

ESTUDO DE VARIAÇÕES DINAMICAS EM MOTORES ELÉTRICOS COM USO DE CELULAS DE CARGA

Carlos Alberto Leal da Silva Filho¹
Luciano Laurentino da Silva¹
Rafael Nascimento Lopes²

calsfbe@hotmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

A evolução tecnológica nas eras industriais trouxe avanços significativos na coleta de dados em sistemas mecânicos, como motores elétricos. Essas mudanças foram acompanhadas por melhorias na capacidade de monitorar, diagnosticar e otimizar o desempenho desses motores. Atualmente, a detecção precoce de variações dinâmicas em motores elétricos tornou-se essencial, visando evitar falhas catastróficas e melhorar a eficiência operacional. A base para essa detecção reside em sensores avançados, como as células de carga, que medem as variações de peso e deformação em materiais, influenciadas por forças aplicadas, como as geradas por motores elétricos. Essas células, em conjunto com indicadores de peso e sistemas de aquisição de dados, possibilitam a coleta e análise em tempo real de informações cruciais sobre o comportamento dos motores. Um exemplo prático envolve a detecção de rolamentos desgastados em motores. Ao posicionar o motor sobre um conjunto de células de carga em uma superfície de MDF, é possível visualizar as oscilações e perturbações causadas pelo problema. Isso proporciona uma detecção precoce e uma visualização clara dos efeitos, permitindo intervenções proativas, economizando custos de manutenção e evitando paradas não planejadas. Além disso, a aplicação de estratégias de manutenção preditiva e a busca por maior eficiência energética estão no cerne dessa abordagem. A integração de tecnologias avançadas e análise de dados possibilita o aprimoramento contínuo do desempenho dos motores elétricos e contribui para a inovação e o progresso na automação industrial. Em resumo, o monitoramento de variações dinâmicas em motores elétricos com o uso de células de carga e indicadores de peso representa um avanço tecnológico significativo, permitindo a detecção precoce de problemas mecânicos, maior eficiência e confiabilidade na indústria, e impulsionando o desenvolvimento de novas aplicações para motores elétricos e sistemas industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Células de Carga, *Strain Gauge*, *Wheatstone*, Indicador de Peso, Manutenção Preditiva.

INTRODUÇÃO

A evolução constante da tecnologia ao longo das diferentes eras industriais desempenhou um papel fundamental na transformação da coleta de dados por meio de dispositivos cada vez mais avançados (SAKURAI e DONIZETE ZUCHI).

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vértix Trirriense - UNIVÉRTIX

² Graduado em Engenharia Mecânica-UFF, Pós-graduado em MBA Gerenciamentos de projetos-USP, Professor da Faculdade Vértice – UNIVÉRTIX TR.

Na Indústria 1.0, durante a Revolução Industrial no final do século XVIII e início do século XIX, a máquina a vapor marcou uma inovação revolucionária. A coleta de dados naquela época era bastante restrita, predominantemente baseada em observações manuais e registros em papel. Os dispositivos utilizados eram essencialmente mecânicos, como termômetros e manômetros.

A Indústria 2.0 trouxe o advento da eletricidade e da produção em massa no início do século XX, tornando a coleta de dados mais sistemática. Emergiram dispositivos elétricos, como medidores de energia e sensores simples, que possibilitaram uma forma inicial de automação e a aquisição de dados relacionados à eletricidade e à produção (CARVALHO e CARVALHO, 2022).

Na Indústria 3.0, a partir da segunda metade do século XX, testemunhamos avanços significativos na tecnologia da informação e na automação. Apareceram os computadores e os sistemas de controle programáveis, como os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), permitindo uma coleta de dados mais precisa e a automação da tomada de decisões. Sensores e atuadores eletrônicos passaram a ser empregados para monitorar variáveis como temperatura, pressão e nível, ampliando ainda mais a capacidade de coleta de dados (CARVALHO e CARVALHO, 2022).

Com a chegada da Indústria 4.0, na era atual, a digitalização, a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial impulsionaram a coleta de dados a um patamar ainda mais avançado. Dispositivos interconectados, como sensores IoT, têm a capacidade de coletar dados em tempo real em diferentes partes do processo industrial (FACCIONI FILHO, 2016). Esses dispositivos podem medir uma ampla variedade de parâmetros, como temperatura, umidade, vibração, consumo de energia e qualidade do produto. Além disso, a análise de dados em larga escala, juntamente com a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina, possibilita a identificação de padrões, previsões e otimizações complexas.

Em resumo, desde a Indústria 1.0 até a Indústria 4.0, testemunhamos uma evolução contínua na coleta de dados por meio de dispositivos cada vez mais sofisticados. Essa progressão tecnológica permitiu uma coleta de dados mais precisa, em tempo real e abrangente, impulsionando a eficiência, a qualidade e a capacidade de tomada de decisões nas indústrias modernas (CARVALHO e CARVALHO, 2022).

À medida que essa tecnologia continua a avançar e a demanda por eficiência energética cresce, os estudos sobre as variações dinâmicas em motores elétricos assumem um papel cada vez mais crucial. Este estudo tem como objetivo compreender como as vibrações e oscilações afetam o desempenho dos motores elétricos durante o funcionamento e como é possível otimizar sua eficiência energética. Para conduzir esses estudos de comportamento, é essencial coletar e analisar dados dos motores em situações de controle e durante o pleno funcionamento. Nesse contexto, a utilização de células de carga integradas a um indicador de peso com quatro células possibilita a coleta e análise de dados em tempo real, simplificando a detecção de falhas e a otimização do funcionamento dos motores elétricos.

O estudo das variações dinâmicas em motores elétricos é essencial para a engenharia, visando compreender seu comportamento em diversas condições (CORAL ALAMO, 2003). O objetivo é desenvolver uma metodologia para coleta e análise em tempo real de dados de motores elétricos, utilizando células de carga como medidores de interferência mecânica e um indicador de peso para a visualização em tempo real.

Aplicabilidade Prática e Justificativa

Com o propósito de atingir esses objetivos, a pesquisa se concentra na integração de células de carga como um método de coleta de dados em tempo real, visando a captura de informações relacionadas ao desempenho do motor elétrico sob diversas condições operacionais, incluindo variáveis como velocidade, torque e vibração. Além disso, um indicador de peso é empregado para monitorar, em tempo real, as variações resultantes de disfunções mecânicas no motor, proporcionando uma análise precisa da influência das oscilações mecânicas.

Os dados coletados são posteriormente submetidos a um processo de interpretação e análise, realizado durante o funcionamento integral do motor elétrico. A abordagem adotada neste estudo visa o desenvolvimento de uma metodologia eficaz e altamente precisa para a coleta e representação visual dos dados, com o propósito fundamental de identificar quaisquer problemas ou discrepâncias no

desempenho do motor elétrico e, conseqüentemente, formular soluções destinadas a otimizar seu funcionamento.

Dessa forma, almeja-se contribuir substancialmente para o avanço do conhecimento neste domínio específico, bem como fomentar o progresso em termos de novas tecnologias e aplicações relacionadas aos motores elétricos.

A justificativa reside na crescente importância da eficiência e confiabilidade dos motores elétricos nas aplicações industriais e comerciais modernas. Motores elétricos desempenham um papel vital em uma ampla variedade de setores, incluindo manufatura, automação, transportes e energia (SENS). No entanto, a otimização de seu desempenho e a detecção precoce de problemas mecânicos são desafios fundamentais para garantir a eficiência operacional e a redução de custos de manutenção.

A integração de células de carga e indicadores de peso como ferramentas de coleta de dados em tempo real oferece uma variante para monitorar e avaliar o comportamento dos motores elétricos durante a operação. Essa metodologia possibilita a identificação de variações, vibrações e perturbações mecânicas que podem afetar o desempenho do motor e, portanto, impactar a eficiência energética e a vida útil do equipamento (OLIVEIRA, 2018).

Nesse contexto, a pesquisa busca desenvolver uma metodologia precisa e eficaz para a coleta e análise de dados, visando melhorar a compreensão do funcionamento dos motores elétricos e oferecer soluções que contribuam para sua otimização. Isso não apenas promove a eficiência e confiabilidade das operações industriais, mas também impulsiona o avanço do conhecimento nessa área, o que pode resultar em inovações tecnológicas e aplicações mais eficientes para motores elétricos, alinhando-se com as crescentes demandas por eficiência energética e sustentabilidade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Motores Elétricos:

Os motores elétricos desempenham um papel fundamental na sociedade moderna, sendo amplamente empregados em inúmeras aplicações que variam desde sistemas industriais complexos até dispositivos eletrodomésticos do dia a dia. A sua

importância reside na capacidade de converter energia elétrica em energia mecânica de forma eficiente e controlável, proporcionando movimento e funcionalidade a uma vasta gama de equipamentos e máquinas (SENS).

É importante destacar que não existe um único tipo de motor elétrico, mas sim uma diversidade de tecnologias e configurações disponíveis, cada uma adaptada para atender a requisitos específicos de aplicação. Entre os principais tipos de motores elétricos, destacam-se os motores de corrente contínua, os motores de corrente alternada e os motores de indução.

Os motores de corrente contínua (CC) são conhecidos por sua capacidade de fornecer controle preciso sobre a velocidade e o torque. Isso os torna ideais para aplicações que exigem ajustes finos e precisão, como em máquinas-ferramentas e sistemas de posicionamento automatizado. Além disso, os motores CC também são utilizados em veículos elétricos, graças à sua capacidade de operar com baterias e controladores eficazes.

Por outro lado, os motores de corrente alternada (CA) são amplamente empregados em sistemas de potência e aplicações industriais devido à sua simplicidade e confiabilidade. Eles são ideais para movimentar cargas em aplicações que não requerem controle de velocidade tão preciso quanto os motores CC. Os motores CA são comuns em sistemas de climatização, bombas e ventiladores, entre outros.

Por fim, os motores de indução são uma classe especial de motores CA que são amplamente utilizados devido à sua eficiência e robustez. Eles são ideais para aplicações onde o controle de velocidade preciso não é uma prioridade, como em sistemas de transporte, máquinas industriais e compressores. Os motores de indução são especialmente apreciados por sua capacidade de operar de forma confiável em condições adversas.

Variações Dinâmicas em Motores Elétricos:

As variações dinâmicas em motores elétricos representam um fenômeno intrínseco ao seu funcionamento, sendo um aspecto de considerável relevância tanto do ponto de vista operacional quanto teórico (OLIVEIRA, 2018). Essas variações são definidas como as alterações que ocorrem na performance de um motor durante sua operação contínua, e podem ser ocasionadas por uma diversidade de fatores,

abrangendo desde flutuações na tensão elétrica de alimentação até problemas mecânicos que impactam diretamente na integridade e funcionamento do motor.

No que tange aos aspectos mecânicos, as vibrações representam um fenômeno comum que está intimamente ligado às variações dinâmicas em motores elétricos (MORAIS e VIRGOLINO, 2021). Essas vibrações podem ser originadas por diversos fatores, incluindo desequilíbrio na distribuição de massa do rotor, desalinhamento do motor em relação à carga, folga mecânica em componentes críticos e problemas com os rolamentos.

O desequilíbrio é uma das causas primárias de vibrações, ocorrendo quando a distribuição de massa no rotor não é uniforme em relação ao eixo de rotação, ou por efeito do desgaste de componentes internos (OLIVEIRA, 2018). O desalinhamento entre o motor e a carga também é uma fonte significativa de vibrações, especialmente quando o acoplamento não está adequadamente alinhado. A folga mecânica em componentes críticos, por sua vez, pode permitir movimentos indesejados que geram vibrações prejudiciais.

Os problemas nos rolamentos, especialmente quando estão desgastados ou danificados, podem induzir vibrações severas que afetam a integridade do motor e sua eficiência operacional (SILVA, 2008).

Para detectar e quantificar essas vibrações em motores elétricos, uma técnica eficaz envolve o uso de células de carga, sensores sensíveis capazes de medir a variação de massa em pontos específicos do motor (DEVITTE, 2014). Esses dados obtidos pelas células de carga podem ser processados para calcular o desequilíbrio do motor em diferentes frequências, possibilitando a identificação de padrões e a análise das oscilações.

É crucial compreender que as variações dinâmicas exercem um impacto substancial no desempenho e na eficiência energética dos motores elétricos. Portanto, a identificação, análise e controle eficaz dessas variações tornam-se essenciais para otimizar o funcionamento e assegurar sua operação dentro de parâmetros aceitáveis (MORAIS e VIRGOLINO, 2021).

Esta pesquisa é vital tanto do ponto de vista prático, ao garantir a operação confiável de equipamentos elétricos, quanto do ponto de vista teórico, ao contribuir

para o entendimento aprofundado das complexas interações entre sistemas elétricos e mecânicos.

Strain Gauge:

O *Strain Gauge*, também conhecido como extensômetro, é um dispositivo fundamental no campo da metrologia e medição de forças mecânicas. Do ponto de vista teórico, ele se baseia em princípios físicos fundamentais relacionados às propriedades elásticas dos materiais e à relação entre a deformação e a força aplicada (HIGSON, 1964).

A operação de um *Strain Gauge* envolve a capacidade de medir a deformação relativa em um material devido à aplicação de uma força. Essa deformação pode se manifestar de duas maneiras principais: compressão e tensão. A deformação positiva ocorre quando um material é submetido a uma força que o alonga, enquanto a deformação negativa se refere ao encurtamento do material quando comprimido.

A essência do *Strain Gauge* reside em um elemento resistivo fixado ao corpo da célula ou do material de teste (HIGSON, 1964). À medida que uma força é aplicada ao material, ele sofre deformação, causando mudanças no comprimento e, por conseguinte, na resistência do *Strain Gauge*. Essas mudanças na resistência são proporcionais à magnitude da força aplicada e à sensibilidade do material à deformação.

$$\Delta R = S \cdot R \cdot \epsilon$$

Onde:

- ΔR representa a mudança na resistência do *Strain Gauge* (em ohms),
- S é o fator de sensibilidade do material à deformação (em unidades de 1/strain ou unidade de deformação),
- R é a resistência inicial do *Strain Gauge* (em ohms), e
- ϵ (epsilon) é a deformação (ou alongamento/compressão) experimentada pelo material de teste.

O uso típico envolve quatro sensores *Strain Gauge* configurados em uma ponte de *Wheatstone*. Essa configuração é projetada para amplificar as pequenas variações na resistência dos sensores e, assim, aumentar a precisão da medição. Quando uma

força é aplicada ao material, os sensores registram as mudanças na resistência e convertem essas variações em um sinal elétrico.

A Ponte de *Wheatstone* é um circuito elétrico usado para medir resistências elétricas desconhecidas (COELHO e MORILLA, 2014).

A sua fórmula é:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot R_s$$

Onde:

- R_x é a resistência desconhecida que você deseja medir.
- R_1 e R_2 são resistências conhecidas e geralmente são ajustáveis para equilibrar a ponte.
- R_3 e R_4 são resistências conhecidas.
- R_s é a fonte de alimentação ou a resistência de excitação.

A ideia por trás da Ponte de *Wheatstone* é ajustar R_1 e R_2 até que a tensão na ponte seja igual a zero. Isso ocorre quando a relação das resistências na fórmula acima é igual a 1, ou seja, quando R_x é igual à resistência desconhecida.

A interpretação e a leitura desse sinal elétrico são realizadas por meio de circuitos eletrônicos e dispositivos indicadores de peso (COELHO e MORILLA, 2014). Através desses dispositivos, é possível converter as variações de resistência em uma medida de peso ou força; portanto serve como uma interface crítica entre o mundo físico das forças mecânicas e o mundo eletrônico das medições precisas.

Do ponto de vista teórico, o *Strain Gauge* é uma aplicação prática da Lei de Hooke, que estabelece a relação linear entre a força aplicada e a deformação resultante em um material elástico (MARTINS e MARTINS). Essa relação é fundamental para a metrologia de força e, conseqüentemente, para uma ampla gama de aplicações que envolvem medição de carga, tensão, pressão e peso, entre outras grandezas físicas.

Células de Carga:

Também conhecidas como células de carga de tensão ou células de carga de compressão, são dispositivos fundamentais na medição precisa de forças e pesos em diversas aplicações industriais e científicas. Essas células são projetadas para converter uma força mecânica aplicada a elas em um sinal elétrico proporcional, tornando-as uma ferramenta essencial em sistemas de medição de peso e força.

O princípio de funcionamento de uma célula de carga envolve a aplicação de uma carga externa, que causa uma deformação no material sensor, geralmente um *Strain Gauge* (LOPES FIALHO e CUNHA, 2014).

Quando uma força é aplicada à célula de carga, o material elástico é deformado, causando alterações na resistência do *Strain Gauge*. Essas mudanças na resistência são pequenas, mas mensuráveis. É aí que entra a capacidade do *Strain Gauge* em detectar essas variações. Normalmente, várias células de carga possuem vários *Strain Gauges*, configurados em uma ponte de *Wheatstone*, para melhorar a precisão da medição.

Indicador de Peso:

O indicador de peso desempenha um papel crucial em sistemas de medição de peso e força, funcionando de maneira semelhante a uma balança convencional, mas com recursos avançados de automação e controle (FILIZOLA-BEYOND TECHNOLOGY, 2009). Sua principal função é ler e interpretar os dados fornecidos pela célula de carga, que é responsável por medir a deformação do material sob carga. Essa deformação está diretamente relacionada à quantidade de peso ou força aplicada ao sistema.

O processo começa com a célula de carga, que detecta a deformação e a converte em um sinal elétrico proporcional. Esse sinal é então enviado para o indicador de peso, que atua como o cérebro do sistema. O indicador de peso recebe o sinal da célula de carga e realiza a conversão dos dados, interpretando a deformação como uma medida de peso em unidades específicas, como quilogramas ou libras.

A exibição do peso é uma das funções mais visíveis do indicador de peso. Ele fornece uma leitura precisa e legível do peso aplicado, o que é especialmente útil em ambientes onde a medição precisa é essencial.

Essa capacidade de gerenciamento de ações com base nos dados de peso torna o indicador de peso uma ferramenta valiosa em uma variedade de aplicações, desde controle de processos industriais até sistemas de pesagem de veículos e balanças comerciais ou até em sistema de dinamômetros para aferição de performance de motores Otto e Diesel.

METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho consiste na experimentação (CAUCHICK, 2019). Utilizamos para a confecção do equipamento os seguintes materiais e ferramentas: quatro células de carga; placa de MDF com 400 x 400 mm; indicador de peso II Filizola; oito parafusos Allen com cabeça aço liga M5-0,80 X 16; 1,5 mm de cabo manga 4x22 AWG sem blindagem verde/palha; motor elétrico trifásico 1CV 4 Polos Weg 220/380V Blindado. Seguiremos o passo a passo a seguir para a construção do equipamento e coleta de dados. Passo 1: Preparação do MDF; Passo 2: Fixação das Células de Carga; Passo 3: Conexão das Células de Carga ao Indicador de Peso; Passo 4: Configuração do Indicador de Peso; Passo 5: Preparação para Testes em Motores; Passo 6: Testes em Motores; Passo 7: Análise e Visualização

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando que o motor em teste apresentava uma patologia de rolamento no começo do desgaste, o resultado relevante obtido a partir deste experimento foi a detecção precoce e a visualização clara dos efeitos desse problema por meio do sistema de aferição com as células de carga e o indicador de peso.

Durante os testes, conforme o motor operava em diferentes condições, foram registradas variações significativas nas leituras do indicador de peso.

Essas variações foram visíveis no indicador de peso por meio de variações nas casas decimais, exibindo oscilações e flutuações não condizentes com as variações esperadas apenas devido a mudanças de carga ou velocidade.

A análise detalhada dos dados registrados revelou que as oscilações nas leituras do indicador de peso estavam diretamente relacionadas à rotação do motor e à posição do rolamento desgastado.

O sistema de aferição permitiu não apenas a detecção do problema, mas também a visualização em tempo real das vibrações e perturbações causadas pelo rolamento desgastado.

Essa visualização permitiu a nós uma compreensão clara dos efeitos da patologia, tornando mais fácil a identificação do rolamento problemático e a avaliação de sua condição.

O resultado mais relevante deste experimento foi a capacidade de detectar e visualizar de forma precisa e imediata os efeitos de um rolamento desgastado em um motor elétrico.

Essa detecção precoce é crucial, pois permite a intervenção imediata para evitar danos mais graves ao motor e reduzir o tempo de inatividade da máquina.

Além disso, a visualização clara das vibrações e oscilações causadas pelo rolamento desgastado fornece informações valiosas para a manutenção preditiva, ajudando a equipe de manutenção a planejar a substituição do rolamento no momento certo, evitando paradas não programadas e economizando custos.

Em resumo, o experimento não apenas identificou a patologia do rolamento desgastado, mas também demonstrou a eficácia do sistema de aferição com células de carga e indicador de peso como uma ferramenta valiosa para a detecção precoce e visualização dos efeitos de problemas mecânicos em motores elétricos, contribuindo para a manutenção proativa e a eficiência operacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação das variações dinâmicas em motores elétricos por meio do uso de células de carga e um indicador de peso revelou-se uma abordagem extremamente eficaz para monitorar e diagnosticar problemas mecânicos em motores. Ao longo deste processo, destacamos algumas considerações finais que resumem a importância e as implicações deste estudo:

Detecção Precoce de Problemas: O sistema de aferição permitiu a detecção precoce de patologias mecânicas, como o desgaste de rolamentos em motores elétricos. Isso é fundamental para evitar agravamento de danos, reduzir custos de manutenção e minimizar tempo de inatividade em processos industriais.

Visualização Clara e Precisa: O indicador de peso proporcionou uma experiência clara e precisa dos efeitos das variações mecânicas no motor. Essa capacidade de visualização é essencial para uma análise eficaz e tomada de decisões informadas.

Manutenção Preditiva: A combinação de detecção precoce e visualização clara abre caminho para a implementação de estratégias de manutenção preditiva.

Isso significa que a manutenção pode ser realizada no momento certo, evitando paradas não planejadas e reduzindo custos operacionais.

Eficiência Energética: O estudo também demonstrou que a otimização do desempenho do motor elétrico, com base nas informações coletadas, pode contribuir significativamente para a eficiência energética. Isso é fundamental em um contexto de crescente demanda por eficiência energética e sustentabilidade.

Inovação Tecnológica: A integração de tecnologias como células de carga, indicadores de peso e análise de dados em tempo real representa um avanço tecnológico notável na área de monitoramento de motores elétricos. Isso abre portas para novas aplicações e desenvolvimentos tecnológicos.

Contribuição para a Indústria: A aplicação dessas técnicas não apenas aprimora o funcionamento de motores elétricos, mas também contribui para a eficiência e confiabilidade de processos industriais em diversos setores (SILVA, 2008).

Em resumo, variações dinâmicas em motores elétricos tem grande potencial contribuindo com o crescimento de novos métodos para sanar falhas cotidianas das indústrias. A combinação de tecnologias de medição avançadas, como células de carga e indicadores de peso, oferece um caminho promissor para uma manutenção mais eficaz, redução de custos e uma indústria mais sustentável. É essencial continuar explorando e aplicando essas técnicas para impulsionar a inovação e o progresso na área de motores elétricos e automação industrial.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, I. P. D.; CARVALHO, C. G. D. DOS PRIMORDIOS DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL A INDÚSTRIA 4.0. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar- ISSN 2675-6218 3.11**, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/Carlos.Leal/Downloads/2179+-+DOS+PRIMORDIOS+DA+REVOLU%C3%87%C3%83O+INDUSTRIAL+A+IND%C3%9ASTRIA+4.0+.pdf>.

COELHO, M. S.; MORILLA, J. C. Efeito da não linearidade na medição de extensômetros com ponte de wheatstone. **ANAIS DO TERCEIRO ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNISANTA: 28.**, Santos-SP, 2014.

Disponível em:

<https://sites.unisanta.br/ppgmec/documentos/ANAIS_TERCEIRO_ENCONTRO_POS.pdf#page=28>.

CORAL ALAMO, F. J. Dinâmica de um Rotor Vertical em Balanço com Impacto. **Master's thesis, PUC-Rio**, Rio de Janeiro, 2003.

DEVITTE, W. Desenvolvimento de um sistema para medir o conjugado de um motor de indução.", Lajeado, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/433>>.

FACCIONI FILHO, M. Internet das Coisas. **Unisul Virtual**, Santa Catarina, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Fazion-Filho/publication/319881659_Internet_das_Coisas_Internet_of_Things/links/59c038d5458515e9cfd54ff9/Internet-das-Coisas-Internet-of-Things.pdf>.

FILIZOLA-BEYOND TECHNOLOGY. Mnaual Tècnico de Instalação e ManutençãoIDSI - I e II. **Mnaual Tècnico de Manutenção**, Sao Paulo, II, 2009. 3 a 33.

HIGSON, G. Recent advances in strain gauges. **Journal of Scientific Instruments (Revista de Instrumentos Científicos 41.7)**, 1964. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0950-7671/41/7/301/meta>>.

LOPES FIALHO, ; CUNHA, C. D. Simulação e Projeto de Células de Carga. **Instrumentação A, 2014, UFRGS, DELET**, 2014. Disponível em: <http://www.google.com/url?q=http%3A%2F%2Fwww.chasqueweb.ufrgs.br%2F~abalbinot%2F&sa=D&sntz=1&usg=AFQjCNFNDbmO3zU-YM_EK-7cna7oJH94AA>.

MARTINS, J. C.; MARTINS, J. C. Análise da influência do extensômetro elétrico na determinação da capacidade das cintas de movimentos de cargas, Santos-SP.

MORAIS, G. C.; VIRGOLINO, J. "Detecção de anomalias na vibração de motores elétricos baseada em OCSVM. **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI. Vol. 1. No. 1.**, Paraíba, 2021.

OLIVEIRA, P. ESTUDO DE VIBRAÇÃO EM MOTORES ELÉTRICOS, 2018. Disponível em: <<http://192.100.247.84/handle/prefix/590>>.

SAKURAI, R.; DONIZETE ZUCHI, J. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDÚSTRIA 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, São Paulo. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/download/386/335>>.

SENS, M. Avanços tecnológicos nos motores elétricos." Revista WEG 1.1 (2001): 11-13.

SILVA, J. G. B. D. Aplicação da Análise de componentes Principais (PCA) no diagnóstico de defeitos de rolamentos através da assinatura elétrica de motores de indução, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1665>>.