabelece os níveis máximos de consumo específico de energia, ou os níveis mínimos de eficiência energética para motores elétricos trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo. No dia 12 de dezembro de 2009 entrou em

vigor a Portaria n.º 553, implicando na obrigatoriedade do atendimento dos novos níveis de rendimentos estabelecidos para motores elétricos trifásicos de 1 a 250 cv. Além da mudança técnica no produto, é importante observar os desdobramentos de datas e prazos que foram definidos nesta nova legislação. A partir de 12 de dezembro de 2009 não é mais permitida a fabricação no país ou a importação de máquinas motrizes de uso final, cujos motores elétricos não atendam aos novos níveis de rendimentos especificados na Portaria acima.

A Portaria Interministerial N° 1 estabelece os níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos pelos Motores Elétricos Trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo em IR3, válido para todos os motores comercializados, sejam novos ou usados. A partir de agosto de 2019 estará em vigor a nova lei, implicando na obrigatoriedade do atendimento dos novos níveis de rendimentos estabelecidos para motores elétricos trifásicos, incluindo a faixa de potência de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos. Além da mudança técnica no produto, é importante observar os desdobramentos de datas e prazos que foram definidos nesta nova legislação.

2.2 IMPACTO DOS MOTORES ELÉTRICOS NO CONSUMO BRASILEIRO

Segundo a Eletrobrás (2020), as indústrias consomem 42% da energia elétrica brasileira. Nesse contexto, os motores elétricos são responsáveis por quase 70% de toda a energia utilizada nos processos industriais. Somente no Brasil, estima-se a existência de mais de 20 milhões de motores elétricos trifásicos. Esses motores consomem, em média, 144 GWh por ano, o que equivale a 24,5% da produção nacional de energia elétrica. Pode-se dizer que a força motriz possui as melhores oportunidades de redução de consumo.

A Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) comenta que a idade média do maquinário brasileiro é de 17 anos. Esse é um fator que deve ser levado em consideração pois, quanto mais antiga é a máquina, pior é o seu desempenho. Isso reflete na produtividade da indústria. Motores antigos, superdimensionados ou que passaram por muitos reparos podem ser considerados como os equipamentos que mais consomem energia na indústria.

Substituir motores antigos por motores de maior rendimento pode levar a uma economia média de 9,3%. Além disso, a substituição dos motores também contribui com a diminuição da emissão de CO₂. De acordo com a Confederação Nacional das Indústrias (CNI), substituir motores elétricos em operação tem potencial para gerar 23.640 GWh de

energia conservada. Esse é um dos fatores que torna as ações de eficiência energética tão relevantes. Por meio dessas ações, o crescimento econômico é incentivado e a competitividade da empresa aumenta. Investir em eficiência energética elétrica é investir no futuro da sua empresa. Além de reduzir custos, é uma ação de sustentabilidade que valoriza a imagem de sua instituição.

2.2.1 Índice de rendimento dos motores elétricos de indução

Os Índices de Rendimento para motores elétricos adotados no Brasil seguem especificações da ABNT e são chamados de IR. O índice vai de IR1 a IR5 conforme figura 2. Quanto maior o número, maior o rendimento, ou seja, cada nível superior significa um degrau a mais na escala de eficiência que compara os motores.

Anteriormente, o Índice de Rendimento mínimo regulamentado no Brasil para motores trifásicos com potência de 1 a 250 cv, com regime de trabalho contínuo, era o IR2 (Alto Rendimento). Agora, a faixa de potência foi ampliada (para 0,16 a 500 cv) e o Índice de Rendimento mínimo passou a ser o IR3 (Rendimento Premium).

Os níveis de rendimento são bastante semelhantes aos exigidos pela norma internacional IEC – onde são chamados de IE.

Agora os motores elétricos precisam ter a indicação do nível IR3 grafado em sua placa de identificação e estar cadastrados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro.

O usuário pode fazer a checagem diretamente na placa do equipamento e verificar sua correspondência no portal do Inmetro, que será o órgão responsável pela fiscalização, acompanhamento e avaliação do cumprimento da portaria.

Em caso de não conformidade, os fabricantes responsáveis podem ser penalizados com suspensão das vendas e determinação da retirada dos lotes indevidos do mercado.

Figura 2 - Índice de rendimento motor



Fonte: <https://www.weg.net/institucional/BR/en/news/products-and-solutions/weg-acrescenta-ir-indice-de-rendimento-no-nome-de-suas-linhas-de-motores-eletricos-de-baixa-tensao>

2.2.2 Evolução dos motores elétricos

Graças à evolução da tecnologia e o investimento constante em novas soluções sustentáveis, os motores elétricos atingiram uma eficiência de 96,5%. Isso representa um salto considerável quando levamos em conta que em 1960 os motores tinham eficiência de 88%, conforme figura 3. Também é possível observar uma drástica redução de tamanho, conforme figura 4.

RENDIMENTO

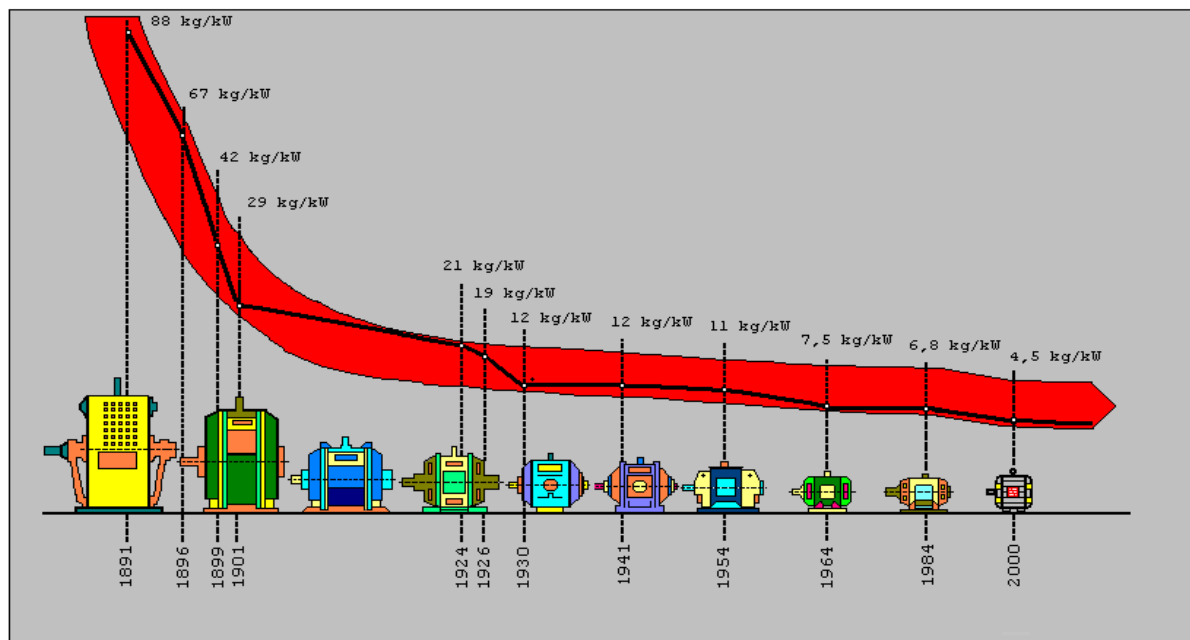
Figura 3 - Evolução em rendimento



Fonte: <http://motoreseltricosweg.blogspot.com/2015/07/podemos-considerar-os-motores-premium.html>

REDUÇÃO DE TAMANHO (MOTORES DE MESMA POTÊNCIA)

Figura 4 - Redução do tamanho



Fonte: <https://docplayer.com.br/33737126-Motores-eficientes-estado-da-arte.html>

2.3 MOTOR DE ÍMÃS PERMANENTES

Seguindo as tendências de mercado, o uso de motores síncronos de ímãs permanentes se encontra em ampla expansão, também na indústria, pois o motor possui alto rendimento, baixo volume e peso, torque suave, baixo nível de vibração e ruído, ampla faixa de rotação com torque constante e, com o advento, a partir dos anos 80, dos ímãs de Neodímio Ferro Boro (NdFeB), de elevada energia, houve um aumento do número de aplicações, onde se utiliza esta tecnologia (WEG, 2007).

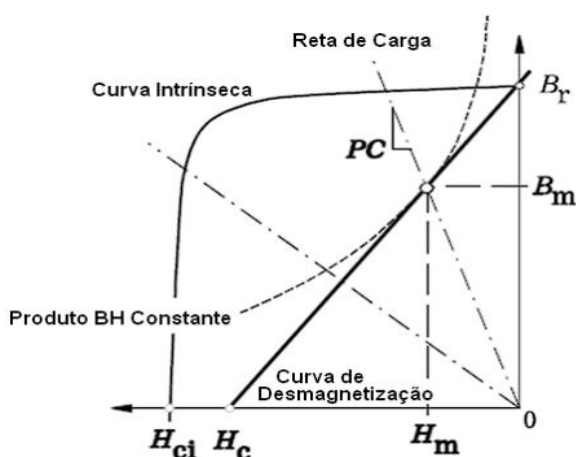
2.3.1 Ímãs permanentes

Para motores elétricos de alta performance é de grande interesse que os ímãs permanentes apresentem um elevado campo coercitivo ou coercividade (H_c) e elevada indução remanente ou remanência (B_r). Um elevado H_c impede que o ímã seja facilmente

desmagnetizado e um alto valor de B_r resulta em um fluxo magnético elevado. A Figura 5 apresenta a curva típica de desmagnetização de um ímã qualquer. O ímã de Neodímio-Ferro-Boro (NdFeB) possui remanência e coercividade elevadas quando comparado ao ímã de ferrite (cerâmico), resultando em uma maior energia. Desta forma, motores projetados com NdFeB têm dimensões menores do que os motores com ímãs de Ferrite. Em contrapartida, os ímãs de Ferrite são consideravelmente mais baratos do que os de NdFeB.

¹Um material de alta coercitividade significa dizer que os seus ímãs elementares resistem bastante à mudança de posição, exigindo para a sua desmagnetização um campo magnético externo mais forte.

Figura 5 - Curva B x H do ímã



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

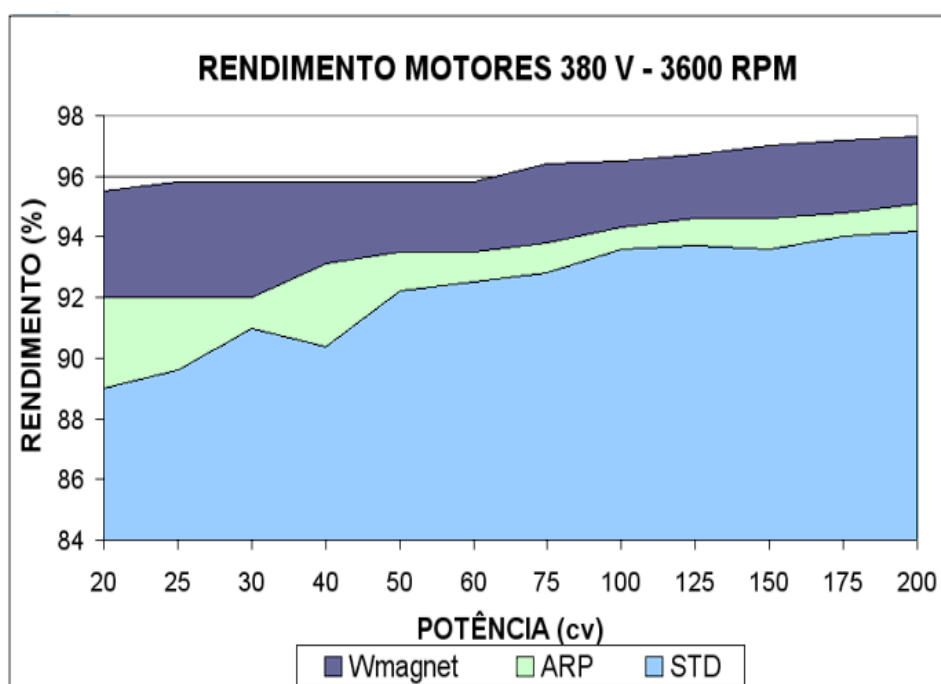
Uma das características dos ímãs de NdFeB é a redução da remanência e da coercividade com o aumento da temperatura. Os ímãs de Ferrite e de NdFeB são mais influenciados pela temperatura do que os ímãs de Samário Cobalto. No entanto, nos últimos anos, as propriedades dos ímãs, particularmente os de NdFeB têm sido continuamente aperfeiçoadas pelos fabricantes. Estes possuem remanência (B_r) cada vez mais elevada e resistem mais à desmagnetização e à temperatura.

¹ Remanência é a indução magnética que permanece em um circuito magnético após a remoção do campo magnético externo aplicado.

2.3.2 Wmagnet - motor IR4 e IR5 WEG

O acionamento do motor de ímãs WEG é do tipo *Brushless* AC com ímãs no interior do rotor (pólos salientes) e ímãs de alta energia (NdFeB). Os motores Wmagnet com ímãs de NdFeB quase não possuem perdas Joules (RI2) no rotor, ao contrário dos motores de indução com gaiola de esquilo convencional. Como as perdas Joule são uma parcela significativa das perdas totais nos motores de indução, retirando a gaiola de esquilo e substituindo-a por ímãs, o Wmagnet assegura um rendimento muito maior do que os encontrados nos motores das linhas Standard e Alto Rendimento Plus, conforme Figura 6.

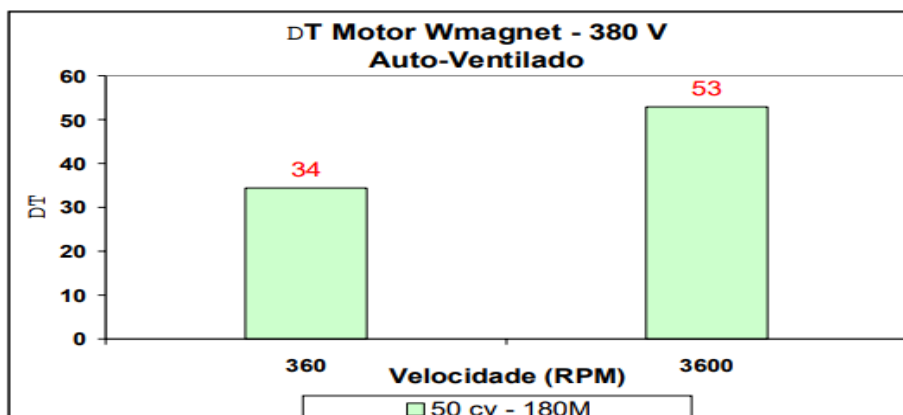
Figura 6 - Rendimento WMAGNET X IR3 X IR2



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

Os ímãs no rotor garantem uma grande redução nas perdas elétricas e consequentemente asseguram uma menor elevação da temperatura do motor. Devido a estas vantagens, o volume e peso do Wmagnet comparado a um motor de indução de mesma potência é menor e o tempo de vida é significativamente aumentado, conforme pode ser observado nos gráficos da Figura 7 e 8.

Figura 7 - dT para faixa de rotação 10:1



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

Figura 8 - Redução de volume e massa

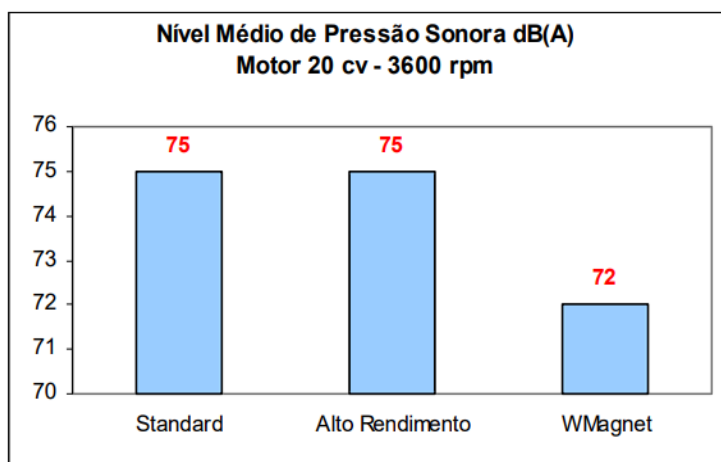
Comparativo de tamanho de carcaça entre motor de indução e W22 Magnet Super Premium - 3600 rpm.



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf3/he1/WEG-w22-magnet-drive-system-50015189-brochure-portuguese-web.pdf>

Comparado a um motor de indução equivalente, o volume do Wmagnet é reduzido em aproximadamente 47%, resultando em uma alta relação de torque/volume e uma redução de 36% no peso. Para uma mesma relação de torque/potência, diminuindo-se o tamanho da carcaça, o sistema de arrefecimento também é reduzido. Desta forma, é verificado um significativo decréscimo no nível de ruído causado pelo ventilador acoplado ao eixo do motor, conforme gráficos da Figura 9 (WEG, 2022).

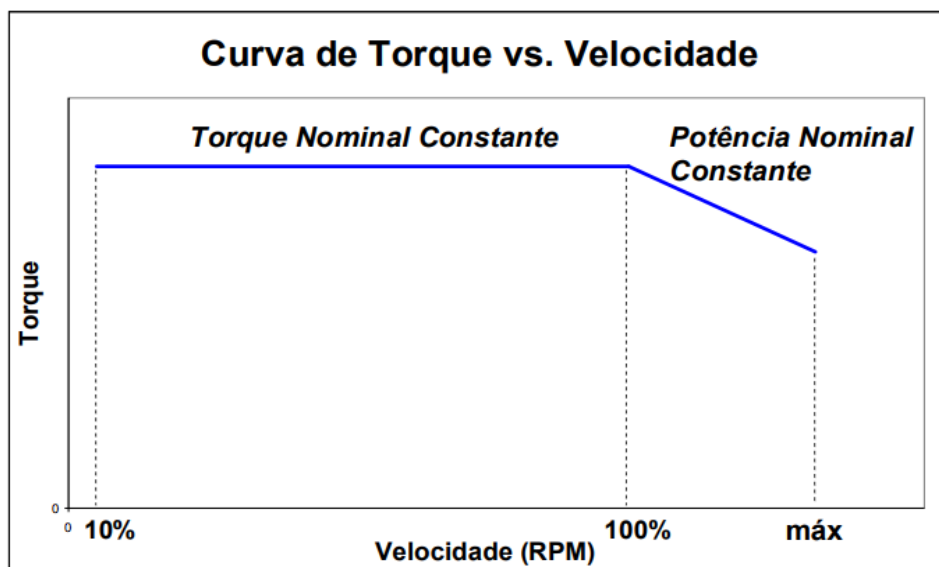
Figura 9 - Comparativo do nível e ruído entre os motores Wmagnet, alto rendimento plus e standard



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

Outra grande vantagem do Wmagnet autoventilado é que este pode operar com torque constante em uma ampla faixa de velocidade, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Curva de torque nominal constante



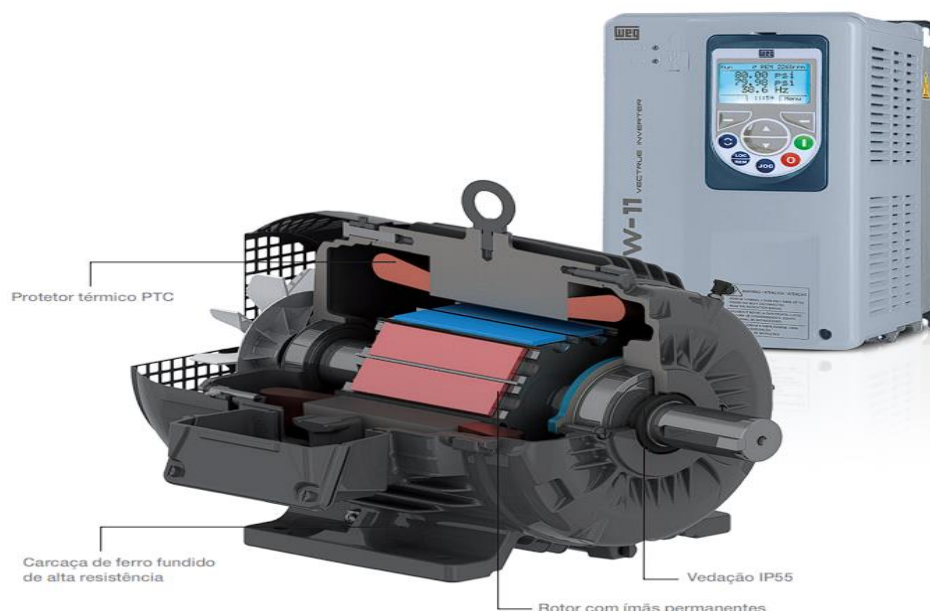
Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

2.4 INVERSOR CFW11 – WMAGNET WEG

O inversor de frequência tem como principal função alterar a frequência da rede que alimenta o motor, fazendo com que o motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma pode-se facilmente alterar a velocidade de rotação do motor com mais eficiência.

Um inversor modelo CFW11 conforme figura 11 é necessário para acionar o Wmagnet. Ele utiliza o método de controle vetorial, que permite o controle de torque mesmo em velocidade nula e também em altas rotações. O acionamento de motores de ímãs convencionais necessita de um sensor de posição de alta resolução no rotor. Contudo, a utilização destes sensores aumenta o custo do acionamento. Desta forma, a WEG desenvolveu e implementou no inversor CFW11 uma nova tecnologia *sensorless* (sem sensor), que possui um avançado algoritmo de controle que estima a posição e velocidade e elimina o sensor de posição, reduzindo o custo do acionamento.

Figura 11 - Inversor de frequência CFW11 e motor wmagnet



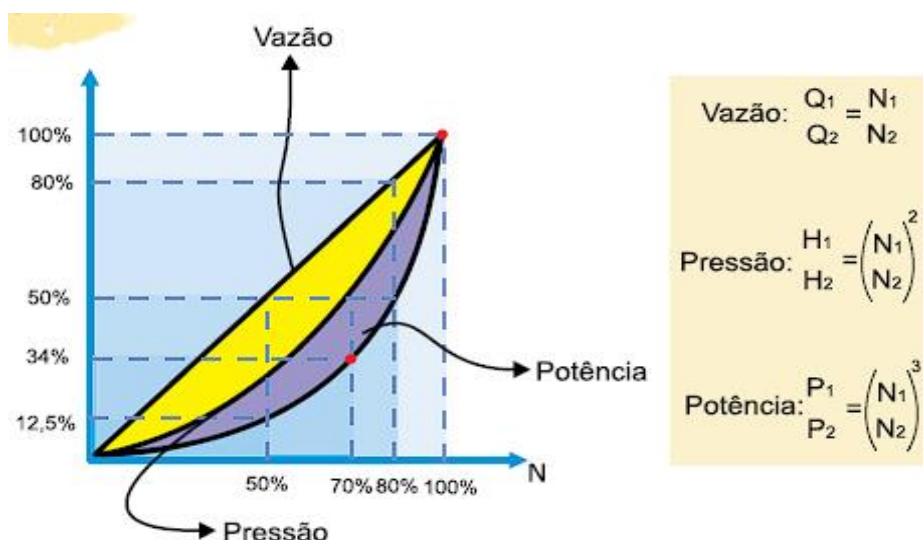
Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf3/he1/WEG-w22-magnet-drive-system-50015189-brochure-portuguese-web.pdf>

O controle vetorial sem Sensor: No modo de controle vetorial é adicionada a realimentação da corrente injetada no motor, sendo utilizada para corrigir a variação de velocidade e a perda de torque em velocidades baixas. Também chamado de *sensorless*.

2.4.1 Ganhos com cargas quadráticas

Os inversores de frequência têm representado mais um importante papel dentro de inúmeras indústrias. A capacidade de controle de velocidade e torque além da flexibilidade e facilidade de uso faz dos inversores de frequência, um componente de automação Industrial, virtualmente indispensável. Tomando vantagem do controle de velocidade de motores assíncronos trifásicos de corrente alternada convencionais, e algumas características intrínsecas de alguns tipos de carga, podemos economizar energia elétrica, de uma maneira inteligente e com altos ganhos. Cargas que permitem uma economia de energia considerável são as chamadas cargas quadráticas. Exemplos típicos deste tipo de carga são bombas centrífugas e ventiladores. Estas cargas têm uma curva de consumo de potência em função da velocidade (rotações por minuto), com uma característica cúbica, ou seja, em baixas rotações (30% abaixo da nominal), temos um consumo baixo de potência enquanto que a medida que aumentamos a rotação, a potência cresce em função do cubo da velocidade (vide figura 12). O ganho então se encontra em altas velocidades de rotação, pois uma pequena diminuição na rotação representa uma queda importante de potência consumida.

Figura 12 - Relação pressão x vazão x potência



Fonte <https://www.frioplus.com.br/artigos.php>

Observando o gráfico da figura 12, notamos que se a velocidade da bomba centrífuga ou ventilador acoplado ao motor que o conversor controla, estiver em 100%, a potência consumida será também de 100%. Entretanto, se diminuirmos a velocidade de rotação da bomba centrífuga ou ventilador para 70% da rotação nominal, a potência consumida pelo

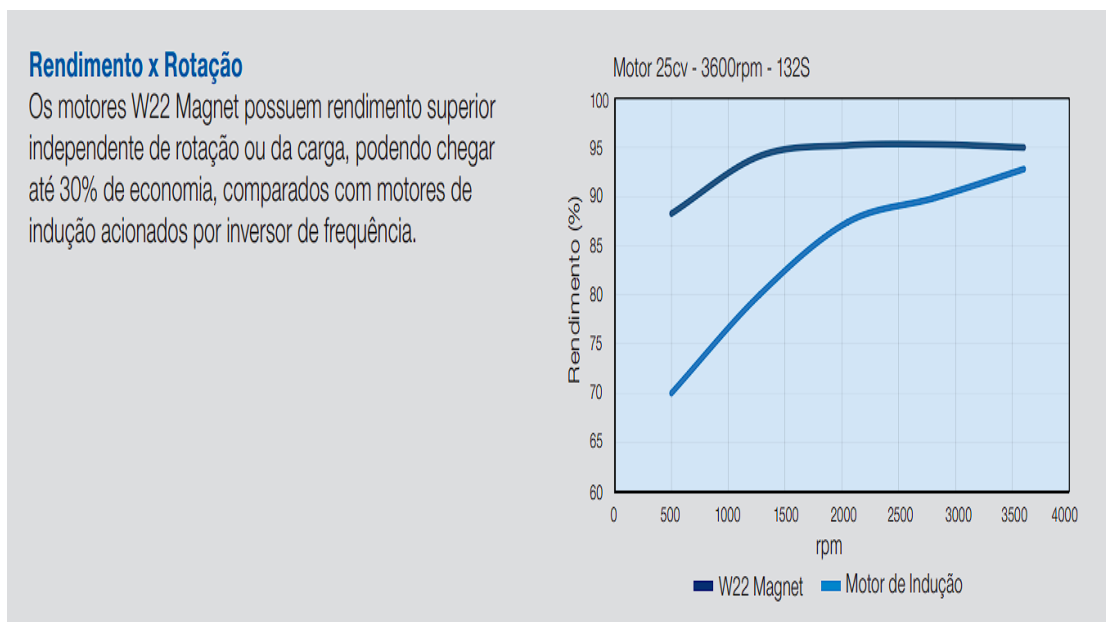
motor cai para 34% da potência nominal. Como muitos processos permitem que se trabalhe com uma rotação menor do que a nominal, em função de períodos em que a necessidade de vazão pelo processo é menor, obtemos economias consideráveis de energia (Frioplus, 2022).

2.4.2 Ganhos do conjunto inversor CFW11 + motor Wmagnet

Como o motor WMAGNET consegue manter um alto rendimento em baixas velocidades, a economia que um inversor de frequência oferece normalmente com um motor padrão são intensificados em até 30% (vide figura 13) caso aplicado com um motor WMAGNET.

Ideal para aplicações como: Bombas D'Água, Sistemas de Ventilação, Esteiras Transportadoras, etc.

Figura 13 - rendimento x rotação wmagnet



Fonte: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf3/he1/WEG-w22-magnet-drive-system-50015189-brochure-portuguese-web.pdf>

2.5 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Pode ser uma bomba ou um conjunto de bombas (vide figura 14). É o sistema responsável pela maior parte do consumo de energia de todo o sistema de abastecimento de água. Pode localizar-se ao longo de todo o sistema, com o fim de bombear água bruta ou água tratada. No caso de “*boosters*” (bombeamento intermediário), serve como estação de transferência de energia potencial para a água, dando-lhe condição de atingir pressões ou alturas mais elevadas.

Figura 14 - Sistema de bombeamento



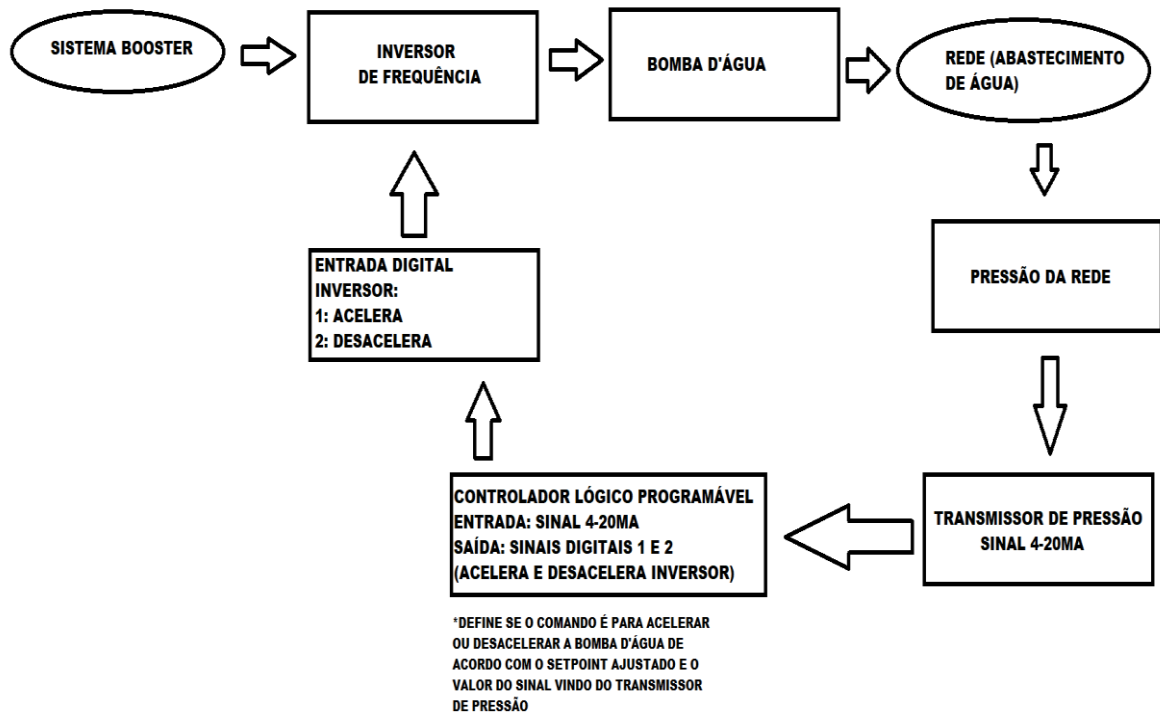
Fonte: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/industrial-applications/pumping-systems>

2.5.1 BOOSTER

O BOOSTER, conhecido também como Estação Pressurizadora de Água Tratada (EPAT), são cada vez mais utilizados pelas concessionárias em substituição aos Reservatórios Elevados, uma vez que a pressão e vazão é facilmente regulada através de

dispositivo eletrônico e eletromecânico (Saneinfra, 2022). Diagrama de blocos exemplificando o funcionamento de um sistema *booster* conforme figura 15.

Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema booster

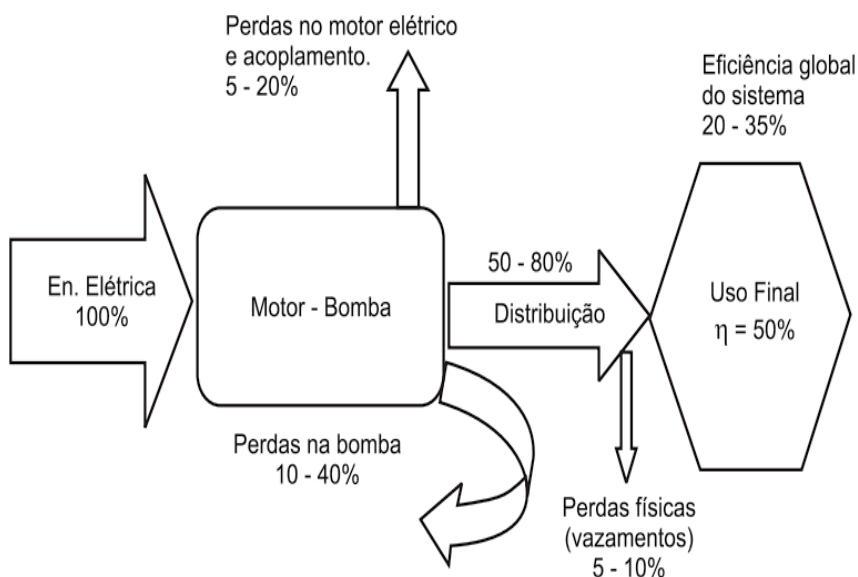


Fonte: o autor (2022).

2.5.2 Balanço típico de energia

O conhecimento do balanço energético característico deste sistema contribui para a identificação das perdas que reduzem a eficiência do sistema. Também fornece um ponto de partida para reconhecer as oportunidades e selecionar e programar ações de melhoria da eficiência. A Figura 16 mostra um balanço de energia característico, com as perdas de um sistema de bombeamento e distribuição.

Figura 16 - Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema



Fonte : http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

A Figura 16 apresenta um balanço simplificado e considera apenas uma bomba no sistema. As eficiências das bombas são multiplicadas quando colocadas em série no sistema. Não foram consideradas as perdas comerciais provenientes de erros de medição, fraudes, etc.

2.5.3 Técnicas para melhora em sistema de bombeamento genérico

Muitas oportunidades para melhorar a eficiência do sistema de bombeamento são comuns em muitos sistemas de abastecimento de água. Estas oportunidades podem ser classificadas de acordo com a parte do sistema em que estão. Oportunidades comuns de melhoria da eficiência para as áreas de bombeamento, distribuição e uso final de um sistema de abastecimento de água. As tabelas 1 a 5 apresentam um resumo delas.

Tabela 1 - Oportunidades para melhorar a eficiência no uso final

OPORTUNIDADE	DESCRIÇÃO
Reduzir as perdas por vazamento.	Uso de válvulas redutoras de pressão. Setorização da rede de distribuição. Detecção mais rápida das perdas, mediante a automação e o controle da rede e a atuação para sua correção. Pesquisa de vazamentos planejada e freqüente.
Reduzir o desperdício de água.	Uso de equipamentos de baixo consumo de água. Campanhas educativas. Cadastro, capacitação e certificação de profissionais. Incentivo a reciclagem ou reaproveitamento. Campanhas de caça aos vazamentos.

Fonte: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

Tabela 2 - Oportunidades de melhoria da eficiência na distribuição

OPORTUNIDADE	DESCRIÇÃO
Reduzir a altura manométrica.	Reposicionamento ou divisão de reservatórios para atender por zona de pressão. Uso de mais de um reservatório.
Reduzir a perda de carga pelo aumento do diâmetro da tubulação.	Seleção econômica do diâmetro baseado no custo total (investimento inicial + custo operacional).
Melhorar a rugosidade e reduzir a perda de carga.	Uso de materiais adequados. Limpeza do interior dos tubos com pig.
Deslocar o consumo de energia do horário de ponta.	Aumento da capacidade dos reservatórios.
Usar reservatórios de jusante e abastecimento em marcha.	Uso de variadores de velocidade nos motores das bombas. Adequação do fornecimento com o uso do reservatório, evitando o uso no horário da ponta.
Reduzir vazamentos	Uso de válvulas e controladores de nível. Programas de inspeção, operação e manutenção.

Fonte: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

Tabela 3 - Oportunidades de melhoria da eficiência do bombeamento

OPORTUNIDADE	DESCRIÇÃO
Melhorar o rendimento da bomba.	Seleção adequada da bomba. Verificação do ponto de funcionamento e ajuste para a faixa de maior rendimento.
Melhorar o rendimento do motor.	Adequação do motor a carga da bomba. Uso de motores de alto rendimento.
Reduzir a vazão recalçada.	Construção de reservatórios por zona de pressão.
Reduzir pela variação de velocidade.	Uso de variadores de velocidade para acionamento de bombas que trabalham com variação de carga ao longo do dia.
Fazer a associação adequada de bombas.	Associação em série, paralela ou individual, procurando otimizar o ponto de funcionamento do sistema.
Eliminar os problemas de cavitação.	O NPSH disponível calculado deve ser superior em 20% e no mínimo 0,50m ao NPSH requerido pela bomba em todos os pontos de operação.
Evitar a recirculação.	Uso de anéis de desgaste ou outros dispositivos de vedação com as folgas corretas.

Fonte: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

Tabela 4 - Oportunidades de melhoria da eficiência no sistema em geral

OPORTUNIDADE	DESCRIÇÃO
Promover a automação.	Uso de controladores programáveis, pressostatos, timers, chave bóia, programa de gerenciamento de rede.
Fazer a adequação do contrato de energia.	Contratação de energia com base no sistema tarifário mais adequado ao regime de funcionamento e porte da empresa.

Reduzir o consumo próprio de água.	Eficiência do sistema de iluminação, climatização, equipamentos de tratamento e limpeza.
------------------------------------	--

Fonte: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

Tabela 5 - Oportunidades de economia em sistema de bombeamento

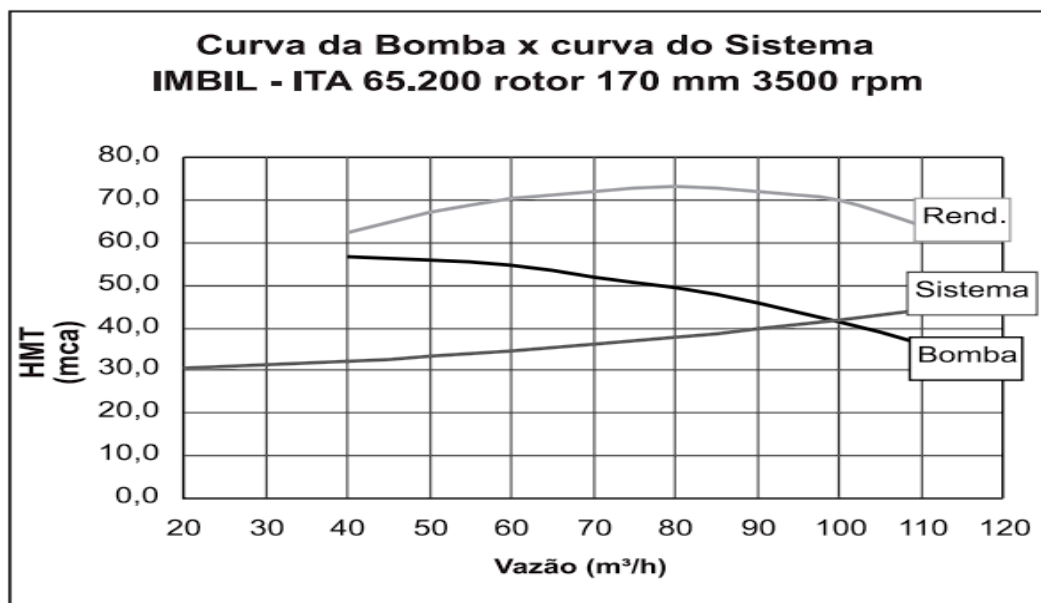
AREAS PARA MELHORIA	ENERGIA ECONOMIZADA
Uso final da água	Ate 70%
Redução de vazamentos	15%
Melhoria da rugosidade	15%
Melhoria do rendimento do motor	5%
Melhoria do rendimento da bomba	5%
Variadores de velocidade	27%

Fonte: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

2.5.4 Melhoria do rendimento da bomba

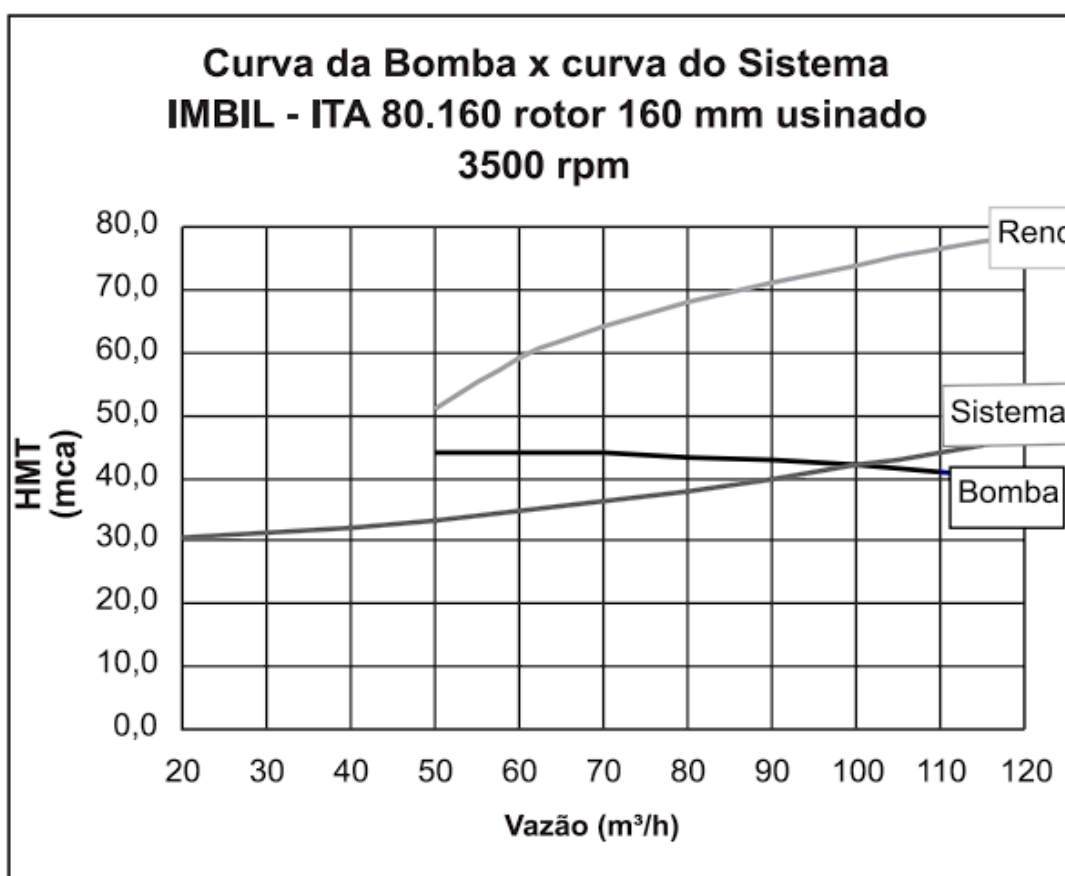
Os catálogos dos fabricantes de bombas apresentam os seus diversos produtos com as respectivas curvas de rendimento associadas às curvas de performance, facilitando a escolha do equipamento com melhor rendimento total da bomba em função da curva do sistema. As Figuras 17 e 18 mostram a seleção de uma determinada bomba para trabalhar no ponto de vazão igual a 100 m³/h contra uma altura de cerca de 42 m.c.a. A bomba selecionada trabalhará nesse ponto com um rendimento de aproximadamente 70%.

Figura 17 - Curva da bomba x Curva do sistema



Fonte : http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

Figura 18 – Curva bomba ITA 80.160 x Curva do sistema

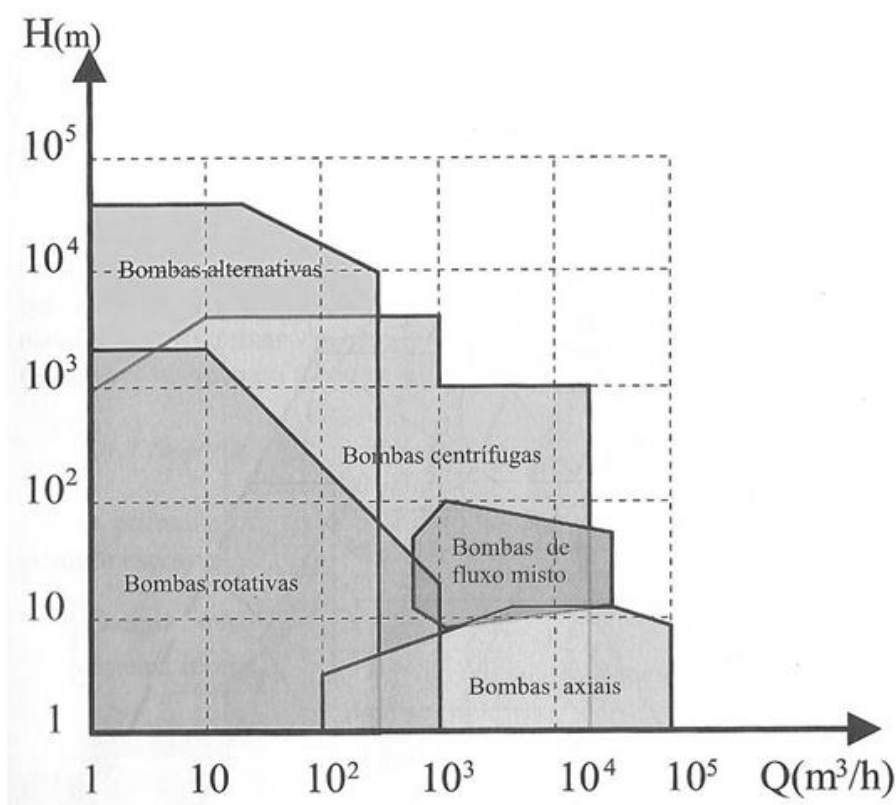


Fonte : http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

2.5.5 Seleção correta da bomba

Em geral, motores de baixa rotação apresentam menor custo de manutenção (menor desgaste das peças móveis em função da menor rotação) e menor ruído. Em áreas urbanizadas, costumam ser a melhor solução, embora tenham um custo geralmente superior às bombas de alta rotação (3500 rpm) que ofereçam as mesmas características. A figura 19 ilustra o campo de aplicação das bombas:

Figura 19 - Campo de aplicação das bombas de deslocamento positivo e turbobombas



Fonte: HENN (2006)

Critérios para a escolha do melhor equipamento:

Em primeiro lugar, deve-se estar atento à finalidade do bombeamento. É necessário observar a qualidade da água que se quer recalcar. A altura e as vazões a bombear vão indicar o tipo de bomba a procurar nos catálogos dos diversos fabricantes. Por fim, as curvas características, observando os pontos de trabalho o mais próximo possível daqueles de melhor

rendimento, levarão à escolha do equipamento de maior eficiência energética disponível no mercado.

Outros fatores também precisam ser analisados pelo projetista, como dimensões do equipamento, tipo de entrada e saída para escolher o melhor arranjo da elevatória (construção civil), o NPSH requerido pela bomba, o NPSH disponível na instalação e o histórico de manutenção de equipamento semelhante.

Devem-se sempre procurar informações de outros usuários dos equipamentos em análise para obter dados de custo de manutenção. A composição de um quadro levando em conta o custo da aquisição do equipamento, seu rendimento hidráulico e, conseqüentemente, o custo com energia elétrica ao longo da sua vida útil naquele projeto, além dos custos de manutenção durante o período de estudo, é que levarão à escolha do equipamento mais econômico.

GRANDEZAS RELACIONADAS AO ESTUDO DE BOMBAS

Para o entendimento de funcionamento do sistema elevatório, faz-se necessário o conhecimento de certas grandezas (TSUTIYA, 2006):

- a) capacidade ou vazão de bombeamento (Q): volume de líquido por unidade de tempo, normalmente expresso em metros cúbicos por segundo (m^3/s), metros cúbicos por hora (m^3/h) ou ainda em litros por segundo (l/s);
- b) altura geométrica de sucção ou altura estática de sucção ($H_{g,s}$): é a diferença geométrica entre o nível de água no poço e a linha do centro da bomba, em metros (m);
- c) altura geométrica de recalque ou altura estática de recalque ($H_{g,r}$): é a diferença geométrica entre a linha do centro da bomba e o nível máximo que atinge a água recalcada, em metros (m);
- d) altura geométrica total (H_g): é o desnível geométrico entre o nível da água no poço de sucção e o nível máximo que atinge a água recalcada,

em metros (m);

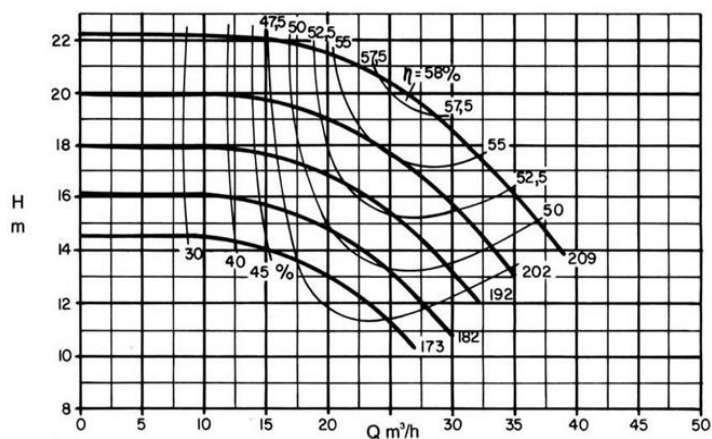
- e) perda de carga no recalque (h_{pr}): somatório das perdas de carga linear e singular nas instalações de recalque, em metros (m);
- f) perda de carga na sucção (h_{ps}): somatório das perdas de carga linear e singular nas instalações de sucção, em metros (m);
- g) carga de velocidade ou carga cinética: é a energia cinética contida no líquido bombeado calculado através da velocidade do fluído ao quadrado e dividida por duas vezes a aceleração da gravidade, em metros (m);
- h) altura manométrica total ou altura de elevação (H): carga que a bomba deve vencer quando o líquido é recalcado, inclui as alturas geométricas na sucção ($H_{g,s}$), a altura geométrica no recalque ($H_{g,r}$), as perdas de carga na sucção (h_{ps}) e no recalque (h_{pr}) e a carga cinética, expresso em metros (m);
- i) potência fornecida pela bomba (P): é a potência para elevar a vazão do líquido de modo a vencer a altura manométrica total, em watts (W);
- j) rendimento da bomba (η_b): é a relação entre potência fornecida e potência consumida, adimensional.

Tsutiya (2006) ressalta a importância de se conhecer estas curvas, pois cada bomba é projetada para elevar uma vazão a uma determinada altura manométrica total em condições de máximo rendimento. As curvas, fornecidas pelos fabricantes, representam o resultado de funcionamento da bomba para um dado número de rotações n . Tem-se as seguintes curvas:

- a) de estrangulação, que relaciona a vazão com a altura total para diferentes diâmetros de rotor (FIGURA 20);

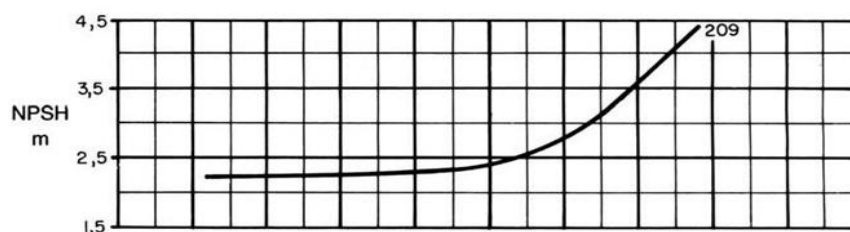
- b) de rendimento do conjunto motor-bomba, que são apresentadas como curvas de nível sobrepostas às curvas de estrangulação (FIGURA 21);
- c) de NPSH (*Net Positive Suction Head*) requerido (FIGURA 21);
- d) de potência consumida, que pode ser apresentada ou usada como substituta da curva de rendimento, e relaciona a vazão com a potência (FIGURA 22).

Figura 20 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB



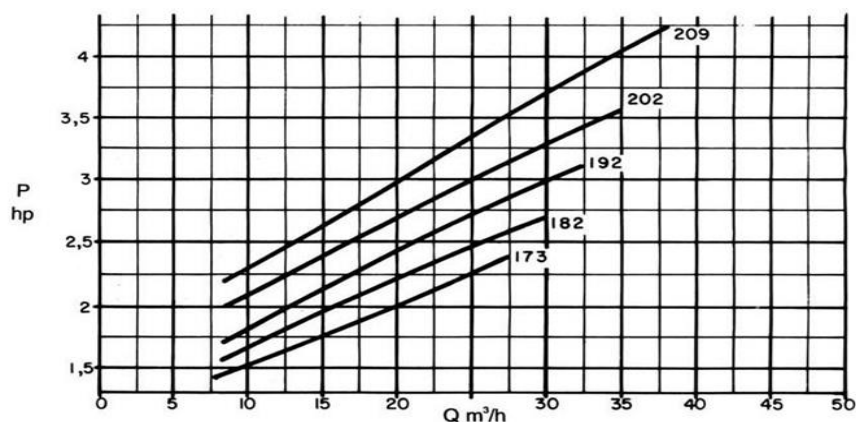
Fonte: KSB BOMBAS HIDRÁULICAS AS (2005) p. 42

Figura 21 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB



Fonte: KSB BOMBAS HIDRÁULICAS AS (2005) p. 42

Figura 22 - conjunto de curvas características para uma bomba real, modelo Meganorm, tamanho 40-200, de rotação nominal 1750 RPM, fabricada pela KSB



Fonte: KSB BOMBAS HIDRÁULICAS AS (2005) p. 42

O NPSH disponível tem que ser maior que o NPSH requerido pela bomba, para que esta não apresente problemas de cavitação. Conforme Tsutiya (2006), o NPSH disponível: É uma característica da instalação, definida como a energia que o líquido possui em um ponto imediatamente antes da flange de sucção da bomba, acima de sua pressão de vapor. É a disponibilidade de energia que faz com que o líquido consiga alcançar as pás do rotor da bomba.

2.5.6 Curva característica do sistema

A curva característica do sistema, também chamada de curva característica do encanamento, caracteriza as condições do escoamento na instalação. Ela indica, de acordo com Macintyre (1996, p. 167), o valor de energia que é necessário fornecer ao líquido para que este escoe através do encanamento e consiga vencer o desnível geométrico e todas as resistências passivas oferecidas pelo encanamento. Pode ser representada pela equação:

$$H = H_g + f(Q)$$

Onde:

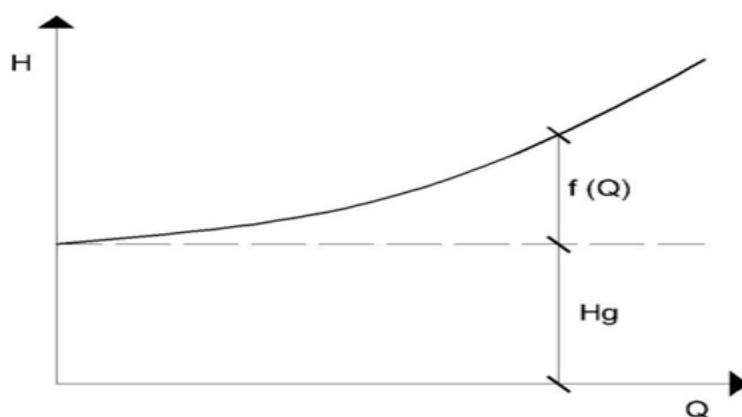
H = altura manométrica total, em metros (m);

H_g = altura geométrica total, em metros (m);

$f(Q)$ = função que depende da vazão e que representa as perdas de carga que ocorrem quando o fluido atravessa uma determinada canalização, em metros (m).

A construção desta curva pode ser efetuada através da determinação das perdas totais de carga, para uma determinada quantidade de valores de vazão e acrescentado a estes, a altura geométrica total. Traçando a curva para os pontos encontrados, chega-se a algo similar ao representado na figura 23, aonde $f(Q)$ corresponde a parcela dinâmica e H_g a parcela estática.

Figura 23 - Representação de uma curva característica de um encanamento genérico



Fonte : http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf

3 METODOLOGIA E RESULTADOS

A pesquisa foi realizada na SAE Jurere Internacional, localizado em Florianópolis, Santa Catarina. O SAE Jurere Internacional é composto pela Estação de Tratamento de Água – ETA e a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, pioneiro no uso do sistema de coleta de esgotos a vácuo no Brasil. Também faz a distribuição de água em Jurere Internacional, com controle automatizado e controlado conforme os dados da Figura 24, a rede tem pressão constante garantindo o padrão do abastecimento, mesmo com alto consumo. Para atender a demanda o sistema dispõe de um *booster* com dois conjuntos de inversores e bombas d'água.

Figura 24 – Placa Informativa Booster SAE Jurerê



Fonte: acervo do autor.

A pesquisa é explicativa, como o sistema analisado já teve duas das três etapas de eficiência energética concluídas, o objetivo é medir o ganho dessas etapas e fazer o estudo para verificar a viabilidade de concluir a terceira etapa, gerando um valor de investimento e calculando o ganho em eficiência do sistema para apresentar um *payback*.

Payback é um cálculo que permite saber em quanto tempo os lucros trazidos por um investimento cobrirão o valor aplicado inicialmente. Utilizado por empreendedores e investidores, auxiliando na tomada de decisão.

A pressão mínima e máxima de trabalho, conforme o ajustado o programa de controle é de: 15 MCA a 30 MCA por conjunto (motor e bomba), a pressão máxima é limitada pela tubulação, não é interessante ultrapassar esse limite para não gerar danos, vazamentos e outros problemas na rede. O *Setpoint* ideal foi encontrado baseado em um estudo de pressão feito na rede. Nesse caso, o sistema foi sendo pressurizado enquanto os medidores de pressão nos piores pontos do bairro informavam como estava em cada local, assim, foi determinado que o melhor ponto de trabalho do sistema seria com 22 MCA essa é a média do *Setpoint* durante o ano, nesse ponto o sistema consegue atender o bairro de forma completa e com bom fôlego caso precise aumentar o abastecimento durante a temporada. Existe uma diferença entre o *Setpoint* de Inverno 20 MCA e o *Setpoint* de verão 25 MCA, essa diferença é baseada no consumo durante esse período. O *Setpoint* pode ser alterado diretamente na IHM, conforme a figura 25.

Figura 25 – Interface homem-máquina do sistema



Fonte: acervo do autor.

Sobre as trocas do sistema, na primeira parte o objetivo vai ser explicar como o que já esta rodando conforme a Figura 26 foi feito.

Etapa 1: Troca dos motores convencionais IR2 por motores de Ímãs Permanentes IR4, feita em 2008, figura 27.

Substituição dos motores IR2 com rendimento de 89,5% por motores IR4 de rendimento 96,5%, como os novos motores colocados eram de ímãs permanentes, foi necessário a instalação de um Inversor de frequência com software especial para trabalhar com o motor especial.

Se calcularmos apenas a economia do motor, de forma direta sem somar a economia em baixa e média rotação, podemos considerar um ganho de eficiência energética de 7%.

Figura 26 - Motor Wmagnet 75 CV IV Polos acoplado em uma Bomba IMBIL



Fonte: acervo do autor.

Figura 27 - Dados de placa do motor



Fonte: acervo do autor

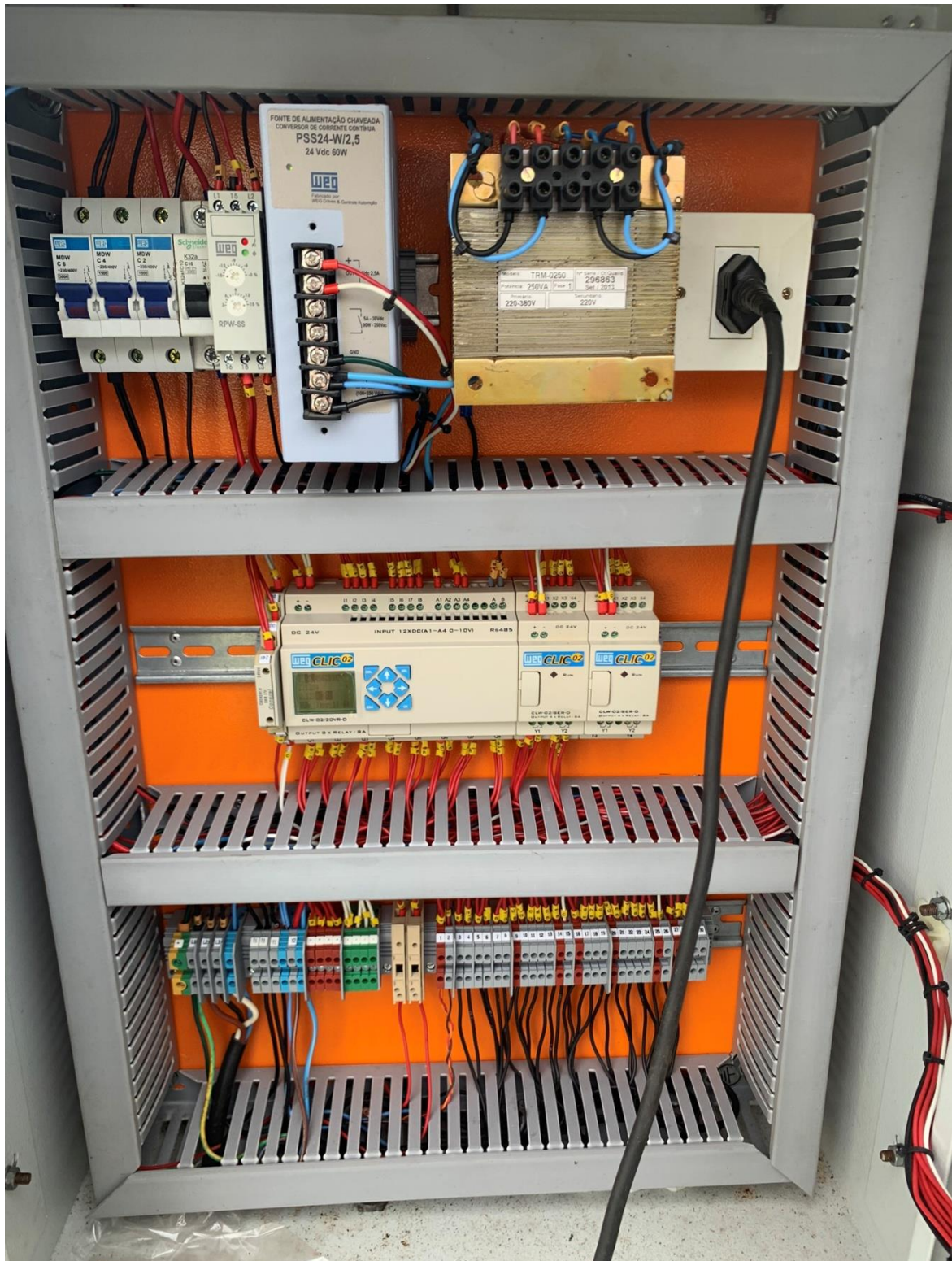
Etapa 2: Troca dos sistemas de acionamento, medição e controle (Figura 28). Foi trocado o método de medir a pressão do sistema (substituição de pressostatos por transmissores de pressão), o controle que era via controlador de processos simples passou a ser via CLP (Figura 29) (Controlador Lógico Programável) e no caso do acionamento (Figura 30), foi feito a troca dos Inversores de Frequência antigos (Modelo CFW09) por novos (Modelo CFW11), mais precisos e com funções especiais de controle que melhoram o resultado em aplicações com motores de ímãs permanentes.

Figura 28 - Porta do painel de controle



Fonte: acervo do autor.

Figura 29 - Interior do painel de controle (CLP ao centro)



Fonte: acervo do autor.

Figura 30 -Painel de potencia (Inversores de frequência novos CFW11)



Fonte: acervo do autor.

Nessa etapa foi onde o sistema teve o melhor ganho de rendimento, como não foi considerado o ganho do inversor de frequência de 2008 até 2015, vamos utilizar os dados levantados aqui para calcular o ganho em eficiência com a variação de velocidade via inversor de frequência aplicado juntamente com uma medição de pressão da rede de forma analógica via transmissor de pressão e com o CLP para controlar o *setpoint*.

Conforme o medido em campo, a corrente do motor fica em média 25A.

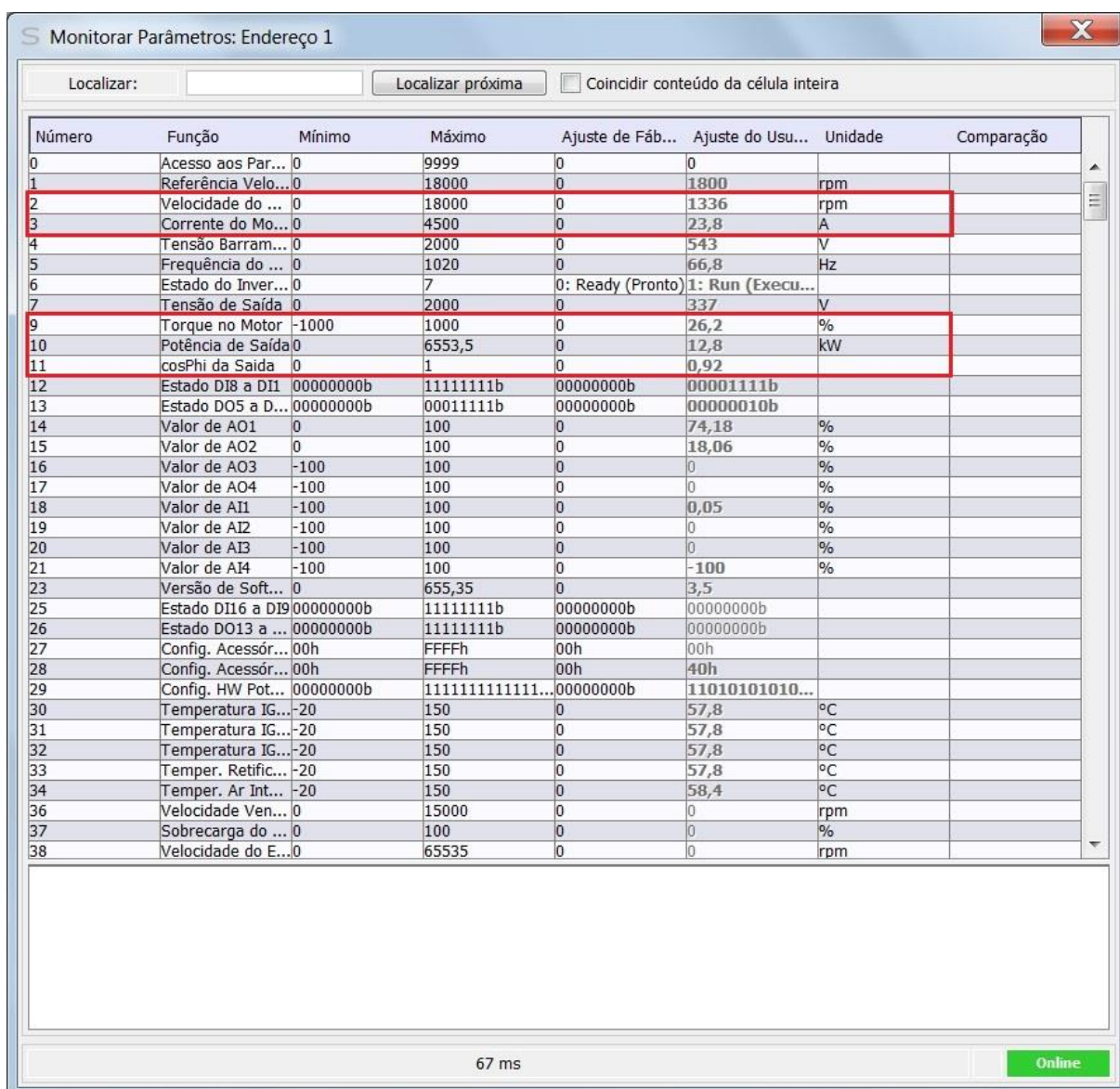
A corrente nominal do motor é de 93A, essa diferença brusca foi atingida por alguns fatores, sendo eles: Tipo de Carga (Quadrática), Tipo de Acionamento (Inversor de Frequência com controle de velocidade via sinal analógico) e Tipo do Motor (Ímã permanente com alto torque durante toda a faixa de acionamento da carga).

A redução de corrente no motor ficou em 73,12% se a corrente de base for à dos dados do motor com plena carga.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para levantar os dados de *setpoint* e operação do sistema foi através da IHM (interface homem-máquina) que é onde esses dados também podem ser alterados. Para conseguir os dados de consumo de cada motor foi utilizado o software WEG Superdrive (Figuras 31 e 32), com o software conectado ao Inversor de Frequência é possível ter acesso a todos os parâmetros de leitura, armazenamento de dados do equipamento e verificar os parâmetros alterados pelo usuário.

Figura 31 – Software Superdrive WEG



The screenshot shows the 'Monitorar Parâmetros: Endereço 1' window. It contains a table with 8 columns: Número, Função, Mínimo, Máximo, Ajuste de Fá..., Ajuste do Usu..., Unidade, and Comparação. The table lists 38 parameters. Several rows are highlighted with red boxes: rows 2, 3, 9, 10, and 11. The status bar at the bottom shows '67 ms' and 'Online'.

Número	Função	Mínimo	Máximo	Ajuste de Fá...	Ajuste do Usu...	Unidade	Comparação
0	Acesso aos Par...	0	9999	0	0		
1	Referência Velo...	0	18000	0	1800	rpm	
2	Velocidade do ...	0	18000	0	1336	rpm	
3	Corrente do Mo...	0	4500	0	23,8	A	
4	Tensão Barram...	0	2000	0	543	V	
5	Frequência do ...	0	1020	0	66,8	Hz	
6	Estado do Inver...	0	7	0: Ready (Pronto)	1: Run (Execu...		
7	Tensão de Saída	0	2000	0	337	V	
9	Torque no Motor	-1000	1000	0	26,2	%	
10	Potência de Saída	0	6553,5	0	12,8	kW	
11	cosPhi da Saída	0	1	0	0,92		
12	Estado DI8 a DI1	00000000b	11111111b	00000000b	00001111b		
13	Estado DO5 a D...	00000000b	00011111b	00000000b	00000010b		
14	Valor de AO1	0	100	0	74,18	%	
15	Valor de AO2	0	100	0	18,06	%	
16	Valor de AO3	-100	100	0	0	%	
17	Valor de AO4	-100	100	0	0	%	
18	Valor de AI1	-100	100	0	0,05	%	
19	Valor de AI2	-100	100	0	0	%	
20	Valor de AI3	-100	100	0	0	%	
21	Valor de AI4	-100	100	0	-100	%	
23	Versão de Soft...	0	655,35	0	3,5		
25	Estado DI16 a DI9	00000000b	11111111b	00000000b	00000000b		
26	Estado DO13 a ...	00000000b	11111111b	00000000b	00000000b		
27	Config. Acessór...	00h	FFFFh	00h	00h		
28	Config. Acessór...	00h	FFFFh	00h	40h		
29	Config. HW Pot...	00000000b	111111111111...	00000000b	11010101010...		
30	Temperatura IG...	-20	150	0	57,8	°C	
31	Temperatura IG...	-20	150	0	57,8	°C	
32	Temperatura IG...	-20	150	0	57,8	°C	
33	Temper. Retific...	-20	150	0	57,8	°C	
34	Temper. Ar Int...	-20	150	0	58,4	°C	
36	Velocidade Ven...	0	15000	0	0	rpm	
37	Sobrecarga do ...	0	100	0	0	%	
38	Velocidade do E...	0	65535	0	0	rpm	

Fonte: acervo do autor.

Conforme a tela mostrada na figura 31, foi possível extrair alguns dos dados mais importantes do acionamento, como:

- Referência de Velocidade: 1336 rpm
- Corrente do Motor: 23,8A
- Torque no Motor: 26,2%
- Potência de Saída (Carga/Motor): 12,8 kW
- CosPhi de Saída (cosφ): 0,92

Figura 32 – Monitoração dos parâmetros do inversor 1

Número	Função	Mínimo	Máximo	Ajuste de Fáb...	Ajuste do Usu...	Unidade	Comparação
19	Valor de AI2	-100	100	0	0	%	
20	Valor de AI3	-100	100	0	0	%	
21	Valor de AI4	-100	100	0	-100	%	
23	Versão de Soft...	0	655,35	0	3,5		
25	Estado DI16 a DI9	00000000b	11111111b	00000000b	00000000b		
26	Estado DO13 a ...	00000000b	11111111b	00000000b	00000000b		
27	Config. Acessór...	00h	FFFFh	00h	00h		
28	Config. Acessór...	00h	FFFFh	00h	40h		
29	Config. HW Pot...	00000000b	111111111111...	00000000b	11010101010...		
30	Temperatura IG...	-20	150	0	59,2	°C	
31	Temperatura IG...	-20	150	0	59,2	°C	
32	Temperatura IG...	-20	150	0	59,2	°C	
33	Temper. Retific...	-20	150	0	59,2	°C	
34	Temper. Ar Int...	-20	150	0	58,3	°C	
36	Velocidade Ven...	0	15000	0	0	rpm	
37	Sobrecarga do ...	0	100	0	0	%	
38	Velocidade do E...	0	65535	0	0	rpm	
39	Contador Pulso...	0	40000	0	0		
40	Variável Proces...	0	100	0	0	%	
41	Valor do Setpoi...	0	100	0	0	%	
42	Horas Energizado	0	65535	0	8489	h	
43	Horas Habilitado	0	6553,5	0	2438,2	h	
44	Contador kWh	0	65535	0	5952	kWh	
45	Horas Ventil. Li...	0	65535	0	1534	h	
48	Alarme Atual	0	999	0	0		
49	Falha Atual	0	999	0	0		
50	Última Falha	0	999	0	21		
51	Dia/Mês Última ...	00/00	31/12	00/00	17/10		
52	Ano Última Falha	00	99	00	22		
53	Hora Última Falha	00:00	23:59	00:00	20:34		
54	Segunda Falha	0	999	0	21		
55	Dia/Mês Segun...	00/00	31/12	00/00	17/10		
56	Ano Segunda F...	00	99	00	22		
57	Hora Segunda ...	00:00	23:59	00:00	19:42		
58	Terceira Falha	0	999	0	21		

69 ms Online

Fonte: acervo do autor.

Também é possível verificar o tempo de funcionamento do equipamento, do ventilador e o tempo dele habilitado (acionando o motor), conforme figura 32.

Data da coleta de dados: 27/10/2022.

Equipamento: Inversor 1 (CFW11 105A 380VAC WEG)

Horas Energizado: 8.489 h

Horas Habilitado: 2438,2 h

Contador de kWh: 5.952 kWh

Horas de Ventilador Ligado: 1534

Com o software rodando e monitorando os parâmetros online podemos verificar diversos parâmetros de leitura em tempo real, como o sinal das entradas analógicas, a temperatura de cada fase do módulo de potência (componente interno ao inversor), a temperatura do ar interno, verificar quais foram as últimas falhas com data e hora do acontecimento, entre outras funções.

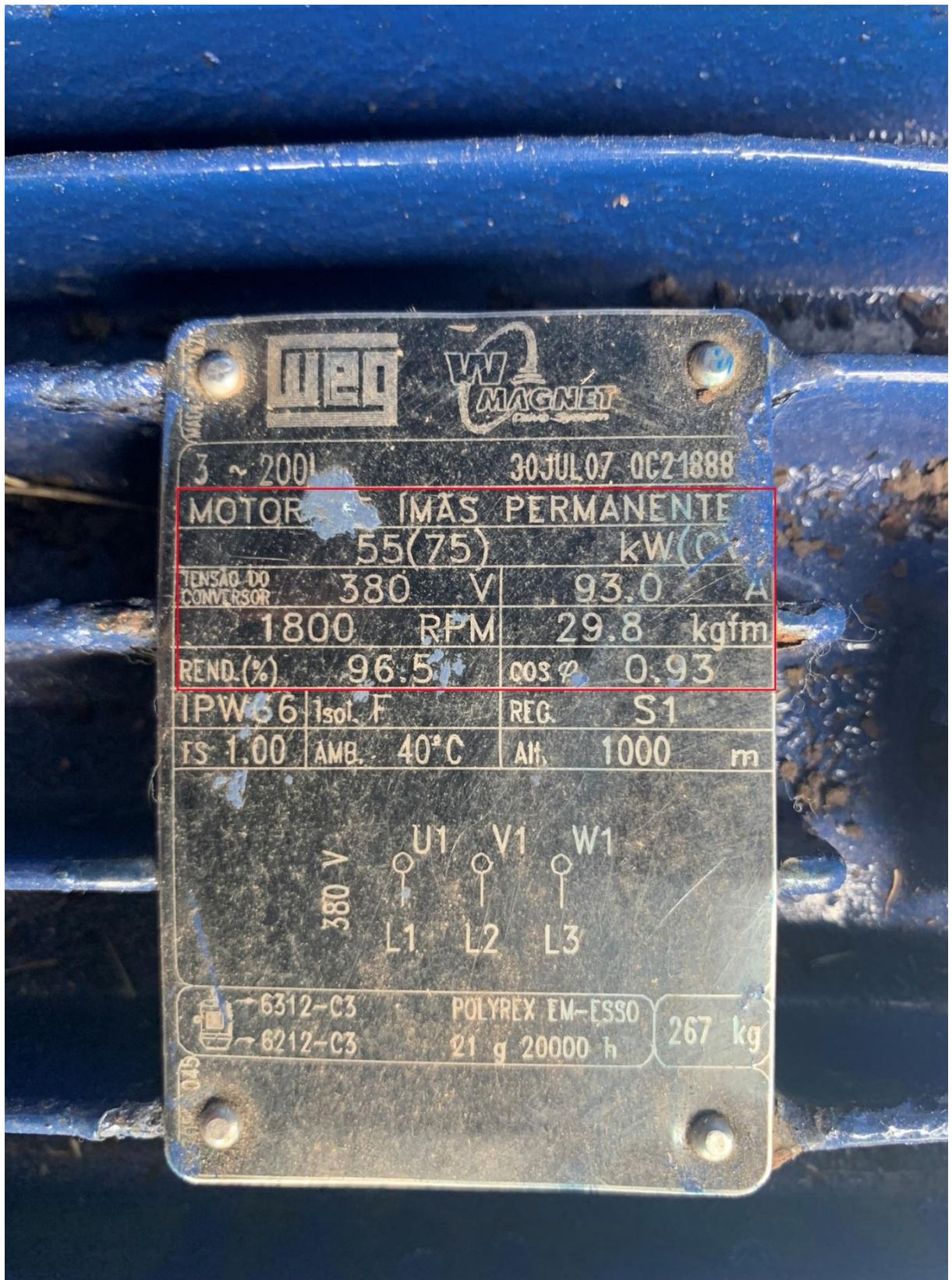
Segue uma comparação dos valores de plaqueta do motor (Figura 34) e dos valores medidos no inversor de frequência (Figura 33) com o mesmo operando/em tempo real:

Figura 33 - IHM do Inversor com o motor em funcionamento



Fonte: acervo do autor

Figura 34 - Placa do motor para comparação



Fonte: acervo do autor.

Figura 35 - Aquisição de dados via software Superdrive WEG



Fonte: acervo do autor.

Como o acionamento é revezado entre os motores, é preciso pegar os dados dos dois equipamentos e simular como se fossem um único.

Nos dia 27 de outubro de 2022 e 7 de Novembro de 2022 foram coletados os dados de consumo de cada conjunto, conforme figura 35.

- Para as medições de energia realizadas foram consideradas as seguintes observações:
- todas as medições foram feitas no período de 11 dias.
- como o sistema tem revezamento, foi somado o consumo dos dois conjuntos

Conforme tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Consumo de cada conjunto

Equipamento (Conjunto Inversor / Motor)	Consumo em KWh	Dia
Equipamento 1	5.952	27/10/2022
Equipamento 1	7.228	07/11/2022
Consumo total	1.276	11 dias
Equipamento 2	40.171	27/10/2022
Equipamento 2	41.281	07/11/2022
Consumo total	1.110	11 dias
Consumo total dos dois Conjuntos	2.386	11 dias
Consumo total dos dois Conjuntos por dia	217 kWh/dia	

Fonte: o autor (2022).

3.1.1 SOFTWARE SEE+ WEG

Após o levantamento dos dados de cada inversor de frequência, de horas de operação do sistema, de média de velocidade dos motores e outras variáveis foi utilizado o Software SEE+ de uso interno WEG para calcular a economia efetiva de um sistema novo, igual o que foi instalado no SAE Jurerê em 2015 contra o sistema antigo que utilizava um motor de 20 anos com rendimento da época, soft-starter como acionamento e pressostatos para regulação da pressão do sistema. O software é completo e precisa ser alimentado com a maior quantidade de dados possível, ele é utilizado para dimensionar com precisão qual a melhor solução em eficiência para a aplicação do cliente, é capaz de mensurar o consumo atual e após a instalação dos equipamentos novos, de informar o valor de investimento em peças (valores de custo diretamente para um parceiro WEG) e calcular o *payback* baseado no custo de aquisição do material e do consumo anual que os equipamentos vão proporcionar. O SEE+ é programado para ser conservador em relação à economia, muitas vezes a redução de consumo vai ser bem superior ao indicado pelo programa, segundo informações do Eng. de aplicação WEG que tornou possível este estudo de caso. Conforme mostrado abaixo na sequência de figuras 36 a 42.

Figura 36 - Identificação do projeto

Projeto: 1038928011 - SAE Jurerê

Principal Dados da Fatura Condições Comerciais Configurações do Projeto Configurações de Relatório

Agrupador: Tecflex

Projeto: 1038928011

Mercado: BRASIL

Descrição: Análise do motor Booster SAE Jurerê

Cliente: SAE Jurerê

País: Brasil

Estado: Santa Catarina

Cidade: Florianópolis

Status: Cancelado

Segmento industrial: Outros

Solicitante: DESENVOLVIMENTOS E SIMULAÇÕES

Fonte: O autor (2022).

Figura 37 - Dados da fatura de energia

Projeto: 1038928011 - SAE Jurerê

Principal Dados da Fatura Condições Comerciais Configurações do Projeto Configurações de Relatório

Dados da Fatura de Energia Elétrica

Tensão da planta (v): 380.0

Frequencia da rede (hz): 60.0

Fator de carga da instalação (%): 100.0

Fator de coincidência ponta (%): 100.0

Tarifas de Energia

\$/kwh ponta: 0.665319

\$/kw ponta:

\$/kwh fora ponta: 0.159459

\$/kw fora ponta:

Venda de Energia

% do excedente vendido:

\$ kwh vendido:

Fonte: O autor (2022).

Figura 38 - Dados do motor e aplicação

Projeto: 1038928011 - Motores: 1321528814

Dados do Motor Detalhes Técnicos Método de Partida Acoplamento Detalhes do Regime Redimensionamento Desempenho Análise Financeira

Informações do Motor
MOTOR ANTIGO

Quantidade:	1.0	Idade:	20.0
Potência (cv):	75.0	Potência (kw):	55.0
Pólos:	04	Rotação (rpm):	1775.0
Frequência:	60Hz	Nível de rendimento:	Standard
Tensão (v):	380.0	Corrente nominal (a):	
Carcaça:	225S/M	Nº de rebobinagens:	

Dados da Aplicação

Área:	Bombas	Tag:	Bombas
Hop/dia fora ponta:	17.0	Hop/dia ponta:	3.0
Dias de op./ano:	363.0	Curva de conjugado da carga:	Parabólico
Carga acionada:		Altitude (m):	1000.0
Temperatura ambiente (°C):	40.0		

Fonte: O autor (2022).

Figura 39 - Método de partida

Projeto: 1038928011 - Motores: 1321528814

Dados do Motor Detalhes Técnicos Método de Partida Acoplamento Detalhes do Regime Redimensionamento Desempenho Análise Financeira

Sistemas de Bombeamento e Ventilação

Controle de fluxo: Nenhum

Pressão:

Pressão requerida:

Vazão:

Vazão de operação:

Método de Partida Atual

Método partida: SOFT STARTER

Tap (%):

Tempo:

Rotação:

1:		1:	
2:		2:	
3:		3:	
4:		4:	
5:		5:	
6:		6:	
Total:			

Método de Partida Proposto

Método de partida: INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Tap(%):

Tempo: %	Rotação: RPM	Cálculo: Economia (
1: 70.0	1: 1336.0	1: 40.0
2: 30.0	2: 1550.0	2: 12.4
3:	3:	3:
4:	4:	4:
5:	5:	5:
6:	6:	6:
Total: 100.0		

Fonte: O autor (2022).

Figura 40 - Desempenho

Projeto: 1038928011 - Motores: 1321528814

Dados do Motor | Detalhes Técnicos | Método de Partida | Acoplamento | Detalhes do Regime | Redimensionamento | **Desempenho** | Análise Financeira

Usar Dados de Desempenho?: ☒ Substituir Motor?: ☒

Rendimento Atual

50%: 90.3 75%: 92.0 Nominal: 93.0

Fator de Potência Atual

Vazio: 0.15 50%: 0.76 75%: 0.84 Nominal: 0.88

Corrente Atual

Vazio: 34.6 50%: 60.9 75%: 81.1 I nominal: 102.1

Resultados Motor Atual

Corrente média (a):	0.0	Tensão média (v):	
% carga:	100.0	Rendimento:	93.0
Fator de potência:	0.87	Torque nominal (kgfm):	30.18
Hop/ano fora ponta:	6171.0	Hop/mês fora ponta:	514.25
Hop/ano ponta:	1089.0	Hop/mês ponta:	90.75
Consumo vent forçada (kw):	0.0	Demanda por motor (kw):	59.14
Hop/ano:	7260.0	Demanda total (kw):	59.14
Kwh/ano:	429356.4		

Hop = Horas de Operação

Fonte: O autor (2022).

Figura 41 - Motor recomendado

Recomendado

Usar Dados de Desempenho: ☒ Copiar Dados Motor Atual: ☐

Especificação: W22 Magnet Super Premium - 1800RPM

Potência recomendada (cv): 75.0 Potência recomendada (kw): 55.0

Polos: 06 Carcaça: 200L

Rendimento Recomendado

50%: 95.6 75%: 95.6 Nominal: 95.8

Fator de Potência Recomendado

Vazio: 0.0 50%: 0.84 75%: 0.85 Nominal: 0.85

Corrente Recomendada

Vazio: 2.0 50%: 52.0 75%: 77.1 I nominal: 110.9

Resultados Motor Recomendado

Tensão base recomendada:	440.0	Rotação (rpm):	1800.0
% carga:	77.3	Rendimento:	92.7
Fator de potência:	0.91	Torque nominal (kgfm):	29.76
Hop/ano fora ponta:	6171.0	Hop/ mês fora ponta:	514.25
Hop/ano ponta:	1089.0	Hop/mês ponta:	90.75
Consumo vent forçada (kw):		Demanda por motor (kw):	39.49
Hop/ano:	7260.0	Demanda total (kw):	39.49
Kwh/ano:	229616.8		

Fonte: O autor (2022).

Figura 42 - Análise Financeira

Projeto: 1038928011 - Motores: 1321528814

Dados do Motor Detalhes Técnicos Método de Partida Acoplamento Detalhes do Regime Redimensionamento Desempenho **Análise Financeira**

Energia

Kw evitado ponta:	19.65	Kw evitado fora ponta:	19.65
Economia ponta (kwh/ano):	29960.94	Economia fora ponta (kwh/ano):	169778.66
Economia ponta (kwh/mês):	2496.75	Economia fora ponta (kwh/mês):	14148.22
Economia (kwh/ano):	199739.6	Economia (kwh/mês):	16645.0

Investimento Motores

Usar investimento calculado?: ☒ Validar Especificações?: ☐

Preço bruto c/ icms (\$):	67234.75	Opcionais (\$):	61642.51
Desconto adicional (%):		Investimento motor (\$):	74697.26

Investimento Acionamento e Instalação

Considerar Acionamento?: ☒ Quantidade: 1.0

Preço bruto acionamento (\$):	0.0	Custo com instalação (\$):	0.0
Investimento acionamento:	0.0		

Retorno Financeiro

Economia (\$/ano):	47006.32	Economia (\$/mês):	3917.19
Economia %:	46.5	Investimento total (\$):	74697.26
Payback (anos):	1.59	Payback:	1 A e 7 M

Fonte: O autor (2022).

O resultado foi de uma economia de R\$: 3.917,19 ao mês, que resulta em R\$: 47.006,32 ao ano, se considerado todas as casas após a vírgula.

Esse valor foi encontrado baseado na economia de energia vezes o valor do kWh da unidade consumidora, conforme fatura de energia da figura 43.

Considerações:

- O valor de investimento informado pelo software (R\$: 74.697,26) é o valor de venda para um integrador credenciado WEG, para o cálculo de custo do projeto vai ser considerado um valor de R\$: 100.000,00 no conjunto Motor e Inversor de frequência.
- O sistema trabalha 24h/dia, 365 dias no ano. Foi inserido no software 20h/dia e 363 dias no ano para ser ainda mais conservador na apresentação do resultado final de economia, a economia do conjunto tem tudo para ser superior a informada nesse estudo.

3.2 ANÁLISE ECONOMICA

Analisar se um investimento é rentável ou não é de grande importância, devido “a escassez dos recursos frente às necessidades ilimitadas faz com que cada vez mais se procure aperfeiçoar sua utilização. A análise prévia de investimentos permite que se racionalize a utilização dos recursos de capital. E para a solução de um problema de análise de investimentos, dentro da complexidade do mundo atual, é necessário o conhecimento de técnicas especiais” (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

3.2.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa consiste na representação gráfica de receitas e despesas proporcionadas por um projeto de investimento, sendo que no eixo horizontal são apontados os períodos considerando uma unidade de tempo em meses ou anos. O desembolso de capital ou saída de investimentos é representado por setas que apontam para baixo, as entradas de valores ou retorno do investimento são representadas por setas que apontam para cima. A Tabela 7 apresenta o fluxo de caixa do projeto em que o investimento na data zero corresponde a R\$ 10.000,00 e os retornos do investimento, de R\$ 2.000,00, ocorrem durante cinco meses.

Tabela 7 - Diagrama de fluxo de caixa

Meses	Capitais
0	(R\$ 10.000,00)
1	R\$ 2.000,00
2	R\$ 2.000,00
3	R\$ 2.000,00
4	R\$ 2.000,00
5	R\$ 2.000,00

Fonte: O autor (2022).

3.2.2 Métodos de avaliação de investimentos

“Os investimentos mais rentáveis deverão ser analisados de acordo com critérios financeiros, os quais mostrarão os efeitos do investimento na situação financeira da empresa, por exemplo, como irá o investimento afetar o capital de giro da empresa” (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000). A avaliação do projeto de investimento deve contemplar o período de tempo necessário para recuperar o capital investido conforme o fluxo de caixa elaborado. O intervalo de tempo para recuperar o capital investido é denominado *payback*. Se na avaliação não for considerado a taxa de juros, o método de avaliação é denominado *payback* simples; se for considerado, é denominado *payback* descontado.

O método geral de análise do *payback* está representado matematicamente pela equação:

$$Payback = \frac{\text{investimento total}}{\text{retorno anual}}$$

3.2.2.1 Payback simples (PBS)

É um método simples de avaliação empregado para apurar o tempo de retorno de investimento, e compara com o tempo máximo permitido pelo investidor. A primeira e a segunda coluna da Tabela 8 representam o fluxo de caixa de um investimento. A terceira coluna apresenta o tempo de retorno do capital, ou seja, o saldo do projeto. O retorno obtido após o primeiro ano de investimento, segundo o fluxo de caixa, é de R\$ 800,00 e resulta em um saldo negativo de R\$ 1.700,00.

Tabela 8 - Payback simples.

Anos	Capitais	Saldo do Projeto
0	-R\$ 2.500,00	-R\$ 2.500,00
1	R\$ 800,00	-R\$ 1.700,00
2	R\$ 750,00	-R\$ 950,00
3	R\$ 980,00	R\$ 30,00
4	R\$ 650,00	R\$ 680,00
5	R\$ 1.050,00	R\$ 1.730,00

Fonte: O autor (2022).

Na coluna saldo de projeto, verifica-se que o retorno do investimento ocorre durante o segundo ano, quando o retorno passa a ser positivo. É importante salientar que o saldo do projeto é sempre negativo até que ocorra o *payback*. Se o saldo do projeto ficar negativo até a conclusão do tempo de análise, significa que o investimento não terá retorno.

3.2.3 Cálculo de Retorno Financeiro

Utilizando o Software SEE+ WEG é possível calcular o valor de investimento e o *payback* do mesmo baseado nas informações dos motores. Para o calculo, foi utilizado um motor W22 de 75 CV 4 Polos 1800 RPM com 20 anos e o motor que já esta instalado no cliente, um Wmagnet de 75CV 1800 RPM.

Tabela 9 - Custos do projeto

Material	Custo R\$:
CFW11 105A WEG + Motor Wmagnet 75 CV 1800RPM WEG	100.000,00
Quadro de Comando com Potência e Controle + Sistema de Medição Integrado	45.000,00
Mão de Obra de Instalação e Startup do Sistema	5.000,00
	Total R\$: 150.000,00

Fonte: o autor (2022).

Baseado no resultado informado no software é possível calcular o tempo de retorno do investimento caso o cliente ainda não tivesse feito essa alteração em 2015.

Tabela 10 - *Payback* simples do Projeto Mantendo a Bomba

Anos	Capitais	Saldo do Projeto
0	-R\$ 150.000,00	-R\$ 150.000,00
1	R\$ 47.000,00	-R\$ 103.000,00
2	R\$ 47.000,00	R\$ -56.000,00
3	R\$ 47.000,00	R\$ 38.000,00
4	R\$ 47.000,00	R\$ 85.000,00

5	R\$ 47.000,00	R\$ 132.000,00
---	---------------	----------------

Fonte: o autor (2022).

Considerando um valor de economia de energia constante, sem considerar a valorização do dinheiro e a valorização da energia elétrica no tempo, podemos afirmar que aplicando as alterações de Motor e Inversor com automação, o projeto tem um *payback* perto dos três anos. O valor de manutenção informado pelo SAE Jurerê é irrisório, não foi considerado.

Figura 43 - Conta de luz do cliente

Celesc

Distribuição S.A.

Av Itamará, 160 - - Florianópolis

CNPJ: 08.336.783/0001-90 Insc. Est.: 255266626

NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE ÚNICA

COD FISCAL OP: 5.257 5.949 GRUPO A4 10/2022 - 000.173.436.371

EMISSÃO: 01/10/2022 FAT-01-20229625950428-17

APRESENTAÇÃO: 24/10/2022 REFERÊNCIA: 10/2022

HABITASUL EMPREENDIMENTOS IMOBILIA

CPJ 87.919.437/0002-92 LOCAL: 0101 ETAPA/LIVRO: 23/019036

AV DOS DOURADOS - SAE - EST TRAT AGUA FU 71264

JURERE INTERNACIONAL - FLORIANOPOLIS - SC - 88053-410

RESERVADO AO FISCO

PERÍODO FISCAL: 01/10/2022

C2C6.F650.56A9.E021.C0DB.4A0B.2B2B.3691

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA / FATURAMENTO / FORNECIMENTO

COMERCIAL, SERVIÇOS, OUTRAS ATIVIDADES / MOD TARIFARIA HORA

CONTRATO DE FORNECIMENTO

PERÍODO: TODOS

DEMANDA PONTA (kW): 280 CONSUMO PONTA (kWh):

DEMANDA FORA PONTA (kW): 0 CONSUMO FORA PONTA (kWh):

RESERVA CAP.F. PONTA (kW): RESERVA CAP. PONTA (kW):

DADOS DA MEDIÇÃO - CONSUMO REGISTRADO NO MÊS

EQUIPAMENTO	LEITURA		GRANDEZA	CONSTANTE DE	MEDIDO
	ATUAL	ANTERIOR		FATURAMENTO	
UFO	56386	53449	kWh PT	0,840	246,00
UFF	267613	253341	kWh FP	0,840	1198,00
DMP	15948	14629	kW PT	0,840	110,79
DMF	18257	16777	kW FP	0,840	124,32
CDP	518154	472830	kWh PT	0,840	3807,00
CDF	5871708	5436307	kWh FP	0,840	38573,00
DDP	418	347	kW PT	0,3360	140,44
DDF	455	362	kW FP	0,3360	152,88

BASE CALC. PIS/COF ST (R\$): 2.130,83

BASE CALC. ICMS ST (R\$): 12.534,32

PARA PAGAMENTO APÓS VENCIMENTO, SERÁ COBRADA MULTA DE 2%, ACRESCIDA DE JUROS DE 0,0333% POR DIA DE ATRASO E CORREÇÃO MONETÁRIA PELO IPCA.

ESTA UNIDADE CONSUMIDORA ESTARÁ PASSÍVEL DE SUSPENSÃO DO FORNECIMENTO EM CASO DE NÃO PAGAMENTO DESTA FATURA, CONFORME LEGISLAÇÃO VIGENTE.

AGÊNCIA DE ATENDIMENTO / MENSAGENS

BRO ITACORUBI,160

Desconto de 49,02% sobre a tarifa TUSD de Demanda e Desconto de 42,23% sobre a tarifa TUSD de Consumo. O Desconto Total foi R\$ 3.459,28

CENSO 2022 - Entre agosto e outubro teremos o Censo 2022. Receba o recenseador do

INFORMAÇÃO DE TRIBUTOS

ICMS			PIS	COFINS
BASE DE CÁLCULO	ALÍQUOTA	VALOR DO IMPOSTO		
R\$ 14.576,09	17,00%	R\$ 2.331,54	R\$ 107,75	R\$ 498,01

Fonte: acervo do autor.

4 CONCLUSÃO E SUGESTÃO

4.1 Conclusão

Quando se discute energia, eficiência energética significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço ("realizar trabalho") com menos energia. Existem muitas idéias novas e podemos perceber que todas têm a necessidade de facilitar a execução de tarefas e mais atualmente aproveitar de maneira eficaz o potencial energético das fontes de energia, a fim de garantir que as próximas gerações tenham sobrevivência garantida.

Dentre diversas possibilidades de estudo sobre o assunto, o tema escolhido foi, na visão do autor, um dos mais importantes no dia a dia de qualquer ser humano, o consumo de água. Todos precisam consumir uma quantidade considerável de água por dia, seja para beber, tomar banho, cozinhar alimentos, lavar as mãos, etc.

Para que todos sejam abastecidos é necessário que os sistemas de bombeamento transportem a água de um reservatório para outro. Esses sistemas de bombeamento precisam trabalhar constantemente, pois precisamos de água todos os dias. Logo, fica claro que melhorar a eficiência desses sistemas se torna uma prioridade, algo necessário para aproveitar de maneira mais eficaz o potencial energético gasto todos os dias com esses sistemas.

O sistema estudado já está em funcionamento a mais de sete anos (desde sua última alteração), podemos considerar que é uma solução real e confiável.

Foi abordado um sistema de bombeamento que já opera com boa parte dos melhores equipamentos do mercado, que foi estudado e projetado de forma correta para o cliente.

Como o SAE Jurerê é um fornecedor de água, uma espécie de concessionária de Jurerê, esse sistema trabalha 24h por dia, raramente faz uma pausa entre uma bomba d'água e outra. Ele já trabalha com um *setpoint* estudado para atender os consumidores mais distantes do bairro, na temporada (verão), é possível acionar o modo controle de demanda. O controle de demanda funciona da seguinte forma: caso o *setpoint* selecionado para atender todos os consumidores não seja atingido funcionando somente uma bomba d'água, o próprio sistema (através de programação) reduz a velocidade dessa bomba em funcionamento e aciona a segunda, a segunda atinge a velocidade da primeira e passam a trabalhar junto, com a mesma frequência e velocidade até atingir o *setpoint* selecionado. É uma solução importante para quando o consumo do bairro aumenta e a pressão do sistema continua caindo mesmo com uma bomba funcionando a 100% de sua velocidade nominal.

Na primeira etapa onde é feito a troca dos motores, fica claro que se só trocar o motor não gera um retorno financeiro interessante no médio e curto prazo, pois a economia vai girar de 5 a 12% dependendo da diferença de rendimento entre os motores (antigo e novo) e o *payback* se torna pouco atrativo.

Durante o estudo da segunda etapa foi visto que o controle analógico do sistema (conforme demanda) é um dos principais triunfos do conjunto, esse sistema com variação de velocidade precisa obrigatoriamente de um inversor de frequência para variar a velocidade do motor. E pode ser aplicado em casos que não possuem motores especiais, gerando uma economia reduzida em relação a esta apresentada, mas muito satisfatória se comparada com sistemas sem controle de demanda. A pressão mínima e máxima do sistema pouco oscila, o limite inferior é 15MCA, o limite superior é 30MCA com o setpoint ajustado em 22MCA na maior parte do tempo. Como o sistema é acionado via Inversor de frequência, foi uma tarefa simples retirar os dados de consumo de cada equipamento, através do software superdrive da WEG. O custo dos equipamentos foi baseado no valor de mercado informado pela fabricante dos produtos de maior valor agregado (Conjunto Motor Wagnet e Inversor CFW11 WEG) do sistema e no valor informado pela EXPECTRON, empresa que fez a instalação e parametrização do sistema.

Para calcular o *payback* a opção foi de trabalhar com uma versão simples, ignorando o valor do dinheiro no tempo e os reajustes no valor do custo de energia e aquisição das peças, de forma que caso alguma empresa tenha interesse em adquirir o mesmo pacote de peças e serviços nos dias de hoje, ele estaria nessa faixa de preço informada.

Os resultados obtidos com a medição em campo onde um motor de 93A esta consumindo 23A, torque no motor de 26,2%, que pode consumir 55kW e esta consumindo 12,8kW com fator de potência 0,92 foram bastante satisfatórios e validam os resultados obtidos pelo software SEE+ que faz os cálculos através dos dados levantados em campo, de forma conservadora.

Conclui-se que a eficiência energética é um tema amplo, e o conceito e a cultura também precisa ser explorada tanto quanto os demais processos consumidores de eletricidade.

Conclui-se, também, a importância da integração entre as áreas de Tecnologia, Análise de dados e Manutenção. Pois a cooperação, empenho e conhecimento de cada segmento são fundamentais na redução de custos e no combate ao desperdício.

4.2 Sugestão

4.2.1 Troca da Bomba D'água

Como em um sistema de bombeamento existem diversos pontos de melhoria e o trabalho foi focado na troca do motor e do acionamento, um ponto que ainda permanece ultrapassado é a bomba mancalizada, esse equipamento já possui mais de dez anos de uso e hoje em dia já existem bombas mais eficientes e que entregam uma maior vazão no mesmo ponto de trabalho, caso seja feita a troca da bomba atual por uma nova de maior vazão, seria possível reduzir o setpoint e fazer com que o motor trabalhasse ainda mais leve. Gerando um ganho extra de eficiência energética.

REFERÊNCIAS

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: EPUSP, 2006.

EPE. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2022. Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em 12 mai. 2022

COLOMBO. **Entenda o Selo Procel do INMETRO**. 2021. Disponível em:
<https://www.colombo.com.br/blog/estilo-de-vida/entenda-o-selo-procel-do-inmetro>. Acesso em 13 mai. 2022

KSB BOMBAS HIDRÁULICAS SA. **Manual de Curvas Características**. 2005. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/frame.htm>. Acesso em 22 mai. 2022.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: dimensionamento econômico e operação de redes elevatórias**. 2. ed. rev. amp. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2005

WEG. **Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG**. 2017. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf/>. Acesso em 12 mai. 2022

PERFIL ENERGIA. **Eficiência energética e redução de consumo: motores elétricos**. 2020. Disponível em: <https://perfilenergia.com.br/eficiencia-energetica-e-reducao-de-consumo-motores-eletricos/>. Acesso em 14 mai. 2022

WEG. **W22 Magnet Drive System**. 2021. . Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf3/he1/WEG-w22-magnet-drive-system-50015189-brochure-portuguese-web.pdf> . Acesso em 18 mai. 2022

RR MOTORES. **Eficiência energética agora é lei, motor IR3 é o novo padrão de mercado**. 2021. Disponível em: <https://www.rrmotores.com.br/post/motor-ir3-e-o-novo-padrao-de-mercado>. Acesso em 19 mai. 2022

PORTAL DA INDUSTRIA. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. 2005. Disponível em:
http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualBombeamento.pdf. Acesso em 17 mai. 2022

REVISTA POTENCIA. **Mudança de Nível**. 2021. Disponível em:
<https://revistapotencia.com.br/eletricista-consciente/artigos-tecnicos/mudanca-de-nivel/>
 Acesso em 19 mai. 2022

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos** 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

Empresa de Pesquisa Energética **EPE**. 2022. Disponível em:
[https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica#:~:text=Efici%C3%Aancia%20significa%20fazer%20mais%20\(ou,trabalho%22\)%20com%20menos%20energia](https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica#:~:text=Efici%C3%Aancia%20significa%20fazer%20mais%20(ou,trabalho%22)%20com%20menos%20energia). 2022

REVISTA WEG. **WEG**. 2007. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h39/WEG-motor-de-imas-permanentes-e-inversor-de-frequencia-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. 2007

FRIOPLUS, 2022. Disponível em: <https://www.frioplus.com.br/artigos.php>. Acesso em 14 de mai. 2022.

SANEINFRA, 2022. Disponível em: <https://www.planetasaneamento.com.br/estacao-pressurizadora-de-agua-tratada-epat-booster>. Acesso em 18 de mai. 2022.