



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRIELA DIAS PINHEIRO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONFIABILIDADE DE MOTORES
ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA

FORTALEZA

2017

GABRIELA DIAS PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONFIABILIDADE DE MOTORES
ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Sérgio Daher.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P719a Pinheiro, Gabriela Dias.
Avaliação de Desempenho e Confiabilidade de Motores Elétricos em uma Indústria / Gabriela Dias
Pinheiro. – 2017.
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Sérgio Daher.
1. Confiabilidade de Motores Elétricos. 2. Falha de Motores Elétricos. 3. Manutenção Preventiva. I.
Título.

CDD 621.3

GABRIELA DIAS PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E CONFIABILIDADE DE MOTORES
ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr.-Ing Sérgio Daher

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.-Ing. Sérgio Daher (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ph.D. Fernando Luiz Marcelo Antunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Guilherme Preisler da Rocha
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Aos meus pais, Fabíola e Lopes,

Ao meu avô Francisco Lopes,

Ao meu namorado, Lucas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu avô Francisco Lopes Pinheiro, que é a minha grande fonte de inspiração e que sempre foi uma grande referência à quem eu me espelho todos os dias da minha vida. O maior e mais incrível electricista que eu já conheci, que tinha o sonho de ver um filho se formar em Engenharia Elétrica e passar o seu conhecimento. Seu sonho me inspirou a ser Engenheira Eletricista e espero um dia poder orgulhá-lo.

Aos meus pais, Lopes e Fabíola, que sempre me cercaram de amor, carinho, e muitas alegrias, realizando todos meus sonhos, me apoiando em todas as etapas da minha vida e me guiando para que eu tivesse sempre as melhores oportunidades.

Ao meu melhor amigo, companheiro e namorado, Lucas, que esteve comigo nos momentos mais importantes, me fazendo sempre muito feliz e iluminando todos os meus dias.

À minha avó Terezinha Costa Dias, que é uma fonte inesgotável de amor e carinho, que eu sinto falta todos os dias.

Ao meu avô Fábio, aos meus tios, à minha madrinha e meu primo, pelo carinho e pelos momentos felizes que me proporcionaram.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Daher, pela excelente orientação, atenção e apoio durante a elaboração deste trabalho e ao longo do curso.

Aos meus gerentes, Bruno e Guilherme, e supervisores, Ronny, Igor, Osiel, David, André, Claudon, William, Edival, Onório e Gabriela, que me conduziram durante o processo de estágio e me mostraram os melhores caminhos a seguir para ser um bom profissional.

RESUMO

Este trabalho faz uma análise de desempenho e confiabilidade de motores elétricos em uma indústria, avaliando os impactos causados na eficiência e produtividade. Evidenciou-se as principais causas para falhas nesses equipamentos, propondo ações para melhorar o desempenho e controle de motores elétricos. Primeiramente, foram coletados dados de fabricação de um motor por meio da sua placa de identificação, assim como foi realizada uma revisão sobre os princípios de funcionamento de motores elétricos de indução trifásicos. Em seguida, foram identificadas as principais causas de falha em motores elétricos baseando-se no funcionamento em uma indústria. Também foram apresentados os conceitos de Manutenção Preditiva, Preventiva e Corretiva, mostrando seus impactos no bom funcionamento dos equipamentos. Para isso, foi realizado um estudo de caso em uma indústria de bebidas, situada na cidade de Aquiraz/CE, onde foram coletados os dados durante um ano, ao decorrer do desenvolvimento de um projeto. Por fim, são apresentados os resultados das ações propostas que foram aplicadas no estudo de caso, onde é possível verificar que houve uma redução de 64% nos gastos em 2017 em comparação com 2016, mostrando que o impacto da gestão de motores é positivo, melhorando não só a visibilidade das principais causas para a queima dos motores, como também reduzindo os custos com manutenções corretivas.

Palavras-chave: Confiabilidade de Motores Elétricos. Falha de Motores Elétricos. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

This work makes an analysis of the performance and reliability of Electric Motors in an industry, evaluating the impacts caused on efficiency and productivity. The main causes for failures in these equipments were evidenced, proposing actions to improve the performance and control of electric motors. First, the manufacturing data of a motor was collected by its nameplate, as well as a review of the operating principles of three-phase induction motors. Next, the main causes of failure in electric motors were identified, based on the operation in an industry. The concepts of Predictive, Preventive and Corrective Maintenance were also presented, showing their impacts on the proper functioning of the equipment. For this, a case study was conducted in a beverage industry, located in the city of Aquiraz/CE, where the data were collected during a year, during the development of an internship project. Finally, the results of the proposed actions that were applied in the case study are presented, where it is possible to verify that there was a 64% reduction in expenses in 2017 compared to 2016, showing that the impact of the engine management is positive, improving not only the visibility of the main causes for the failures of the motors, but also reducing costs with corrective maintenance.

Keywords: Electric Motors Failure. Preventive Maintenance. Reliability of Electric Motors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Consumo de Energia Elétrica no país (a) e em Indústrias (b)	16
Figura 2 - Evolução dos motores elétricos de indução	17
Figura 3 - Circuito equivalente por fase de um motor de indução	17
Figura 4 - Estrutura de um motor elétrico de indução	18
Figura 5 - Layout da placa de identificação para as carcaças 63 a 132.....	19
Figura 6 - Placa de identificação de um motor WEG W22.....	25
Figura 7 - Placa de identificação de um motor SEW-EURODRIVE	26
Figura 8 - Placa de identificação de um motor SIEMENS.....	27
Figura 9 - Resultados da análise do circuito elétrico de um motor.	35
Figura 10 - Medição termográfica em um motor.	36
Figura 11 - Medição de vibração em um motor.	36
Figura 12 - Medição das tensões elétricas no painel elétrico	37
Figura 13 - Medição termográfica no painel elétrico do motor.....	38
Figura 14 - Caixa de ligação de um motor	39
Figura 15 - Ficha de Danos do Motor.....	41
Figura 16 - Motor da Caldeira.	45
Figura 17 - Placa do Motor da Caldeira.	46
Figura 18 - Estator rebobinado.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais normas para Máquinas Elétricas Girantes	23
Tabela 2 - Relação de Anomalias e Possíveis Causas.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de RDPs reincidentes	42
Gráfico 2 - Quantidade de notas abertas para motores em cada área	44
Gráfico 3 - Gastos com motores elétricos	49
Gráfico 4 - Quantidade de motores queimados	49

SUMÁRIO RESUMIDO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO.....	16
3	FALHAS EM MOTORES	28
4	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	33
5	ESTUDO DE CASO	40
6	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO A - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	51
	ANEXO B - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE TERMOGRAFIA ELÉTRICA	52
	ANEXO C - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE CIRCUITOS DE MOTORES	53
	ANEXO D - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE ÓLEO	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.2	Estrutura do Trabalho	15
2	MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO	16
2.1	História	16
2.2	Princípio de Funcionamento	17
2.3	Dados do Motor	19
2.4	Eficiência	22
2.5	Normas	23
2.6	Fabricantes	24
3	FALHAS EM MOTORES	28
3.1	Falhas no Estator	28
3.2	Falhas no Rotor	29
3.3	Principais Falhas em uma Indústria de Bebidas	30
4	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	33
4.1	Manutenção Preditiva	33
4.2	Manutenção Preventiva	36
5	ESTUDO DE CASO	40
5.1	Implantação da Gestão de Queimas	41
5.2	Estratificação dos Equipamentos Críticos	42
5.3	Acompanhamento das Inspeções	46
5.4	Análise de um Motor Queimado	47
5.5	Resultados	49
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO A - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	51
	ANEXO B - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE TERMOGRAFIA ELÉTRICA	52
	ANEXO C - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE CIRCUITOS DE MOTORES	53
	ANEXO D - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE ÓLEO	54

1 INTRODUÇÃO

A incessante busca pela evolução tecnológica, juntamente com o aumento da eficiência energética e produtiva, visando aumentar o lucro por meio da redução de custos, fez com que o mercado focasse no aumento da confiabilidade dos equipamentos em indústrias. Aumentar a confiabilidade significa reduzir o número de falhas do equipamento, assim como o tempo entre as falhas, o que causa um aumento na produtividade e redução de custos de manutenção.

A manutenção em equipamentos industriais é essencial para manter e prolongar a vida útil desses equipamentos. Trata-se do diagnóstico de anomalias antes de ocorrer uma parada total da máquina, permitindo o tratamento de forma preventiva.

A manutenção pode ser dividida em três categorias: Preditiva, Preventiva e Corretiva. A Manutenção Preditiva tem o objetivo de realizar diagnósticos específicos utilizando técnicas mais avançadas periodicamente, para verificar o funcionamento e as características do equipamento de forma mais específica. Por exemplo, a Termografia Elétrica, que verifica a presença de pontos quentes no equipamento. A Manutenção Preventiva tem como objetivo realizar inspeções periódicas nos equipamentos verificando aspectos específicos do seu funcionamento e realizando pequenas intervenções para evitar a sua falha. Por exemplo, reaperto de parafusos, troca de lubrificante, procedimentos de limpeza, entre outros. A Manutenção Corretiva representa o pior tipo de intervenção, pois significa que as manutenções Preditiva e Preventiva falharam no diagnóstico das anomalias do equipamento. Dessa forma, necessita-se de uma intervenção corretiva para que seu funcionamento volte a ser adequado.

O que é observado na maioria das fábricas é a grande predominância da Manutenção Corretiva nos equipamentos, elevando os custos com manutenção. Desta forma, é necessário implantar projetos para priorizar as manutenções Preditiva e Preventiva, investindo em equipamentos de medição e até mesmo consultorias externas para realizar diagnósticos.

Os Motores Elétricos merecem atenção diferenciada, pois são equipamentos presentes em grande número especialmente em indústrias, e seu funcionamento adequado é fundamental para manter e aumentar a eficiência e produtividade de uma fábrica. Neste contexto, a análise da confiabilidade de Motores Elétricos em uma cervejaria é o foco de estudo neste trabalho, visando a melhoria na identificação de falhas e aumento da vida útil dessas máquinas.

Se o funcionamento de um Motor Elétrico estiver de acordo com as condições de

trabalho para as quais o motor foi dimensionado, ele deve manter um bom funcionamento por um longo período de tempo. A falha ou queima em um motor não é uma ocorrência comum, sendo causado por fatores não ideais, como por exemplo, altas temperaturas no ambiente de trabalho, contaminação interna e esforços mecânicos excessivos ou problemas no redutor.

Neste trabalho foram utilizados dados coletados durante as Inspeções Preventivas realizadas nos motores de uma indústria de bebidas. A partir destes dados, foram feitos estudos sobre os motores e suas condições de funcionamento, buscando analisar sua eficiência e confiabilidade.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o funcionamento de Motores Elétricos em uma indústria, evidenciando e estudando suas características e condições de trabalho, propondo alternativas para aumentar a confiabilidade destas máquinas. Também está inserido neste trabalho um estudo aprofundado sobre a manutenção destes equipamentos, analisando as formas de tratamento e prevenção de anomalias.

1.2 Estrutura do Trabalho

No Capítulo 1, é dada uma breve introdução ao tema, bem como são apresentados os objetivos do trabalho.

No Capítulo 2, é dada uma visão sobre motores elétricos de indução trifásicos.

No Capítulo 3, é apresentado uma discussão sobre falhas em motores elétricos.

No Capítulo 4, é dada uma visão sobre a manutenção preventiva e sua importância.

No Capítulo 5, é apresentado um estudo de caso sobre a confiabilidade de motores elétricos em uma indústria de bebidas.

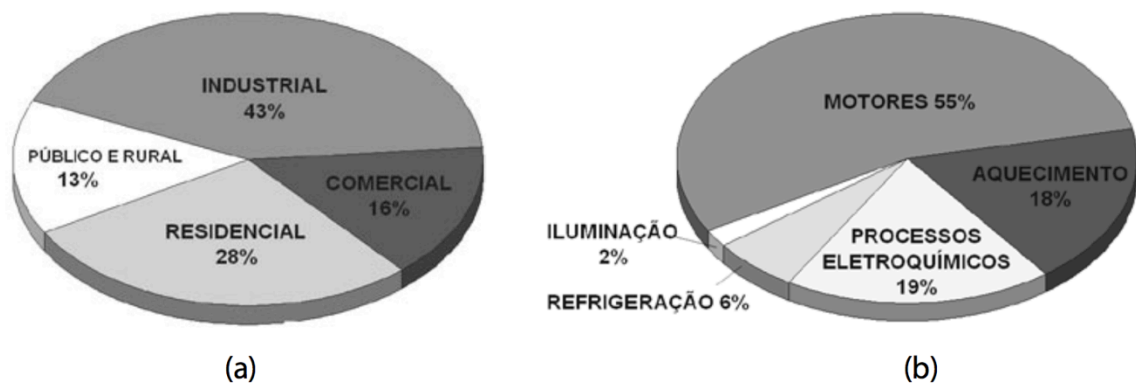
Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

Os motores elétricos são máquinas fundamentais para a transformação da energia elétrica em energia mecânica e representam a maior parte do consumo de energia em uma indústria. O setor industrial é responsável pelo consumo de 43,7% da energia elétrica nacional, sendo 30% dessa energia consumida por motores elétricos (PROCEL, 2016). A figura 1 mostra o consumo de energia elétrica no país e em indústrias em 2006, quando o consumo dos motores elétricos representava 24% da energia elétrica nacional.

O tipo de motor mais utilizado nas indústrias são os motores de corrente alternada, pois em comparação aos motores de corrente contínua, possuem construção mais simplificada, assim como menor custo de manutenção. Entre eles, os motores elétricos de indução são os mais comuns.

Figura 1: Consumo de Energia Elétrica no país (a) e em Indústrias (b)

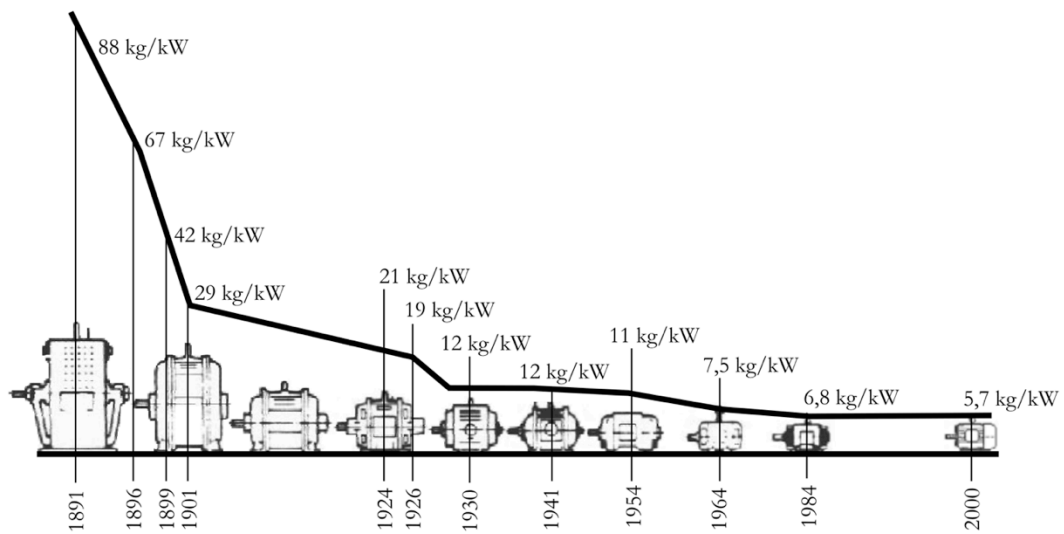


Fonte: Eletrobrás. 2006.

2.1 História

Apesar de Nikola Tesla ter sido o responsável pela invenção do motor de indução de campo girante entre 1882 e 1887, a máquina que mais se assemelha aos motores atuais é a de Mikhail Dolivo-Dobrovolsky, que foi desenvolvida entre 1888 e 1890. Com o passar dos anos, os motores foram sendo aprimorados, modificando seu projeto e construção, apresentando redução no seu tamanho e peso, como mostra a Figura 2. Essa redução é consequência, principalmente, das melhorias realizadas nos materiais isolantes, e a sistemas de ventilação mais eficientes, que permitiram que os motores apresentassem a mesma potência, em menor tamanho (ELETROBRÁS, 2006).

Figura 2: Evolução dos motores elétricos de indução



Fonte: Eletrobrás. 2006.

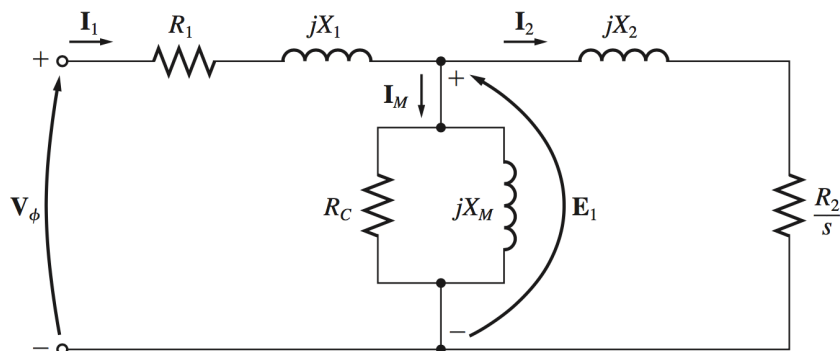
2.2 Princípio de Funcionamento

Nos motores de indução polifásicos, a corrente de campo é fornecida por indução magnética nos seus enrolamentos de campo (CHAPMAN, 2013). Seu funcionamento baseia-se na geração de um campo magnético girante que é produzido no estator por meio da circulação de corrente elétrica polifásica. A variação do fluxo da corrente elétrica, produz uma corrente induzida no rotor que se opõe ao campo girante, fazendo com que ele seja arrastado (MAMEDE, 2017). A figura 3 demonstra o circuito equivalente por fase de um motor de indução. A velocidade de rotação do campo magnético é dada pela equação [1].

$$n = \frac{120f}{P} \quad [1]$$

Onde n é a velocidade de rotação do campo magnético, f é a frequência do sistema aplicada no estator em *Hertz* e P é o número de pólos da máquina.

Figura 3: Circuito equivalente por fase de um motor de indução



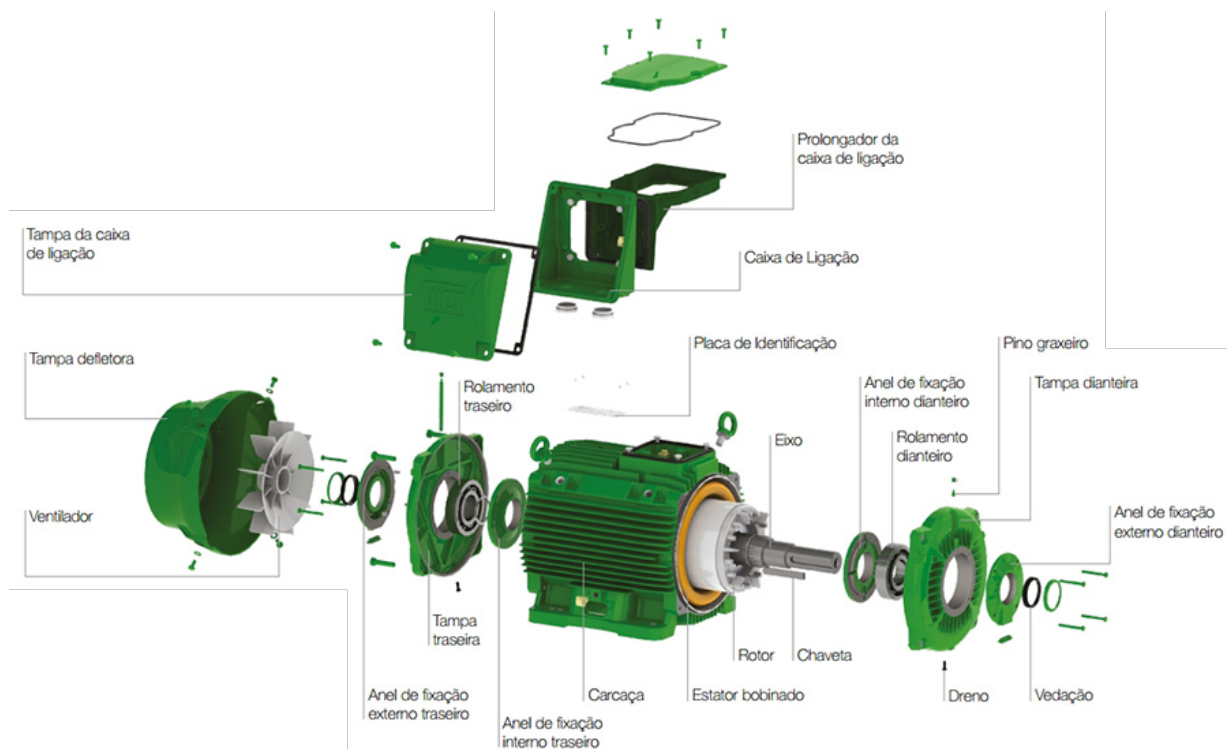
Fonte: Chapman. 2013.

Existem dois tipos de rotores de motor de indução, rotor gaiola de esquilo e rotor bobinado. O rotor gaiola de esquilo é assim chamado pois assemelha-se às rodas em que esquilos de estimação correm. É composto por barras condutoras interligadas por meio de anéis de curto-circuito, operando caracteristicamente em velocidades praticamente constantes, podendo variar de acordo com a carga aplicada no eixo (RAMOS, 2005). A figura 4 mostra a estrutura de um motor elétrico de indução gaiola de esquilo.

O rotor bobinado possui enrolamentos trifásicos semelhantes aos enrolamentos do estator. Seus terminais são conectados entre si, por meio de escovas, aos anéis no eixo no rotor. Esse tipo de rotor possui maior custo que o rotor gaiola de esquilo pois exigem uma manutenção mais complexa, uma vez que há o desgaste de suas escovas e seus anéis. Dessa forma, os rotores gaiola de esquilo são mais utilizados (CHAPMAN, 2013).

Para aplicação em indústrias, o isolamento dos enrolamentos representa um fator importante para manter a vida útil do motor. Caso ocorra o rompimento do isolamento, o motor entrará em curto-circuito. Esse rompimento pode ser causado pelo aumento excessivo da temperatura dos enrolamentos. Dessa forma, em alguns casos, é importante limitar a temperatura dos mesmos, utilizando adaptações externas, como ventilação externa forçada bem como garantindo uma manutenção preventiva mais frequente, a fim de detectar qualquer sobreaquecimento ou desgaste do material isolante.

Figura 4: Estrutura de um motor elétrico de indução



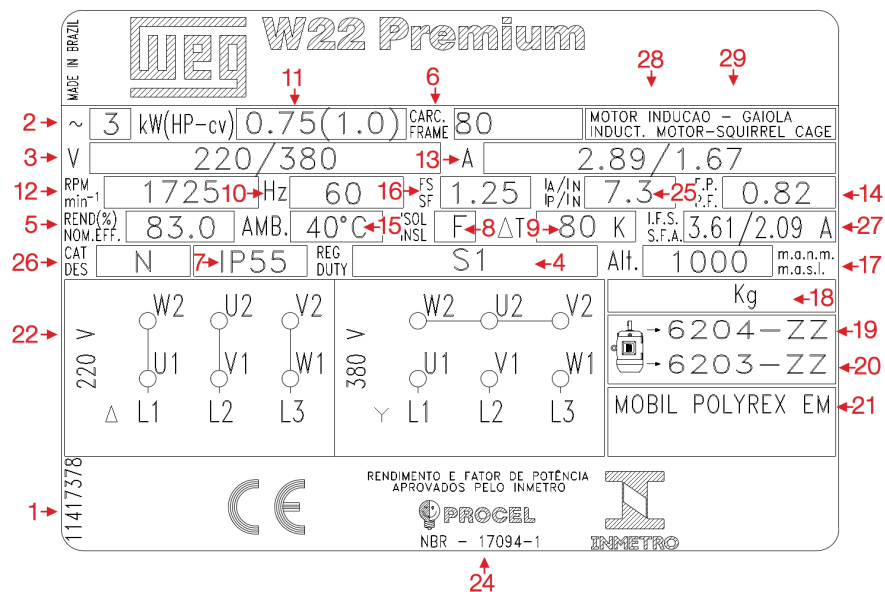
Fonte: WEG. 2017.

2.3 Dados do Motor

É fundamental o conhecimento dos dados técnicos do motor, o que permite o seu correto dimensionamento para cada tipo de situação de trabalho. É importante que seja informado ao fabricante todos os dados e condições de trabalho as quais o motor será submetido, para garantir que seja escolhido o motor mais adequado, garantindo o seu bom funcionamento e vida útil.

As informações do motor são descritas em sua sua placa de identificação, como mostra a figura 5.

Figura 5: Layout da placa de identificação para as carcaças 63 a 132



Fonte: Catálogo Motor Elétrico Trifásico W22 - WEG, 2017

2.3.1 Regime de Serviço

Indicado na Figura 5 pelo número 4, representa o regime de funcionamento do motor, definindo o tipo de utilização e as variações do conjugado de carga. Por exemplo, na placa mostrada, o regime de serviço é o S1, que é o regime de funcionamento contínuo. Nesse regime, o motor funciona de forma contínua por um período de tempo maior que sua constante de tempo térmica. Após desligado, o motor só volta a trabalhar depois que está em equilíbrio com o meio exterior (MAMEDE, 2017).

Na indústria em estudo, os motores com regime de serviço S1 são mais comuns, pois o funcionamento dos equipamentos são caracterizados por poucas partidas e longos períodos de trabalho.

2.3.2 *Rendimento*

Indicado na Figura 5 pelo número 5, representa o quanto da energia elétrica é transformada em energia mecânica, podendo variar de acordo com a carga a qual o motor está sendo submetido. No motor em questão, o rendimento é de 83%. O rendimento é um item regulado pela Lei de Eficiência Energética, onde existem os limites mínimos para cada tipo de motor que o fabricante deve respeitar.

2.3.3 *Grau de proteção*

Indicado na Figura 5 pelo número 7, representa a proteção do motor contra a entrada de corpos sólidos e líquidos pelos orifícios de entrada e saída de ar. É definida pelas letras IP, seguida de dois numerais, onde o primeiro representa a proteção contra contatos acidentais e entrada de sólidos e o segundo, representa o grau de proteção contra a penetração de líquidos. No caso deste motor, o seu grau de proteção é o IP55, significando que o motor é protegido contra poeira, bem como contra jato de água em qualquer direção. Na indústria em estudo, o grau de proteção mais comum é o IP55. Como se trata de uma indústria de bebidas, o ambiente de funcionamento dos equipamentos é úmido e pode haver contato constante com líquidos, sendo portanto o grau de proteção mais adequado.

2.3.4 *Classe de isolamento*

Indicado na Figura 5 pelo número 8, representa a temperatura máxima a qual cada tipo de material isolante pode suportar em regime contínuo sem que prejudique sua vida útil. Neste motor, a classe de isolamento é a F, onde o limite de temperatura é 155°C. Na indústria em estudo, observa-se que a classe de isolamento mais comum é a F, visto que traz maior segurança e confiabilidade para o funcionamento do motor, pois o ambiente de trabalho dos motores pode chegar a temperaturas elevadas devido à pouca circulação de ar nas áreas produtivas.

2.3.5 *Frequência*

Indicado na Figura 5 pelo número 10, é a frequência fornecida pelo circuito de alimentação para a qual o motor foi dimensionado, influenciando na rotação do motor. No caso deste motor, sua frequência nominal é de 60 Hz.

2.3.6 Potência Nominal

Indicado na Figura 5 pelo número 11, é a potência que o motor pode produzir para uma determinada carga, sem ultrapassar os limites de temperatura dos enrolamentos, de acordo com a classe de isolamento. A potência produzida pelo motor representa a rapidez com que a energia é aplicada para mover a carga. A medida pode ser expressa em *Horse Power* (HP) ou em *Kilowatt* (kW) (MAMEDE, 2017).

2.3.7 Fator de Potência

Indicado na Figura 5 pelo número 14, representa o cosseno do ângulo formado entre os fasores representativos das potências ativa e aparente, e seu valor pode variar de 0 a 1. Quando o fator de potência é unitário, tem-se que a carga é constituída somente de potência ativa, sendo denominada de carga puramente resistiva. Os motores e transformadores são cargas indutivas e produzem potência reativa, atrasando a corrente em relação à tensão, enquanto bancos de capacitores são cargas capacitivas, adiantando a corrente em relação à tensão, sendo muito utilizados para fazer a correção do fator de potência. É de extrema importância o uso de motores com potência e características adequadas a sua função, pois o fator de potência varia com a carga do motor (WEG, 2017).

2.3.8 Fator de Serviço

Indicado na Figura 5 pelo número 16, representa uma potência extra que está disponível no motor quando o mesmo está funcionando em suas condições nominais. O motor pode operar com essa reserva, no entanto esse funcionamento pode reduzir a sua vida útil. Neste motor, o fator de serviço é de 1,25, indicando que ele pode apresentar uma potência adicional de 25%.

2.3.9 Relação da Corrente de Partida/Corrente Nominal

Indicado na Figura 5 pelo número 25, representa a relação da corrente exigida pelo motor da rede de alimentação no momento da sua partida entre a corrente nominal especificada pelo fabricante. Os motores de indução apresentam uma corrente de partida significativamente maior que a sua corrente nominal, exigindo muitas vezes um método de partida para não haver uma grande queda de tensão quando ligado diretamente à rede. O motor apresenta I_p/I_n de 7,3, o que significa que sua corrente de partida é 7,3 vezes maior que

sua corrente nominal.

Na indústria em estudo, a maior parte dos motores utilizam a partida por meio de um inversor ou *softstarter* para reduzir a corrente de partida, pois as potências dos motores são elevadas e podem causar um desgaste no equipamento, assim como quedas de tensão.

2.4 Eficiência

A eficiência energética tem sido foco das indústrias como uma forma de reduzir os custos e otimizar a produção. Algumas alternativas são utilizadas com o objetivo de diminuir o consumo de energia elétrica: automatizar os processos, dimensionamento adequado dos motores elétricos e substituição de motores antigos por modelos de maior eficiência (WEG, 2017).

Quando o dimensionamento do motor é apropriado para a sua aplicação, pode-se evitar desperdício de energia elétrica e prolongar sua vida útil. O rendimento do motor está ligado ao bom funcionamento de cada componente e o uso racional desses recursos pode trazer benefícios e a diminuição dos gastos com energia elétrica.

O que é observado nas indústrias, geralmente, são motores dimensionados adequadamente para desempenhar sua função. No entanto, podem ocorrer falhas por motivos mecânicos, que entre vários motivos, podem ser causadas por uma manutenção de baixa qualidade. Por exemplo, ao realizar uma manutenção preventiva em um motor, os rolamentos são substituídos por novos. Caso os rolamentos adequados não estejam disponíveis, podem ser colocados rolamentos diferentes da especificação original para reestabelecer o funcionamento do motor mais rapidamente. Essa substituição pode prejudicar a vida útil do motor, pois rolamentos inadequados podem causar vibrações excessivas, provocando o aquecimento anormal do motor, assim como do seu material isolante. Assim, uma manutenção realizada com qualidade, respeitando as especificações de fabricação do motor é essencial para manter o seu funcionamento eficiente.

A eficiência do motor depende também do bom funcionamento de todos os componentes envolvidos no processo em que o motor se encontra. Acoplamentos com correia, por exemplo, são comuns na indústria em estudo e o seu rendimento pode variar de acordo com o tipo, portanto deve-se observar fatores como a força tensora que atua sobre a correia, que pode futuramente causar ruídos e redução da eficiência na transmissão de potência (ELETROBRÁS, 2016).

É também essencial para o bom funcionamento dos equipamentos, a limpeza e lubrificação adequada dos componentes. Esses fatores podem influenciar no atrito e

ventilação dos motores, aumentando suas perdas. Dessa forma, é importante fazer a lubrificação na frequência correta, sempre utilizando o lubrificante mais adequado, assim como manter uma rotina de limpeza nos equipamentos, evitando o acúmulo de poeira.

Portanto, é possível concluir que as principais causas para a redução da eficiência de utilização um motor são:

- Super ou sobredimensionamento;
- Reparo inadequado do motor;
- Baixa eficiência dos acoplamentos do motor;
- Limpeza e lubrificação de baixa qualidade.

2.5 Normas

Existem normas que especificam padrões de fabricação e funcionamento dos motores elétricos de indução. A tabela 1 mostra um resumo das principais normas para Máquinas Elétricas Girantes.

Tabela 1: Principais normas para Máquinas Elétricas Girantes

Principais normas para Máquinas Elétricas Girantes	
ABNT NBR IEC 60034-7	Máquinas elétricas girantes Parte 7: Classificação dos tipos de construção, arranjos de montagem e posição da caixa de terminais
ABNT NBR 60034-6	Máquinas elétricas girantes Parte 6: Métodos de Resfriamento
ABNT NBR IEC 60034-9	Máquinas elétricas girantes Parte 9: Limites de ruído
ABNT NBR 5383-1	Motores de indução trifásicos - Ensaio
ABNT NBR 15623-1	Dimensões e séries de potências para máquinas elétricas girantes - Padronização - Designação de carcaças entre 56 a 400 e ângulos entre 55 a 1 080
ABNT NBR IEC 60085:2012	Materiais isolantes elétricos - Classificação térmica
ABNT NBR 17094-1	Motores de indução Parte 1: trifásicos

Fonte: A Própria Autora

A norma NBR IEC 60034-7 especifica os códigos IM, classificando os tipos de construção, definindo os arranjos dos componentes da máquina com relação às fixações, arranjo de mancal e ponta do eixo. Também especifica os arranjos de montagem, que é a orientação da máquina no seu local de instalação, de acordo com o seu alinhamento do eixo e posição de fixação.

A norma NBR 60034-6, é a parte 6 da norma NBR 60034 que faz a classificação dos métodos de resfriamento, identificando os arranjos dos circuitos e os métodos de circulação dos fluidos refrigerantes nos motores elétricos. A designação do método de resfriamento é representado pelas letras IC, que são seguidas por numerais e letras, que representam os arranjos dos circuitos, fluido refrigerante e o seu método de circulação.

A norma NBR 60034-9 especifica os métodos de ensaio necessários para definir o nível de potência sonora de máquinas elétricas girantes. Também fornece orientações para determinação dos níveis de ruído para motores de corrente alternada, de indução com rotor de gaiola de esquilo, acionados por conversores de frequência.

A norma NBR 5383-1 define os ensaios que são aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução trifásicos, e como eles devem ser realizados.

A norma NBR 15623-1 define os procedimentos para medição da excentricidade da ponta do eixo e para máquinas fixadas por flange, da concentricidade do diâmetro do encaixe do flange e da perpendicularidade da superfície de apoio do flange com relação ao eixo. Define também as dimensões básicas dos motores e dos eixos, as potências nominais e torques máximos.

A norma NBR IEC 60085 define as classes térmicas para sistemas de isolamento elétrica e materiais isolantes elétricos, estabelecendo critérios para a avaliação da durabilidade térmica dos materiais isolantes elétricos e dos sistemas de isolamento elétrica, assim como o procedimento para definição das classes térmicas.

A NBR 17094-1 especifica os requisitos mínimos para os motores elétricos de indução trifásicos, definindo os regimes de funcionamento e como são classificados, assim como outros itens de fabricação do motor.

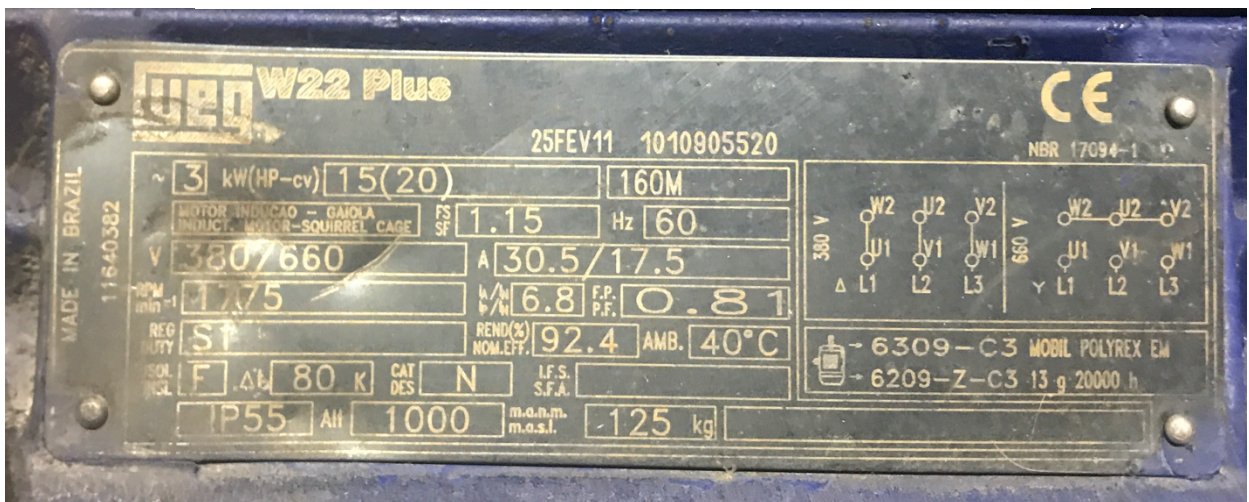
2.6 Fabricantes

Os fabricantes de motores oferecem em seus catálogos diferentes opções, sendo possível encontrar um motor adequado para cada tipo de aplicação. Dessa forma, é necessário, ao adquirir um motor, dimensioná-lo corretamente, procurando associar a sua eficiência com custo benefício. Na indústria em estudo, os fabricantes de motores mais comuns são WEG, SEW e SIEMENS.

2.6.1 Motores WEG

Os motores da WEG representam uma grande parte das máquinas utilizadas na indústria em estudo, sendo a W22 sua linha mais comum atualmente, representada pelo modelo de Motor Elétrico Trifásico, que tem como atributos a redução dos níveis de ruído e vibração, aumento dos níveis de eficiência energética e térmica, facilidade de manutenção, crescimento das aplicações com velocidades variáveis por meio do uso de inversores de frequência, flexibilidade e modularidade (WEG, 2017). A figura 6 mostra a placa de um motor de carcaça 160M que, entre os modelos disponibilizados por este fabricante, representa o mais comum na fábrica no presente estudo de caso.

Figura 6: Placa de identificação de um motor WEG W22



Fonte: A Própria Autora

A partir da figura 6, é possível observar que esse motor possui a potência nominal de 15 kW, fator de serviço de 1,15, fator de potência 0,81, rendimento 92,4%, material de isolamento classe F, proteção IP55 e regime de serviço S1.

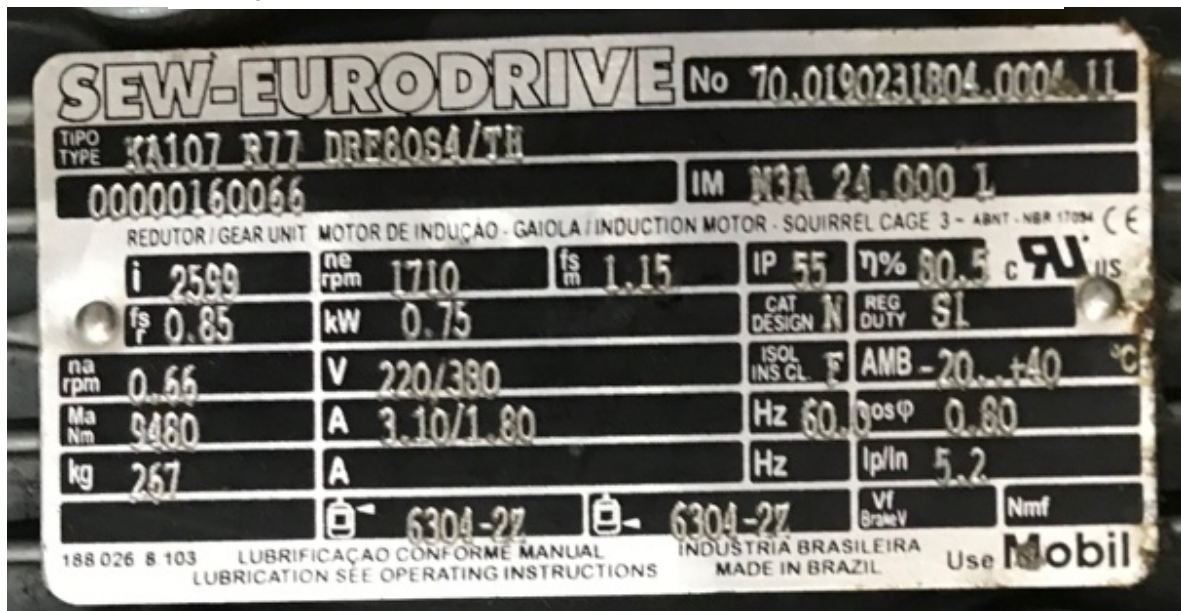
Esse motor está acoplado a uma bomba de água e está localizado em um ambiente de trabalho abafado e de temperaturas elevadas, podendo chegar até 40°C. Uma vez que é dada a partida, o motor mantém seu funcionamento de forma contínua por um longo período de tempo, podendo passar mais de 7 dias consecutivos funcionando. Dessa forma, pode-se concluir que o motor está corretamente dimensionado para seu uso.

2.6.2 Motores SEW

Entre os motores utilizados na fábrica, além dos motores WEG, os modelos da SEW representam também uma grande parte e entre eles, os modelos de menor potência são os mais comuns. A placa do motor mostrada na figura 7 representa uma placa de um motor SEW de modelo DRE.

Os motores DR tem redução de custos e do espaço ocupado devido à estrutura compacta, segurança a longo prazo também a partir das normas relacionadas ao meio ambiente, redução de preços para motores de alto rendimento e encoder completamente integrado no motor. O modelo DRE atende as exigências de alto rendimento estabelecidos pela lei de Eficiência Energética (SEW-EURODRIVE, 2016).

Figura 7: Placa de identificação de um motor SEW-EURODRIVE



Fonte: A Própria Autora

A partir da figura 7, é possível observar que esse motor possui a potência nominal de 0,75 kW, fator de serviço de 1,15, fator de potência 0,80, rendimento 80,5%, material de isolamento classe F, proteção IP55 e regime de serviço S1.

Esse motor está acoplado a um redutor e, assim como o motor da figura 6, está localizado em um ambiente de trabalho abafado e de temperaturas elevadas, podendo chegar até 40°C. Uma vez que é dada a partida, o motor mantém seu funcionamento de forma contínua por um longo período de tempo, podendo passar mais de 7 dias consecutivos funcionando. Dessa forma, pode-se concluir que o motor está corretamente dimensionado para seu uso.

2.6.3 Motores SIEMENS

Os motores da SIEMENS também estão entre 3 fabricantes de motores mais utilizados na fábrica, sendo entre este fabricante mais comuns os modelos de menor potência. Os motores SIEMENS possuem vantagens como: alta eficiência devido a maior quantidade de cobre nos enrolamentos, menor entreferro devido ao design e à produção automatizada dos pacotes do estator e rotor, sistemas de mancais e rolamentos projetados para reduzir perdas por atrito e ventilador desenvolvido para oferecer máximo fluxo de ar com mínimas perdas (SIEMENS, 2005). A placa do motor mostrada na figura 8 representa a placa de um motor SIEMENS, modelo 1LA7, caracterizado pelo rendimento acima dos limites estabelecidos pela Lei de Eficiência Energética, Portaria N° 553.

Figura 8: Placa de identificação de um motor SIEMENS



Fonte: A Própria Autora

A partir da figura 8, é possível observar que esse motor possui a potência nominal de 3 kW, fator de serviço de 1,15, fator de potência 0,84, rendimento 82,5%, material de isolamento classe F, proteção IP55 e regime de serviço S1.

Esse motor está acoplado a um soprador e está localizado em um ambiente de trabalho de temperaturas elevadas, podendo chegar até 40°C. Assim como os motores das figuras 7 e 8, uma vez que é dada a partida, o motor mantém seu funcionamento de forma contínua por um longo período de tempo, podendo passar mais de 7 dias consecutivos funcionando. Dessa forma, pode-se concluir que o motor está corretamente dimensionado para seu uso.

3 FALHAS EM MOTORES

Os motores podem encontrar-se em situações que levam seu funcionamento além das suas características nominais de serviço. As causas mais frequentes de falhas em motores elétricos em indústrias são sobrecarga, desbalanço de tensão, operação monofásica, sobre ou subtensão, ventilação deficiente, ciclos de carga muito rápidos, umidade e vibração (BULGARELLI, 2006).

Assim, podem apresentar condições que tendem a reduzir a sua qualidade de regime de funcionamento e até mesmo causar uma queima do motor. A maioria das falhas prematuras no estator e no rotor são causadas por uma combinação de esforços que podem atuar negativamente nesses componentes. Os fatores podem ser classificados como térmico, elétrico, mecânico, ambiental, eletromagnético, residual e dinâmico.

Para o estator, esses fatores podem ser causados por idade, sobrecarga, umidade, problemas no dielétrico, abrasão, movimento dos enrolamentos, entre outros. No rotor, podem ser causados principalmente por torque, força dinâmica não balanceada, estresse térmico, força magnética, entre outros (BONNET, 1992).

3.1 Falhas no Estator

Uma das principais causas para falhas no estator é o estresse térmico. A partir de testes realizados em motores, para cada aumento de 10°C na temperatura, a vida útil do isolamento é reduzida pela metade. Um leve aumento na temperatura pode não provocar uma queima, mas pode fragilizar o material isolante, deixando o equipamento mais suscetível a outras influências que podem ocasionar em sua falha. Quando o isolante perde sua integridade física, não resistirá mais aos estresses normais dielétricos, mecânicos e ambientais. Dessa forma, deve ser observado que, para evitar tal efeito térmico, é recomendável reduzir a temperatura de funcionamento por meio de ventilação externa, ou aumentar a classe de isolamento dos materiais utilizados (BONNET, 1992).

Variações de tensão também podem afetar o desempenho do motor e a temperatura dos enrolamentos, assim como o desbalanceamento da tensão de fase. Em geral, os motores são desenvolvidos para operar de forma segura com uma variação de até 10% de sua tensão de alimentação. A operação fora dessas especificações pode reduzir a vida útil do motor.

A sobrecarga é outro fator que pode interferir no bom funcionamento do motor. Apesar de serem em geral sobredimensionados, para garantir o funcionamento abaixo dos limites estabelecidos pelo material isolante, os motores podem estar sujeitos a situações onde ficam sobrecarregados, aumentando a sua temperatura e danificando o seu isolamento.

A ventilação do motor também é um item essencial, pois uma ventilação insuficiente ou obstruída pode causar um aquecimento excessivo, devido a incapacidade de irradiar o calor das partes internas do motor, podendo aumentar a temperatura nos enrolamentos. Por isso, é importante que o motor seja adequado para o seu local de instalação, levando em consideração a umidade, circulação de ar e contato com líquidos ou partículas sólidas.

O movimento dos enrolamentos também é um fator que pode ocasionar uma falha por estresse mecânico. Quando o motor está partindo, seu esforço é máximo, fazendo com que os enrolamentos vibrem o dobro da sua frequência nominal, com movimento tanto nas direções radial quanto tangencial. Esse movimento pode danificar a isolamento dos enrolamentos e até os condutores de cobre (BONNET, 1992).

As falhas no estator também podem ser de origem mecânica, como:

- Porcas ou parafusos soltos que podem atingir o estator;
- O desbalanceamento do peso do rotor, atingindo o estator;
- Contato com partículas estranhas que penetram por meio do sistema de ventilação, atingindo o estator.

Fatores ambientais possuem um grande impacto no funcionamento dos motores. A redução da dissipação do calor, caso o motor esteja em um local sem ventilação, pode aumentar a temperatura no estator, diminuindo a vida útil do material isolante.

3.2 Falhas no Rotor

O estresse térmico também é um fator que pode reduzir a vida útil do motor elétrico. No caso no rotor, pode acontecer durante a aceleração, funcionamento ou parada. Quando o rotor está parado, ele possui um grande potencial para falhas em um menor período de tempo, e é mais difícil de proteger o motor. Assim, a melhor forma de proteger o motor contra sobrecargas térmicas é utilizar dispositivos de sensores de corrente, que podem detectar sobrecorrente. Uma das principais causas para a sobrecarga térmica é partir o motor muitas vezes, o que pode aumentar excessivamente a temperatura nas barras do rotor.

O rotor é projetado para suportar um certo torque máximo. Quando esse limite é ultrapassado, geralmente, é por um curto período de tempo. Esse torque é chamado de torque de transiente. No entanto, quando se ultrapassa o torque máximo por muito tempo e o rotor funciona com o torque acima do esperado, pode ocorrer uma falha no motor por estresse dinâmico. Assim como no estator, o ambiente pode influenciar o funcionamento do rotor. Materiais externos, bloqueio da ventilação e umidade são fatores que podem danificar os materiais do rotor.

3.3 Principais Falhas em uma Indústria de Bebidas

Na indústria em estudo, algumas falhas são mais comuns que as demais, como os defeitos de origem mecânica que podem ser por desbalanceamento. A tabela 2 mostra uma relação das anomalias mais encontradas nos motores e das suas possíveis causas.

Tabela 2: Relação de Anomalias e Possíveis Causas

CARACTERÍSTICAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Curto entre espiras ou Bobina curto-circuitada	Contaminação interna do motor
	Falha do esmalte de isolamento do fio
	Falha do verniz de impregnação
	Rápidas oscilações na tensão de alimentação
Curto-circuito entre fases	Contaminação interna do motor
	Degradação do material isolante por ressecamento, ocasionada por excesso de temperatura
	Falha do material isolante
Curto-circuito na conexão	Contaminação interna do motor
	Falha do material isolante
	Sobreaquecimento da conexão causado por mau contato
Curto-circuito na saída ou interior da ranhura	Contaminação interna do motor
	Degradação do material isolante por ressecamento, ocasionada por excesso de temperatura
	Falha do esmalte de isolamento do fio
	Falha do verniz de impregnação
	Falha do material isolante
	Rápidas oscilações na tensão de alimentação
Pico de tensão	Motor acionado por inversor de frequência com alguns parâmetros incorretos (amplitude do pulso de tensão, distância entre pulsos, frequência de chaveamento)
	Oscilação brusca na tensão de alimentação (ex: cargas atmosféricas)
	Surtos de manobra de banco de capacitores
Desbalanceamento de tensão	Desequilíbrio de tensão e/ou de corrente entre as fases
	Falha em banco de capacitores
	Mau contato em conexões, chaves, contactores e disjuntores
	Oscilações de tensão nas três fases
Rotor travado	Excessiva dificuldade na partida do motor, devido à elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados

Fonte: A Própria Autora

Tabela 2 - continuação: Relação de Anomalias e Possíveis Causas

CARACTERÍSTICAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Sobreaquecimento	Travamento do eixo da carga
	Cabos de alimentação muito longos e/ou muito finos
	Conexão incorreta dos cabos de ligação do motor
	Elevado número de partidas em um curto intervalo de tempo
	Excesso de carga na extremidade do eixo
	Sobretensão ou subtensão na rede de alimentação
	Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira sobre a carcaça, temperatura ambiente elevada)
	Ventilação deficiente (tampa defletora danificada ou obstruída, sujeira sobre a carcaça, temperatura ambiente elevada)
Falta de fase	Ligação em Estrela: queima de duas fases
	Ligação em Triângulo: queima de uma fase
	Mau contato em conexões, chaves, contactores e disjuntores
	Mau contato nos terminais de uma fase do transformador
	Queima de uma fase do transformador de alimentação
	Queima de um fusível
	Rompimento de um cabo alimentador

Fonte: A Própria Autora

3.3.1 Desbalanceamento

O desbalanceamento de rotores pode ser considerada uma das maiores causas de vibrações em máquinas rotativas. Este fator é caracterizado pela existência de desequilíbrios de massa em relação aos eixos de rotação. Tais desequilíbrios são originados por assimetrias, tolerâncias e desvios de forma, além das imperfeições de matéria-prima e da montagem. Por exemplo, quando a borracha dos acoplamentos está danificada, podendo causar um desequilíbrio entre as suas conexões.

3.3.2 Desalinhamento

O desalinhamento é um problema quase tão comum quanto o desbalanceamento. Em montagens mecânicas, geralmente, existem vários eixos, mancais e acoplamentos com características dinâmicas diferentes, que juntos podem apresentar um desalinhamento. Quando o conjunto opera, aparecem forças de interação, que podem causar vibrações no motor.

3.3.3 Eixo torto

O problema do eixo torto ou empenado é comum em motores elétricos, principalmente, devido sobrecargas e altos aquecimentos. Também é observado que problemas durante a manutenção, como montagem inadequada, podem contribuir para o acontecimento dessa anomalia. Seus sintomas se confundem com desbalanceamento e desalinhamento por conta das vibrações que também gera.

3.3.4 Folga mecânica

A folga mecânica se caracteriza por um aumento na vibração do motor, podendo ocasionar aumento de temperatura. Como principais causas, podem ser citados parafusos frouxos e folgas excessivas nos mancais.

3.3.5 Rolamentos

As anomalias causadas por defeitos com rolamentos, geralmente, são causadas por deficiência na lubrificação, devido ao uso de lubrificantes inadequados, aplicação de quantidade errada, demora no tempo de troca do lubrificante ou ponto de lubrificação obstruído. Outro fator é o procedimento de montagem inadequado, geralmente causado pela falta do aquecedor indutivo nas oficinas.

As sobrecargas mecânicas também podem causar problemas nos rolamentos, principalmente se eles não estiverem montados corretamente ou possuírem especificação diferente da de fabricação.

3.3.6 Baixa Isolação

Dentre as principais falhas em motores na indústria em estudo, a baixa isolação é uma das mais presentes e pode causar um curto circuito entre espiras ou entre fases. É causada principalmente pela degradação dos materiais isolantes, que sofre a influência de diversos fatores externos. Além da temperatura, a umidade é um dos principais fatores que podem prejudicar o material isolante do motor, pois reduz a resistência de isolamento e aumenta as perdas dielétricas, podendo aumentar a temperatura em níveis de formação de vapores e gases, facilitando a perfuração do dielétrico. Durante as inspeções preventivas, são realizados testes de isolamento, utilizando o megômetro para verificar o estado das bobinas.

4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção é essencial para a otimização do funcionamento de um equipamento e prevenção de falhas, no entanto, os custos com manutenção de equipamentos representam a maior parte dos custos de uma indústria. Atualmente, na indústria em estudo, os gastos com motores representam 2,5% do custo total de manutenção, que representa 27% no custo total. Uma parte considerável desses gastos, geralmente, são desperdiçados em serviços e procedimentos inadequados ou desnecessários. Dessa forma, muitas indústrias procuram alternativas para reduzir os custos de manutenção por meio de uma aprimoração no diagnóstico e detecção de falhas.

O objetivo é aumentar a eficiência na detecção de anomalias por meio de manutenções preditivas e preventivas. Muitas indústrias investem nos diagnósticos a fim de reduzir os gastos com reparos nos equipamentos e para garantir um bom diagnóstico, é necessário um monitoramento contínuo e um curto tempo para o tratamento da falha, o que representa um desafio, pois algumas falhas possuem um pequeno impacto e podem ser facilmente mascaradas por ruídos e mudanças nas condições de operação do acionamento (BACCARINI, 2005).

Alguns procedimentos são fundamentais e podem otimizar esse diagnóstico (BETTA, 2002):

- Análise em tempo real com o objetivo de otimizar a detecção de falha;
- Utilizar os parâmetros adequados para medição: número de pontos, frequência de amostragem, regime de funcionamento;
- *Software* específico para identificar a causa da anomalia e o seu grau de gravidade.

4.1 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é representada pela realização de diagnósticos específicos periódicos nos equipamentos, utilizando ferramentas específicas para as características de funcionamento.

Na indústria em estudo foi contratado uma empresa terceirizada que realiza medições em todos os equipamentos da fábrica, emitindo laudos ou alertas para intervenções preventivas nos equipamentos que estiverem fora dos parâmetros esperados. Tais laudos são chamados de Relatório de Diagnóstico e Prognóstico (RDP).

São realizadas as seguintes análises: Análise de Vibração, Termografia Elétrica, Análise de Circuitos de Motores e Análise de Óleo Lubrificante.

4.1.1 Análise de Vibração

Uma das técnicas utilizadas para detecção de defeitos mecânicos é a Análise de Vibração. Ela é realizada a partir de um equipamento que realiza a medição da vibração em diferentes partes do motor em funcionamento, a compreensão da sequência do fluxo de energia na máquina é essencial para a avaliação de diagnóstico de dados de vibração. Essa análise é fundamental, principalmente, para máquinas rotativas, pois além de detectar defeitos existentes, pode identificar a causa raiz de outras anomalias que podem surgir.

Para a indústria em estudo, em 2016, foram realizadas 6603 medições, e partir destas, foram geradas 238 RDPs, apresentando uma taxa de falha de 3,6%, que é calcula de acordo com a equação [2].

$$\text{Taxa de Falha} = \frac{\text{Quantidade de RDPs}}{\text{Quantidade de Medições}} [2]$$

4.1.2 Termografia Elétrica

A Termografia Elétrica é feita por meio de uma câmera termográfica que realiza medições no motor em funcionamento, verificando se há presença de pontos de aquecimento excessivo no equipamento e no seu painel elétrico, que podem causar o consumo excessivo de energia ou redução da vida útil do material isolante do motor. Os principais defeitos detectáveis durante a termografia são conexões elétricas deterioradas, desequilíbrio de corrente ou tensão, sobrecarga em circuitos elétricos, motores elétricos com baixa resistência, desgaste de rolamentos e desalinhamento de eixos.

Em 2016, foram medidos 889 pontos, que geraram 91 RDPs, apresentando uma taxa de falha de 10,23%.

4.1.3 Análise de Circuitos de Motores

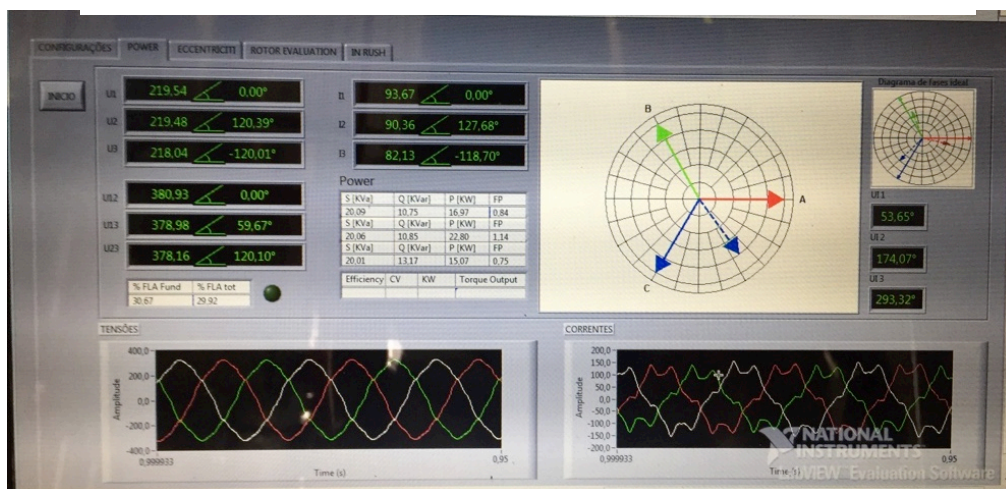
A Análise de Circuitos de Motores é uma técnica que realiza ensaios tanto no painel elétrico de alimentação como na caixa de ligação dos motores, diagnosticando possíveis defeitos elétricos como conexões e cabos de alimentação irregulares, fuga de corrente e curto-circuito entre espiras, desbalanceamento de tensão ou corrente, harmônicos de tensão ou corrente e defeitos no inversor de frequência, como mostra a figura 9.

Nos painéis, as garras de leitura de tensão e corrente são posicionados nos cabos

de alimentação. Na caixa de ligação dos motores, o circuito deve estar desenergizado, pois as conexões entre os cabos de alimentação e cabos do motor são desfeitas para realizar a fixação das garras do equipamento para leitura das grandezas.

Para a indústria em estudo, em 2016, foram realizadas 81 medições, e estas geraram 15 RDPs, apresentando uma taxa de falha de 18,51%. Essa análise apresenta uma alta taxa de falha pois é realizada apenas em motores de grande porte, acima de 100 cv e em equipamentos críticos, com frequência trimestral.

Figura 9: Resultados da análise do circuito elétrico de um motor



Fonte: A Própria Autora

4.1.4 Análise de Óleo Lubrificante

A Análise de Óleo Lubrificante verifica se o estado do óleo do motor está adequado para o uso e se há contaminação ou desgaste de componentes por meio da coleta do lubrificante. É coletado, aproximadamente, 100ml de óleo, com a máquina em funcionamento ou logo após a sua parada, de forma a evitar a sedimentação em grande quantidade de partículas, e é levado para a análise em laboratório.

Para a indústria em estudo, em 2016, foram realizadas 3321 medições, e estas geraram 69 RDPs, apresentando uma taxa de falha de 2%.

4.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva consiste em ações antecipadas, com o objetivo de reduzir ou eliminar uma falha, mantendo o equipamento em funcionamento.

Na indústria em estudo, a manutenção preventiva é composta por planos de manutenção que são procedimentos detalhados das atividades a serem realizadas no equipamento, com um período determinado, que pode variar de semanal a anual. Esses procedimentos funcionam como um espelho para a realização da inspeção de rota, cada tipo de equipamento ou inspeção possui seu procedimento específico.

Para os motores elétricos, existe um plano de manutenção específico, composto por duas inspeções de rota diferentes: uma mensal e outra semestral. A inspeção de rota mensal é feita com o motor em funcionamento e nela é possível realizar diagnósticos por meio de medições, no entanto, não é possível realizar grandes intervenções pois o equipamento está energizado.

Na inspeção mensal é possível identificar aquecimentos anormais no rolamento, defeitos no estator e redutor (no caso de motores acoplados a redutores), por meio de uma câmera termográfica, como mostra a figura 10. A medição deve ser realizada, no mínimo, após 1 hora de funcionamento do equipamento com carga, respeitando a distância máxima especificada para a ferramenta.

Figura 10: Medição termográfica em um motor



Fonte: A Própria Autora

Também podem ser encontrados defeitos de origem mecânica no motor através da medição de vibração global, mostrada na figura 11, que irá indicar um problema geral na vibração, que poderá ser desalinhamento, desbalanceamento, pé manco, base solta, frouxidão

de parafusos, folgas nos alojamentos do rolamentos, entre outros.

Figura 11: Medição de vibração em um motor



Fonte: A Própria Autora

É possível identificar subtensão, sobretensão e desequilíbrios que podem prejudicar os motores, por meio da medição das tensões elétricas entre as três fases no painel elétrico utilizando um multímetro, mostrada na figura 12. São realizadas três medições e a partir delas, o desequilíbrio de tensão é calculado como mostram as fórmulas [3] e [4].

$$\text{Desvio médio} = \text{Maior valor de tensão} - \text{Tensão média} \quad [3]$$

$$\% \text{ de Desequilíbrio} = (\text{Desvio Máximo} / \text{Tensão Média}) \times 100 \quad [4]$$

Figura 12: Medição das tensões elétricas no painel elétrico



Fonte: A Própria Autora

Sobrecargas, problemas no bobinamento e na proteção térmica do motor, são identificados por meio da medição das correntes elétricas das três fases do motor no painel elétrico utilizando um amperímetro alicate. Também é verificado o ajuste da proteção térmica do motor, que é um fator determinante para o aumento da sua vida útil.

Mau contato ou sobrecarga no circuito de alimentação do motor, também são identificados utilizando a câmera termográfica para verificar pontos quentes no disjuntor trifásico, inversor de frequência e fusíveis do motor, como mostra a figura 13.

Figura 13: Medição termográfica no painel elétrico do motor



Fonte: A Própria Autora

Nos procedimentos das inspeções de rota estão contidas todas as informações necessárias para realizar a atividade como informações de segurança, normas para consulta e modos potenciais de falha, indicando as possíveis causas do defeito. Estão especificados também os parâmetros de comparação para os valores medidos, permitindo ao técnico verificar se o funcionamento do equipamento está ou não adequado para a sua atividade. Em caso de anomalias, o técnico deve abrir notas de manutenção para uma intervenção na máquina quando estiver parada.

A inspeção de rota semestral é mais complexa e é realizada com o equipamento fora de funcionamento. Nela é feita a medição da resistência de isolamento do motor na sua caixa de ligação em cada grupo de bobina, utilizando um multímetro e um megômetro. Após a medição, é aplicado um solvente dielétrico, que faz a descontaminação do motor, removendo a umidade, graxas, oleosidade e fuligem sem deixar resíduos. Também é avaliado

a condição de instalação e o dimensionamento do aterramento, verificando se o cabo de aterramento está ligado ao terminal de aterramento do motor e no painel elétrico, e se o contato de aterramento está limpo, sem oxidação e sem tinta.

Sem o aterramento, a corrente gerada pelos inversores de frequência escoar através do rolamento, acelerando o desgaste e aumentando a sobrecarga e temperatura. Em situações de picos de tensão, o motor não está protegido caso o aterramento não esteja adequado, os materiais isolantes internos são perfurados e na partida, o motor pode queimar.

É realizada também a avaliação da condição de vedação da caixa de ligação e entrada dos cabos no motor, onde é aplicado um impermeabilizante indicado para proteção contra corrosão. Sua formulação com solventes e lubrificantes cria uma fina película que repele a umidade e lubrifica equipamentos, motores e painéis elétricos. A figura 14 mostra uma caixa de ligação e suas condições físicas.

Figura 14: Caixa de ligação de um motor



Fonte: A Própria Autora

A condição de instalação da ventilação do motor é verificada, verificando se a distância entre os obstáculos está de acordo com os limites especificados no procedimento. É verificado também as condições de fixação do motor, se estão travados com todos os parafusos. Também é realizado a inspeção dos contatos do contactor e bimetálico do relé térmico, pois com o passar do tempo, os contatos sofrem desgastes devido as paradas e partidas do motor.

Como a inspeção é realizada com o equipamento fora de funcionamento, é possível realizar intervenções, eliminando as anomalias encontradas, como reapertos, troca de contatos, limpeza interna e da caixa de ligação. No entanto, para anomalias que necessitam de intervenções mais complexas, é necessário programar uma intervenção maior no motor.

5 ESTUDO DE CASO

Durante um ano foi realizado um acompanhamento mais detalhado do funcionamento dos motores elétricos da indústria em estudo com o objetivo de aumentar a confiabilidade desses equipamentos por meio da redução de falhas.

As principais áreas que compõem a indústria em estudo são: Processo Cerveja, Utilidades, Xaroparia e Envase. O gráfico 1 mostra a taxa de falha em 2016 em cada área.

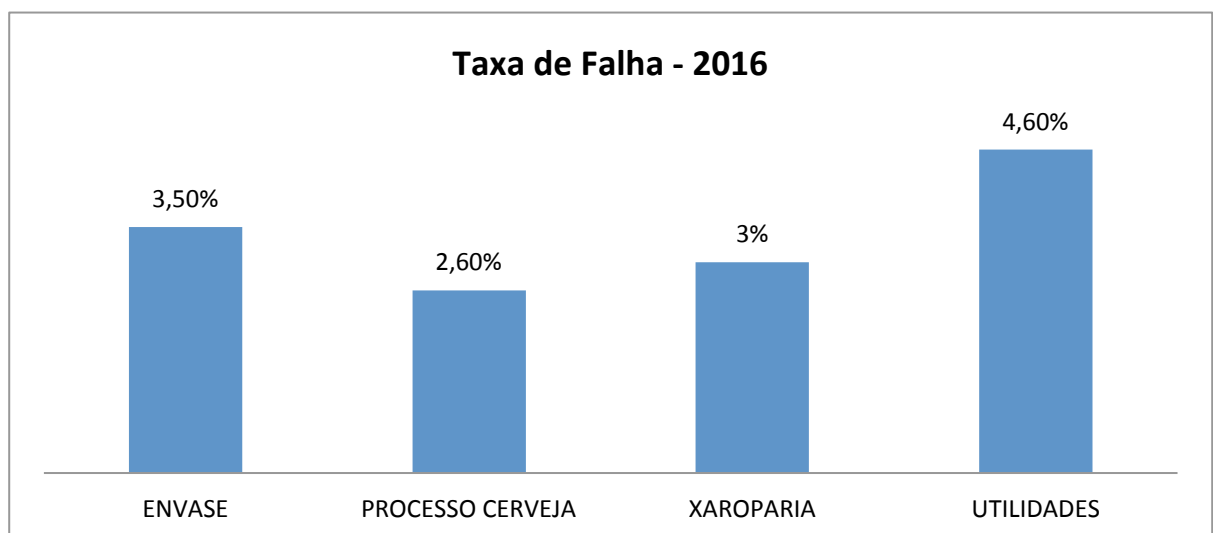
O setor de Utilidades é uma área produtiva essencial para o funcionamento de toda a cervejaria, é onde os principais insumos para realizar a produção são oferecidos. Os produtos são ar comprimido, frio, CO₂, vapor e energia elétrica. Como é possível observar no gráfico 1, é a área que apresentou maior taxa de falha em 2016.

A área de Processo Cerveja é onde são feitos todos os processos para a produção da cerveja, desde o recebimento dos seus ingredientes até a sua filtração, de onde a cerveja é enviada para a área de Envase.

A Xaroparia, assim como o Processo Cerveja, é uma área produtiva, onde o refrigerante é produzido, iniciando o processo desde o recebimento da matéria prima, até o envio para a área de Envase.

Na área de Envase a cerveja e o refrigerante produzidos são envasados e preparados para distribuição, atendendo a todos os requisitos de qualidade. É uma área constituída por muitos equipamentos e subáreas, sendo assim a área com maior quantidade de motores. Como é possível observar no gráfico 1, apresentou a segunda maior taxa de falha em 2016.

Gráfico 1: Taxa de Falha em 2016 por área



Fonte: A Própria Autora

Foi possível observar que o funcionamento da manutenção preventiva, em geral, não estava de acordo com os padrões estabelecidos por normas internas. Havia uma falta de conhecimento dos eletricitistas a respeito dos procedimentos de inspeção nos motores, o que impactava na qualidade da execução dessas inspeções e na detecção de anomalias. Também foi possível observar que nem todos os motores estavam contemplados pelos procedimentos de inspeção, fazendo com que passassem muito tempo sem nenhuma intervenção preventiva. Assim, o cenário era de reincidência na queima de motores e redução do tempo entre as falhas, aumentando os custos de manutenção com motores.

Principais ações:

- Gestão e análise dos motores enviados para manutenção externa: quantidade de notas de manutenção abertas e quantidade de RDPs.
- Relatório de possíveis falhas, analisando as RDPs reincidentes;
- Estratificação de equipamentos críticos;
- Acompanhamento das inspeções de rota em motores elétricos;
- Treinamento dos técnicos eletricitistas nas inspeções preventivas.

5.1 Implantação da Gestão de Queimas

Como não havia gestão dos motores enviados para rebobinamento externo, iniciou-se o acompanhamento por meio da implantação de uma ficha de danos do motor, que deveria ser preenchida antes do envio para serviços externos. Nessa ficha, deveriam ser preenchidos dados da placa do motor, assim como as possíveis causas para a sua falha.

A partir dessa ficha, mostrada na figura 15, foi elaborado um acompanhamento de todos os motores enviados, sendo possível estratificar as principais causas para queima e as principais características dos motores enviados.

Figura 15: Ficha de Danos do Motor

FICHA DE DANOS DO MOTOR	
Área: _____	Data: _____
Turno: _____	Etiqueta: _____
Potência: _____	RPM: _____
Polos: _____	Tensão: _____
Motivo: <input type="checkbox"/> Baixa Isolação <input type="checkbox"/> Motor Queimado	
Causas:	
<input type="checkbox"/> Rolamento Travado	<input type="checkbox"/> Falta de fase
<input type="checkbox"/> Umidade	<input type="checkbox"/> Sobrecarga
<input type="checkbox"/> Selo Mecânico	<input type="checkbox"/> Proteção fora de ajuste
<input type="checkbox"/> Curto-circuito	<input type="checkbox"/> Pico de Tensão

Fonte: A Própria Autora

Por meio da estratificação das causas mais recorrentes, foi possível realizar um monitoramento das situações de trabalho mais críticas presentes na indústria:

- Folga estrutural ou esforços mecânicos devido à falha na lubrificação;
- Bobinas em curto-circuito;
- Falha na ventilação do motor;
- Umidade na caixa de ligação.

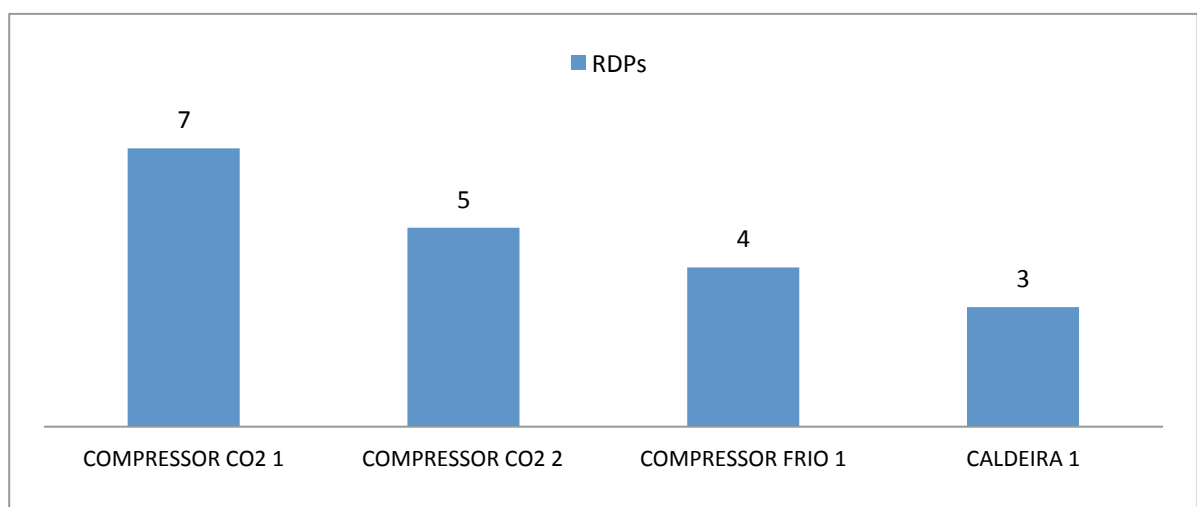
5.2 Estratificação dos Equipamentos Críticos

Para a análise dos equipamentos mais críticos, que ainda não apresentaram falha, foram analisados dois itens: quantidade RDPs recorrentes e quantidade de notificações com o objetivo de estratificar os equipamentos que precisam de uma maior atenção, evitando sua queima e envio para manutenção externa, que além de aumentar os custos, pode reduzir a vida útil do motor.

5.2.1 Análise de RDPs

Primeiramente foram identificados os equipamentos com o maior número de RDPs em 2017. O gráfico 1 mostra os equipamentos com o maior número de RDPs de Análise de Vibração, técnica que apresenta o maior número de reincidências na fábrica.

Gráfico 1: Quantidade de RDPs recorrentes



Fonte: A Própria Autora

Para cada um desses equipamentos foram elaborados um estudo dos motivos para a reincidência das RDPs. Assim, foi possível identificar a causa principal para cada equipamento crítico.

Para o Compressor de CO2 1, a partir do relatório, foi identificado que a principal causa para a reincidência de RDPs de Vibração foi a deficiência na lubrificação, pois houve um atraso na realização da atividade. Assim, o motor passou um longo período sem haver uma inspeção, apresentando um esforço mecânico devido ao atrito entre os seus componentes. Como já foi citado, a lubrificação correta é essencial para prolongar a vida útil dos componentes, principalmente dos rolamentos. Para melhorar a situação desse motor, foi realizada a sua lubrificação corretamente e colocada como foco nos próximos meses para garantir que não haverá nenhuma anomalia no futuro.

No Compressor de CO2 2, que apresentou 5 RDPs reincidentes, foi identificado uma folga no pistão do compressor devido a uma montagem realizada incorretamente, o que causou a sua vibração, afetando também o motor. Para sanar essa anomalia, foi realizada uma intervenção no compressor para melhorar suas condições de funcionamento, verificando a fixação correta dos seus componentes.

No motor do Compressor de Frio 1, foi observado uma oxidação nas roscas dos parafusos da placa de ligação do motor, causando um desbalanceamento das fases de alimentação e uma conseqüente deficiência no funcionamento do motor. Assim, foi verificado uma vibração na frequência de ranhura no rotor. As roscas foram trocadas e colocadas como item para verificação na próxima inspeção preventiva no motor.

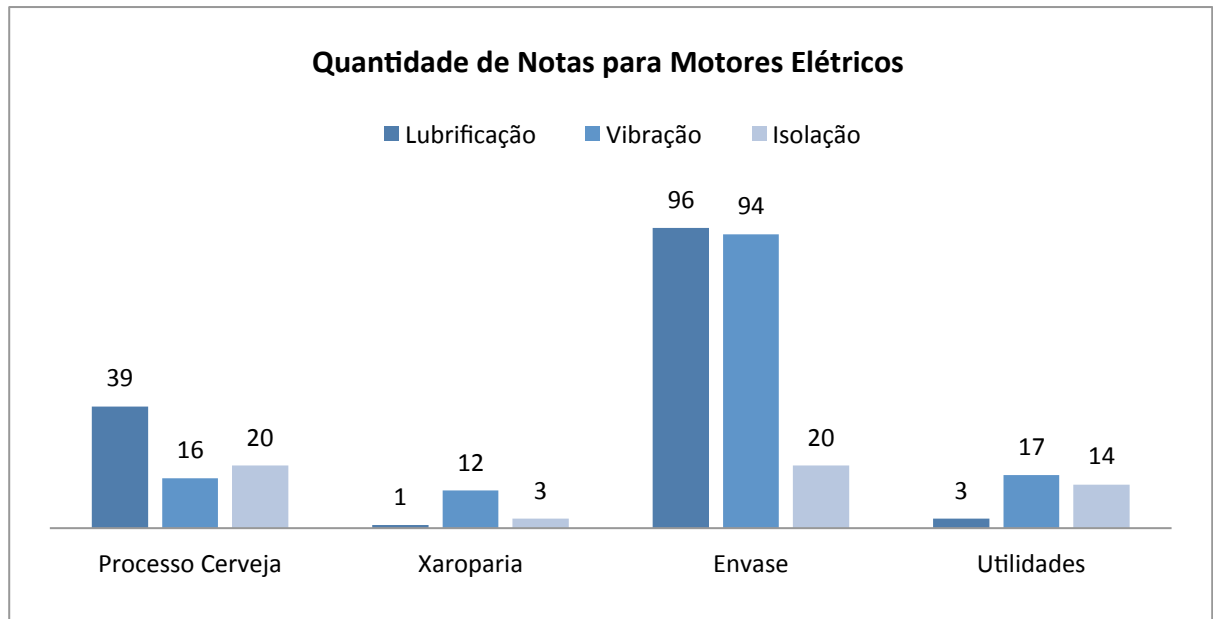
No motor da Caldeira 1 foi observado um desgaste no rotores da bomba, causados pelo longo período e condições de funcionamento, o que ocasionou uma vibração no motor. Para reduzir a vibração, foi feito um reparo nos rotores da bomba com o objetivo de melhorar o seu funcionamento e o do motor acoplado.

5.2.2 *Quantidade de Notificações*

Para a estratificação dos equipamentos críticos também foram analisados itens como quantidade de notificações abertas para cada motor, verificando anomalias relacionadas a vibração, lubrificação e isolamento. Essas notificações são abertas pelos técnicos eletricitas e mecânicos durante suas inspeções nos equipamentos.

O gráfico 2 mostra a quantidade de notas para cada tipo de anomalia abertas no período de Outubro de 2016 a Setembro de 2017, dividido por área.

Gráfico 2: Quantidade de notas abertas para motores em cada área



Fonte: A Própria Autora

Como é possível observar, a área com mais notas abertas é a área de Envase, isso se deve ao fato de ter um maior número de máquinas e contemplar diversas subáreas, que variam dependendo do tipo volume das garrafas.

A área de Processo Cerveja possui mais notas abertas relacionadas à lubrificação, portanto foi classificada como uma área foco em lubrificação, assim como a área de Envase. Dessa forma, nessas áreas os procedimentos de lubrificação foram revisados, a fim de verificar se estão adequados para cada equipamento. Também foram instaladas salas de lubrificação para controle e armazenamento corretos para cada tipo de lubrificante, funcionando também como uma sala de treinamento para as atividades de lubrificação.

Na área de Utilidades, foi possível verificar uma grande quantidade de notas de vibração, dessa forma foi realizado o acompanhamento de algumas inspeções preventivas nessa área, com o objetivo de identificar as condições de instalação críticas dos motores, assim como os equipamentos com maior probabilidade de falha.

5.2.3 Exemplo de Equipamento Crítico

Um exemplo de motor crítico é o motor da Caldeira 4 na Utilidades, que possui diversas notificações relacionadas a sua vibração e temperatura. Inicialmente ele foi dimensionado para funcionar de forma contínua, com variações na sua velocidade conforme a necessidade do processo. Esse motor está acoplado a uma bomba de alimentação de água em uma caldeira, como mostra a figura 16.

Figura 16: Motor da Caldeira



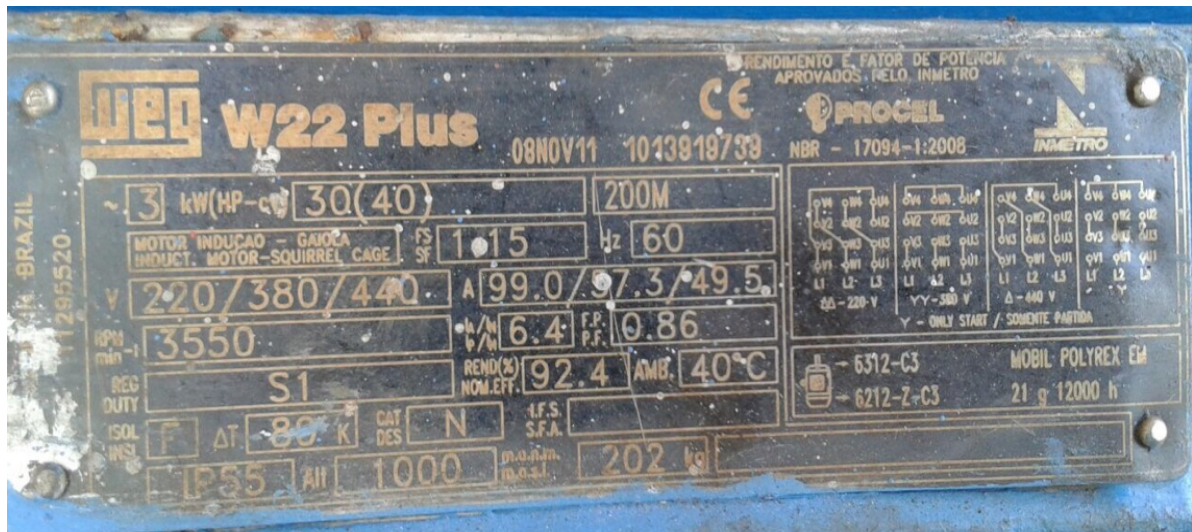
Fonte: A Própria Autora

Atualmente ele está funcionando de forma intermitente, o que causa um desgaste nos seus componentes, apresentando sintomas como aquecimento excessivo, o que pode futuramente causar a sua falha.

A quantidade de partidas é definida pelo consumo de vapor da caldeira, portanto, em alguns períodos a frequência de partidas pode ser maior, em outros pode ter o funcionamento mais constante. A vibração apresentada é devido a um desalinhamento entre os eixos que tem origem do desgaste no eixo da bomba, causado pelos esforços exigidos durante as partidas constantes. Também é possível observar que há um vazamento de água pela gaxeta da bomba que atinge o motor, prejudicando mais ainda o seu funcionamento.

A figura 17 mostra a placa de identificação desse motor. Como é possível observar, o seu regime de funcionamento é o S1, sua potência é 30 kW e seu rendimento é de 92,4%. Assim como o motor mostrado no item 2.6.1, é um motor do modelo W22 Plus da WEG, com carcaça 200M.

Figura 17: Placa do Motor da Caldeira



Fonte: A Própria Autora

Como medidas corretivas foram realizadas algumas intervenções para melhorar as condições de funcionamento do motor. Os seus rolamentos foram substituídos, pois de acordo com a análise de vibração, havia uma folga rotativa causando vibração na região de ressonância. Também foi realizada uma solda no suporte para melhorar a fixação da base do motor bomba, assim como reaperto dos seus parafusos e limpeza externa.

Como medida preventiva, o motor está em constante monitoramento, sendo acompanhado durante as inspeções preventivas e as notificações abertas para esse motor estão sendo avaliadas, verificando se os parâmetros de temperatura e vibração estão de acordo com os de fabricação para garantir o seu bom funcionamento e evitar que ocorra a parada do equipamento.

5.3 Acompanhamento das Inspeções

Com o objetivo de verificar se as inspeções qualitativas e preventivas citadas no item 4.2 estavam sendo realizadas com qualidade, identificando todas as anomalias, foram realizados acompanhamentos dessas atividades nos motores mapeados como críticos e em alguns motores escolhidos aleatoriamente.

O acompanhamento teve como foco o ampliado do conhecimento dos técnicos, realizando um treinamento em campo com os eletricitistas a respeito de como a atividade deveria ser executada, facilitando na execução com maior detalhamento de dados e maior conhecimento sobre os motores.

5.4 Análise de um Motor Queimado

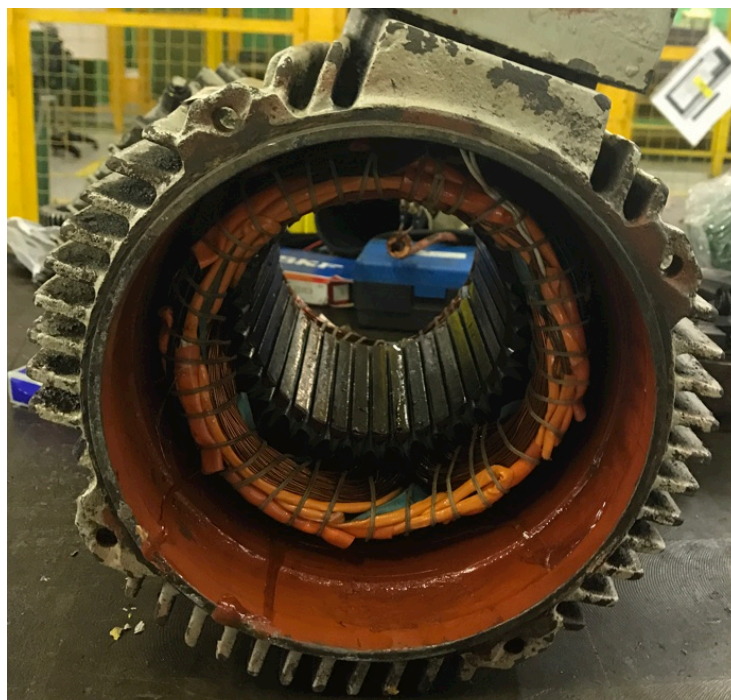
A partir da gestão dos motores e estratificação dos dados e desempenho do motor, foi possível gerar um relatório para cada motor queimado, identificando as principais causas para a ocorrência de suas falhas. Como exemplo, foi analisado um motor da área de envase, com potência de 7,5 kW, acoplado a um redutor. Sendo esse motor um dos responsáveis pelo funcionamento de uma rotuladora.

A causa imediata para a queima do motor foi a baixa isolação de suas bobinas. Isto foi causado por um acúmulo de óleo dentro do estator, danificando suas bobinas. O que causou este acúmulo foi o desgaste do eixo do motor devido à lubrificação deficiente, causando um esforço excessivo dos seus componentes.

Na última RDP de Análise de Óleo de tal motor, constava que havia contaminação por água no lubrificante, e as suas duas Análises de Vibração detectaram esforço mecânicos anômalos, causando vibração excessiva. Também foi verificada a última inspeção preventiva no motor antes de sua queima, no entanto, o eletricitista não apresentou os dados de medição durante a inspeção, impossibilitando o diagnóstico do motor.

Após a queima, o motor foi enviado para manutenção externa, onde foi rebobinado e retornou no dia seguinte. Durante esse período, a máquina ficou fora de funcionamento, pois não havia motor reserva. A figura 18 mostra o estator após o seu rebobinamento.

Figura 18: Estator rebobinado



Fonte: A Própria Autora

A desvantagem deste tipo de serviço se deve à possibilidade de comprometer a vida útil do motor, podendo reduzir sua performance e em último caso, causar falha novamente. A manutenção externa também representa um impacto maior nos custos.

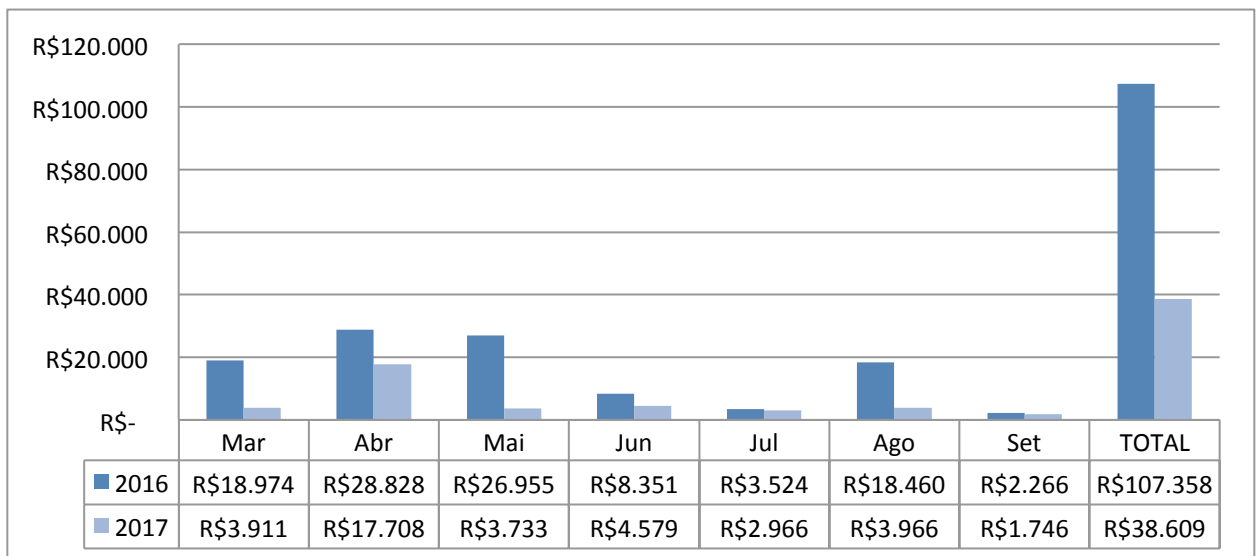
Dessa forma, é possível concluir que a execução de ações de inspeção preventiva com qualidade é essencial para o bom funcionamento do motor, tais como fazer todas as medições necessárias, bem como identificar e notificar eventuais anomalias, para tratá-las antes de ocorrer a queima do motor. Portanto, a falha neste motor ocorreu por erros operacionais, falhas em lubrificação e falta de acompanhamento dos motores críticos.

Também é possível concluir que a análise de subconjuntos e motores mais comuns na fábrica é importante, pois possibilita a existência de um estoque reserva para substituições emergenciais, como foi o caso nesta falha, reduzindo o tempo de parada dos equipamentos.

5.5 Resultados

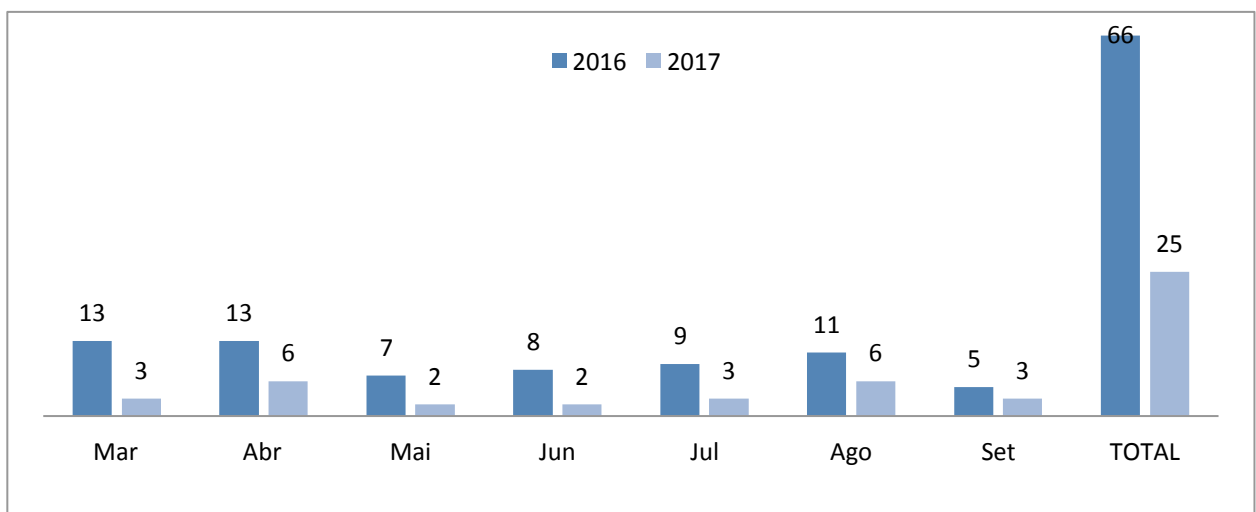
Como consequência de todas as ações, principalmente da gestão dos motores, é possível observar que houve uma redução significativa dos gastos com manutenção externa em motores elétricos comparado ao mesmo período em 2016, como mostra o gráfico 3. Observou-se também a redução do número de serviços em motores queimados, como mostra o gráfico 4, enfatizando que não só os custos foram reduzidos, mas também a frequência de queima desses equipamentos.

Gráfico 3: Gastos com motores elétricos



Fonte: A Própria Autora

Gráfico 4: Quantidade de motores queimados



Fonte: A Própria Autora

6 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou as principais causas de falha em motores elétricos em uma indústria. Para a análise, foram utilizados dados coletados na empresa em estudo durante um ano de desenvolvimento de um projeto de confiabilidade de motores. A partir da análise, foram estratificadas as principais causas para anomalias, descritas no item 3.3, entre elas: deficiência na lubrificação, umidade e folga estrutural.

Também foram apresentadas ações que podem aumentar a confiabilidade dos motores elétricos, aumentando sua vida útil e reduzindo a quantidade de queimas, com o objetivo de redução de custos em manutenção e aumento da produtividade e eficiência da produção, tais como gestão dos motores queimados, acompanhamento das atividades de inspeção preventiva e estratificação de equipamentos críticos.

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que a otimização da identificação e solução de anomalias pode ser realizada por meio do aumento da eficiência da manutenção preventiva, reduzindo a quantidade de falhas e suas reincidências por meio da gestão dos motores elétricos na indústria. Também foi possível observar que houve uma redução de 64% dos gastos com motores elétricos em 2017 em relação a 2016, evidenciando que as ações alcançaram um dos principais objetivos, redução de gastos.

Por fim, foi verificado também que existe uma dificuldade na estratificação dos motores mais comuns, pois apenas uma pequena parte das máquinas está mapeada com todas as informações técnicas de cada uma. Dessa forma, os motores mais comuns foram identificados a partir dos que já estavam mapeados e baseados nas análises realizadas em campo. Igualmente complicado foi a análise dos motores que não possuíam a sua etiqueta de identificação, sendo os mesmos desconsiderados neste estudo.


Como trabalhos futuros, sugere-se:

- Mapear todos os motores existentes na fábrica, registrando suas características de fabricação;
- Estratificar o impacto das falhas de motores nos indicadores de manutenção, além dos custos.

REFERÊNCIAS

- CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5 Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015**. 9 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- RAMOS, M. C. E. S. **Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: Estudo de Caso**. Tese (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- WEG. **Motor Elétrico Trifásico W22**. Jaraguá do Sul, 2017.
- BETTA, G.; LIGUORI, C.; PAOLILLO, A.; PIETROSANTO, A. **A dsp-based fft-analyzer for the fault diagnosis of rotating machine based on vibration analysis**. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. 51. No. 6, 2002.
- ELETROBRÁS; PROCEL. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. Universidade Federal de Itajubá. 3 Ed. Itajubá: FUPAI, 2006.
- PROCEL. **Troca de motores traz ganho de eficiência e pode gerar economia de 25% no consumo de energia elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&Team=¶ms=itemID=%7BAE36573D-1CA7-494D-997D-9F7623C28119%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 07 de Novembro de 2017.
- WEG. **Motores Elétricos, Guia de Especificação**. Jaraguá do Sul, 2016.
- BONNETT, Austin H.; SOUKUP, George C. **Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors**. Vol. 28. IEEE, 1992.
- BULGARELLI, Roberval. **Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- SIEMENS. **Catálogo do Fabricante: Motores Trifásicos de Baixa Tensão**. 2010.
- SEW-EURODRIVE. **Motores DR**. 2016. Disponível em: <<http://br.sew-eurodrive.com/produkt/motores-dr.htm>>. Acesso em: 07 de Novembro de 2017.
- SEW-EURODRIVE. **Catálogo Motoredutores - Série DR**. 5 Ed. Guarulhos, 2010.
- SEMEQ. **Inteligência em Saúde de Máquinas**. 2017. Disponível em: <<http://www.semeq.com>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2017.

ANEXO A – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO



SEMEQ
Inteligência em Saúde de Máquinas

Relatório de Diagnóstico e Prognóstico
ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

1/1

Coleta/Entrada: 26/09/2017

Análise: 02/10/2017

Nº: 00001681

Planta: _____

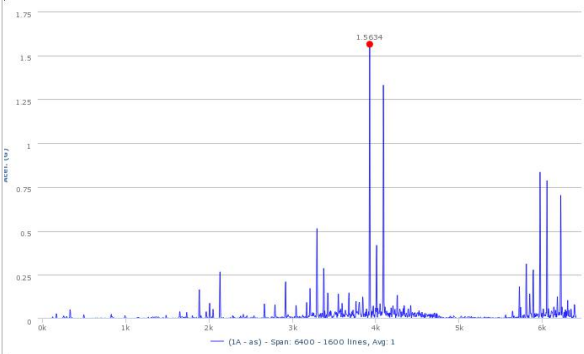
Localização do Equipamento

UTILIDADES -> 01420-SISTEMA DE FRIO 2 -> COMPRESSOR FRIO 02 MYCOM -> C142002 -> MOTOR ELÉTRICO DE COMPRESSOR -> MC - 142002

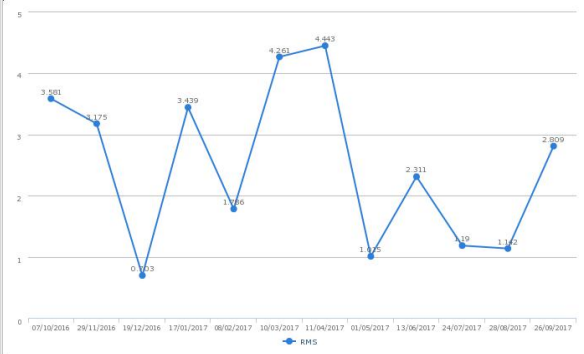
Diagnóstico

Elemento	Falha Encontrada	Especificação	Posição
ROTOR	PASSAGEM DE BARRAS		LOA

Espectro Utilizado para Diagnóstico



Curva de Tendência



Prognóstico

Ação Recomendada	Prazo recomendado p/ intervenção
APRESENTA VIBRAÇÃO NA FREQUÊNCIA DA PASSAGEM DAS BARRAS DO ROTOR DO MOTOR COM MODULAÇÃO DE 2 X FREQ. DE REDE (120 HZ), PROVENIENTE DE DEFICIÊNCIA NO CAMPO ELÉTRICO. REALIZAR ENSAIOS ELÉTRICOS NO MOTOR VERIFICANDO PRINCIPALMENTE DESBALANCEAMENTO DE FASES, BAIXA ISOLAÇÃO E ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO.	2 Semana (s)

Analisado Por: LEONARDO COLOMBARI DE ALMEIDA Aprovado Por: ALEXANDRE DA COSTA PAES

Para uso do cliente

PSM/O.S.	Data da Intervenção	Tempo gasto na intervenção	Tempo de parada do equipamento	Responsável pela intervenção
000025589677	14/10/2017	-	-	FRANCINILTON GOMES DE OLIVEIRA

Relatório de Conclusão de Intervenção (RCI)

01.O defeito encontrado foi igual ao diagnosticado? (x)Sim ()Não havia defeito algum ()Não corresponde.

02.A especificação do componente defeituoso está completamente correta? (x)Sim ()Não

03.A posição indicada do componente defeituoso estava correta? (x)Sim ()Não

04.Além da ação recomendada foi executada mais alguma intervenção? (x)Não ()Sim

Classificação do tipo de defeito acordado entre: _____


(x)Sucesso ()Imprecisão ()Defeito Virtual

Análise da classificação acordada por: _____

SEMEQ

ANEXO B – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE TERMOGRAFIA ELÉTRICA

Relatório de Diagnóstico e Prognóstico 1/1
TERMOGRAFIA ELÉTRICA



Inteligência em Saúde de Máquinas

Coleta/Entrada: 11/10/2017 Análise: 17/10/2017 Nº: 00000455

Planta: _____

Localização do Equipamento

UTILIDADES -> SUBESTAÇÃO 06 - ETEI NOVA -> PAINÉIS ELÉTRICO -> PAINEL DE FORÇA E COMANDO -> PNFC111071


Diagnóstico

Pt. Termograma	Componente	Falha Encontrada	Fase
P1	SEM TRADUÇÃO - IF-111063	AQUECIMENTO POR MAU CONTATO - SOBREAQUECIMENTO	-

Foto do Componente em Falha



Termograma



Condição de Medição		Ponto no Termograma	Emissividade	Temperatura				
Temperatura Ambiente	% Carga Estimada			Medição	Corrigida para % de Carga Estimada	Limite	% Acima do limite p/ Carga Estimada	Prazo recomendado p/ intervenção
38.10	100.00	P1	0.85	73.30	73.30	70.00	4.71	11 Semana (s)

Prognóstico

Ponto no Termograma	Ação Recomendada	Situação:
P1	O AQUECIMENTO APRESENTADO DEVE-SE A INDUÇÃO MAGNÉTICA ORIUNDA DOS CABOS. REALIZAR REFORMAÇÃO DOS CABOS AFIM DE AFASTAR OS MESMO.	

Legenda: ■ Severamente Aquecido ■ Aquecido ■ Abaixo do Limite (o rém intervenção recomendada em função da diferença de temperaturas entre os componentes/terminais adjacentes)

Analisado Por: THIAGO EDUARDO TEIXEIRA

Aprovado Por: MAICON ALVES DE SOUZA

Para uso do cliente

PSM/O.S.	Data da Intervenção	Tempo gasto na intervenção	Tempo de parada do equipamento	Responsável pela intervenção
-	-	-	-	-

Relatório de Conclusão de Intervenção (RCI)

01. O defeito encontrado na prática foi igual ao diagnosticado? Sim Não defeito falha alguma Não correspondia

02. Além da ação recomendada foi executada mais alguma intervenção? Não Sim

Classificação do tipo de defeito acordado entre:

Sucesso Imprecisão Defeito virtual

Análise da classificação acordada por: _____

SEMEQ

ANEXO C – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE CIRCUITOS DE MOTORES



SEMEQ
Inteligência em Saúde de Máquinas

Relatório de Diagnóstico e Prognóstico 1/1

ANÁLISE DE CIRCUITO DE MOTORES

Coleta/Entrada: 04/05/2017
Análise: 05/05/2017
Nº: 00000100

Planta: _____

Localização do Equipamento

UTILIDADES -> 01420-SISTEMA DE FRIO -> COMPRESSOR DE FRIO 05 -> MOTOR ELÉTRICO DE COMPRESSOR -> MC142005

Diagnóstico	
Falha Encontrada	DISTÚRBIOS DE ALIMENTAÇÃO - IRREGULARIDADES NA QUALIDADE DE ENERGIA.
Ensaio:	POWER ANALYSIS
Data Ensaio:	24/04/2017
Comentário:	O ENSAIO POWER ANALYSIS APONTA IRREGULARIDADES NA ALIMENTAÇÃO.
Ensaio:	POWER ANALYSIS
Data Ensaio:	24/04/2017
Comentário:	GRANDE DISTORÇÃO NA FORMA DE ONDA DA TENSÃO.

POWER ANALYSIS

	Voltage			
	Fund RMS	Tot RMS	C.F.	T.H.D.
Voltage 1-2	376.553	374.476	1.336	0.087
Voltage 2-3	320.501	318.751	1.331	0.090
Voltage 1-3	318.858	317.528	1.336	0.090
Average	338.637	336.918		
%Imbalance	11.147	11.197		
%NEMA Derating	0.296			
Voltage 1	217.361	217.257	1.510	0.086
Voltage 2	217.441	217.356	1.513	0.087
Voltage 3	150.506	150.607	1.633	0.101
Average	195.103	195.073		
%Imbalance	22.858	22.795		

POWER ANALYSIS

Onda no Tempo



	Current			
	Fund RMS	Tot RMS	C.F.	T.H.D.
Current 1	686.029	689.083	1.540	0.299
Current 2	706.571	706.140	1.535	0.279
Current 3	456.236	454.876	1.731	0.334
Average	616.279	616.700		
%Imbalance	25.969	26.240		
%FLA	61.018	61.059		

Voltage 1	217.257
Voltage 2	217.356
Voltage 3	150.607

Prognóstico	
Ação Recomendada	Prazo recomendado p/ intervenção: 11 Semana (s) Status
INSTALAR FILTRO PARA CORRIGIR OS DESBALANCEAMENTOS DE TENSÃO E CORRENTE; REALIZAR ENSAIOS OFF-LINE PARA AVERIGUAÇÃO DO ESTATOR DO MOTOR.	

Criticidade: ■ Alto ■ Médio ■ Baixo

Analisado Por: FERNANDO AZEVEDO MARTINS Aprovado Por: ALEXANDRE DA COSTA PAES

Para uso do cliente

PSM/O.S.	Data da Intervenção	Tempo gasto na intervenção	Tempo de parada do equipamento	Responsável pela intervenção
121889224	05/06/2017	10 Min	10 Min	99765416

Relatório de Conclusão de Intervenção (RCI)

01. O defeito encontrado na prática foi igual ao diagnosticado? Sim Não defeito falha alguma Não correspondia

02. Além da ação recomendada foi executada mais alguma intervenção? Não Sim


Classificação do tipo de defeito acordado entre !

Sucesso Imprecisão Defeito Virtual

Análise da classificação acordada por: _____ SEMEQ

IT.01.03 * FOR030 04/05/1998


ANEXO D – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DE ANÁLISE DE ÓLEO



Inteligência em Saúde de Máquinas

Relatório de Diagnóstico e Prognóstico ANÁLISE DE ÓLEO

1/2



Nº: 00001102

Coleta/Entrada: 26/07/2017 Análise: 31/07/2017

Planta: _____

Localização do Equipamento

PACKAGING -> 05610-PACKAGING: PET 1 -> ENCHEDORA -> ECH561001 -> ROLAMENTO CENTRAL - GRAXA -> ECH561001

Descrição do Equipamento

Tipo de Óleo	Volume do Reservatório	Últ. Troca / Horím.	Prazo recomendado p/ intervenção
GX LI NLGI 2	0		Imediato

Pré-Análise Visual: Água Coloração Alterada Partículas Metálicas Outras Partículas Estado Alterado

Diagnóstico

Condições do Óleo			
Propriedades Físicas	01/2017	05/2017	07/2017
Visc. 40°C/100°C	- / -	- / -	- / -
Crepitação (%)	-	-	-
Karl Fischer (ppm)	-	-	-
TAN (mg KOH/g)	-	-	-
Glicol (%)	-	-	-
Oxidação (Abs/0.1mm)	-	-	-
Sulfatação (Abs/0.1mm)	-	-	-
Nitração (Abs/0.1mm)	-	-	-
Fuligem (%)	-	-	-
Diluição (%)	-	-	-

Condições do Equipamento			
Espectrometria(ppm)	01/2017	05/2017	07/2017
Al	0,00	0,00	0,00
Cr	134,38	142,56	79,81
Cu	18,61	19,49	16,73
Fe	26712,71	170785,59	64309,48
Ni	16,91	15,36	14,11
Pb	0,00	8,47	0,00
Sn	0,00	0,00	23,13
Ag	-	-	-
Mo	-	-	-
Ti	-	-	-
V	-	-	-
B	-	-	-
Ba	-	-	-
Ca	-	-	-
Mg	-	-	-
P	-	-	-
Sb	-	-	-
Zn	-	-	-
K	-	-	-
Na	-	-	-

Condições do Contaminante			
Espectrometria(ppm)	01/2017	05/2017	07/2017
Si	444,04	606,59	244,04

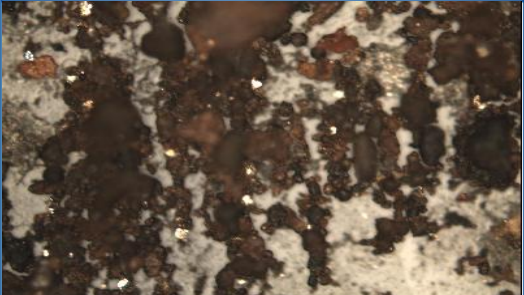
Contagem de Partículas			
Data Ref.	01/2017	05/2017	07/2017
ISO 4406	-	-	-
N.A.S	-	-	-
Nr.Part.>04	-	-	-
Nr.Part.>06	-	-	-
Nr.Part.>14	-	-	-

Ferrografia Analítica	
Partículas Ferrosas	
Severidade	0 2 4 6 8
Arrancamento	-
Atrito Normal	-
Desgaste Deslizamento	-
Engrenagem	-
Esferas	-
Mancal	-
Outros	-
Óxido Preto	-
Óxido Vermelho	-
Partículas Corrosivas	-

Partículas Não Ferrosas	
Severidade	0 2 4 6 8
Arrancamento	-
Atrito Normal	-
Desgaste Deslizamento	-
Engrenagem	-
Mancal	-
Outros	-

Contaminantes	
Severidade	0 2 4 6 8
Areia / Sujeria	-
Degradação do Lubrific.	-
Esferas Contaminantes	-
Fibras	-
Outros	-

Imagem da Lâmina





Inteligência em Saúde de Máquinas

Relatório de Diagnóstico e Prognóstico

ANÁLISE DE ÓLEO

2/2



Coleta/Entrada: 26/07/2017
Análise: 31/07/2017

Planta: _____

Localização do Equipamento

PACKAGING -> 05610-PACKAGING: PET 1 -> ENCHEDORA -> ECH561001 -> ROLAMENTO CENTRAL - GRAXA -> ECH561001

Descrição do Equipamento

Tipo de Óleo	Volume do Reservatório	Últ. Troca / Horím.	Prazo recomendado p/ intervenção
GX LI NLGI 2	0		Imediato

Pré-Análise Visual: Água Coloração Alterada Partículas Metálicas Outras Partículas Estado Alterado

Prognóstico

Ação Recomendada	Situação:
<p>O PRODUTO ANALISADO APRESENTA UM ELEVADO NÚMERO DE PARTÍCULAS FERROSAS PROVENIENTES DE UM DESGASTE NATURAL, PODENDO OS COMPONENTES JÁ ESTAREM SOB UM DESGASTE SEVERO. A AMOSTRA TAMBÉM APRESENTA UMA ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE SILÍCIO PROVENIENTE DE CONTAMINAÇÃO EXTERNA, CONTRIBUINDO PARA AUMENTO DO DESGASTE.</p> <p>EFETUAR A TROCA DO LUBRIFICANTE, LIMPEZA DO SISTEMA E VERIFICAR AS CONDIÇÕES DOS COMPONENTES INTERNOS DO EQUIPAMENTO, ALÉM DE CHECAR POSSÍVEIS FONTES DE CONTAMINAÇÃO.</p>	<div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin: 0 auto;"></div>

Legenda: ■ Crítico ■ Médio ■ Normal

Analisado Por: JORGE LUIS PINHEIROS JUNIOR
Aprovado Por: FABIO LOUBAK

Para uso do cliente				
PSM/O.S.	Data da Intervenção	Tempo gasto na intervenção	Tempo de parada do equipamento	Responsável pela intervenção
25417165	28/09/2017	240 Min	240 Min	99706341

Relatório de Conclusão de Intervenção (RCI)

01.0 defeito encontrado na prática foi igual o diagnosticado ? (X) Sim () Não havia defeito () Não correspondia

Classificação do tipo de defeito acordado entre _____

(x) Sucesso () Imprecisão () Defeito Virtual

Análise da classificação acordada por: _____
SEMEQ