

## Capítulo II – Estudo da Eficiência Energética de Motores Elétricos na Indústria Farmacêutica

Wagner de Lima Santos <sup>4</sup>

Renato Kazuo Miyamoto <sup>5</sup>

Fabio Rodrigo Milanez <sup>6</sup>

Luciano Barbosa <sup>7</sup>

### RESUMO

Este artigo aborda a análise da eficiência energética em motores elétricos utilizados em uma indústria farmacêutica, focando no sistema de bombeamento e refrigeração de água. A metodologia empregada inclui a coleta de dados experimentais, como tensão, corrente e fator de potência, por meio de um analisador de energia, para avaliar o desempenho do motor em operação e propor melhorias. Com base nos resultados obtidos, é analisada a viabilidade de substituição do motor por um modelo mais eficiente, alinhado às regulamentações vigentes e visando a redução de custos e o aumento da eficiência operacional.

Palavras-chave: Eficiência energética, Motores elétricos, Indústria farmacêutica.

### Energy Efficiency Analysis in Electric Motors in a Pharmaceutical Industry

### ABSTRACT

This article addresses the analysis of energy efficiency in electric motors used in a pharmaceutical industry, focusing on the water pumping and refrigeration system. The methodology employed includes the collection of experimental data, such as voltage, current, and power factor, using an energy analyzer to evaluate the performance of the motor in operation and propose improvements. Based on the results obtained, the feasibility of replacing the motor with a more efficient model, aligned with current regulations and aimed at reducing costs and increasing operational efficiency, is analyzed.

**Key words:** Energy efficiency, Electric motors, Pharmaceutical industry.

---

<sup>4</sup> Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina. [delimasantoswagneremail@email.com](mailto:delimasantoswagneremail@email.com)

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Elétrica. UniSenaiPR - Campus Londrina, [renato.miyamoto@sistemafiep.org.br](mailto:renato.miyamoto@sistemafiep.org.br)

<sup>6</sup> Mestre em Bioenergia. UniSenaiPR - Campus Londrina, [fabio.milanez@sistemafiep.org.br](mailto:fabio.milanez@sistemafiep.org.br)

<sup>7</sup> Mestre em Engenharia Mecânica.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do ONS-operador nacional do sistema elétrico (2023), cerca de 58% da geração elétrica no Brasil é proveniente da energia hidráulica. Desta forma, os aspectos climáticos relacionados ao período de seca, podem contribuir para que as bandeiras tarifárias subam devido ao aumento do custo de geração de energia. De acordo com fabricante nacional de motores elétricos a WEG<sup>4</sup> (2023), o setor industrial brasileiro consome cerca de 45% da energia elétrica do país e 70% do consumo é utilizado para o acionamento de motores elétricos.

Segundo dados do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2023), os fabricantes de motores elétricos têm que atender aos requisitos mínimos em eficiência energética alinhado com o decreto presidencial de 8 de dezembro de 1993. O objetivo principal consiste em identificar os produtos que apresentem melhores níveis de eficiência energética em uma dada categoria de equipamentos.

Segundo estimativa levantado em 2019 pela EPE – empresa de pesquisa energética o plano decenal de expansão de energia é esperado até o ano 2029 uma redução no consumo de energia elétrica no setor industrial de 6%. Neste cenário, uma das características principais em uma indústria farmacêutica, consiste na utilização de equipamentos para o condicionamento de ar, nestes equipamentos, os motores de indução são aplicados em grande escala.

O setor de utilidades em uma indústria farmacêutica é responsável pelas maiores cargas indutivas em potência e em quantidade da planta, logo, existe uma grande abertura para realização de melhorias visando a utilização inteligente da energia empregada para o processo. A vida útil dos motores de indução, de acordo com a ABRAMAM - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (2011) é de 17 anos. Paradas inesperadas em qualquer processo produtivo, gera gastos desnecessários com manutenção e muitas vezes com a matéria prima que se perdeu durante a parada.

Um estudo do Centro Técnico Científico da PUC-RIO avaliado por Calli afirma que “ainda que, à primeira vista, o preço mais barato seja mais atrativo, os motores obsoletos possuem eficiência comprometida, vida útil curtíssima e consumo energético excessivo, o que acaba encarecendo o motor reformado”.

O estudo também estima que a cada recondição de um mesmo motor ocorra a perda de 2% do seu rendimento e que o total de motores reconicionados seja responsável por 2,8% da emissão de GEE - Gases de Efeito Estufa liberados na atmosfera só no Brasil. O objetivo do estudo, é realizar uma análise de viabilidade de medidas de eficiência energética, analisando os motores elétricos, métodos de controle para um melhor aproveitamento da energia elétrica, os conceitos fundamentais para a aplicação dos métodos e uma base de estudo com levantamento de valores para realizar a substituição de motores já em operação.

Assim, a principal motivação deste trabalho consiste na análise da eficiência energética em motores elétricos de uma indústria farmacêutica. Para isto, uma verificação detalhada sobre os métodos de acionamento, taxa de carga e dimensional dos condutores será realizada e aplicada nesta indústria do setor farmacêutico localizada em Cambé – Paraná, que se caracteriza por ser líder global no mercado de biossimilares e medicamentos genéricos, com ampla estrutura conta com equipamentos que garantem a estabilidade da produção de medicamentos.

O processo que levará o foco desse trabalho será o de refrigeração e bombeamento de água, aplicadas para diversas etapas do processo produtivo. Nesse contexto, o uso dos motores elétricos de indução torna-se essencial. Assim, são coletados os dados de tensão, corrente, potência, fator de potência, taxas de distorção harmônicas para o desenvolvimento para proposta de melhoria de eficiência energética nessas máquinas. A seguir, serão descritos os aspectos relacionados ao estado da arte, utilizados nessa pesquisa.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DOS MOTORES DE INDUÇÃO**

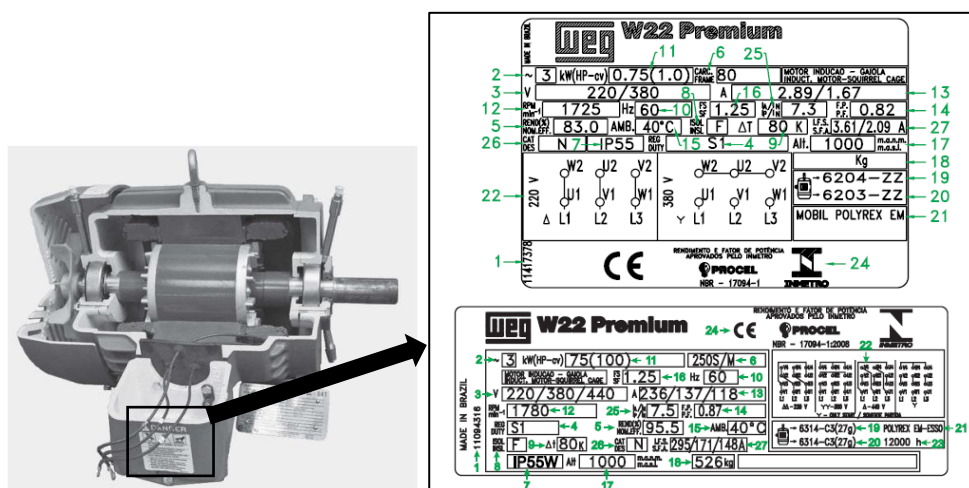
Nos últimos anos, programas relacionados com a eficiência energética têm crescido e ganhado força em território nacional. A busca por desenvolvimento preservando a sustentabilidade se torna um desafio para as indústrias visto que a capacidade de produção somente aumenta. Com essa crescente demanda, a busca por redução de preços dos medicamentos genéricos se torna um desafio tendo em vista um mercado amplo e diversificado.

Dentro de uma indústria farmacêutica o departamento de engenharia é um dos departamentos que mais necessitam de investimentos para o funcionamento, seja na aquisição de novos equipamentos ou na manutenção do maquinário existente (preventivas), e as manutenções que surgem durante o processo produtivo as chamadas manutenções corretivas.

Segundo Chapman (2013, p. 01) “[...] uma máquina elétrica é um dispositivo que pode converter tanto a energia mecânica em energia elétrica como a energia elétrica em energia mecânica.” Muitas vezes a falta de manutenção adequada somada ao tempo de utilização, ano de fabricação, resultam em perdas elétricas. O efeito Joule é o exemplo mais palpável que temos quando o assunto é referente a rendimento dos motores. O aquecimento da carcaça do motor, nada mais é do que a conversão de energia elétrica em energia térmica.

O estudo foi direcionado a motores de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo. Esse equipamento é o mais comum de ser utilizado em indústrias devido a sua facilidade de ligação, custo, e a manutenção ser relativamente fácil em comparação com outros tipos de motores além de ser versátil, podendo ser utilizado para diversas aplicações na indústria. Na Figura 1(a), observa-se a vista em corte longitudinal de um motor de indução de 460v, 7,5 HP com rotor gaiola de esquilo.

Figura 1 – Motor de indução: (a) Visão em corte motor de indução; (b) placa de identificação.



Fonte: Umans, Stephen D. (2014 p.199).

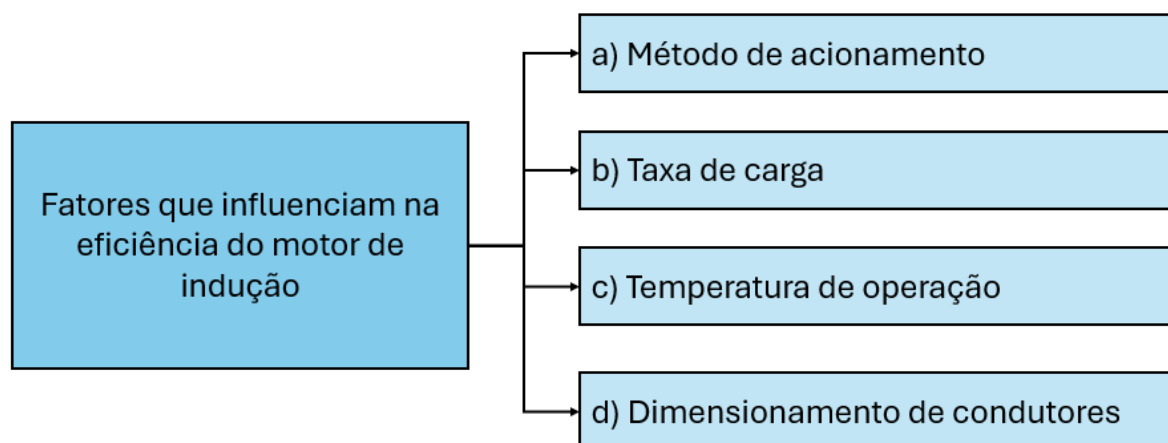
Na Figura 1(b), observa-se uma placa de identificação de um motor de indução trifásico da linha W22 premium da WEG. O motor de código [1] é um equipamento trifásico [2] projetado para operar em uma tensão nominal de [3] volts. Seu regime de serviço é [4], garantindo um rendimento de [5] %. O modelo da carcaça é [6], com grau

de proteção [7], adequado para ambientes com classe de isolamento [8], que suporta uma temperatura de [9] °C. O motor funciona com uma frequência de [10] Hz e tem uma potência nominal de [11] kW, com uma rotação de [12] rpm. A corrente nominal de operação é de [13] A, com um fator de potência de [14]. A temperatura ambiente para operação segura é de [15] °C, e o motor possui um fator de serviço de [16]. Ele pode ser instalado a uma altitude de até [17] metros, e sua massa total é de [18] kg.

Os rolamentos são especificados como [19] na parte dianteira e [20] na parte traseira, com a quantidade de graxa correspondente. A graxa utilizada nos rolamentos é do tipo [21]. O esquema de ligação para a tensão nominal é [22], e o tempo recomendado para relubrificação é de [23] horas de operação. O motor possui certificações [24] que garantem sua conformidade com normas de qualidade. A relação entre a corrente de partida e a corrente nominal é de [25], com categoria de conjugado [26], e a corrente no fator de serviço é de [27] A.

Os fatores que influenciam a eficiência do motor de indução podem ser classificados em diferentes aspectos, conforme ilustrado na Figura 2. O método de acionamento impacta diretamente o comportamento do motor, podendo otimizar ou prejudicar seu desempenho.

Figura 2 – Fatores que influenciam na eficiência do motor de indução.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 2, a taxa de carga influencia a eficiência, sendo que motores operando em carga parcial geralmente apresentam menores níveis de eficiência. A temperatura de operação afeta as perdas internas do motor, onde temperaturas elevadas podem aumentar as perdas resistivas e reduzir a vida útil dos componentes.

Por fim, o dimensionamento de condutores adequado garante que as perdas por resistência nos cabos sejam minimizadas, contribuindo para a eficiência geral do sistema.

**a) Acionamento:** quando se pensa em eficiência energética em motores de indução, o rendimento é um dos principais fatores considerados. No entanto, outros aspectos também precisam ser analisados, como a escolha do método de partida adequado, que depende do tipo de processo em que o motor será utilizado. Em sistemas simples, como o controle de nível em tanques ou caixas d'água, geralmente não há controle de velocidade programável. Nessas situações, o motor é acionado por métodos como partida direta ou estrela-triângulo. Ambos os métodos geram um pico de corrente no início, o que pode resultar em um maior consumo de energia ao longo do funcionamento do motor.

**b) Taxa de carga:** a taxa de carga em motores de indução refere-se à relação entre a carga aplicada ao motor (ou seja, a potência que ele está entregando) e a capacidade nominal do motor. Essa taxa é expressa como uma porcentagem e é um indicador de quão eficientemente o motor está operando em relação à sua capacidade projetada. A equação (1) define como calcular essa taxa.

$$\text{Taxa de carga (\%)} = \left( \frac{\text{potência de saída real (KW)}}{\text{potência nominal (KW)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

A taxa de carga em eficiência energética diz muito se o motor vai consumir mais energia do que o necessário. Um motor bem dimensionado, operando próximo a sua taxa de carga nominal tende a ser mais eficiente, pois perdas internas são proporcionais a sua carga e o efeito dessas perdas é minimizado. Outro ponto é com relação a sua vida útil, em operação normal o equipamento não irá ter perdas por efeito joule elevadas.

Já em motores que a taxa de carga está abaixo de 50%, a eficiência é diminuída significativamente, como citado acima, as perdas internas no motor continuam mesmo quando o motor está com um alívio de carga, com isso o fator de potência diminui, fazendo assim aumentar o tráfego de energias reativas na rede.

**c) Temperatura de operação:** a temperatura de operação é um parâmetro muito importante para a vida útil do motor e a própria eficiência energética em si. Atualmente

existem classes de isolamentos nas bobinas dos motores, essa temperatura deve ser respeitada visto que Valores elevados de temperatura podem por exemplo representar o início de uma falha ou indícios de sobrecarga. A transformação de energia elétrica em energia térmica pode representar um consumo de energia maior. A falta de manutenção preventiva nesses equipamentos pode agravar a situação, a dissipação de calor é algo que dever ser pensado para aumentar assim a vida útil dos equipamentos. Alternativas como ventilação forçada, termômetros no interior do motor, acompanhamento preditivo pode evitar tais falhas e diminuir o consumo elétrico dos motores de indução.

**d) Dimensionamento de condutores:** com o avanço da tecnologia em processos produtivos, máquinas e equipamentos, a saúde e segurança não podem ficar para trás. O correto dimensionamento dos condutores de energia elétrica é de suma importância, condutores especificados abaixo mínimo necessário, podem sofrer um superaquecimento causando derretimento e conseqüentemente curto-circuito.

Além desse problema, o mal dimensionamento pode resultar em quedas de tensão excessivas que do ponto de vista de eficiência energética é ruim pois o motor vai operar fora da faixa recomendada pelo fabricante.

Para a determinação da bitola dos condutores, é necessário saber de alguns parâmetros. A corrente nominal, distância do equipamento até o ponto de alimentação, fator de potência, rendimento, tensão, capacidade de condução de corrente dos condutores e entre outros. Na equação (2) podemos ver como se determina a corrente nominal de um motor elétrico trifásico.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi \times \eta} \quad (2)$$

onde: I é a corrente (A); P é a potência (W); V é tensão (v);  $\cos\phi$  é o fator de potência e  $\eta$  é o rendimento. O item 6.5.1.3.1 da NBR 5410 (instalações elétricas de baixa tensão) diz que “No dimensionamento dos condutores do circuito terminal que alimenta exclusivamente um motor, deve ser considerada uma corrente de projeto IB no mínimo igual à corrente nominal do motor, nas condições de utilização.”

Ainda na norma NBR5410 sobre dimensionamento de condutores, na alínea 6.2.7.1 item “C” Nos traz que a queda de tensão não deve passar de 5%, calculados a partir

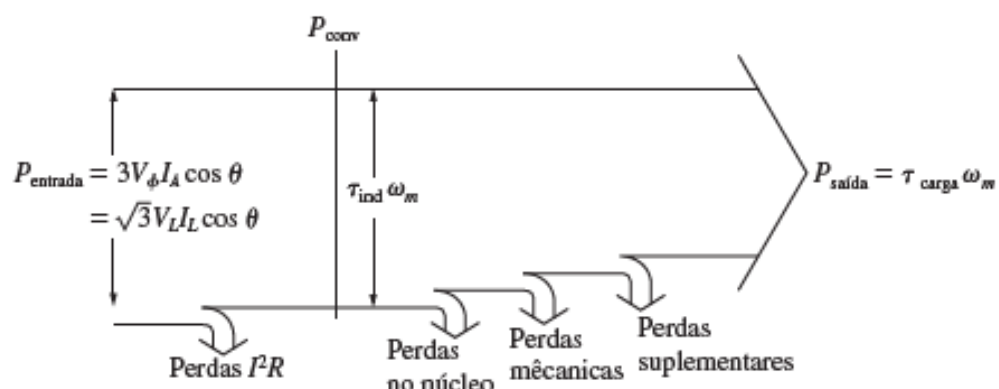
do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição. A equação (3) refere-se ao cálculo de queda de tensão.

$$\Delta v = \frac{2 \times L \times I \times R_{condutor}}{A} \quad (3)$$

onde  $\Delta v$  é a queda de tensão;  $L$  é o comprimento do condutor em metros;  $I$  é a corrente elétrica em amperes;  $R_{condutor}$  é a resistividade do condutor;  $A$  é a área de secção transversal do condutor em mm<sup>2</sup>.

Para utilizar um motor elétrico de indução de forma eficiente, é importante seguir algumas regras. Quanto menos perdas ocorrerem ao transformar energia elétrica em energia mecânica, maior será a eficiência. Utilizar a energia de maneira inteligente ajuda a reduzir o consumo. Na Figura 3 observa-se o fluxo de potência nos equipamentos citados.

Figura 3 – Fluxo de potência no motor de indução.



Fonte: Chapman (2013, p.185).

Todos os sistemas, seja ele mecânico, hidráulico, pneumático ou elétrico sofrem algum tipo de perda, com isso, o rendimento total do sistema diminui e o gasto energético aumenta para compensar esse tipo de desperdício. Nas máquinas de indução trifásicas, as perdas estão relacionadas majoritariamente com o efeito joule, temos também uma pequena parcela direcionada as perdas mecânicas da máquina. O rendimento pode ser calculado por (Chapman, 2013):

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (4)$$

Nos motores elétricos ocorrem os tipos de perdas conforme seguinte: perdas no cobre, no núcleo, perdas mecânicas e suplementares. Os enrolamentos do estator e do rotor são compostos de cobre condutor para gerar um campo magnético e dessa forma gerar o conjugado mecânico. Para essa transformação há nos condutores um aquecimento devido a circulação de corrente elétrica. Podemos definir essas perdas com base na equação (5).

$$P = 3 \times I_a^2 \times R_a \quad (5)$$

em que  $I_a$  é a corrente que flui em cada fase da armadura e  $R_a$  é a resistência de cada fase da armadura. A equação (6) refere-se as perdas no cobre do rotor de uma máquina de indução trifásica.

$$P_{pcr} = I_F^2 \times R_F \quad (6)$$

onde  $I_F$  é a corrente que flui no enrolamento de campo do rotor, e  $R_F$  é a resistência do enrolamento de campo. As perdas no núcleo ocorrem devido à histerese e correntes parasitas no metal do motor. Essas perdas variam com o quadrado da densidade de fluxo e, no estator, com a potência de 1,5 da velocidade de rotação dos campos magnéticos (Chapman, 2013).

As perdas mecânicas incluem o atrito nos rolamentos e as perdas por ventilação, causadas pelo atrito entre partes móveis e o ar dentro do motor, variando com o cubo da velocidade de rotação. As perdas no núcleo e mecânicas são chamadas de perdas rotacionais a vazio, que podem ser estimadas ao medir a potência de entrada do motor vazio. As perdas suplementares são aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores e representam, por convenção, cerca de 1% da carga total (Umans, 2014).

Em comparação com um motor com ano de fabricação mais recente e com melhor rendimento, nota-se a diferença na construção física da máquina girante, conforme informações a seguir:

- a) **Chapas magnéticas:** Com chapas de melhor qualidade fazendo parte do sistema do rotor e do estator, pode-se obter menores perdas por histerese e por correntes induzidas. Em comparação com motores da linha standard as perdas são bem maiores. É possível obter também um melhor

resultado realizando tratamentos térmicos e redução da espessura das chapas, com isso pode-se reduzir ainda mais as perdas associadas ao bom funcionamento do equipamento.

- b) **Ventilador:** A construção física do ventilador é projetada para ter uma melhor eficiência, sendo possível uma melhor troca térmica e reduzindo as perdas por ventilação.
- c) **Enrolamentos do Estator e do Rotor:** Na fabricação, são utilizados cobre de melhor qualidade e menor resistência elétrica, contribuindo com a redução das perdas por efeito joule.
- d) **Rolamentos:** São empregados rolamentos especiais com menor coeficiente de atrito entre as esferas e a pista do rolamento. Com isso é possível ter ganhos com relação à diminuição de perdas energéticas e aumento da vida útil desses elementos.

## 2.2 MÉTODOS DE PARTIDA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO

Nesta seção serão discutidos os aspectos relacionados aos principais métodos para o acionamento de motores de indução. O princípio de funcionamento de qualquer motor de indução, é baseado na interação entre campos magnéticos (entre o rotor e o estator) tendo com resultante o torque na ponta do eixo para movimentação de cargas conforme projeto e aplicação.

No momento em há energização no estator da máquina através de uma tensão alternada cria-se um campo girante, a medida em que esse campo corta os condutores presente no rotor, cria-se um força-eletromotriz, em paralelo é criado também um campo magnético que interage com o estator, com isso é produzido o torque magnético que resulta na rotação do rotor. Além disso, é necessário que a velocidade do rotor seja um pouco menor que a rotação do campo do estator, com isso temos a rotação síncrona do equipamento conforme equação (7):

$$W_s = \frac{120 * f}{p} \quad (7)$$

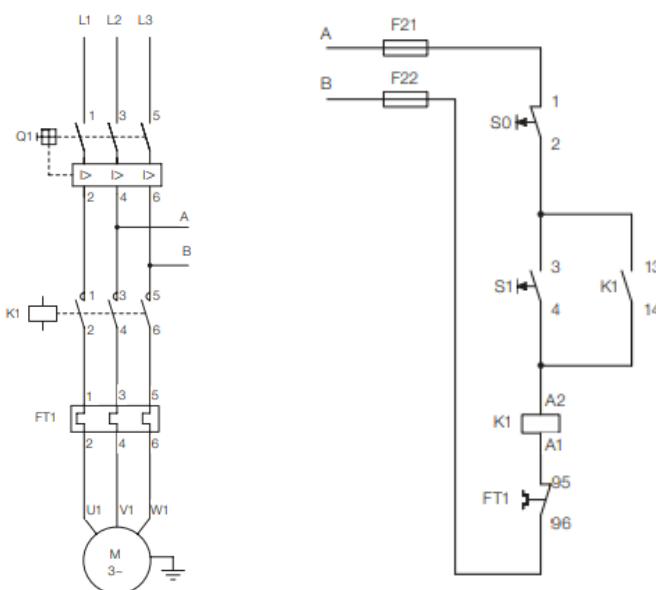
onde  $W_s$  é a rotação síncrona;  $f$  é a frequência da rede elétrica e  $p$  é o número de polos magnéticos do motor.

### 2.2.1 PARTIDA DIRETA

O método de acionamento de um motor de indução trifásico por partida direta, é o método mais simples e com baixo custo para a conversão de energia elétrica em energia mecânica, é também um método limitado e que não oferece nenhum tipo de controle. A ligação consiste em conectar diretamente os terminais das bobinas de forma ordenada na rede de alimentação elétrica, fazendo assim com que o motor funcione em sua capacidade nominal de rotação por minuto (RPM).

O diagrama elétrico potência é a forma com que se representa a ligação entre rede elétrica, elementos de ligação, elementos de proteção e carga. Já um diagrama de comando, representa a sequência de acionamento para que a carga entre em funcionamento corretamente (Chapman, 2013). Na Figura 4 observa-se o diagrama de potência e comando de uma partida direta, recomendações de ligação segundo a fabricante WEG.

Figura 4 – Diagrama de potência e comando de uma partida direta.



Fonte: Guia de partidas WEG

No diagrama da Figura 4, o disjuntor termomagnético Q1 protege o sistema contra curtos-circuitos, interrompendo o fornecimento de energia ao motor em caso de sobrecorrente. O contato K1 é responsável por ligar e desligar o motor sob comando dos botões de controle, enquanto o relé de sobrecarga

térmico FT1 monitora a corrente do motor, desligando o circuito em caso de sobrecarga prolongada, protegendo assim o motor. O motor trifásico M é a carga principal do circuito. Para proteção do sistema de controle, os fusíveis F21 e F22 são utilizados para evitar danos por curtos-circuitos nos comandos. O controle do motor é feito pelos botões de comando S0 e S1, onde S1 é utilizado para ligar o motor, acionando o contator K1, e S0 para desligar o motor, abrindo o circuito de controle. Esse arranjo garante a operação segura do motor, com proteção contra falhas e sobrecargas, além de facilitar o controle simples através dos botões de comando.

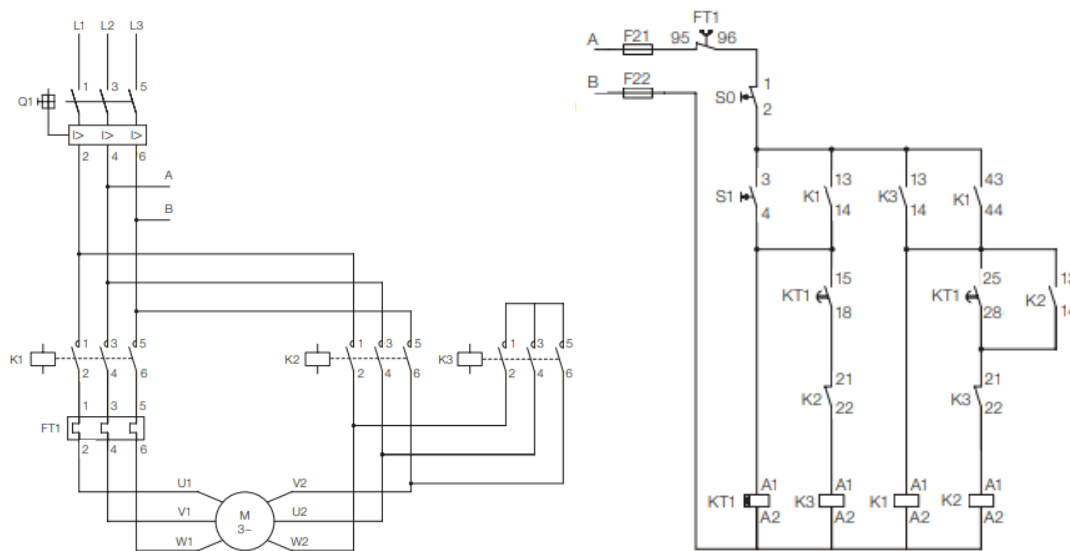
Segundo Franchi (2008, p155), existem algumas desvantagens nesse método de partida devido a elevada corrente nos instantes iniciais “[...]A acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede que ocasiona interferências em equipamentos instalados no sistema[...] os sistemas de acionamento devem ser superdimensionados, elevando o custo do sistema [...]”

### **2.2.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO**

Levando em consideração o exposto sobre a partida direta, Ramos (2005 p.32) diz que; “[...] A chave estrela - triângulo é utilizada para amenizar os efeitos da partida de motores elétricos no sistema de alimentação. Durante a partida, a corrente e o conjugado do motor ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais, de forma que este sistema poderá ser utilizado, somente em casos em que o conjugado do motor em estrela, for maior que o conjugado da carga, no eixo do motor. [...]”. A Figura 5 ilustra o diagrama de potência e comando para um acionamento estrela triângulo.

O circuito de acionamento de um motor de indução com partida estrela-triângulo utiliza alguns componentes importantes. O disjuntor termomagnético Q1 serve para proteger contra curtos-circuitos, desligando a energia se houver uma sobrecarga. Os contadores K1, K2 e K3 são responsáveis pela transição entre as ligações em estrela e triângulo, permitindo que o motor inicie de forma mais suave.

Figura 5 – Diagrama de potência e comando para um acionamento estrela triângulo.



Fonte: guia de seleção de partidas WEG p.19

Ainda, o relé de sobrecarga térmico FT1 desliga o motor caso ele trabalhe com sobrecarga por muito tempo, protegendo-o de danos. O motor M é o equipamento trifásico acionado, enquanto os fusíveis F21 e F22 protegem o circuito de controle. Os botões S0 e S1 são usados para desligar e ligar o motor, respectivamente. O relé temporizador KT1 faz a troca automática da ligação estrela para a ligação triângulo após um tempo pré-definido, completando a partida do motor de forma controlada e segura.

### 2.2.3 PARTIDA ELETRÔNICAS

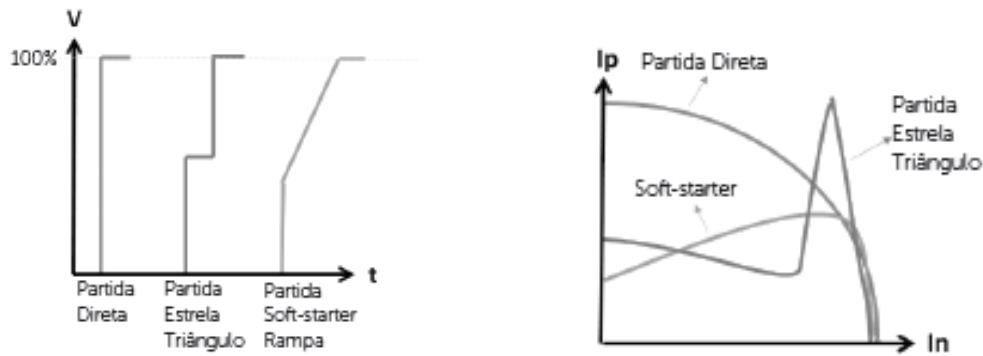
Na indústria, um controle de partida de motores com elevadas cargas é crucial para o processo produtivo. Conforme citado por Mario Ramos (2005 p.36) “[...] o Soft - Starter é uma chave de partida a estado sólido microprocessada, que controla o ângulo de disparo de um conjunto de pares de tiristores, aplicando uma tensão variável nos terminais do motor durante a sua aceleração. [...]”. Com esse tipo de partida, é possível ajustar o torque do motor e a corrente de partida de acordo com as necessidades da carga, permitindo definir os valores desejados para cada aplicação. Nesse tipo de acionamento a principal função segundo Mamede Filho (2004) é o acionamento em rampa de tensão, essa função gera na saída um valor controlado de tensão na entrada do motor de indução trifásico, consequentemente possível controlar valores de torque.

Tendo em vista as informações obtidas até o momento, podemos notar que os métodos de partidas de motores são em sua maioria, eficientes, porém incontrolláveis. Segundo Luana Silva (2022) o inversor de frequência é capaz de controlar a frequência de saída através da disponibilização de energia na entrada do equipamento. Os inversores de frequência foram criados não somente para partir os motores de gaiola, mas também para controlar a velocidade e o torque do motor. Os inversores entregam ao motor as 3 fases da rede com frequências e tensões variáveis, de acordo com a necessidade do processo ou com a necessidade do programador. Os inversores modernos, variam a frequência e calculam a tensão de forma a manter a corrente no motor constante e igual a corrente nominal do motor (Nascimento, 2015).

De acordo com Guedes (2015), o controle de chaveamento é realizado com uma ponte retificadora na entrada da alimentação trifásica. A tensão contínua ligada aos terminais de saída pelos os tiristores, que funcionam no corte ou na saturação como uma chave estática. Os transistores trabalham como botão liga ou desliga, de forma que a onda de tensão de saída do conversor de frequência e sempre quadrada, para ter uma tensão de saída mais próxima da senoidal, os transistores é que modula a largura de pulso através de uma técnica chamada PWM (*Pulse Width modulation*).

Resumidamente, em motores elétricos que utilizam a partida direta, a corrente tende a subir rapidamente nos instantes iniciais e a diminuir gradualmente com o tempo. Por outro lado, na partida estrela-triângulo, o motor é inicialmente acionado com a corrente reduzida a 1/3 da corrente nominal, devido ao seu arranjo em estrela. Após um curto período, o motor é temporariamente desligado e os terminais são comutados para a configuração em triângulo por meio de uma contatora, momento em que o motor é religado, permitindo o funcionamento com a corrente nominal. É dessa sequência de comutação que surge o nome "partida estrela-triângulo". Desta forma, observando a Figura 6, verifica-se o comportamento da corrente elétrica considerando os tipos de acionamento. O método de partida por *soft-starter*, entre esses métodos é o melhor, pois a curva de corrente é bem acentuada, fazendo com que o motor sofra menos estresse no momento da partida. E do ponto de vista de eficiência energética esse método é um dos melhores, pois existe uma economia de energia devido ao disparo dos SCRs.

Figura 6 – Comparativo entre as partidas.



Fonte: Guimarães, Herbert Oliveira 2018

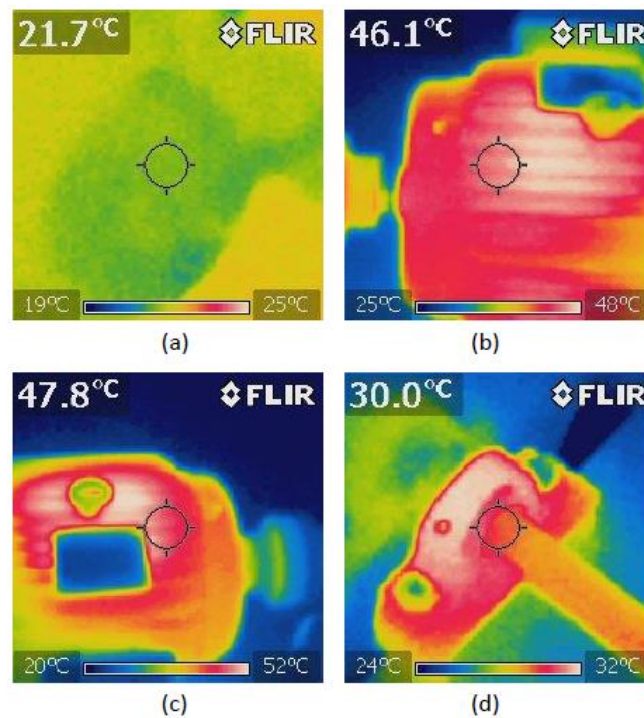
Segundo Praxedes 2011 “o rendimento global do sistema de potência depende não apenas do motor, mas também do controle. Os conversores estáticos de frequência apresentam rendimento elevado, da ordem de 97% ou mais. Motores elétricos também apresentam alto rendimento, chegando a 95% ou mais em máquinas maiores operando sob condições nominais. Na variação eletrônica de velocidade a potência fornecida pelo motor varia de maneira otimizada, influenciando diretamente a potência consumida e conduzindo a elevados índices de rendimento do sistema (motor + conversor).”

### 2.3 ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS

O trabalho de Miyamoto (2022) destaca a relevância do sistema de resfriamento e ventilação no projeto térmico de máquinas elétricas, especialmente as de pequeno porte, que geralmente são resfriadas a ar. Nessas máquinas, a temperatura do ar pode aumentar entre 18°C e 27°C durante a operação, e para cada quilowatt de perdas, é necessária uma taxa de ventilação de 0,033 a 0,05 m<sup>3</sup>/s de ar. Além disso, a norma NBR 7094 (Máquinas Elétricas Girantes) estabelece limites específicos para a elevação de temperatura, garantindo a segurança e o desempenho das máquinas. A Figura 7 ilustra um exemplo de ensaio termográfico em motores de indução durante sua operação.

De acordo com essa norma, duas condições precisam ser atendidas: i) a temperatura do ar ambiente deve ser inferior a 40°C, sendo que acima desse valor, as condições de operação são consideradas especiais; ii) a diferença entre a temperatura média da máquina e o ponto mais quente não pode exceder 15°C. Esses critérios asseguram que a máquina opere dentro de uma faixa segura de temperatura, prevenindo falhas relacionadas ao superaquecimento.

Figura 7 – Ensaio termográfico em motores de indução.



Fonte: Miyamoto (2022)

De acordo com essa norma, duas condições precisam ser atendidas: i) a temperatura do ar ambiente deve ser inferior a 40°C, sendo que acima desse valor, as condições de operação são consideradas especiais; ii) a diferença entre a temperatura média da máquina e o ponto mais quente não pode exceder 15°C. Esses critérios asseguram que a máquina opere dentro de uma faixa segura de temperatura, prevenindo falhas relacionadas ao superaquecimento.

A sobrevida térmica das máquinas elétricas está diretamente relacionada à sua capacidade de dissipar calor de forma eficiente. Quando a temperatura interna excede os limites estabelecidos, o isolamento dos enrolamentos e outros componentes críticos começam a se degradar, reduzindo significativamente a vida útil da máquina. A cada 10°C de aumento na temperatura de operação acima da recomendada, a sobrevida da máquina pode ser reduzida pela metade, conforme apontado por diversas normas de engenharia.

Outro fator importante para a sobrevida térmica é a manutenção adequada do sistema de resfriamento, seja ele a ar, água ou outro fluido. Ventiladores obstruídos, sistemas de ar sujos ou trocadores de calor entupidos podem comprometer a dissipação de calor, resultando em um aquecimento excessivo da máquina e encurtando sua vida útil. Portanto, a implementação de

um sistema de monitoramento de temperatura e a manutenção preventiva são essenciais para garantir a durabilidade e a eficiência das máquinas elétricas.

## 2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ACIONAMENTO DE MOTORES

Em qualquer tipo de indústria quando é falado em eficiência energética, logo é pensado em redução de desperdícios e redução na fatura de energia. Porém a eficiência energética vai além disso, ter um olhar técnico avançado sobre o processo em que se emprega uma grande quantidade de energia faz total diferença. Somado com tecnologias avançadas e um bom entendimento sobre as ferramentas de trabalho é possível reduzir custos e aumentar a eficiência de qualquer processo.

Em acionamentos de motores elétricos de indução, um projeto mau dimensionado e com um tipo de partida incompatível com o processo pode elevar os custos com manutenção e os custos com transformação de energia, conforme visto acima partidas por conversores eletrônicos podem ser uma ótima solução, somado com a automação e máquinas mais eficientes podemos elevar o patamar do processo.

A leitura dos dados é algo imprescindível, pois a partir deles é que podemos tirar algumas conclusões. Dados como potência ativa, reativa e aparente, corrente elétrica, tensão, fator de potência são os dados básicos para qualquer análise.

**CÁLCULO DA TAXA DE CARGA:** Este cálculo determinará a porcentagem no qual o motor está operando, classificando em subcarga, carga nominal ou sobrecarga.

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = \left( \frac{I_{op}}{I_{nm}} \right) \times 100 \quad (8)$$

onde  $I_{op}$  é a corrente de operação da máquina e  $I_{nm}$  é a corrente nominal do motor.

**CÁLCULO DE POTÊNCIA ATIVA:** A potência ativa ( $P_a$ ) pode ser calculada como:

$$P_a = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op} \times \cos\phi \quad (9)$$

os valores de  $V_{op}$  que é relativo à tensão elétrica do motor, logo que se diz respeito a corrente operacional do motor. Tem também  $\cos\phi$  que o fator de potência.

**POTÊNCIA ÚTIL DO MOTOR ATUAL:** A potência útil ( $P_u$ ) do motor refere-se à potência que é entregue de fato ao eixo do motor tirando os fatores de perdas, como por exemplo as perdas térmicas, perdas mecânicas e entre outros. A equação 9 diz respeito ao cálculo teórico dessa grandeza.

$$(10) \quad P_u = \frac{P_a \times \eta}{0,736}$$

onde  $P_a$  é a potência ativa e  $\eta$  é o rendimento da máquina de indução.

**VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO PELA RELAÇÃO DE POTÊNCIAS:** O cálculo fundamenta-se na relação de potências para saber se realmente vale a pena substituir um motor em operação. Espera-se um resultado menor que 0,60. Caso o valor seja maior, é necessário avaliar outros quesitos para justificar a substituição do equipamento:

$$\Delta_{iu/inm} = P_u / P_{nm} \quad (11)$$

onde  $P_u$  é a potência útil e o  $P_{nm}$  é a potência nominal do motor.

## 2.4 INDICADOR DE TEMPO DE RETORNO

*Payback* é um indicador do tempo de retorno de um investimento e um método de tomada de decisões que considera o tempo para obtenção dos valores e o montante que deverá ser retirado dos caixas. Segundo Souza & Clemente (2004, p. 91) “o Payback nada mais é do que o número de períodos necessários para que o fluxo de benefícios supere o capital investido”.

$$PR = T_{quando} \sum_{t=0}^T CF_t = IO \quad (12)$$

Onde  $T$  é a quantidade de período de tempos (geralmente expresso em anos);  $PR$  é o período de recuperação (Payback);  $CF_t$  é o fluxo de caixa no período ( $t$ ) e  $IO$  é o fluxo de caixa no investimento inicial.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia empregada nessa pesquisa consiste na aquisição de dados da rede elétrica de alimentação de um motor de indução trifásico que atualmente é utilizado com um conjunto bombeador no sistema de água gelada de uma indústria farmacêutica. O aparelho utilizado para essa aquisição foi um analisador de energia do fabricante embrasul, o modelo RE6000, instalado no centro de comando de máquinas, o painel principal.

Assim, foi realizado o levantamento dos dados de tensão, corrente, potências e fator de potência para a análise dos resultados. Para a parametrização foi utilizado uma PG da Siemens, um computador industrial. Durante o período de aquisição de dados, a bomba operou de forma normal, para que não haja valores aleatórios durante a medição. Após a aquisição dos dados, foi realizado uma avaliação de eficiência energética para analisar a viabilidade da substituição do motor por um equipamento de maior eficiência.

O diagrama da Figura 8 apresenta os aspectos metodológicos para a análise de eficiência energética em um sistema de bombeamento.

Figura 8 – Aspectos metodológicos da pesquisa.



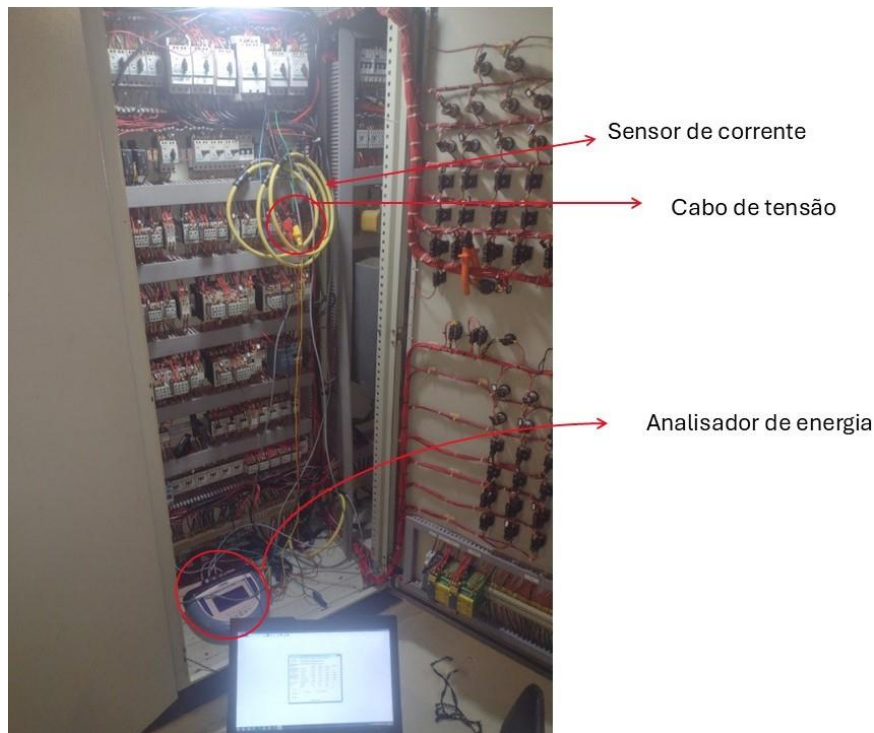
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ele é dividido em várias etapas inter-relacionadas, que começam com o CCM (Centro de Comando de Motores), seguido pelo uso de um analisador de energia para realizar a aquisição experimental de dados como tensão, corrente, fator de potência, além de potências ativa, reativa e aparente. A partir dos dados

adquiridos, foi realizado a análise teórica da taxa de carga, potência útil e eficiência. Em seguida, foi realizada a avaliação de eficiência energética, que permite justificar o retorno de investimento, fechando o ciclo metodológico.

A Figura 9 ilustra o processo realizado em campo para a aquisição das grandezas elétricas.

Figura 9 – Estrutura montada para a leitura em campo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura, observa-se a ligação do painel, e a alocação do sensor de corrente - colocado de forma que os cabos da carga passem no interior do sensor que forma um anel, de forma paralela. Os cabos de tensão, são colocados em série com o disjuntor motor, para que seja possível a coleta dos parâmetros. E o analisador de energia é o equipamento vai armazenar os dados conforme a parametrização que será realizada em conjunto com o computador industrial.

O equipamento analisado, será um motor de indução trifásico empregado em uma parte do processo de refrigeração de água gelada de em uma indústria farmacêutica localizada em Cambé-PR. Atualmente o para refrigeração de água é necessário um sistema robusto composto por um equipamento chamado Chiller do fabricante York.

Para a circulação de água, são utilizadas bombas primárias e secundárias. O objeto de estudo será uma bomba de 30 cv instalada no lado

secundário, responsável por bombear a água do trocador de calor do Chiller para as torres de resfriamento. Por ser um sistema de troca externa de temperatura, a água utilizada no circuito é tratada através de um desmineralizador e são adicionados produtos para evitar a corrosão nos equipamentos. A Figura 10 ilustra as bombas secundárias e a placa de identificação da bomba que será utilizada como objeto de estudo.

Figura 10 – Bombas secundárias 03 e placa de identificação



Fonte: Acervo dos autores.

A coleta dos dados foi realizada em um período de operação normal do equipamento com *setpoints* definidos com base na necessidade do processo. Para essa aplicação, é utilizado o conjunto motobomba conforme ilustra a Figura 10. Esse equipamento é responsável por enviar água da torre de resfriamento para o Chiller, que por sua vez troca calor com o gás refrigerante presente no sistema para assim seguir com a refrigeração de água. O tipo de partida empregado no acionamento do motor é a estrela-triângulo, operando em 380v de tensão nominal com uma frequência de 60Hz.

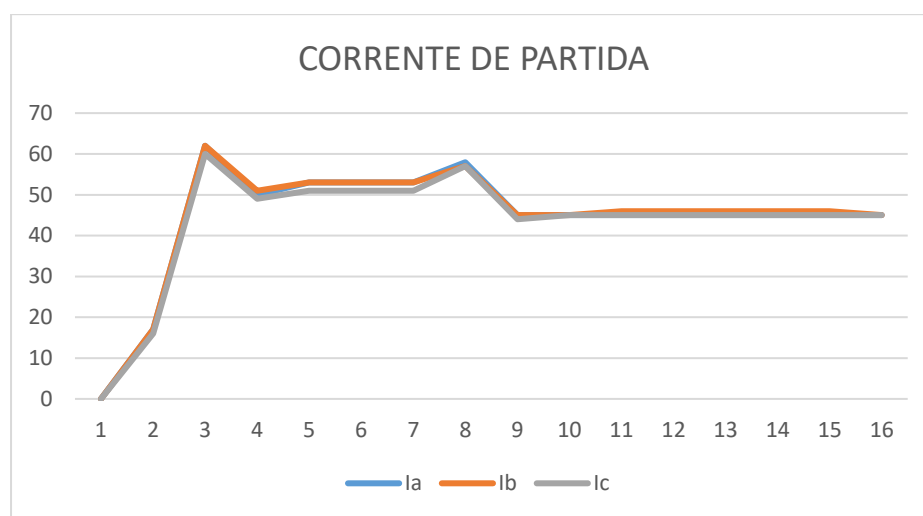
#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A eficiência energética tem um papel de grande relevância no setor industrial brasileiro, justificado pelo fato de que um dos maiores gastos com energia elétrica neste setor são provenientes do acionamento de motores de indução. Com elevados custos operacionais, o custo do produto final no caso o

medicamento vendido o preço é alterado e pequenas alterações podem ser decisivos no ganho de um contrato.

A utilização de motores com melhor rendimento pode contribuir com a redução do valor da fatura de energia. Na sequência serão analisados os dados obtidos experimentalmente por meio de um analisador de energia, instalado no centro de comando de máquinas. Na Figura 11, é possível observar ver uma curva de tendência da operação do motor, que utiliza o acionamento do tipo estrela-triângulo.

Figura 11 – Gráfico de corrente partida

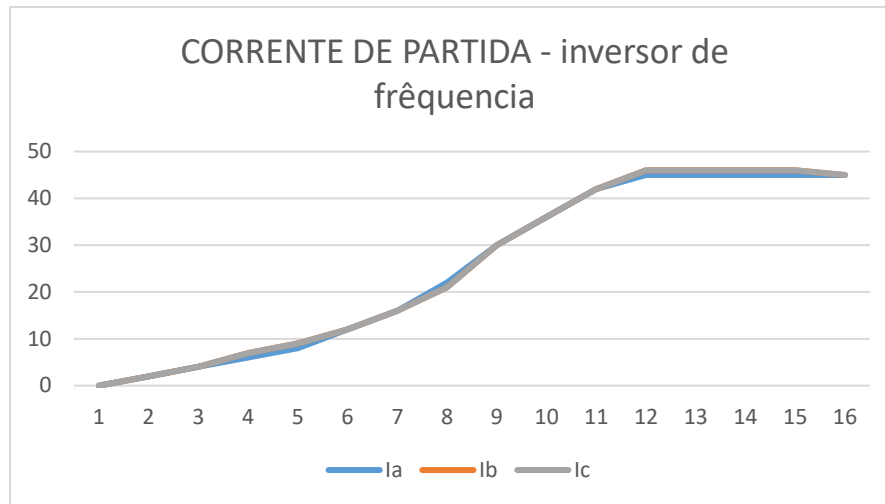


Fonte: elaborado pelos autores

Na Figura 11, no eixo Y, é possível observar o comportamento das correntes trifásicas eficaz durante o funcionamento, e o eixo X representa o tempo em segundos. É possível notar que próximo ao instante 3 segundos o pico de corrente é aproximadamente 44% superior ao valor da corrente nominal. Somente a partir do instante 9 segundos é que o motor opera em regime permanente, com a corrente nominal em cerca de 45A. Em um sistema dinâmico a quantidade de vezes que o motor é acionado faz total diferença no consumo.

Nesse ponto, pode-se sugerir a implementação de uma melhoria, relacionada a alteração do tipo de partida para uma partida mais suave, por meio do emprego de acionamento com *soft-start* ou um inversor de frequência. Além do ganho energético, com esse tipo de partida o desgaste mecânico do motor é atenuado. Na Figura 12, observa-se uma simulação de partida utilizando o inversor de frequência.

Figura 12 – Gráfico de corrente partida – inversor de frequência



Fonte: elaborado pelos autores

Na figura, é possível notar que não há picos de transitórios de corrente, pois a curva do inversor é mais suave e o motor atinge a mesma corrente nominal com menos desgastes. Em comparação com a Figura 11, nota-se uma diferença entre as partidas. É importante salientar que esses dados foram coletados, extraídos e tratados. Para confecção dos gráficos foi utilizado a ferramenta Excel. A seguir, na Figura 13, ilustra-se os dados em sua forma bruta, proveniente do pacote de dados do analisador de energia.

Figura 13 – Consumo na partida

				Demandas máximas por horário	
				Fora de ponta [kW]	
06/09/2024	11:13:32,00	0	0	0	
06/09/2024	11:13:33,00	5	12	12	
06/09/2024	11:13:34,00	70	71	69	06/09/2024 11:13:34,00 30,616
06/09/2024	11:13:35,00	56	56	55	06/09/2024 11:13:39,00 28,945
06/09/2024	11:13:36,00	62	63	61	06/09/2024 11:13:38,00 27,874
06/09/2024	11:13:37,00	63	64	62	06/09/2024 11:13:37,00 27,643
06/09/2024	11:13:38,00	64	64	63	06/09/2024 11:13:36,00 27,224
06/09/2024	11:13:39,00	67	66	66	05/09/2024 16:04:48,00 26,969
06/09/2024	11:13:40,00	53	53	52	05/09/2024 16:39:14,00 25,450
06/09/2024	11:13:41,00	47	47	46	05/09/2024 16:04:53,00 24,059
06/09/2024	11:13:42,00	46	47	46	06/09/2024 11:13:35,00 24,030
06/09/2024	11:13:43,00	46	47	46	05/09/2024 16:39:19,00 23,605
					05/09/2024 16:56:23,00 22,688
					05/09/2024 16:04:50,00 22,526
					05/09/2024 16:04:52,00 22,512
					05/09/2024 16:04:51,00 22,463
					05/09/2024 16:56:21,00 21,692
					05/09/2024 16:56:20,00 21,691
					05/09/2024 16:39:18,00 21,630
					05/09/2024 16:56:22,00 21,612
					05/09/2024 16:39:17,00 21,567
					05/09/2024 16:56:19,00 21,565

Fonte: elaborado pelos autores

Com a leitura dos dados brutos, é possível observar o instante de partida da bomba na referida data, podemos notar um pico muito elevado de consumo, a qual vai diminuindo até alcançar o valor nominal do equipamento. Os dados da

coluna de demanda, são globais, valores exatos máximos de consumo durante o período de amostragem.

Em comparação com um motor W22 IR3 premium equivalente em potência, porém com uma carcaça diferente (um pouco maior) do mesmo fabricante do equipamento analisado, é possível ver que o rendimento entregue pelo motor é bem melhor do que o atual (Figura 14).

Figura 14 – Dados elétricos para um motor equivalente em potência

W22 IR3 Premium

Potência KW	HP	Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Fator de Potência (p/f)	Conjuga do de Parâmetros Cp/Cn	Conjugado Máximo (kgfm)	Momento de Inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	RPM	% de Carga						Tensão (V)	Corrente Nominal In (A)				
								Quente	Frio					Rendimento			Fator de Potência								
														50	75	100	50	75	100						
0,12	0,16	63	0,068	4,8	2,8	2,9	0,00049	28	62	8,3	48	1,25	1710	58	64	66	0,46	0,59	0,68	220	0,702				
0,18	0,25	63	0,103	5	2,8	2,9	0,0006	39	86	8,5	48	1,25	1700	62	67	69,5	0,49	0,61	0,7	220	0,971				
0,25	0,33	63	0,143	5,5	3,3	3,2	0,00066	30	66	8,8	48	1,25	1705	66	71	73,4	0,44	0,56	0,66	220	1,35				
0,37	0,5	71	0,212	5,1	2,4	2,7	0,00071	44	97	11,2	47	1,25	1700	75	77,5	78,2	0,49	0,62	0,7	220	1,77				
0,55	0,75	71	0,319	5,3	3	3	0,00083	14	31	12,4	47	1,25	1680	73	78	79	0,44	0,56	0,66	220	2,77				
0,75	1	80	0,426	7,3	3	3	0,00289	18	35	15,5	48	1,25	1715	82,3	83	83	0,63	0,74	0,82	220	2,89				
1,1	1,5	L80	0,621	7,4	3,4	3,4	0,00372	11	24	19	48	1,25	1725	79,5	82,5	84	0,58	0,71	0,8	220	4,3				
1,5	2	L90S	0,835	7,7	2,7	3,3	0,00655	14	31	23,1	51	1,25	1750	84	86	86,5	0,59	0,72	0,8	220	5,69				
2,2	3	L90L	1,23	7,4	2,8	3,1	0,00765	11	24	26,7	51	1,25	1745	86	88,5	87,5	0,6	0,73	0,8	220	8,25				
3	4	L100L	1,67	9,1	4	4	0,00964	15	33	39	54	1,25	1745	87,4	88,5	89,5	0,57	0,69	0,77	440	5,71				
3,7	5	L100L	2,07	8,3	4,2	4,2	0,01191	14	31	39,7	54	1,25	1740	87,5	88,5	89,5	0,56	0,69	0,77	440	7,04				
4,5	6	L12M	2,51	7	2,4	3	0,01798	16	35	45,4	56	1,25	1745	88,7	89,5	89,5	0,61	0,74	0,8	440	8,25				
5,5	7,5	L112M	3,06	7,3	2,5	3,2	0,02055	15	33	51,1	56	1,25	1750	89,7	90,3	91	0,58	0,7	0,78	440	10,2				
7,5	10	L32S	4,14	8,2	2,3	3,5	0,05631	13	29	71,8	58	1,25	1765	90,8	91,6	91,7	0,66	0,78	0,84	440	12,8				
9,2	12,5	L32M	5,08	8,5	2,4	3,5	0,06382	10	22	80,4	58	1,25	1765	91,8	92,4	92,4	0,66	0,78	0,84	440	15,6				
11	15	L32ML	6,09	8,3	2,5	3,5	0,06721	8	18	85,5	58	1,25	1760	90,6	91,5	92,4	0,63	0,76	0,83	440	18,8				
15	20	L60M	8,23	9	3,2	3,4	0,14707	13	29	138	64	1,25	1775	91,6	93	93	0,64	0,75	0,81	440	26,1				
18,5	25	L60L	10,2	7,3	3	3,2	0,18125	12	26	158	64	1,25	1772	92,4	93,6	93,6	0,64	0,75	0,81	440	32				
22	30	L100M	12,1	8	3,4	3,2	0,19185	20	44	178	63	1,25	1770	93	93,6	93,6	0,66	0,78	0,81	440	37,7				
30	40	200M	16,4	7	2,8	2,8	0,32017	22	48	241	66	1,25	1778	93,6	94	94,1	0,7	0,79	0,84	440	49,8				
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	266	66	1,25	1775	94	94,4	94,5	0,7	0,8	0,84	440	61,2				

Fontes: Weg, motor elétrico trifásico W22 p.36

Podemos observar os dados elétricos do motor weg IR3 premium, equivalente ao modelo utilizado como foco do estudo. Em comparação com os dados de placa, é notório a diferença dos equipamentos com relação as entregas. Um motor de fabricação mais recente como esse tem vários atributos e tecnologias que fazem o consumo energético ser menor.

O rendimento e o fator de potência são informações que precisam ser levadas em consideração no momento da análise para a viabilidade de substituição. Quanto menos perdas o motor apresentar, maior será o rendimento entregue na ponta do eixo. quanto ao fator de potência, quanto mais próximo do valor unitário melhor, pois dessa maneira em conjunto com um banco de capacitores devidamente projetado é possível a diminuição de energias reativas em trânsito nas instalações elétricas industriais.

Em consonância com o exposto, uma melhoria que pode ser aplicada na situação é a instalação de bancos de capacitores descentralizados, em outras palavras, a correção do fator de potência se possível deve ser feita o mais

próximo do local onde o motor está instalado. A seguir serão apresentados os cálculos para a taxa de carga e potência útil do motor.

### CÁLCULO DA TAXA DE CARGA DO MOTOR ATUAL

Conforme apresentado anteriormente na Seção 2.4, a taxa de carga, é o valor em porcentagem a qual o motor opera. Substituindo os valores da equação (7) obtém-se a equação (13) e (14), que calcula a taxa de carga do equipamento. Esse valor é muito importante pois através dele é possível balancear a carga aplicada no eixo. com relação aos valores, a taxa de carga ideal seria 100%.

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = \left(\frac{45}{43,7}\right) \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = 103 \quad (14)$$

Portanto a taxa de carga do motor analisado é de 103%. Esse valor nos diz que o motor está operando acima de sua capacidade máxima.

### CÁLCULO TEÓRICO DA POTÊNCIA ATIVA

A potência ativa, é o tipo de potência que realiza o trabalho, pode ser conhecida também por potência útil. Com valores de tensão e corrente do equipamento é possível obter o resultado. Utilizando a equação (8) obtém-se:

$$P_a = \sqrt{3} \times 380 \times 45 \times 0,657 \quad (15)$$

$$P_a = 19,45 \text{ kW} \quad (16)$$

Podemos observar através do cálculo aproximado da potência ativa o resultado teórico da potência ativa ( $P_a$ ). Porém os valores de potência ativa obtidos em campo são diferentes dos calculados. Na leitura em campo foi obtido o valor de 17 kW. A Figura 15 ilustra a leitura das potências ativa, reativa, aparente e o fator de potência respectivamente.

Figura 15 – Leituras das potências - Real

DATA	HORA	P3f	Q3f	S3f	FP3f
05/09/2024	16:05:17,00	17,879 k	20,333 k	27,076 k	0,660
05/09/2024	16:05:18,00	17,819 k	20,302 k	27,013 k	0,660
05/09/2024	16:05:19,00	17,754 k	20,277 k	26,951 k	0,659
05/09/2024	16:05:20,00	17,713 k	20,378 k	27,000 k	0,656
05/09/2024	16:05:21,00	17,702 k	20,392 k	27,004 k	0,655
05/09/2024	16:05:22,00	17,716 k	20,383 k	27,006 k	0,656

Fonte: elaborado pelos autores

## CÁLCULO TEÓRICO DE POTÊNCIA ÚTIL DO MOTOR

A equação (17) fornece os valores aproximados da potência mecânica entregue ao eixo.

$$P_u = \frac{17k \times 0,91}{0,736} \quad (17)$$

$$P_u = 21 \text{ cv} \quad (18)$$

## CÁLCULO DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO

Conforme já exposto, o cálculo teórico de substituição nos dá um direcionamento para a decisão de substituição ou não do motor.

$$\Delta_{iu/inm} = 21/30 \quad (19)$$

$$\Delta_{iu/inm} = 0,7 \quad (20)$$

Analisando apenas este resultado, obtém-se que a substituição do motor em operação não é viável. No entanto, para uma análise de viabilidade completa, é necessário avaliar outros fatores que podem justificar a troca, como a eficiência energética, o custo-benefício e a conformidade com regulamentações atuais. Vale destacar que, em 2004, há quase 20 anos, a tecnologia empregada na fabricação de motores elétricos era significativamente diferente da tecnologia atual, que apresenta avanços em materiais e *design*, visando maior eficiência.

Como parte das iniciativas para a redução do consumo de energia, entrou em vigor, em 2009, a Portaria nº 553, que estabeleceu níveis mínimos de

rendimento para motores de indução trifásicos fabricados ou comercializados no Brasil. Esta medida visou garantir que novos motores apresentassem uma eficiência energética mínima, alinhada com as melhores práticas internacionais, incentivando a substituição gradual de motores antigos por modelos mais eficientes. Portanto, uma análise detalhada que considere a conformidade do motor atual com essas regulamentações, bem como seu desempenho comparado aos modelos mais modernos, é fundamental para uma decisão assertiva sobre sua substituição.

### **PAYBACK SUBSTITUIÇÃO DO MOTOR EM OPERAÇÃO**

Conforme exposto, os critérios para a substituição de um motor de indução trifásico, não se devem ser considerados apenas os cálculos com valores aproximados. Para a substituição do motor, também deve ser levado em consideração as rotinas de manutenção no equipamento, analisando: i) quantidade de rebobinagens que o equipamento já sofreu; ii) histórico de manutenção do equipamento; iii) tempo de operação; iv) ambiente no qual está exposto; v) temperatura da carcaça do equipamento; e vi) a resistência elétrica das bobinas.

Todos esses fatores devem ser considerados no momento da troca, pois influenciam diretamente no rendimento do equipamento. Assim, para a avaliação da viabilidade de substituição do equipamento, foi utilizado o *software* See+ do fabricante WEG motores elétricos. Na análise foi levado em consideração a troca de apenas um motor da linha *standard* da fabricante WEG atualmente em operação. Desta forma, foi realizado a cotação de um novo equipamento equivalente em potência ao atual existente na empresa, porém da linha W22 IR3 Premium, conforme observa-se na Figura 16.

Figura 16 - Orçamento motor de indução



Motor Elétrico Weg de 30cv, 1765 RPM, 220/380v Trifásico  
(30cv-4P-B3D-11581846)

Rotação: 1750 RPM (4 Polos) | Modelo: W22 IR3 Premium

Motor Elétrico Weg de 30cv (22kw), 1750 RPM, 220/380v Trifásico, 4 Polos, W22 IR3 Premium, IP55, B3D (NÃO TEMOS O MOTOR EM ESTOQUE E O PRAZO O ENVIO ESTA EM APROXIMADAMENTE 7 DIAS E APÓS A COMPRA ENTRAREMOS EM CONTATO INFORMANDO A DATA EXATA DE ENVIO DO MOTOR).

Garantia: 1 Ano Direto Com a Weg |  
Disponibilidade: 7 Dias Após a Compra (SUJEITO A ALTERAÇÃO)

[▼ mais informações](#)

por: R\$ 20.692,97

QUANTIDADE

Fonte: Acervo dos autores

Conforme visto anteriormente, a tecnologia empregada na construção do motor da referida linha, é superior a linha *standard* do mesmo fabricante e atende aos requisitos mínimos de rendimento estabelecidos na lei de eficiência energética. O motor atual, trabalha cerca de 20 horas por dia, sendo desligado apenas para intervalos de manutenção. Assim, opera cerca de 355 dias por ano. O valor médio pago pelo consumo energético na fábrica é de R\$0,60 por Kwh consumido. Essas informações foram inseridas no *software* See+ da WEG, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Interface do software See+



## Relatório de Retorno Financeiro

Opção de Cálculo: **Substituição de Motor em Operação**

### Dados da Aplicação

Equipamento: **Bomba Centrífuga**

Valor da Energia (R\$/kWh): **0.60**

Horas por Dia: **20**

Dias por Ano: **355**

Fonte: Acervo dos autores

Em seguida, foram inseridos os dados do motor atualmente em operação. Observa-se que o software utilizou seu banco de dados para fornecer automaticamente uma estimativa aproximada do rendimento do equipamento.

Figura 18 – Dados do motor atual

## Dados do Sistema Atual

---

Potência do Motor: **30 cv**Número de Polos: **4**Tensão da Rede (V): **380**Rendimento (%): **89.8**Idade do Motor (anos): **22**Número de Rebobinagens: **2**Quantidade de Motores: **1**

## Acionado por Inversor de Frequência

**NÃO**

Fonte: Acervo dos autores

Já com os dados do motor em operação inseridos, foi projetado um novo sistema proposto considerando o motor da linha W22 IR3 premium, como o preço médio de aquisição girando em torno de R\$ 21.000,00. A opção de plano de troca foi assinalada, portanto o motor em operação entra como parte do pagamento.

Figura 19 – Dados do sistema proposto

## Dados do Sistema Proposto

---

Linha de Motor WEG: **W22 Super Premium**Rendimento (%): **94.3**Preço Médio do Motor WEG: **R\$ 21.000,00**

## Considerar Plano de Troca

**SIM**

Fonte: Acervo dos autores

Após a inserção dos dados no software, a Figura 20 apresenta os valores estimados de economia ao longo de um ano de operação do novo sistema. É importante destacar que esses valores consideram exclusivamente a

substituição do motor, mantendo inalterados todos os demais parâmetros de operação.

Figura 20 – Valores economizados

Com este Projeto de Eficiência Energética você irá:

em 1 ANO ter ECONOMIZADO  
 R\$ 4.953,32 | 8.255,53 kWh (4,75%)

Fonte: Acervo dos autores

Essa alteração isolada resulta em uma redução significativa no consumo energético da planta. Adicionalmente, contribui para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em 0,3 toneladas. Quanto ao tempo de retorno do investimento, conforme ilustrado na Figura 21, estima-se que será de aproximadamente 3,9 anos, considerando um investimento de R\$ 21.000,00.

Figura 21 – Estimativa de *payback*

e este investimento **RETORNARÁ** em  
 **3,9 ANOS**

Valor Presente Líquido:	R\$ 11.748,98	
Taxa Interna de Retorno:	26.36%	TMA (%): 10,8%

Fonte: Acervo dos autores

Com base nos dados apresentados, a projeção da economia acumulada ao longo de 10 anos alcança aproximadamente R\$ 49.000,00. Trata-se de uma economia significativa, permitindo a destinação desses recursos para investimentos em outros setores da fábrica, ampliando sua eficiência e competitividade.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a coleta e análise de dados elétricos de um motor de indução integrante do sistema de geração de água gelada em uma

indústria farmacêutica. Durante o estudo, foram identificados pontos de melhoria no processo, incluindo ajustes relacionados ao acionamento da bomba. As análises realizadas permitiram identificar fatores que impactam diretamente o rendimento do motor, como o tempo prolongado de operação e as manutenções corretivas, que resultam em um desempenho abaixo do esperado, além das limitações do sistema de acionamento atual.

Com base nos resultados obtidos, a substituição do motor mostrou-se uma alternativa eficiente e economicamente viável, considerando os valores de economia energética projetados. É importante destacar que a melhoria foi implementada em apenas um motor do setor de utilidades da planta. No futuro, há potencial para ampliar o estudo aos principais motores em operação diária, o que permitirá avaliar o impacto econômico do retrofit<sup>8</sup> em um número maior de equipamentos.

Adicionalmente, planeja-se desenvolver um estudo mais detalhado sobre o acionamento desse sistema, incluindo a automação do processo. Este novo estudo contemplará o monitoramento e controle do fluxo de água em trânsito, que realiza a troca de calor entre os chillers e as torres de resfriamento. A implementação de um inversor de frequência para o acionamento promete melhorias significativas na qualidade da energia e uma redução ainda maior no consumo energético, consolidando os benefícios da modernização do sistema.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Quem é quem na SNTEP**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem>. Acesso em: 06 set. 2023.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas** [recurso eletrônico]. Tradução: Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CTC - Centro Técnico Científico da PUC-Rio. **Motores reconicionados desperdiçam mais de 8 TWh, representando R\$ 16 bilhões de prejuízo**.

---

<sup>8</sup> Retrofit: termo utilizado para referenciar melhorias que contêm trocas no setor industrial.

Disponível em: <https://www.ctc.puc-rio.br/motores-recondicionados-desperdicam-mais-de-8-twh-representando-r-16-bi-de-prejuizo>. Acesso em: 06 set. 2023.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-423/topico-488/09%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 05 set. 2023.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2008.

MIYAMOTO, R. K. Uma estratégia de compensação de afundamentos de tensão usando armazenamento de energia em volantes inerciais com motor Dahlander em frenagem regenerativa conectado à rede. **Tese de Doutorado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2022.

NASCIMENTO, Adilson. **Comandos elétricos**. Apostila, Cap. 1. Valinhos, 2015. Disponível em: <http://www.seaan.com.br/cursos/comandos-eletricos-basico/apostila/>. Acesso em: 18 set. 2023.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos** [recurso eletrônico]. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2013.

PRAXEDES, Marcos Fernandes. **A evolução dos sistemas de partida dos motores elétricos trifásicos**. Itatiba: MIT, 2011.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Dados técnicos sobre energia**. \_\_\_\_\_

Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BFE97B06C-FB9F-44BD-989B-0134530AF910%7D&Team=&params=itemID=%7B85E0B30D-27C1-4A89-86EB-AB4071AD2EBD%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D> . Acesso em: 06 set. 2023.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Equipe do Procel.** Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>. Acesso em: 06 set. 2023.

UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley** [recurso eletrônico]. Tradução: Anatólio Laschuk. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

WEG. **Eficiência energética em motores elétricos.** Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/efficiency-index#:~:text=O%20setor%20industrial%20brasileiro%20consome,%C3%A9%20consumida%20por%20motores%20el%C3%A9tricos>. Acesso em: 05 set. 2023.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e análise de investimentos.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

WEG – **calculador de payback para investimento** – disponível em : <https://www.weg.net/seepius/calculator> acesso em 05/11/24