

---

## ANÁLISE DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS E A EFICIÊNCIA DA REBOBINAGEM NA RECUPERAÇÃO DE DESEMPENHO

Alessandro Manoel Cruz e Fabio Rodrigo Milanez

### RESUMO

Esta pesquisa investigou o desempenho de motores de indução trifásicos submetidos ao processo de rebobinagem, com foco na eficiência energética e nas perdas associadas. O estudo de caso foi realizado por meio de ensaios em bancada, envolvendo desmontagem, identificação das características originais, cálculo técnico das bobinas, escolha do fio esmaltado e testes elétricos padronizados. Paralelamente, foi realizada uma análise comparativa do desempenho elétrico de dois motores de indução monofásicos: um motor rebobinado após falha por sobrecarga e um motor novo, original de fábrica. Foram avaliados parâmetros como tensão, corrente, potência ativa e fator de potência. O motor rebobinado operou com tensão de 127,87 V, corrente de 3,01 A, potência ativa de 252,60 W e fator de potência de 0,655 — indicadores de menor rendimento e possível degradação do núcleo magnético. Já o motor novo apresentou tensão de 127,42 V, corrente de 2,78 A, potência ativa de 282,60 W e fator de potência de 0,797, evidenciando maior eficiência e alinhamento eletromagnético. Observou-se que, quando o processo segue critérios técnicos rigorosos, a eficiência do motor pode ser preservada com perdas variando entre 1% e 4%, dependendo da fidelidade ao projeto original. Conclui-se que a rebobinagem, quando bem executada, é uma alternativa viável à substituição de motores e também para a redução de perdas sistêmicas e para o uso mais racional da energia. Contudo, danos severos por sobrecarga podem comprometer o desempenho, reforçando a importância do correto dimensionamento de carga e da manutenção preventiva.

**Palavras-chave:** Motores elétricos; Rebobinagem; Recuperação; Desempenho.

### ANALYSIS OF FAILURES IN ELECTRIC MOTORS AND THE EFFICIENCY OF REWINDING IN PERFORMANCE RECOVERY

#### ABSTRACT

This research investigated the performance of three-phase induction motors submitted to the rewinding process, focusing on energy efficiency and associated losses. The case study was carried out by means of bench tests, involving disassembly, identification of the original characteristics, technical calculation of the coils, choice of enameled wire and standardized electrical tests. At the same time, a comparative analysis of the electrical performance of two single-phase induction motors was carried

out: a motor rewound after overload failure and a new motor, original from the factory. Parameters such as voltage, current, active power and power factor were evaluated. The rewind motor operated with a voltage of 127.87 V, a current of 3.01 A, an active power of 252.60 W and a power factor of 0.655 — indicators of lower performance and possible degradation of the magnetic core. The new motor had a voltage of 127.42 V, a current of 2.78 A, an active power of 282.60 W and a power factor of 0.797, showing greater efficiency and electromagnetic alignment. It was observed that, when the process follows strict technical criteria, the efficiency of the engine can be preserved with losses ranging between 1% and 4%, depending on the fidelity to the original design. It is concluded that rewinding, when well executed, is a viable alternative to the replacement of motors and also for the reduction of systemic losses and for a more rational use of energy. However, severe damage due to overload can compromise performance, reinforcing the importance of correct load sizing and preventive maintenance.

**Keywords:** Electric motors; Rewinding; Recovery; Performance.

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma sociedade cada vez mais globalizada e competitiva, a demanda por produtos de alta qualidade, baixo custo e entrega ágil, aliada às rigorosas regulamentações ambientais, exige projetos de produção otimizados. Nesse contexto, a manutenção industrial, que antes se limitava a intervenções corretivas, assume um papel estratégico. A manutenção preventiva, baseada em dados estatísticos, torna-se essencial para reduzir perdas, aumentar a eficiência e garantir a competitividade e a sustentabilidade das empresas (Souza, 2020).

Os motores elétricos são importantes nos processos industriais, impulsionam desde compressores e bombas até máquinas complexas. Assim, houve avanços tecnológicos que impulsionaram o aumento do desempenho de motores elétricos e sua eficácia. Historicamente, os modelos iniciais de motores eram volumosos, pesados e de alto custo. A transformação é evidente na evolução da fabricação dessas máquinas, com uma redução no tamanho e peso devido ao uso otimizado de materiais como ferro e cobre, e aprimoramento das técnicas de construção, o que tornou a aquisição de novos motores mais acessível (Leoncio, 2021).

Um motor elétrico é um dispositivo que converte energia elétrica em movimento rotacional mecânico, utilizando interações eletromagnéticas entre seus componentes. Seu propósito é gerar movimento em outros objetos através da rotação de seu eixo, sendo a forma mais comum de conversão de energia para acionar diversas cargas no ambiente industrial. Entre os tipos de motores elétricos, o motor de indução trifásico (MIT) se destaca por sua ampla presença em diversas atividades industriais. Essa popularidade se deve às suas vantagens econômicas em termos de custo, manutenção e durabilidade, quando comparado a outros modelos (Gomes, 2023).

O procedimento de rebobinagem, que envolve a recuperação ou substituição das bobinas, torna-se necessário quando os enrolamentos do motor sofrem danos devido a superaquecimento. Diversas causas podem levar a essa falha, incluindo curtos-circuitos entre espiras ou fases, picos de tensão, problemas de conexão, falhas nas ranhuras, desequilíbrio de tensão, sobrecarga térmica, perda de fase em ligações estrela/triângulo e travamento do rotor. A rebobinagem é frequentemente a primeira opção considerada pelas empresas quando um motor apresenta falhas, devido ao alto custo de aquisição de um novo equipamento (Leoncio, 2021).

Justifica-se esse estudo diante da importância da rebobinagem, a qual é um dos principais procedimentos de reparo quando um motor falha devido a superaquecimento. Vale ressaltar que, se o processo de rebobinagem não for realizado adequadamente, pode levar à redução da vida útil e do desempenho do motor. Isso ocorre porque é difícil garantir uma substituição perfeita das bobinas originais, embora existam métodos para minimizar ou até mesmo eliminar essas perdas (Ferreira, 2023).

A rebobinagem de motores elétricos é um processo essencial para a indústria, pois permite recuperar equipamentos danificados, prolongando sua vida útil e reduzindo custos com a compra de novos motores. Além disso, quando realizada com técnicas adequadas e materiais de qualidade, a rebobinagem mantém ou até melhora a eficiência energética do motor, contribuindo para a sustentabilidade e a redução do consumo de energia.

Outro benefício é a minimização de paradas não programadas, garantindo a continuidade da produção. Em um cenário industrial, onde motores são responsáveis por grande parte do consumo elétrico, a rebobinagem surge como uma solução econômica e ambientalmente vantajosa, alinhando produtividade e eficiência energética. Portanto, investir em rebobinagem bem executada é uma prática estratégica para manter a competitividade e a operação sustentável das indústrias.

Vale ressaltar que estudos mostram que motores elétricos, com o passar dos anos, tendem a perder eficiência. Após uma década de uso, essa perda pode chegar a 5%, especialmente se o motor passou por reparos malfeitos, como o rebobinamento. Essa redução de eficiência se torna ainda mais evidente em motores com mais de 25 anos de operação, onde a eficiência pode cair para menos de 87%. (Leoncio, 2021).

O objetivo geral deste estudo é atestar que a rebobinagem de motores, quando realizada por pessoas ou empresas capacitadas, pode ter as mesmas características e eficiência, rendimento de um motor original de fábrica. A respeito dos objetivos específicos: analisar as falhas que comprometem o desempenho de motores de indução trifásicos, com ênfase nas perdas de eficiência decorrentes do desgaste do núcleo magnético; comparar a eficiência e o rendimento entre motores novos e motores rebobinados, com base em testes laboratoriais e parâmetros originais de fábrica. Avaliar tecnicamente o processo de rebobinagem, considerando o cálculo do número de espiras e a correta dimensão da seção transversal dos condutores, a fim de garantir o desempenho equivalente ao de motores originais

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A história dos motores elétricos na indústria brasileira está relacionada ao próprio processo de industrialização do país. Teve seu surgimento no final do século XIX e sua presença no Brasil foi de maneira gradual e lenta diante da expansão da rede elétrica, com sua trajetória dependente da importação para estabelecimento da indústria nacional, com a capacidade de suprir o mercado interno e competir mundialmente.

A trajetória dos motores elétricos no Brasil evoluiu da completa dependência da importação para o estabelecimento de uma robusta indústria nacional, capaz de

suprir o mercado interno e competir globalmente. Esses componentes foram e continuam sendo peças-chave, silenciosas, mas potentes, na engrenagem do desenvolvimento industrial brasileiro.

## **2.1 História dos motores**

O motor elétrico, em constante aprimoramento, tem suas origens rastreadas até 1600, com os estudos pioneiros do cientista inglês William Gilbert sobre a força de atração magnética, conforme registros do Museu da WEG. A produção em série de motores assíncronos com rotor em gaiola, com potências a partir de 100 kW, teve início em 1889, impulsionada pelas pesquisas persistentes do engenheiro eletricitista russo Michael Von Dolivo-Dobrovolsky sobre motores elétricos trifásicos (Souza, 2020).

Gomes (2023) contextualiza a invenção do motor elétrico como um processo evolutivo de descobertas científicas que se estendeu por séculos. A criação do primeiro gerador de corrente contínua autoinduzido por Werner Siemens em 1866, frequentemente considerada o marco inicial da era das máquinas elétricas, foi o resultado de um longo caminho percorrido por diversos cientistas (Gomes, 2023).

Desde as observações de Tales sobre eletricidade estática na Grécia Antiga, passando pelos estudos de William Gilbert sobre magnetismo no século XVI, até as descobertas de Hans Christian Oersted sobre a relação entre eletricidade e magnetismo em 1820, cada passo contribuiu para o desenvolvimento da tecnologia. William Sturgeon, em 1825, criou o eletroímã, peça fundamental para as máquinas elétricas girantes (Gomes, 2023).

Siemens, em 1866, demonstrou que a tensão necessária para o magnetismo podia ser obtida do próprio enrolamento do rotor, eliminando a necessidade de ímãs permanentes e possibilitando a autoexcitação das máquinas. Seu dínamo, com 30 watts de potência e 1200 rpm, funcionava tanto como gerador quanto como motor.

Apesar das vantagens da nova máquina de corrente contínua, seu alto custo e vulnerabilidade levaram cientistas como Galileo Ferraris, Michail von Dolivo Dobrowolsky e Nikola Tesla a buscarem alternativas. Tesla, com seu motor de indução

bifásico, impressionou a Westinghouse, mas o baixo rendimento inicial inviabilizou a produção (Gomes, 2023).

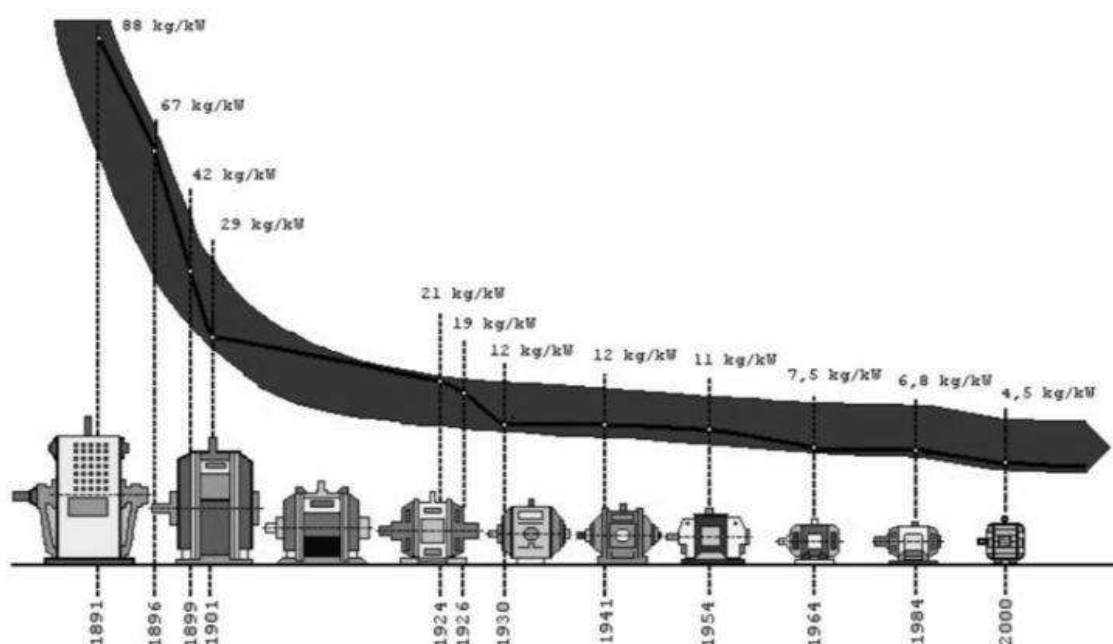
Dobrowolsky, em 1889, patenteou um motor trifásico com rotor de gaiola, com 80 watts de potência e 80% de rendimento, superando as limitações do motor de corrente contínua. Ele também iniciou a produção em série de motores assíncronos, consolidando a tecnologia que impulsionaria a indústria elétrica (Gomes, 2023).

A evolução do motor elétrico impulsionou o desenvolvimento de seus sistemas de acionamento, proteção e controle. Essa progressão, embora detalhada posteriormente, serve de base para discutir danos e falhas em motores elétricos. As mudanças culturais nos consumidores brasileiros e as normas de segurança (NR), por exemplo, exigiram aprimoramentos nos circuitos elétricos, resultando na aplicação de dispositivos como contadores, disjuntores-motor, soft starters, inversores de frequência e relés específicos, que protegem tanto o usuário quanto o próprio motor (Souza, 2020).

Ao longo dos anos, foi marcado por um progresso na redução de tamanho e peso, sem comprometer a potência. A melhoria foi impulsionada pelo desenvolvimento de novos materiais, como condutores esmaltados, isolantes sintéticos, ligas de alumínio, chapas magnéticas e plásticos (Gomes, 2023).

Na **Figura 1**, é observada a diminuição constante no peso e, conseqüentemente, no tamanho dos motores elétricos a cada década. Nas últimas duas décadas, essa redução foi menos expressiva, mas ainda significativa. O avanço tecnológico mais relevante nesse processo foi o desenvolvimento de materiais isolantes mais eficientes, que permitem que os motores operem em temperaturas mais elevadas. Essa capacidade de suportar temperaturas mais altas possibilitou a construção de motores menores e mais leves, com maior densidade de potência (Gomes, 2023).

**Figura 1 – Evolução dos motores.**



Fonte: Weg (2015 *apud*. Gomes, 2023).

A evolução dos motores na figura acima, demonstra como foi a jornada da evolução dos motores. Percebe-se a redução de seu peso e o aumento de sua potência ao longo do tempo. Observa-se também, uma trajetória impulsionada pelas inovações materiais, design e processo de fabricação, sendo estes otimizados e refletindo o crescente domínio da engenharia, cada vez mais diverso e eficiente.

## 2.2 Motores elétricos

Os motores elétricos representam cerca de 66% do consumo total de energia elétrica. Por isso, é fundamental avaliar o desempenho energético desses equipamentos para identificar a necessidade de substituição. Alguns fatores podem interferir na sua eficiência, como manutenções indevidas, especificação acima do necessário, erros no acoplamento entre o motor e a carga, além da utilização de modelos pouco eficientes (Leoncio, 2021).

O motor elétrico, uma invenção chave no desenvolvimento tecnológico, destaca-se por sua construção simples, baixo custo, versatilidade e impacto ambiental

reduzido. Convertendo energia elétrica em mecânica, os motores de corrente alternada, especialmente os trifásicos, são amplamente utilizados devido à facilidade de integração com os sistemas de distribuição de energia. Seu funcionamento é baseado na Lei de Faraday, onde a interação entre um campo magnético e um circuito elétrico gera movimento mecânico, impulsionando diversas aplicações industriais e cotidianas (Souza, 2020).

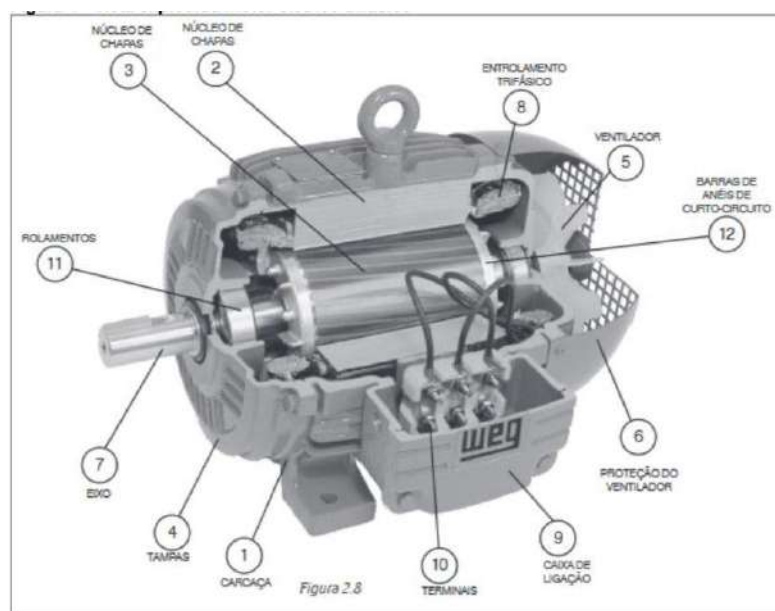
Desde a introdução do motor de indução trifásico (MIT), o mercado tem demandado dos fabricantes um produto cada vez mais aprimorado, o que se traduz em custos de produção mais baixos e uma relação otimizada entre peso e potência do motor. Em resposta a essas exigências, houve um período em que a proporção entre massa e potência experimentou uma redução de aproximadamente 67%. Ainda de acordo com o autor, essa evolução está diretamente ligada ao progresso dos sistemas de isolamento elétrico, que resultou em uma diminuição de cerca de 60% no espaço ocupado pelos condutores e sistemas de isolamento elétrico (Gomes, 2023).

Gomes (2023) ressaltou que, desde a introdução do MIT, o mercado tem buscado motores elétricos cada vez mais aprimorados, com menor custo de produção e melhor relação entre peso e potência. A demanda resultou em uma redução de cerca de 67% na relação massa/potência. Essa evolução está diretamente ligada ao progresso dos sistemas de isolamento elétrico, que permitiram uma diminuição de aproximadamente 60% no espaço ocupado pelos condutores e sistemas de isolamento.

O motor trifásico (**Figura 2**) é composto por duas partes principais: o estator e o rotor. O estator inclui a carcaça, que serve como estrutura de suporte e dissipa calor; o núcleo de chapas, feito de aço magnético para minimizar perdas; e o enrolamento trifásico, com bobinas para cada fase. O rotor, por sua vez, possui o eixo, tratado termicamente para resistência; o núcleo de chapas, similar ao do estator; e as barras de anéis de curto-circuito, geralmente de alumínio injetado. Além dessas partes, o motor trifásico também inclui componentes como tampas, ventilador, caixa de ligação, terminais e rolamentos, todos essenciais para o funcionamento e proteção do equipamento (Souza, 2020).

Segundo Chapman (2017), o motor síncrono opera através da interação de dois campos magnéticos: o campo do rotor, gerado pela corrente de campo do motor, e o campo do estator, produzido por um conjunto trifásico de correntes nos enrolamentos do estator, que gira uniformemente. O princípio fundamental é que o rotor busca constantemente se alinhar com o campo girante do estator, como duas barras imantadas se atraindo. Quanto maior o ângulo entre esses campos, maior o torque gerado no rotor. No entanto, o rotor nunca consegue se alinhar completamente, mantendo um movimento síncrono, onde ele "persegue" o campo do estator em um círculo. É ressaltada a semelhança entre motores e geradores síncronos, enfatizando que as equações básicas de velocidade, potência e torque são aplicáveis a ambos.

**Figura 2 – Motor trifásico.**



Fonte: Mascheroni, Lichtblau e Gerardi (2014 apud. Souza, 2020).

No funcionamento de um motor elétrico trifásico, o rotor age como um condutor. Ao se mover dentro de um campo magnético, uma tensão induzida surge nos terminais do rotor, criando um campo magnético próprio. A interação entre os campos magnéticos do rotor e do estator gera uma força que impulsiona o rotor a girar, apoiado em rolamentos (Souza, 2020).

A carcaça do motor elétrico (1) é a estrutura que protege os componentes internos, como rotor e estator. Existem padrões internacionais (IEC e NEMA) que definem suas dimensões e características. No Brasil, o padrão IEC é mais comum, utilizando a altura do eixo como base para o número da carcaça (Ferreira, 2023).

Souza (2020) aponta que há diversas condições adversas que podem reduzir a vida útil de um motor elétrico, originando-se de fatores elétricos, mecânicos ou ambientais. Falhas elétricas comuns incluem curtos-circuitos nos enrolamentos, causados por contaminação ou variações de tensão, e problemas de isolamento devido a desgaste ou defeitos de fabricação.

Gomes (2023) aponta que há uma falha prematura do isolamento do motor, conhecida como "rastreamento de superfície", que acontece quando sujeira e umidade se juntam nos fios dentro do motor. Essa mistura cria um caminho para a eletricidade passar, danificando o isolamento com o tempo. Isso geralmente ocorre em locais com muita poeira e umidade, e pode levar o motor a quebrar mais cedo do que deveria.

Defeitos mecânicos frequentemente resultam de desalinhamentos ou desbalanceamentos, que sobrecarregam os rolamentos e danificam o enrolamento e as chapas do estator. Técnicas de reempilhamento de chapas podem mitigar esses danos. Condições ambientais desfavoráveis, como contaminação por óleo de redutores de velocidade, comprometem o isolamento do motor, levando a curtos-circuitos. Sobrecargas e rotor bloqueado, muitas vezes causados por tensão incorreta, também são comuns, especialmente em ambientes residenciais e comerciais. Problemas na rede de alimentação, como picos de tensão, desbalanceamento de fases ou falta de fase, sobrecarregam as bobinas, resultando em danos ao isolamento e curtos-circuitos. O superaquecimento, seja por sobrecarga ou falta de fase, também é um fator crítico (Souza, 2020).

Motores elétricos, apesar de sua robustez e confiabilidade, podem falhar, representando riscos ao motor e ao ambiente. A causa principal dessas falhas é a contaminação. Um motor operando em condições ideais de carga e energia, mas em um ambiente agressivo, corre maior risco de falha precoce. Ambientes hostis são

aqueles que prejudicam direta ou indiretamente o funcionamento do motor (Ferreira, 2023).

Danos no rotor podem impactar negativamente o desempenho do motor. Uma trinca no rotor, por exemplo, age como uma resistência à passagem de corrente, gerando perdas por efeito Joule devido ao aumento de temperatura. Isso resulta em perda de rotação do rotor, aumentando o escorregamento em relação ao campo girante do estator e elevando a corrente no estator, o que leva a perdas de potência e diminuição da eficiência do motor (Souza, 2020).

O enrolamento do motor de indução trifásico (MIT) é crucial na sua produção, influenciando características como fluxo magnético, polaridade e impedância. Problemas nesse componente impedem o funcionamento correto do motor. Para solucionar isso, a rebobinagem é uma opção para reparar enrolamentos danificados. A qualidade da rebobinagem afeta o desempenho do motor, incluindo velocidade de rotação, corrente nominal e corrente de partida (Gomes, 2020).

### **2.3 Rebobinagem de motores**

A rebobinagem é uma das manutenções cruciais quando um motor elétrico falha, especialmente devido a superaquecimento. Contudo, a execução inadequada desse processo pode comprometer severamente a vida útil e o desempenho do motor, uma vez que replicar com exatidão as características das bobinas originais é uma tarefa complexa. As práticas de manutenção, como o aquecimento excessivo do núcleo de ferro ou a rebobinagem que desconsidera as especificações do fabricante, podem levar a perdas significativas na eficiência energética e no torque do motor. Portanto, a precisão e o respeito às normas técnicas são essenciais para minimizar ou eliminar essas perdas, garantindo a recuperação eficaz do motor (Souza, 2020).

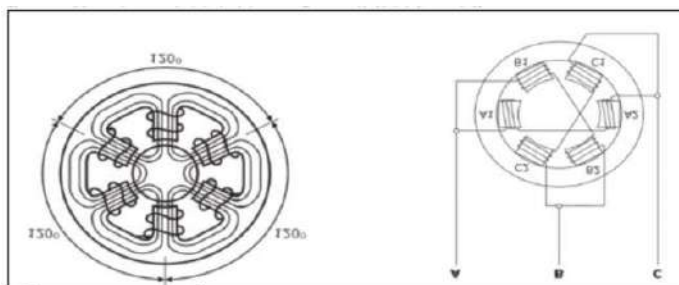
Nesse sentido, a forma como um motor é reparado, através do rebobinamento, define como ele irá funcionar, afetando sua velocidade de giro, a quantidade de eletricidade que ele usa normalmente e a quantidade que ele precisa para começar a funcionar. Para fazer o motor trabalhar melhor, ou seja, com mais rendimento, é preciso usar fios que ocupem o máximo de espaço possível dentro das

ranhuras e aumentar o tamanho da parte fixa do motor, chamada de estator (Gomes, 2023).

De acordo com Souza (2020), a qualidade da rebobinagem pode ser avaliada através da medição da resistência ôhmica, permitindo verificar se o fio e o número de espiras foram aplicados corretamente. A tensão e a corrente fornecem um diagnóstico inicial ao testar o motor sem carga, mas alterações construtivas que afetam o torque do equipamento só são detectáveis quando o motor é submetido a uma carga. Isso permite verificar se o equipamento mantém as condições necessárias para realizar o trabalho ao qual era submetido antes da manutenção. Através da implementação de uma bancada de testes, serão impostas condições de carga constante ou linear ao motor para coletar dados de corrente, tensão, velocidade, potência e torque. Com esses dados, será possível determinar se o equipamento está apto a operar.

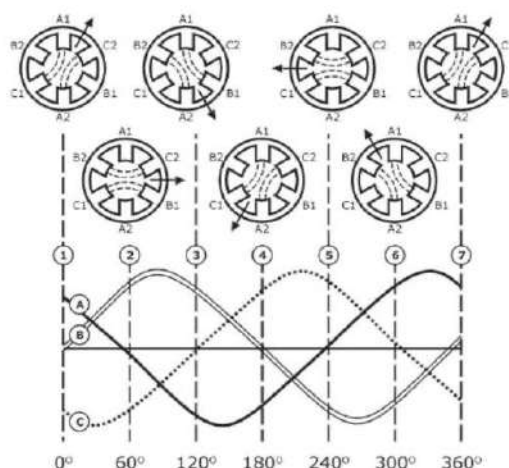
Conforme Souza (2020), um enrolamento polifásico (**Figura 3**) alimentado por tensão trifásica gera um campo magnético girante. A velocidade desse campo, chamada de velocidade síncrona, depende da frequência da tensão trifásica e do número de polos do enrolamento. Embora o sistema seja trifásico, a interação ocorre entre apenas dois campos magnéticos, resultando em uma força de repulsão proporcional à corrente e à distância entre os condutores. A alternância da tensão (Figura 4) e os vetores de indução magnética resultante da interação entre dois campos magnéticos, que se alternam a cada  $120^\circ$ , formam um campo girante. Esse campo varia conforme a frequência de alimentação e o número de polos do motor.

**Figura 3 – Bobinado polifásico.**



Fonte: Mascheroni, Lichtblau e Gerardi (2014 apud. Souza, 2020).

**Figura 4 – Campo girante**



Fonte: Mascheroni, Lichtblau e Gerardi (2014 apud. Souza, 2020).

Sendo assim, de acordo com Gomes (2023) em vez de comprar um motor elétrico novo, reformá-lo através do rebobinamento pode ser uma opção mais econômica. O rebobinamento consiste em consertar o motor, trocando somente as partes internas danificadas, como os fios, enquanto a estrutura principal do motor continua a mesma.

## 2.4 Chapas de Aço Silício: O Núcleo da Eficiência

A eficiência dos motores elétricos é influenciada por conta dos materiais presentes nos circuitos magnéticos, principalmente as chapas utilizadas nos núcleos de estatores e rotores. Desse modo, as chapas de aço silício são elementos fundamentais nos circuitos magnéticos de máquinas elétricas rotativas. Sua função é conduzir o fluxo magnético com o mínimo de perda energética, e sua composição influencia diretamente na performance do motor. O silício, adicionado ao ferro em proporções que variam de 1% a 4,5%, aumenta a resistividade elétrica e melhora o comportamento magnético do material, reduzindo perdas por correntes parasitas e histerese (Say, 2002; Nasar, 1995).

De acordo com o portal Transformestrip (2025), o aço-silício possui alta permeabilidade magnética, baixo coeficiente de perda e capacidade de conduzir o fluxo com menor dissipação energética. Desse modo, categoriza-se o Aço-silício não orientado (NGO), a qual é comum em motores industriais gerais, e o Aço-silício de

grão orientado (GO), onde é aplicado em transformadores e motores de alto rendimento.

Segundo dados técnicos da WEG (2024), os motores da linha IR3 de alto rendimento utilizam chapas com teor de silício em torno de 3,2% e espessura de 0,35 mm, resultando em menores perdas magnéticas quando comparados a motores antigos, cujas chapas possuíam cerca de 2,0% de silício e espessura de 0,50 mm (WEG, 2024).

As perdas magnéticas totais podem ser modeladas pela equação (1):

$$P_{total} = P_{histerese} + P_{Foucault} + P_{excesso} \quad (1)$$

Onde:

$P_{total}$  = Potência total (unidade);

$P_{histerese}$  = Perdas por histerese (unidade);

$P_{Foucault}$  = Perdas por correntes de Foucault (unidade);

$P_{excesso}$  = Perdas em excesso (unidade).

Cada componente dessas perdas depende de variáveis como a frequência da rede elétrica ( $f$ ), a densidade de fluxo magnético ( $B$ ) e os coeficientes relacionados ao material da chapa ( $k_1, k_2, k_3$ ). Para motores com núcleo de 5 kg operando a 60 Hz, os cálculos mostram que a substituição do material antigo pelo novo reduz as perdas magnéticas em até 35,74%, com impactos diretos no consumo energético e no aquecimento interno do motor (Transformerstrip, 2025; Machinemfg, 2025).

Além disso, a menor densidade de perdas melhora o fator de potência e reduz a corrente de operação, ampliando a vida útil dos enrolamentos e minimizando os custos operacionais. Essa evolução se alinha à busca por eficiência energética industrial, promovida por programas como o Procel Motores e exigida por normativas internacionais como IE3 e IE4 (WEG, 2024; Say, 2002).

### 3 METODOLOGIA

### 3.1 Estudo de caso

A pesquisa se baseia em um estudo em motores elétricos que, quando vêm a queimar, a rebobinagem é uma solução que atende às expectativas e com um preço mais acessível que o custo de um motor novo, sendo assim a rebobinagem ajuda a cortar custos desnecessários para a indústria.

Uma empresa de rebobinagem deve seguir alguns passos para que possa garantir a qualidade dos serviços prestados ao seu cliente, sendo assim, a honestidade nos serviços prestados.

No processo de desmontagem e peritagem de peças, deve ser observada a causa da queima e partes e peças móveis, observando e conferindo se há algum desgaste mecânico ocasionado por alguma anomalia (exemplo: vibração mecânica).

Existem diversas falhas de queima de motores devido a sobretensão e subtensão, sobrecarga, falha de ventilação e superaquecimento, curto-circuito nos enrolamentos, desequilíbrio de tensão, partidas frequentes, problemas mecânicos, harmônica na rede e contaminação.

Figura 5 - Principais causas de queima de motores.



Fonte: WEG (2019)

Após identificar a causa da queima, deve ser feita a verificação do esquema de ligação para que possa ser refeita de forma idêntica ao esquema original, entretanto existem outras maneiras de ser feita a ligação de motores elétricos trifásicos.

**Figura 6** - Tirando esquema de ligação.



Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Depois de tirar o esquema de ligação do motor elétrico trifásico, deve ser feito o corte da coroa do motor. Após essa etapa, deve ser feita a retirada dos condutores, sempre guardando dois ou mais jogos de bobinas por fase para conferir a quantidade de espiras, pois pode haver jogos de espira.

Geralmente, é usado na retirada do cobre de um motor de indução fogo ou algum produto químico descarbonizante. Porém, deve-se tomar muito cuidado para que não danifique o entreferro do motor elétrico, pois suas chapas são isoladas por uma fina camada de resina ou verniz.

Após a retirada do cobre, deve ser feita a limpeza das ranhuras e verificado se há algum ponto com curto-circuito no interior das ranhuras. Se houver algum acúmulo de cobre ou alumínio, deve ser feita a retirada de todo esse material.

Após a retirada de todos os materiais contaminantes, deve-se fazer um ensaio (*loop teste*) para determinar se o núcleo magnético do motor de indução trifásico está em condições de ser feita a rebobinagem, assim assegurando a qualidade do serviço de rebobinagem.

Para a realização do ensaio de *loop* de corrente, que relaciona a corrente e o número de espiras no enrolamento, utiliza-se a seguinte equação (2):

$$Loop\ Test\ \left(\frac{A}{esp}\right) = 1,2362 * \frac{[DE+DI+(2*PR)]}{2} \quad (2)$$

Onde:

*Loop Test* = Valor do teste de loop em Amperes por espira;

*A* = Corrente em Amperes;

*DE* = Diâmetro externo da bobina (em milímetros ou unidade usada);

*DI* = Diâmetro interno da bobina (em milímetros ou unidade usada);

*PR* = Profundidade radial da bobina (em milímetros ou unidade usada).

Já para o ensaio de *loop* de tensão, que considera a relação entre volts e espiras, a expressão utilizada é apresentada na equação (3):

$$Loop\ Test\ (V/esp) = (0,0002 * L * [DE - DI - (2 * PR)]) \quad (3)$$

Onde:

*V/esp* = Tensão por espira (a tensão média medida por número de espiras);

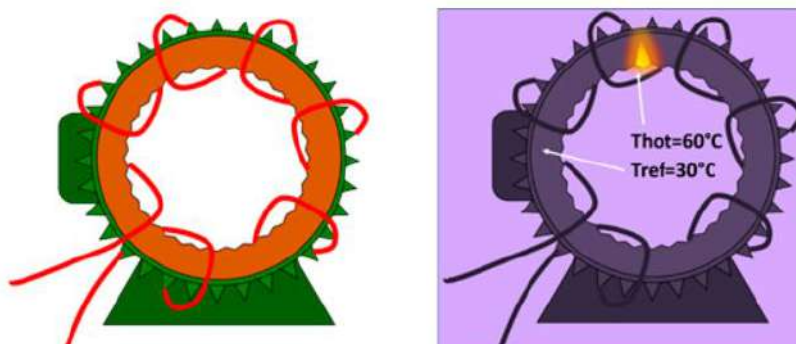
*L* = Comprimento do fio ou da bobina (milímetros ou unidade usada);

*DE* = Diâmetro externo do componente (milímetros ou unidade usada);;

*DI* = Diâmetro interno do componente (milímetros ou unidade usada);;

*PR* = espessura ou profundidade do revestimento (milímetros ou unidade usada).

**Figura 7 - Ensaio de loop teste.**



Fonte: Guia de Motores (2025)

Depois de fazer todo esse processo, é necessário refazer o cálculo do motor de indução trifásico, levando em consideração a perda de algumas chapas devido ao corte da coroa ou até mesmo por desgaste devido às condições em que o motor é utilizado.

Com a perda entre ferro, o motor de indução trifásico perde a sua capacidade de gerar o mesmo torque usando as mesmas informações do motor original, assim deve-se fazer o cálculo para determinar a quantidade de espiras por fase (4):

$$\frac{50 \times 220}{2,22 \times \Phi \times f \times \int} \quad (4)$$

Onde:

50 = Valor ou constante específica;

200 = Tensão em Volts;

2,2 = Constante de forma da onda;

$\Phi$  = Fluxo magnético em weber;

f = frequência (em Hertz);

$\int$  = área do loop de histerese.

Em seguida, para o cálculo do número de espiras por elemento do enrolamento, a Equação (5) é aplicada:

$$\frac{3 \times ZF}{N} \quad (5)$$

Onde:

3 = Fator de correção ou multiplicador, relacionado a sistemas trifásicos.

ZF = Força magnetomotriz total (em ampère-espira);

N = Número de ramos magnéticos.

Após ter a quantidade de espiras definida, é necessário fazer o cálculo da seção transversal do condutor para definir o modo que será feita a rebobinagem do motor de indução trifásica, lembrando que o mais indicado é que seja o mais próximo

das características originais do fabricante. Assim, a equação (6) é aplicada da seguinte forma:

$$\frac{I \times K2}{d \times 1,73 \times K1} \quad (6)$$

Onde:

$I$  = corrente elétrica (A);

$K2$  = fator de correção de agrupamento dos condutores;

$d$  = densidade de corrente admissível;

1,731,73 = valor aproximado de 33, referente ao sistema trifásico;

$K1$  = fator de correção conforme a construção do motor.

Depois de fazer essa verificação de qualidade do entreferro e redefinir a quantidade de espira e fio, ele é liberado para lavar, secar e fazer a pintura de fundo para que ajude na vida útil das partes metálicas. Após essa etapa, o estator está liberado para começar a rebobinagem.

**Figura 8** - Isolações das ranhuras.



Fonte: Próprio Autor (2025).

Quando o estator está pronto para ser rebobinado, leva-se em consideração o ambiente onde a máquina irá ser instalada para determinar a classificação de isolamento, pois existem vários tipos de materiais correspondendo à temperatura do ambiente.

Nessa aplicação, o motor trabalha em um ambiente com temperatura elevada, necessitando a utilização de um isolante com uma maior isolamento, superior à original na especificação do fabricante. Utilizada a isolamento (*F*) e esse equipamento trabalhará em um ambiente com temperatura alta, será utilizada a isolamento classe (*H*), melhorando assim a temperatura de ruptura do isolante.

**Figura 9** - Material isolante classe F 155 e H 180.



Fonte: Do Autor (2025)

Depois da isolamento concluída, deve-se fazer um protótipo da bobina, considerando que ela deva ficar com um tamanho adequado para que, quando se for fazer a montagem do motor de indução trifásico as tampas não encostem nas bobinas, ocasionando um curto-circuito.

**Figura 10** - Protótipo de bobina.



Fonte: Do Autor (2025)

Tendo a aprovação do tamanho da bobina *start* a confecção das bobinas, podendo variar a quantidade de espiras devido ao tipo de rebobinagem, podendo ser concêntrico ou imbricado (mais conhecido na nossa região com canal cheio para concêntrico e meio canal para imbricado).

Quando estiver tudo pronto o rebobinador faz o encaixe manual das bobinas acomodando as mesmas nas ranhuras dispondo-as defasada 120 graus uma da outra com o objetivo de fazer a polarização correta.

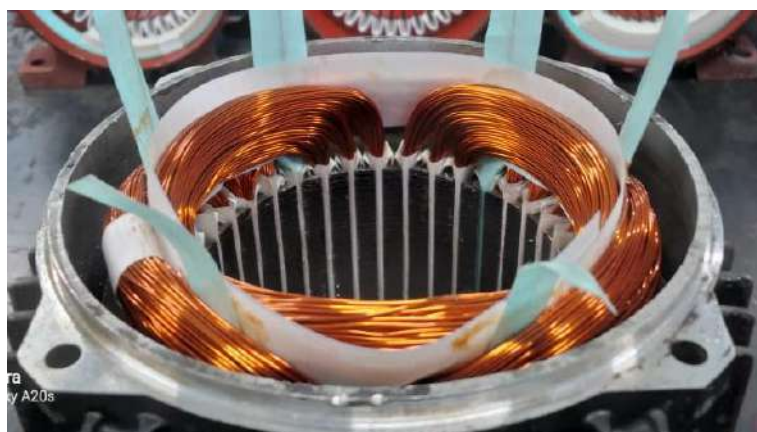
**Figura 11** - Encaixe das bobinas nas ranhuras.



Fonte: Próprio Autor (2024).

Depois de fazer o encaixe das bobinas, deve-se fazer a isolação das bobinas entre fase para proteger de um curto-circuito, assim assegurando a vida útil do motor de indução trifásico e garantindo a eficiência da rebobinagem.

**Figura 12** - Isolação entre as fases.



Fonte: Próprio Autor (2025).

Após esse trabalho, começa o processo de ligação que determina a quantidade de polos do motor. Esse trabalho é crucial para o bom funcionamento do equipamento sabendo que se fizer algum fechamento errado o motor de indução trifásico não funcionaria de maneira adequada.

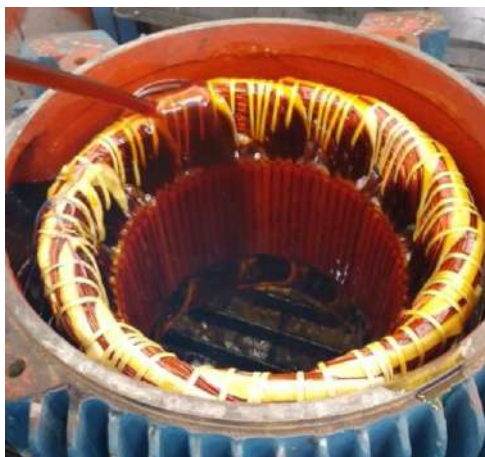
**Figura 13** - Ligações em serie soldada



Fonte: Próprio Autor (2025).

Após todas essas etapas e feito um teste simples de continuidade para saber se as pontas de ligação estão de maneira adequada para que não ocorra erro no processo de rebobinagem, podendo então fazer a liberação do estator para o processo de impregnação (envernizar).

**Figura 14** - Processo de impregnação.



Fonte: Próprio Autor (2025).

Depois de fazer o processo de impregnação deve se levar em consideração a quantidade de horas e temperatura especificada pelo fabricante para que ocorra a cura do verniz assim assegurando a qualidade da impregnação do motor de indução trifásico.

**Figura 15** - Processo de Cura verniz.



Fonte: Próprio Autor (2025).

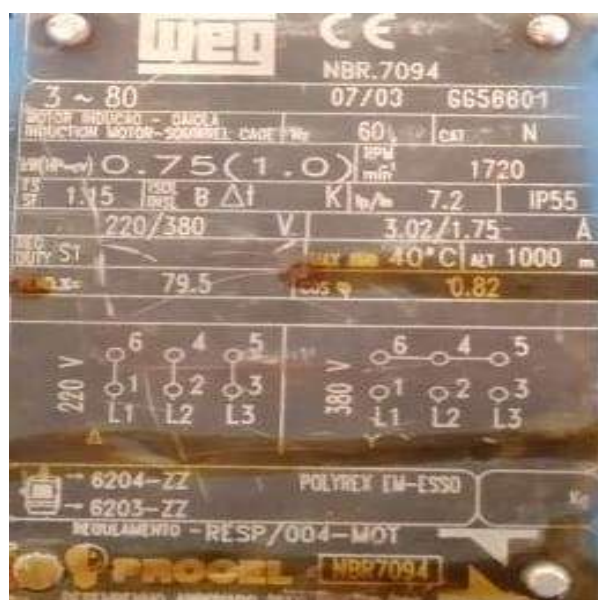
Após o processo de impregnação, deve-se deixar escorrer o excesso de verniz, quando não estiver mais com excedente do material, deve ser acondicionado em estufa para que seja feito a cura do verniz, cada tipo de verniz detém sua característica de cura nesse caso em específico, ficará por 12 horas a uma temperatura de 120 graus.

### 3.3 Análise de Caso Prático

Foi realizada a análise de dois motores de indução trifásicos da mesma marca, modelo, potência e rotação. No entanto, observa-se uma mudança no processo de engenharia na fabricação dos motores.

No primeiro caso, trata-se de um motor de indução trifásico fabricado no ano de 2003, conforme placa de identificação original. Após serem observadas essas informações da placa de identificação e retirados os dados de rebobinagem do motor conforme tabela abaixo.

**Figura 16-** Placa de identificação original antiga.



Fonte: Próprio Autor (2025).

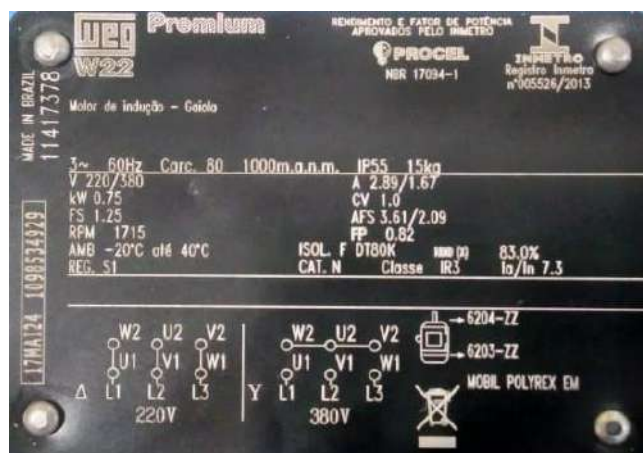
**Tabela 1 - Dados de rebobinagem do motor original antigo**

Tipos de Ligação	Serie Aberta Y $\Delta$ 6 pontas
Passo Polar	8-10-12
Espira	60
Fio (AWG)	23
Número de Ranhuras	36
Diâmetro do Pacote	8,2
Comprimento do Pacote	8,0

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

No segundo caso, o motor foi fabricado no ano de 2024, apresentando algumas diferenças em relação à rebobinagem. A ligação é a mesma do primeiro caso, porém o passo polar é diferente (8-10-8), com 60 espiras, condutor 23 AWG, número de ranhuras 36, diâmetro interno do pacote de 8,2 mm e comprimento de 8,5 mm.

O que diferencia um motor do outro é a quantidade de entreferro. No segundo caso, o comprimento é 5 mm maior, o que indica que as chapas que compõem o núcleo magnético são diferentes entre os motores.

**figura 17 - Placa de identificação motor novo.**


Fonte: Próprio Autor (2025)

**Tabela 2 - Dados de rebobinagem de um motor original novo.**

Tipos de Ligação	Serie Aberta Y $\Delta$ 6 pontas
Passo Polar	8-10-8
Espira	60
Fio (AWG)	23

---

Número de Ranhuras	36
Diâmetro do Pacote	8,2
Comprimento do Pacote	8,5

---

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Quando o processo de rebobinagem é feito por empresas conceituadas no mercado, pode-se ter a confiança de um serviço de excelência e assim ter a segurança de que um motor rebobinado pode ser instalado na planta da fábrica sem medo de que sua indústria vai parar.

Para prosseguir com o estudo de caso, utilizaram-se as fórmulas descritas para fazer a comparação com as informações extraídas dos motores originais. Segue abaixo o cálculo do motor antigo com base nos dados construtivos obtidos da placa de identificação e das características originais de fábrica:

Passo polar:

$$\frac{3,14 \times 8,2}{4} = 6,437$$

Fluxo magnético:

$$\frac{5 \times 6,437 \times 8}{1000} = 0,25748$$

Espira por fase:

$$\frac{50 \times 220 \times 2}{2,22 \times 0,25748 \times 60 \times 0,96} = \frac{22000}{32,9245} = 668,19$$

Espira por bobinas:

$$\frac{3 \times 668,19}{36} = 55,68$$

Cálculo da bitola do fio em  $mm^2$ :

$$\frac{3,45 \times 55,68}{7 \times 1,73 \times 55,68} = \frac{192,09}{674,28} = 0,2848 \text{ mm}^2 \cong \text{fio 23AWG}$$

Seguindo a **Tabela 1** de padrão de medidas das seções transversais de condutores, a medida mais próxima é  $0,26 \text{ mm}^2$ , sendo assim, é necessário fazer uma adequação na área do motor.

Exemplo:

$$55,6 \times 0,2848 = 15,86 \text{ área total}$$

Utilizando a tabela padrão (Tabela 1) de medidas, deve-se pegar a área total acima descrita e dividir pela seção indicada na tabela padrão com as respectivas medidas mais próximas da calculada.

$$\text{Exemplo: } 15,86/0,26 = 61 \text{ espiras.}$$

Posteriormente, apresenta-se o cálculo do motor novo com base nos dados construtivos obtidos da placa de identificação e das características originais de fábrica:

Passo polar:

$$\frac{3,14 \times 8,2}{4} = 6,437$$

Fluxo magnético:

$$\frac{5 \times 6,437 \times 8,5}{1000} = 0,2735$$

Espira por fase:

$$\frac{50 \times 220 \times 2}{2,20 \times 2,73 \times 6 \times 0,96} = \frac{22000}{34,9822} = 628,89$$

Espira por bobinas:

$$\frac{3 \times 628,89}{36} = 52,40$$

Cálculo da bitola do fio em  $mm^2$ :

$$(3,6 \times 52,40) / (7 \times 1,73 \times 52,40) = 188,64 / 634,564 = 0,2972 \text{ [mm]}^2 \\ \cong \text{ fio } 23\text{AWG}$$

Seguindo o mesmo princípio do exemplo anterior, deve-se fazer o mesmo cálculo de ajuste de condutor, assim terá como consequência a alteração do número de espiras.

$$EX: 52,40 \times 0,2972 = 15,5732 \text{ área total}$$

Utilizando a tabela padrão (**Tabela 2**) de medidas, deve-se pegar a área total acima descrita e dividir pela seção indicada na tabela padrão com as respectivas medidas mais próximas da calculada.

$$Ex: 15,5732 / 0,26 = 59,89 \text{ espiras}$$

**Figura 18 - Especificação do motor original da faculdade.**



Dados Motor														
Identificação														
Motor:11417378														
Data:16/05/2025														
Classe Isolamento Motor:F														
Item														
MOTOR ELETRICO TRIFASICO CA 1 cv 04 80 220/380 C/ 6 term 60Hz B3D IP55 W22 W22 IE3 WFF2														
REFRIGERACAO: TFVE TOTAL FECH VENTIL EXTERNA;PLANO DE PINTURA: 207A;COR ACABAMENTO: RAL 5009;CHAVETA: CHAVETA A;DRENO: DRENO														
LABIRINTO T AUTOMATICO;MATERIAL EIXO: ACO CARBONO SAE 1040/45;SENTIDO DE ROTACAO: AMBOS;TIPO GRAXA: MOBIL POLYREX EM;MATERIAL														
INVOLUCRO: FERRO;MATERIAL VENTILADOR: PLASTICO;TIPO ATERRAMENTO: ATERRAMENTO UNICO;BITOLA ROSCA CX LIG PRINC: RWG(Rp)														
1/2";BLINDAGEM ROLAMENTO DIANTEIRO: ZZ;BLINDAGEM ROLAMENTO TRASEIRO: ZZ;TIPO ROLAMENTO DIANTEIRO: ESFERAS;CLASSE ISOL E ELEV														
TEMPER: F (DT*80K);DETALHE 1: NENHUM;CERTIFICACAO: INMETRO;FATOR DE SERVIÇO: 1.25;EMBALAGEM: CAIXA DE PAPELÃO;TIPO DE VEDAÇÃO														
DIANTEIRA: V'RING;ENTIDADE NORMA: IEC;GRAU DE VIBRACAO: A;MERCADO: BRASIL;POSICAO SAIDA CABOS CX LIG PRI: P/ BAIXO OLHANDO P/ PONTA														
EIXO;TIPO DE IMPREGNACAO: IMPREGNAÇÃO POLIESTER; TEMPERATURA AMBIENTE MINIMA: -20°C; TEMPERATURA AMBIENTE MAXIMA: 40°C;ALTITUDE:														
1000 m;REGIME DE SERVIÇO: S1;TIPO PRODUTO (PAD/OPC/ESP): PADRÃO														
Bobinagem														
Descrição	Pólos	Fios	Fios	Espiras	Passo	Camada	Ligação	B/G	G/F	Enchimento de cobre	Lz	Esquema de ligação	Resistência de ligação	Resistência de Fase
TRIFASICO		1 x 0,6 (Cu)	1.052	62	1:8:10/1:8	Única	Série	2(1)	4	0.361	345	35-004-98/11 1-AD	5,59	8,38
Ferragem														
Entreferro	Nr. ranhura estator	Pacote	Diam. ext. estator	Diam. int. estator										
25	36	85	122.00000	82.00000										

Fonte: WEG (2025)

A partir dos cálculos realizados, percebe-se a importância dos parâmetros para a reconstituição adequada dos enrolamentos e para a verificação do seu desempenho. Desse modo, seguiu-se no processo da investigação sobre o desempenho do motor submetido ao processo de rebobinagem na finalidade de analisar a eficiência energética e as perdas associadas.

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base neste estudo, ficou evidente que a rebobinagem é uma alternativa viável para a recuperação de motores elétricos. No entanto, é fundamental considerar alguns fatores importantes que podem comprometer sua eficiência e rendimento. Desse modo, a **Figura 19** mostra visualmente a forma correta e incorreta no processo de rebobinagem e suas consequências:

Figura 19 – Processo de rebobinagem correta e incorreta



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Um fator muito importante no processo de rebobinagem é o cuidado com as chapas de aço silício, pois elas são fundamentais para a composição do núcleo magnético do motor. Preservá-las garante que os padrões de fábrica sejam mantidos ou, ao menos, que se atinja um desempenho o mais próximo possível do original.

Durante o processo de recuperação de motores, na etapa da retirada do cobre antigo e primordial a preservação da integridade do núcleo magnético. Pois esse núcleo é construído por chapas finas de aço silício isolada entre si.

Na retirada do cobre, não deve utilizar ferramentas que possam danificar ou deformar as chapas como pancadas ou cortes. O aquecimento excessivo, com maçarico ou por resistência elétrica, deve ser controlado, pois pode danificar o verniz que isola cada lâmina.

Com isso, a maneira correta da retirada dos condutores deve priorizar uma maneira que não comprometa a integridade das chapas magnéticas, fazendo isso a confiança que o motor, após ser feita a rebobinagem, terá um desempenho o mais próximo possível de suas características originais.

No funcionamento de um motor de indução trifásico, parte da energia elétrica é inevitavelmente convertida em calor, e uma fração significativa dessa perda ocorre no núcleo magnético. Este núcleo, geralmente composto por chapas finas de aço silicioso, tem a função de conduzir o fluxo magnético gerado pelo enrolamento do estator, com o menor nível de perdas possível.

As perdas no núcleo magnético se dividem em duas categorias principais: perdas por histerese magnética e perdas por corrente parasita. A perda por histerese está relacionada à resistência do material magnético em inverter sua polaridade a cada ciclo de corrente alternada. Já as correntes parasitas são geradas dentro do próprio material do núcleo, devido à variação do campo magnético, formando pequenos circuitos que provocam aquecimento e perda de energia.

Durante o processo de rebobinagem do motor, é comum que o foco esteja nos enrolamentos, mas é essencial considerar que o aquecimento excessivo durante a queima do verniz isolante antigo ou o uso de métodos inadequados pode alterar as propriedades do aço do núcleo magnético. Isso pode causar o aumento da densidade de perdas magnéticas, especialmente por correntes parasitas, afetando diretamente o desempenho e a eficiência do motor.

Além disso, se durante a rebobinagem houver mau posicionamento dos condutores, isolamentos deficientes ou alteração no projeto original, pode haver desequilíbrio no campo magnético gerado, o que também contribui para o aumento

das perdas no núcleo. Em casos mais críticos, pode-se observar até aquecimento anormal e redução da vida útil do equipamento.

Por isso, uma rebobinagem eficiente vai além da substituição dos fios: envolve atenção à integridade do núcleo, aplicação correta de verniz isolante e respeito às características eletromagnéticas do motor original. Esse cuidado é essencial para garantir que as perdas magnéticas não comprometam a recuperação do desempenho energético do motor.

#### **4.1 Eficiência e rendimento entre motores novos e rebobinados antigos**

A eficiência energética de um motor elétrico está diretamente relacionada à sua capacidade de converter energia elétrica em energia mecânica com o menor nível possível de perdas. No caso de motores de indução trifásicos, essas perdas se distribuem entre o estator, o rotor, o núcleo magnético e o atrito mecânico. Quando se compara o desempenho de um motor novo com o de um motor rebobinado, é possível observar diferenças sutis, mas relevantes, principalmente no que se refere ao rendimento.

Motores novos, são projetados com foco em eficiência elevada, utilizando materiais otimizados, como chapas magnéticas de baixa perda, condutores de cobre de alta pureza e técnicas avançadas de isolamento e montagem. Essas características permitem que o rendimento do motor atinja níveis superiores a 90%, dependendo da potência e da classe de eficiência.

Por outro lado, um motor rebobinado, mesmo que submetido a um processo técnico de alta qualidade, pode apresentar uma leve queda de rendimento, variando geralmente entre 1% e 5%, dependendo de fatores como seguir projeto original (número de espiras, sessão dos condutores, passo do enrolamento).

#### **4.2 Qualidade do material isolante utilizado e da impregnação com verniz**

Cuidados com os núcleos magnéticos durante a retirada do enrolamento antigo, principalmente se for utilizado calor excessivo ou métodos abrasivos.

Desalinhamento do campo magnético, causado por assimetrias no novo enrolamento.

Essa redução de eficiência, embora pareça pequena, pode gerar um consumo energético maior ao longo da vida útil do motor, impactando diretamente nos custos operacionais da instalação. Contudo, em muitas situações, especialmente na indústria, rebobinagem ainda é uma solução economicamente viável e ambientalmente sustentável, desde que realizada com técnicas adequadas e por profissionais qualificados.

Quando a rebobinagem é concluída, conseguem preservar até 96% do rendimento original motor. No entanto, quando realizadas sem os devidos cuidados, a perda de eficiência pode ultrapassar os 5%, comprometendo a viabilidade do processo.

A escolha entre trocar ou rebobinar um motor deve ir além do custo inicial. É essencial avaliar como essa decisão vai afetar o consumo de energia ao longo do tempo. Quando feita com rigor técnico e respeitando as especificações de fábrica, a rebobinagem pode contribuir positivamente para a eficiência energética, desde que o núcleo magnético permaneça intacto durante todo o procedimento.

Comparar os resultados de teste em laboratório em um motor rebobinado com teste originais de fábrica de um motor não rebobinado.

O motor novo, conforme esperado, apresentou um funcionamento suave, com corrente estabilizada, potência ativa proporcional à carga e fator de potência adequado à operação em regime leve. Este desempenho reflete a integridade de seus componentes, incluindo o isolamento dos enrolamentos, o entreferro do estator e a geometria original das bobinas, características preservadas de fábrica e otimizadas para a máxima eficiência.

Em comparação com o motor rebobinado, apesar de funcional, demonstrou um consumo de corrente superior ao motor novo sob condições semelhantes de carga. Isso indica um que o motor sofreu perdas possivelmente associadas a deterioração das propriedades magnéticas do núcleo devido ao aquecimento por queima sobre carga.

É crucial destacar que o motor rebobinado sofreu queima por sobre carga, condição que promove severo estresse térmico nos materiais isolantes e magnéticos. A exposição a temperaturas elevadas pode alterar o núcleo, danificando permanentemente o verniz isolante e causar deformações no entreferro magnético. Mesmo após a rebobinagem, tais efeitos muitas vezes não são completamente revertidos, comprometendo a recuperação total da eficiência do motor original.

### 4.3 Cálculos de número de espiras e seção do condutor

Nos cálculos de rebobinagem de motores elétricos, os aspectos de rendimento e fator de serviço são fundamentais para garantir que o motor rebobinado mantenha seu desempenho original.

Apesar de o motor do primeiro caso ser um motor antigo e com histórico de várias queimas por sobrecarga, temos como conclusão que esse motor não voltará a ter o mesmo rendimento de um motor original.

Sabendo que, quando um motor passa por um processo de aquecimento, ele tem perda nos enrolamentos, sendo assim um dos fatores mais significativos, especialmente em motores que trabalham em regime de carga superior à sua capacidade nominal.

A rebobinagem de motores elétricos é um processo técnico que exige conhecimento e entendimento dos parâmetros eletromagnéticos que compõem a máquina. Os cálculos envolvidos nesse procedimento, embora antigos, permanecem eficazes até os dias atuais. A fórmula tradicional para determinar o número de espiras, fluxo magnético e bitola dos condutores tem sido utilizada por décadas, demonstrando a sua autenticidade e confiabilidade no processo de rebobinagem.

Neste caso em específico, foram realizados os principais cálculos necessários para reconstruir fielmente o enrolamento de um motor novo. O primeiro passo foi a determinação do passo polar, uma medida essencial para o cálculo do fluxo magnético do entreferro grandeza que expressa a quantidade de linhas de campo magnético cortando as espiras do estator. Em seguida, aplicou-se a equação tradicional para estimar o fluxo magnético, considerando as características do motor como o comprimento do núcleo, o diâmetro interno e a densidade de fluxo.

A partir desses fatores, obtemos o número de espiras por fase, que está diretamente relacionado à tensão de trabalho e à frequência da rede. Esse número foi depois ajustado para determinar a quantidade de espiras por grupo de bobinas, considerando o número de polos e ranhuras do estator. Por fim, o cálculo da bitola do fio foi realizado, buscando garantir que a corrente elétrica seja conduzida de forma segura e eficiente, sem riscos de aquecimento excessivo.

Esse tipo de análise é fundamental tanto para a fabricação de um motor novo quanto para a recuperação de motores antigos por meio da rebobinagem. A uniformidade das fórmulas aplicadas reflete a estabilidade teórica desse campo da engenharia elétrica, permitindo que mesmo motores que sofreram falhas por sobrecarga possam ser restaurados com bom desempenho — desde que os parâmetros originais sejam respeitados.

**Figura 20** - Teste com analisador de energia.



Fonte: Próprio do Autor (2025)

O motor analisado foi submetido a uma condição severa de sobrecarga, resultando na queima de seus enrolamentos originais. Após o processo de rebobinagem, foi observado que, apesar de funcional, ele não recuperou plenamente seu desempenho energético. A corrente de 3,01 A, mais elevada que a esperada, somada a uma potência ativa inferior (252,60 W), indica perdas internas agravadas, possivelmente causadas por histerese e correntes parasitas aumento das perdas por temperatura.

**Figura 21** – Teste analisador de energia motor novo



Fonte: Próprio Autor (2025).

Nesta análise, observamos o comportamento ideal de um motor novo, operando com plena integridade. A corrente de 2,78 A está dentro dos padrões esperados para a carga aplicada, enquanto a potência ativa superior (282,60) do motor rebobinado. O fator de serviço elevado (0,797) mostra uma conversão energética mais eficiente e alinhada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como propósito analisar as falhas mais comuns em motores elétricos de indução trifásicos e avaliar a eficiência da rebobinagem como método de recuperação do desempenho desses equipamentos. Através de uma abordagem prática e teórica, foi possível cumprir os objetivos propostos, aprofundando a compreensão sobre o comportamento de motores novos em comparação com motores rebobinados, especialmente aqueles que sofreram queima por sobrecarga.

Os dados coletados e analisados ao longo do estudo demonstraram que, embora a rebobinagem permita restaurar a funcionalidade de motores danificados, ocorrem alterações em parâmetros elétricos que impactam diretamente na eficiência energética. A análise comparativa evidenciou perdas no rendimento, aumento no

consumo de corrente e leve queda no fator de potência nos motores submetidos à rebobinagem, confirmando a importância de uma execução técnica criteriosa.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a rebobinagem continua sendo uma alternativa economicamente viável e tecnicamente justificável, desde que conduzida com precisão nos cálculos e cuidado na aplicação dos materiais. O conhecimento técnico do profissional envolvido faz diferença significativa na qualidade do serviço e no desempenho final do motor recuperado.

Nesse contexto, a transição energética buscou reduzir o consumo de fontes fósseis e promoveu sistemas mais sustentáveis e eficiência em motores. Eles reduziram a demanda por energia elétrica e diminuíram os custos operacionais, contribuindo para minimizar a emissão de gases de efeito estufa. Sendo assim, é crucial a correta manutenção, rebobinagem e a substituição de motores obsoletos como estratégia para alcançar os objetivos que contribuem para a sustentabilidade.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se investigar o impacto da qualidade dos materiais isolantes utilizados na rebobinagem, assim como avaliar o comportamento de motores submetidos a múltiplos ciclos de reparo. Além disso, pesquisas envolvendo a utilização de tecnologias de análise preditiva podem contribuir para uma manutenção mais eficiente e uma maior vida útil dos motores de indução na indústria.

## REFERÊNCIAS

CHAPMAN, Stephen. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2017. P. 400.

CHINEMFG. Tipos de aço: o guia completo. 2025. Disponível em: <https://www.guiademotores.com/index.php/guia-profissional?start=31>. Acesso em: 2 jun. 2025.

FERREIRA, Marcio da Silva. **Análise de eficiência energética e viabilidade financeira em motores elétricos de indução em uma planta industrial de açúcar e etanol: um estudo de caso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 2023.

GOMES, Breno Soares. **Análise de desempenho de motor de indução trifásico após processo de rebobinamento** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Guarapari, 2023.

GUIA DE MOTORES. **Danos em enrolamentos – Motores trifásicos**. WEG, [s.d.]. Disponível em: <https://www.guiademotores.com/index.php/guia-profissional?start=31>. Acesso em: 2 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Guia de Eficiência Energética**. 1. ed. Brasília: IBRAM, 2024. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/09/IBRAM\\_Guia-Eficiencia-Energetica.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/09/IBRAM_Guia-Eficiencia-Energetica.pdf). Acesso em: 25 mar. 2025.

LEONCIO, Iaponyra de Araújo. **Estudo da viabilidade econômica da substituição de motores elétricos em uma instalação industrial de modo a reduzir o desperdício de energia**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Ouro Preto. 2021.

NASAR, S. A. **Electric machines and transformers**. New York: Macmillan Publishing, 1995.

SAY, M. G. **Alternating current machines**. 5th ed. London: Pitman Publishing, 2002.

SOUZA, Fabiano Cavilha. **Bancada de teste para comprovação de eficiência em rebobinamento de motor elétrico trifásico, com base na leitura do torque do motor**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

TRANSFORMERSTRIP. **Chapa de aço silício: propriedades, tipos e aplicações**. 2025. Disponível em: <https://www.transformerstrip.com>. Acesso em: 2 jun. 2025.

VILLATE, Jaime E. *Eletricidade, magnetismo e circuitos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014. Disponível em: <http://villate.org>. Acesso em: 25 mar. 2025.

WEG. **Catálogo técnico – Motores trifásicos linha IR3 Premium Efficiency**. Jaraguá do Sul: WEG, 2024.

WEG. **Especificação técnica do motor W22 Plus 0,75 kW**. Manual de especificação. Jaraguá do Sul: WEG, 2024

WEG. **Manual de bobinagem**. Catálogo: 541 17/042005. Jaraguá do Sul: WEG, [s.d.]. p. 7.

WEG. **Danos em enrolamentos – Motores trifásicos**. 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0b/hbf/WEG-danos-em->

---

enrolamentos-motores-trifasicos-50009255-brochure-portuguese-web.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

WOLFF, J. G. B.; SEIDEL, L. R. **Práticas de eletricidade e eletrotécnica**. 1. ed. Indaial: UNIASSELVI, 2019.