



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Henrique Chagas Oliveira

AQUISITORES DE DADOS NA INDÚSTRIA: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2023

Henrique Chagas Oliveira

AQUISITORES DE DADOS NA INDÚSTRIA: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.

Ouro Preto

2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Henrique Chagas Oliveira

AQUISITORES DE DADOS NA INDÚSTRIA: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Aprovada em 30 de agosto de 2023

Membros da banca

D. Sc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
M. Sc. Arthur Caio Vargas e Pinto - Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Itabirito
M. Sc. Fernando dos Santos Alves Fernandes - Universidade Federal de Ouro Preto

Karla Boaventura Pimenta Palmieri, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Karla Boaventura Pimenta Palmieri, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2023, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0583774** e o código CRC **1433D4B5**.

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho é o resultado de um esforço coletivo, onde a contribuição de cada um foi inestimável. Portanto, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que tornaram esta jornada possível.

Primeiramente, à minha mãe, Adelia Chagas, que com sua força e resiliência superou todas as adversidades para me criar. O valor que sempre deu à minha educação foi fundamental para chegar até aqui. Sua determinação e amor incondicional foram minha maior fonte de inspiração e motivação.

À minha orientadora, Professora Karla Palmiere, meus sinceros agradecimentos por sua dedicação, paciência e orientação. Agradeço por sempre exceder as expectativas, ser solícita e disposta a ajudar, e por sempre almejar trazer o melhor de seus alunos. Seu comprometimento com a excelência acadêmica foi essencial para este resultado.

Aos meus amigos de caminhada no curso: Arthur César, Bernardo Franco, Larissa Lara, Larissa Quintão, Layse Linhares e Matheus Teixeira. Obrigado por estarem ao meu lado durante esta trajetória, pelos bons conselhos, e pelo ombro amigo em momentos de necessidade. O apoio moral, emocional e técnico que vocês me proporcionaram teve um impacto significativo na realização deste trabalho.

Por fim, e mais importante, sou grato a Deus por me permitir chegar até este ponto. A fé foi um pilar constante que me proporcionou força e direção em cada etapa desta jornada.

Com estes agradecimentos, espero ter expressado minha gratidão àqueles que contribuíram para a realização deste trabalho. Este é um marco não apenas na minha vida acadêmica, mas também um reflexo do apoio e incentivo que recebi de cada um de vocês, Muito Obrigado!!.

*Para conseguir sua maturidade
o homem necessita de um certo
equilíbrio entre 3 coisas: talento,
educação e experiência.*

— Agostinho de Hipona.

Resumo

Este estudo objetivou explorar a complexidade e a evolução da instrumentação e aquisição de dados na indústria moderna. Focando em aspectos históricos, seleção de sensores e transdutores, considerações técnicas para dispositivos de aquisição, e aplicação prática na Indústria 4.0, o trabalho buscou entender como essas tecnologias têm se desenvolvido e impactado a eficiência e produtividade. Alguns dos passos incluíram o estudo da instrumentação, análise da importância dos aquisitores de dados, verificação dos diferentes tipos disponíveis, e identificação de barreiras e preocupações na indústria atual. A pesquisa bibliográfica foi utilizada como método de coleta de dados, através do estudo do referencial teórico, coletando informações de diversas fontes como livros, teses e artigos científicos. A questão central da evolução e aplicação dos aquisitores de dados foi reforçada pelos resultados, destacando sua relevância na prevenção de falhas e melhoria da eficiência. No entanto, a identificação de barreiras e preocupações relacionadas à taxa de adoção apresenta-se como um desafio significativo. Em conclusão, a análise realizada evidencia o papel necessário dessas tecnologias na indústria, apontando para sua importância na prevenção de falhas, melhoria da eficiência e identificação de desafio.

Palavras-chaves: Instrumentação. Aquisição de Dados. Indústria 4.0. Sensores e Transdutores. Considerações Técnicas.

Abstract

This study aimed to explore the complexity and evolution of instrumentation and data acquisition in the modern industry. Focusing on historical aspects, the selection of sensors and transducers, technical considerations for acquisition devices, and practical application in Industry 4.0, the work sought to understand how these technologies have developed and impacted efficiency and productivity. Some of the steps included studying instrumentation, analyzing the importance of data collectors, verifying the different types available, and identifying barriers and concerns in the current industry. Bibliographic research was used as a method of data collection, through the study of the theoretical framework, collecting information from various sources such as books, theses, and scientific articles. The central issue of the evolution and application of data collectors was reinforced by the results, highlighting their relevance in preventing failures and improving efficiency. However, the identification of barriers and concerns related to the adoption rate presents itself as a significant challenge. In conclusion, the comprehensive analysis carried out evidences the vital role of these technologies in the industry, pointing to their importance in preventing failures, improving efficiency, and identifying challenges.

Key-words: Instrumentation. Data Acquisition. Industry 4.0. Sensors and Transducers. Technical Considerations.

Lista de abreviaturas e siglas

<i>(DAQ)</i>	Data Acquisition (Aquisição de Dados)
IOT	Internet Of Things (Internet das Coisas)
IIOT	Industrial Internet Of Things (Internet das coisas para indústria)
ROI	Return on Investment (Retorno sobre Investimento)
RUL	Remaining Useful Life (Vida Útil Restante)
IA	Inteligência Artificial
PCI	Peripheral Component Interconnect (Interconexão de Componentes Periféricos)
USB	Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)
PCI EXPRESS	Peripheral Component Interconnect Express (Interconexão de Componentes Periféricos Express)
E/S	Entrada/Saída
SVM	Máquinas de Vetores de Suporte
ANN	Redes Neurais Artificiais
MB/s	Megabytes por segundo
PC	Personal Computer (Computador Pessoal)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativas e Relevância	9
1.2	Objetivos	10
1.3	Organização e estrutura	11
1.4	Metodologia	11
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	Instrumentação	14
2.1.1	Aspectos Históricos Sobre Instrumentação	16
2.2	Contextualização Dos Aquisitores de Dados	18
2.2.1	Sensores e Transdutores	19
2.2.1.1	Escolha de Sensores/Transdutores Para Um Sistema De Aquisição De Dados	22
2.2.2	<i>Hardware</i> Para Aquisição de Dados	26
2.2.2.1	Considerações Técnicas para a Seleção de Dispositivos de Aquisição de Dados (<i>DAQ</i>)	28
2.3	A Importância dos Barramentos e Formatos na Seleção de Dispositivos de Aquisição de Dados (<i>DAQ</i>)	30
2.3.1	Instrumentação Virtual	33
2.4	A Importância Dos Aquisitores de Dados Na Indústria Moderna	36
2.4.1	A Era Dos Dados: Coleta e Análise	38
2.4.2	Monitoramento de Condições: A Vigilância Contínua dos Ativos	41
2.5	Dados de Operação Para Manutenção Preditiva	44
2.5.1	Análise e Modelagem de Dados Para Manutenção Preditiva	45
2.5.2	Implementação De Sistemas de Manutenção Preditiva	48
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	Referências	54

1 Introdução

Tendo em vista a importância da aquisição de dados na indústria moderna, o presente estudo se propõe a analisar a evolução dessas tecnologias e entender o que se desenha para o futuro. A aquisição de dados desempenha um papel importante na eficiência, produtividade e prevenção de falhas, contribuindo para a Indústria 4.0.

Diante da revolução tecnológica e da constante evolução dos processos industriais, a aquisição de dados na indústria tornou-se um elemento central na otimização e controle da produção. A aplicação dessas tecnologias tem mudado ao longo do tempo, adaptando-se às necessidades e tendências emergentes, e tornando-se uma ferramenta indispensável na era da Indústria 4.0. No entanto, entender essas mudanças e identificar as principais tendências, não é uma tarefa simples e requer uma análise cuidadosa e abrangente.

Portanto, buscou-se reunir dados e informações com o propósito de responder ao seguinte problema de pesquisa: de que forma a aquisição de dados na indústria mudou ao longo do tempo e quais são as principais tendências observadas?

O objetivo desta pesquisa foi explorar a evolução e as tendências na aquisição de dados na indústria, com foco em aspectos como instrumentação, seleção de sensores e transdutores, e *hardware* para aquisição de dados. A análise abrange considerações técnicas para a seleção de dispositivos de aquisição de dados (*DAQ*) *Data Acquisition System*, a importância dos barramentos e formatos, e a era moderna dos dados. A pesquisa também enfatiza a relevância dos aquisitores de dados na manutenção preditiva, monitoramento de condições, e implementação de sistemas de manutenção preditiva, refletindo sua importância na eficiência industrial e inovação.

Diante da crescente complexidade dos sistemas industriais e da era moderna dos dados, a necessidade de entender a evolução e as tendências na aquisição de dados na indústria tornou-se importante. A seleção e aplicação adequadas de sensores, transdutores e *hardware* para aquisição de dados são úteis para a eficiência de produção, inovação e manutenção preditiva, contribuindo para a sustentabilidade e competitividade da indústria.

1.1 Justificativas e Relevância

A instrumentação e a aquisição de dados são elementos fundamentais na indústria moderna, especialmente na era da Indústria 4.0. Esses componentes são cruciais para a coleta, análise e interpretação de dados, permitindo a tomada de decisões informadas e a otimização de processos. A instrumentação, em particular, é essencial para a realização de medições precisas e confiáveis, enquanto a aquisição de dados permite o registro e

armazenamento dessas informações.

A importância desses elementos é ainda mais acentuada no contexto da Indústria 4.0, onde a capacidade de monitorar ativos e operações em tempo real, além de prever falhas através da manutenção preditiva, tem o potencial de aumentar significativamente a eficiência e a produtividade.

Este estudo surge da observação da evolução contínua dos aquisitores de dados em paralelo com o avanço da indústria. A necessidade de otimizar a produção, reduzir custos e garantir a qualidade dos produtos tem sido um motor significativo para o crescimento e o desenvolvimento da instrumentação e da aquisição de dados. Este progresso não é apenas um fenômeno interessante, mas também uma necessidade crítica para a indústria moderna.

A compreensão que este estudo oferece sobre a importância dos aquisitores de dados na indústria contemporânea pode ser útil aqueles que buscam informações sobre esta área. A exploração da aplicação dessas tecnologias na Indústria 4.0 contribui para a compreensão de como a instrumentação e a aquisição de dados podem ser usadas para melhorar a eficiência e a produtividade.

Este estudo se justifica pela necessidade de analisar os dispositivos de aquisição de dados ao longo do tempo e entender o que se desenha para o futuro. A escolha deste tema baseia-se na importância destes e na necessidade de compreender a sua evolução. Este estudo fornece visões sobre a importância dos aquisitores de dados e a sua aplicação.

1.2 Objetivos

Geral

O objetivo geral deste estudo foi analisar a evolução dos aquisitores de dados ao longo do tempo e entender o que se desenha para o futuro. Este objetivo foi motivado pela necessidade de compreender como a instrumentação e a aquisição de dados têm se desenvolvido e como essas mudanças têm impactado a indústria. A pesquisa se concentrou especificamente na aplicação dessas tecnologias na Indústria moderna e na Indústria 4.0, para identificar as tendências emergentes e as possíveis direções futuras.

Específicos

- Estudou-se o conhecimento atual sobre a instrumentação na indústria, abordando tanto aspectos históricos quanto desenvolvimentos recentes;
- Verificaram-se os diferentes tipos de aquisitores de dados disponíveis e como eles são aplicados em diferentes contextos industriais;

- Analisou-se a importância dos aquisitores de dados na indústria moderna, com foco particular na prevenção de falhas e na melhoria da eficiência e produtividade;
- Identificaram-se as barreiras e preocupações relacionadas ao monitoramento de ativos na indústria moderna, bem como as possíveis soluções para esses desafios;
- Descreveu-se o papel dos aquisitores de dados na Indústria 4.0, incluindo a aplicação do aprendizado de máquina para a previsão de falhas e a melhoria dos produtos.

1.3 Organização e estrutura

O trabalho está organizado em cinco partes principais. A primeira parte aborda os aspectos históricos da instrumentação, fornecendo uma visão geral da evolução e desenvolvimento da área.

A segunda parte foca na exploração detalhada dos componentes envolvidos na aquisição de dados, incluindo a seleção e uso de sensores e transdutores, *hardware* para aquisição de dados, e considerações técnicas para a seleção de dispositivos. Também discute a importância dos barramentos e formatos na seleção de dispositivos e aborda o conceito de instrumentação virtual.

A terceira parte analisa o papel crítico que os aquisitores desempenham na indústria contemporânea. Ela explora a era dos dados, enfocando a coleta e análise, e discute o monitoramento de condições, destacando a vigilância contínua dos ativos.

A quarta parte concentra-se na aplicação prática dos dados de operação na manutenção preditiva. Ela abrange a análise e modelagem de dados para manutenção preditiva e a implementação de sistemas de manutenção preditiva.

Cada parte é meticulosamente elaborada para fornecer uma compreensão abrangente dos tópicos relacionados à instrumentação e aquisição de dados, desde os fundamentos históricos até as aplicações modernas na indústria. A estrutura do trabalho reflete uma progressão lógica, começando com conceitos básicos e avançando para aplicações práticas e contemporâneas.

1.4 Metodologia

Com base na compreensão de [Lakatos e Marconi \(2003\)](#), a pesquisa pode ser definida como um processo formal e reflexivo que busca a compreensão da realidade. Utilizando métodos científicos, a pesquisa se esforça para descobrir verdades parciais, mantendo uma abordagem rigorosa e sistemática. É uma ferramenta essencial na busca do conhecimento, permitindo a exploração e análise de fenômenos complexos.

“Estuda um problema relativo ao conhecimento científico ou à sua aplicabilidade” (LAKATOS; MARCONI, 2003, p.160). Para o propósito deste estudo, a escolha foi direcionada para a pesquisa básica, com foco em fins didáticos. Essa abordagem envolve uma análise cuidadosa de livros e materiais documentais, permitindo uma compreensão mais profunda do tema em questão, sem necessariamente buscar uma aplicação prática imediata. A pesquisa básica serve como uma fundação sólida, enriquecendo o campo do conhecimento.

Como bem nos assegura Gil (2008), pode-se dizer que as pesquisas exploratórias são vitais para o desenvolvimento e esclarecimento de conceitos, agindo como catalisadores na formulação de problemas mais precisos e hipóteses pesquisáveis. Neste contexto, fica claro que essa abordagem, embora menos rígida no planejamento, é flexível e adaptável, permitindo uma investigação profunda através de levantamento bibliográfico, entrevistas não padronizadas e estudos de caso.

O mais encorajador é constatar que essa natureza exploratória abre caminhos para novas descobertas, especialmente quando o tema é pouco explorado. Não é exagero afirmar que as pesquisas exploratórias frequentemente servem como a primeira etapa de uma investigação mais ampla, fornecendo uma visão geral e aproximativa de determinado fato. Assim, é inspirador o fato de que essa abordagem pode iluminar áreas desconhecidas da pesquisa, isso porque a flexibilidade e a abertura para exploração podem levar a *insights* inovadores e descobertas significativas.

A pesquisa qualitativa, conforme descrita por Gil (2008), é uma abordagem que se distingue por sua flexibilidade e profundidade na análise. Ao contrário das pesquisas quantitativas, que podem ser definidas previamente, a pesquisa qualitativa não se baseia em fórmulas ou receitas predefinidas. A análise dos dados é essencialmente qualitativa e depende muito da capacidade e do estilo do pesquisador. A abordagem qualitativa permite uma compreensão mais profunda dos fenômenos estudados, envolvendo processos como redução, exibição, e conclusão/verificação dos dados.

A abordagem qualitativa escolhida para esta pesquisa segue um modo de análise indutivo, interpretado pelo próprio pesquisador, com o objetivo de desenvolver uma teoria. Esta abordagem é predominantemente qualitativa e é considerada o método mais adequado para investigação. A análise indutiva permite a generalização das coisas, passando da análise de um grupo particular para obter como conclusão uma verdade geral.

(GIL, 2008, p.65), “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. A técnica de pesquisa bibliográfica foi escolhida para este estudo porque permitiu o uso de materiais já elaborados, como livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos e enciclopédias. Essa abordagem facilitou a busca e abstração de conhecimento sobre o tópico de aquisição de dados na indústria, fornecendo uma base sólida e diversificada para a análise.

Para a coleta de dados, foram empregados resumos por meio de fichamentos, focando nos livros mais relevantes sobre o assunto. Essa abordagem foi adotada para garantir uma compreensão mais profunda do conteúdo abordado no trabalho. Utilizando esse método de resumo, foi possível identificar e destacar as informações cruciais sobre o tema, que posteriormente serviram como base de dados para a revisão da literatura.

De acordo com (RAMPAZZO, 2005, p.51):

Toda pesquisa implica o levantamento de dados de variadas fontes. Quando o levantamento ocorre no próprio local onde os fenômenos acontecem, temos uma documentação direta (por exemplo, na entrevista). E, quando o pesquisador procura o levantamento que outros já fizeram temos a documentação indireta. A documentação indireta, por sua vez, pode ser encontrada nas fontes primárias, ou na bibliografia (livros e artigos). No primeiro caso, a pesquisa é documental; no segundo, bibliográfica.

Na condução desta pesquisa, enfatizou-se o uso de dados secundários, coletados de diversas fontes como livros, teses e artigos científicos.

A pesquisa foi realizada de maneira sistemática, integrando várias fontes para fornecer uma análise completa do tema. Essa metodologia envolveu análise crítica e síntese das informações, combinando literatura de livros com perspectivas acadêmicas e industriais.

Utilizando uma abordagem qualitativa e sistemática, o estudo empregou 26 livros e 4 outros tipos de referências, focando na aquisição de dados na indústria. Publicados entre 2002 e 2021. Palavras-chave relacionadas à tecnologia de aquisição de dados, instrumentação, manutenção preditiva e análise de dados foram utilizadas para filtrar as fontes mais relevantes. A técnica de pesquisa bibliográfica foi selecionada, e a coleta de dados foi realizada via resumos e fichamentos, garantindo uma compreensão profunda do conteúdo.

Em relação ao uso de dados secundários, a pesquisa aproveitou análises já existentes na literatura acadêmica. Essa abordagem crítica e sintética integrou literatura disponível com perspectivas acadêmicas e industriais, enriquecendo o campo do conhecimento.

A confiabilidade da pesquisa é baseada na autoridade e relevância dos materiais utilizados. Selecionando autores e obras criteriosamente e focando em áreas relevantes, a pesquisa resultou em uma abordagem fundamentada nos tópicos que envolvem o assunto de aquisição de dados na indústria.

O objetivo geral da pesquisa era entender e analisar a instrumentação na indústria, com foco em *hardware*, *software*, sensores, transdutores, contexto atual, aplicações na indústria e tendências futuras para a Indústria 4.0. Essa metodologia permitiu uma exploração profunda de como esses elementos se interconectam e influenciam a indústria moderna, bem como as possíveis implicações futuras na transição para a Indústria 4.0.

2 Desenvolvimento

2.1 Instrumentação

Conforme (FRANCHI, 2014, p.21) "A Instrumentação pode ser definida como a ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição e controle de processos". De forma que fica evidente que a instrumentação desempenha um papel crucial em diversos campos do conhecimento, fornecendo meios para coletar dados, realizar medições precisas e obter informações essenciais para análises e tomadas de decisão.

No contexto científico, a instrumentação é fundamental para a condução de experimentos e pesquisas, permitindo aos cientistas obterem resultados confiáveis e reproduzíveis. Além disso, a instrumentação desempenha um papel essencial na indústria, contribuindo para o controle de processos produtivos, monitoramento de qualidade e segurança, e otimização de recursos. Através de sensores, medidores e dispositivos de monitoramento, a instrumentação viabiliza a obtenção de dados em tempo real, permitindo uma intervenção precisa e eficiente.

O termo "instrumentação", segundo a engenharia, está associado ao estudo teórico e prático dos instrumentos e seus princípios científicos. Eles são usados para monitorar contínua ou discretamente o comportamento de variáveis de controle que, de alguma forma, podem interessar o homem nas diversas áreas do conhecimento humano aplicado, ou seja, não apenas nos processos de produção industrial (FIALHO, 2009, p.14)

Fialho (2009) deixa claro que a instrumentação é usada para monitorar contínua ou discretamente o comportamento de variáveis de controle. Essas variáveis podem ser de interesse em diversas áreas do conhecimento humano aplicado conforme citado acima, não se limitando apenas aos processos de produção industrial. Portanto, a instrumentação desempenha um papel fundamental na obtenção de dados nessas diferentes áreas, permitindo a coleta e registro das informações relevantes para análise e tomada de decisões.

A instrumentação e a aquisição de dados são essenciais para estimar, comparar e estabelecer critérios de desempenho em processos industriais. Por meio delas, é possível obter informações valiosas, identificar problemas e tomar decisões embasadas, contribuindo para a eficiência e qualidade desses processos.

Medições são parte fundamental de todo processo industrial, pois é por meio delas é possível estimar, comparar e estabelecer critérios de desempenho para todo o sistema. Porém, sensores e instrumentos de medição estão sujeitos a incertezas de diferentes fontes, o que pode comprometer a obtenção dos dados (FUJISAWA; SARAIVA; MENEZES et al., 2022, p.14).

Conforme analisado por Bolton (2005), os sistemas automatizados operam em uma sequência que envolve a obtenção, análise e processamento de dados, seguida pela tomada de decisão e atualização das saídas do processo. Essa análise destaca o papel da instrumentação e aquisição de dados no processo, enfatizando que seria um equívoco subestimar a importância desses elementos. Portanto, a necessidade de investir em instrumentação adequada e garantir uma correta aquisição de dados é enfatizada, especialmente no contexto de otimização de processos e garantia de qualidade e eficiência industriais.

Dessa forma, a implementação de sistemas automatizados bem projetados torna-se importante para o sucesso de operações industriais. Caso contrário, a falta de precisão na coleta e análise de dados pode levar a decisões errôneas, afetando negativamente a qualidade e eficiência do processo.

Não se trata de uma mera questão técnica, falhas na instrumentação podem resultar em perdas financeiras significativas e até mesmo em riscos à segurança. É importante considerar que a escolha da tecnologia e metodologia corretas é fundamental, seja porque a indústria está em constante evolução e exige adaptação, seja nesse caso, a necessidade de cumprir regulamentações rigorosas e padrões de qualidade.

Ao empregar soluções de instrumentação virtual, é possível reduzir os custos de capital, desenvolvimento do sistema e manutenção, ao mesmo tempo, em que melhora o tempo de colocação no mercado e a qualidade de seus próprios produtos. Há uma grande variedade de *hardware* disponível que você pode conectar ao computador ou acessar mediante a uma rede. Esses dispositivos oferecem uma ampla gama de capacidades de aquisição de dados a um custo significativamente menor do que o de dispositivos dedicados (SEDHA, 2013, p.490, tradução nossa).

Pode-se dizer que a precisão na instrumentação é fundamental para a confiabilidade dos dados coletados em diversos campos, por exemplo, na pesquisa científica e na produção industrial. Essa precisão garante que as medições sejam consistentes e confiáveis, o que é fundamental para a tomada de decisões informadas e para a implementação de processos eficazes.

Neste contexto, fica claro que a imprecisão pode levar a erros significativos, afetando a qualidade e eficiência dos processos. Segundo (SEDHA, 2013, p.33, tradução nossa), “A precisão é o grau em que a leitura do instrumento corresponde aos valores verdadeiros ou aceitos. Ela indica a capacidade do instrumento de indicar o valor verdadeiro da quantidade.” Assim, é preocupante que a negligência em relação à precisão possa comprometer a integridade e sucesso de qualquer empreendimento que dependa da coleta e análise de dados.

Parece óbvio que há uma relação intrínseca entre instrumentação e aquisição de dados, mas nem sempre isso é devidamente reconhecido. Conforme explicado acima, sob

o ponto de vista prático, a instrumentação é essencial para obter informações precisas e confiáveis, enquanto a aquisição de dados permite registrar e armazenar essas informações.

No entanto, [Sedha \(2013\)](#) deixa claro que o que frequentemente acontece é que a importância da instrumentação e da aquisição de dados é subestimada ou negligenciada. Isso pode ocorrer por várias razões: falta de conhecimento técnico, restrições orçamentárias, complacência, complexidade dos sistemas e pressão temporal.

Portanto, é imprescindível que as organizações reconheçam a importância da precisão em suas operações e tomem medidas proativas para garantir que seus instrumentos e métodos de aquisição de dados sejam tão precisos quanto possível. Isso inclui treinamento adequado para o pessoal, investimento em equipamentos de alta qualidade e a implementação de protocolos rigorosos para a manutenção e calibração de instrumentos.

2.1.1 Aspectos Históricos Sobre Instrumentação

Durante a Revolução Industrial, que marcou um período de transformação no século XVIII, a instrumentação industrial surgiu como uma resposta à crescente demanda por tecnologias de medição e controle nos processos industriais. Engenheiros e inventores pioneiros se dedicaram ao desenvolvimento de dispositivos como manômetros, termômetros e medidores de vazão, impulsionando o avanço tecnológico e aprimorando a produtividade nas indústrias emergentes da época.

Essas inovações desempenharam um papel fundamental no monitoramento preciso das variáveis críticas e no controle eficiente dos ambientes industriais, contribuindo para a evolução e o sucesso da Revolução Industrial, que transformou como o trabalho era realizado e marcou o início da era industrial moderna. Além disso, essas tecnologias pioneiras estabeleceram um precedente para futuras inovações, moldando o campo da instrumentação e controle atuais.

James Watt e Richard Arkwright, engenheiros do século XVIII, foram fundamentais na Revolução Industrial, desenvolvendo tecnologias de medição e controle. “É provável que o regulador do motor a vapor possa ser considerado o primeiro sistema de controle em malha fechada usando instrumentação. Inventado em 1788 por James Watt” ([AMOS, 2017](#), p. n.p, tradução nossa), essa invenção permitiu medir a velocidade do motor, controlando-a via uma válvula de vapor.

Ao introduzirem dispositivos como manômetros e medidores de vazão, eles aumentaram a segurança e eficiência nas indústrias emergentes. Esses avanços pioneiros não apenas impulsionaram a Revolução Industrial, mas também estabeleceram as bases para as indústrias modernas.

Durante o crescimento histórico da instrumentação industrial, surgiram avanços significativos, como a automação dos processos e o desenvolvimento de sistemas de controle

mais sofisticados. Esse crescimento foi bastante significativo, impulsionado pela demanda crescente por eficiência e produtividade nas indústrias. De acordo com Amos (2017), a instrumentação e seu desenvolvimento desempenharam um papel fundamental como tecnologia de suporte nas primeiras e segundas revoluções industriais, marcadas pela inovação mecânica e produção em massa.

Com o avanço da tecnologia e o foco na digitalização da indústria, tornou-se necessário equipar os instrumentos com mais inteligência e habilidade de comunicação em rede, isso permitiria a transmissão de dados em tempo real e a integração dos sistemas de controle em um ambiente industrial. A transição da transmissão analógica para a digital foi um marco nesse processo, permitindo uma maior capacidade de processamento de dados e uma comunicação mais eficiente entre os instrumentos.

Segundo Amos (2017), A digitalização de instrumentos que antes eram apenas analógicos, é um exemplo dessa transformação, onde a conectividade e a configuração se tornaram essenciais. Essa mudança não apenas modernizou como os dados são coletados e interpretados, mas também abriu novas possibilidades para análises mais complexas e controle mais preciso dos processos industriais.

A aquisição de dados é um componente importante na integração de sistemas de controle em ambientes industriais com a instrumentação que mede as variáveis físicas em campo. A capacidade de coletar e transmitir dados em tempo real permite uma maior eficiência e precisão na tomada de decisões. Um marco importante nesse processo foi o *IBM 7700 Data Acquisition System*.

Anunciado pela IBM em 2 de dezembro de 1963. Esse sistema pioneiro tinha a capacidade de coletar dados de até 32 fontes simultaneamente e processá-los, transmitindo os resultados para até 16 impressoras remotas, unidades de exibição ou quadros de plotagem. Esse avanço demonstra a importância da aquisição de dados na integração dos sistemas de controle em ambientes industriais.

Abaixo um resumo da história da instrumentação industrial com os eventos mais marcantes em uma linha do tempo:

- **Século XVIII:** Durante a Revolução Industrial, engenheiros visionários como James Watt e Richard Arkwright contribuíram para o desenvolvimento de tecnologias de medição e controle;
- **Décadas de 1960 e 1970:** Os primeiros Sistemas de Aquisição de Dados foram implementados na indústria, permitindo a coleta e transmissão de dados em tempo real;
- **Anos 1980:** A transmissão digital substituiu o padrão analógico de transmissão de sinais 4-20 mA, impulsionando a evolução da instrumentação industrial;

- **Anos 1990:** Surgiram diversos padrões e protocolos de comunicação que pretendiam ser a melhor solução para o barramento de campo, como o *FOUNDATION Fieldbus* e o *PROFIBUS*;
- **Atualmente:** A instrumentação industrial continua a evoluir, incorporando tecnologias avançadas, como (*DAQ*)s de alta precisão, sistemas de automação e controle sofisticados, além de comunicação em rede e *Internet das Coisas (IoT)*. A quarta revolução industrial, focada na digitalização da indústria, visa uma cadeia de suprimentos completamente integrada, desde a especificação e pedido de matéria-prima até a produção eficiente e personalizada em massa [Amos \(2017\)](#);

Conclui-se que a instrumentação industrial desempenhou um papel fundamental na evolução dos processos industriais ao longo da história. Desde os primórdios da Revolução Industrial até os dias atuais, os avanços tecnológicos e a busca por maior eficiência têm impulsionado o desenvolvimento de dispositivos de medição e controle cada vez mais sofisticados.

A implementação de sistemas de aquisição de dados, a transição da transmissão analógica para a digital e o surgimento de padrões e protocolos de comunicação são marcos significativos nessa jornada. A instrumentação industrial continua a evoluir, incorporando tecnologias avançadas e impulsionando o futuro da indústria.

2.2 Contextualização Dos Aquisitores de Dados

Um sistema de aquisição de dados é uma coleção de *hardware* e *software* que permite medir ou controlar as características físicas de algo no mundo real e converter as amostras resultantes em valores numéricos digitais que podem ser manipulados por um computador. De acordo com a Logic Fruit (2022), fabricante indiano de sistemas de aquisição de dados, em 2025, estima-se que o mercado global de sistemas de aquisição de dados valerá US\$ 2,6 bilhões, crescendo a uma taxa composta anual de 5,8%.

A popularidade dos sistemas de coleta de dados empresariais no mundo moderno é influenciada pelo aumento da automação industrial e pela demanda por processamento de dados em tempo real. Os sistemas de aquisição de dados são extremamente importantes para a indústria, pois permitem que as empresas monitorem e controlem processos em tempo real, aumentando a eficiência e reduzindo custos.

Segundo [Patel et al. \(2017\)](#), um sistema de aquisição de dados é composto por três componentes principais: sensores, *hardware* de medição (*DAQ*) e um computador com *software* programável. Os sensores são responsáveis por medir fenômenos elétricos ou físicos, como tensão, corrente, temperatura, pressão ou som. O *hardware* de medição é usado para se conectar aos sensores e converter os sinais analógicos em dados digitais que

podem ser processados pelo computador. Por fim, o *software* programável é usado para controlar o sistema, processar os dados adquiridos e fornecer uma interface de usuário para visualização e análise de dados.

Conforme explicado acima, é interessante que um sistema de aquisição de dados possa medir uma ampla variedade de fenômenos físicos e elétricos através do uso de uma miríade de sensores e transdutores. O *hardware* de medição é usado para condicionar e converter os sinais dos sensores em dados digitais que podem ser capturados, monitorados em tempo real e analisados.

Mas há um fato que se sobrepõe a tudo isso: a capacidade do sistema (*DAQ*) de fornecer *insights* precisos e valiosos a partir dos dados adquiridos. Desta forma, o sistema pode ser adaptado e personalizado para atender às necessidades específicas de cada aplicação. É sinal de que há, enfim, uma grande flexibilidade e versatilidade nesses sistemas.

Um sistema de aquisição de dados coleta informações do mundo físico para processamento. A coleta de dados é feita conectando um computador a sensores. Os sensores interpretam algum fenômeno físico, como pressão, som ou luz, e o transformam em dados (na forma de um sinal analógico ou digital). Os (*DAQs*) podem consistir em vários sensores, atuadores, *hardware* de aquisição de dados e computadores. (KARLSSON, 2019, p.17, tradução nossa).

Karlsson (2019) deixa claro que um sistema de aquisição de dados coleta informações físicas via sensores. Para que a comunicação desses sensores seja interpretada pelo *software*, é necessária uma unidade de conversão de sinais, geralmente esta unidade é referida como *chassis*, outras vezes como somente (*DAQ*), o que é uma abreviação incorreta. Já que, como defendido por Patel et al. (2017) e Karlsson (2019), o conjunto, sim, deve receber esta sigla.

Em suma, um sistema de aquisição de dados é uma ferramenta poderosa que permite medir e controlar diversos aspectos do mundo real, transformando-os em dados digitais que podem ser analisados por uma pessoa. Eles devem ser configurados consoante as necessidades de cada aplicação, podendo fornecer *insights* precisos e valiosos para a indústria, a ciência, a educação e outras áreas que dependem do monitoramento e da compreensão dos fenômenos mensuráveis.

2.2.1 Sensores e Transdutores

Neste capítulo, será abordado o tema dos sensores e transdutores, dispositivos fundamentais para a medição e conversão de grandezas físicas em sinais elétricos utilizados em sistemas de controle. Conforme Thomazini e Albuquerque (2020), os sensores são dispositivos sensíveis a uma forma específica de energia, capazes de fornecer informações

sobre uma grandeza a ser medida. Sua utilização é ampla e diversificada, permitindo o monitoramento de variáveis como temperatura, pressão, velocidade e corrente

Os transdutores, por sua vez, atuam como interfaces entre as formas de energia do ambiente e o circuito de controle ou atuador. Ao longo deste capítulo, serão explorados os conceitos essenciais relacionados a esses dispositivos.

Com base na afirmação de [Thomazini e Albuquerque \(2020\)](#), entende-se que um sensor pode não possuir, por si só, as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Isso significa que, para que um sensor possa ser efetivamente integrado a um sistema de controle, é necessário haver um circuito de interface que possa manipular e adaptar o sinal do sensor às características elétricas adequadas.

Um sensor pode fornecer um sinal com diferentes características elétricas, como nível de tensão, corrente ou resistência. Conforme explicado acima, essas características podem não ser diretamente compatíveis com os requisitos elétricos do sistema de controle, como faixa de tensão ou impedância de entrada. Nesse sentido, é comum a utilização de circuitos de interface ou condicionamento de sinal para manipular e adaptar o sinal do sensor de forma a torná-lo adequado para o sistema de controle.

Esses circuitos de interface, comumente chamados de transdutores, podem incluir amplificadores, conversores de sinal, filtros e outros componentes eletrônicos que ajustam as características elétricas do sinal do sensor. Dessa forma, é possível garantir uma correta leitura e interpretação dos dados pelo sistema de controle.

Um transdutor de entrada produz uma saída elétrica, que é representativa da grandeza de entrada medida. Sua saída é condicionada e pronta para ser utilizada pelos componentes eletrônicos receptores. (Os termos "transdutor de entrada" e "transdutor" podem ser usados de forma intercambiável) ([LIPTAK; EREN, 2016](#), p.48, tradução nossa)

Com base no conceito de transdutores, é possível compreender sua relevância na intermediação entre os sensores e os sistemas de controle. Os transdutores desempenham um papel fundamental ao converter os sinais de uma grandeza física captada pelo sensor em outro tipo de grandeza, tornando-os adequados para análise e utilização no sistema de controle.

Por exemplo, um transdutor pode ser utilizado para converter sinais de baixa tensão gerados por um sensor, como um termopar, em sinais elétricos que possam ser transmitidos por um transmissor para o sistema de controle. Da mesma forma, em determinadas aplicações, os transdutores são empregados para transformar sinais de grandezas elevadas, lidos por sensores, em sinais padronizados de tensão ou corrente [Brito \(2019\)](#).

Assim, os transdutores atuam como dispositivos intermediários, permitindo a adaptação e transformação dos sinais dos sensores, tornando-os compatíveis com o sistema

de controle. Essa função dos transdutores é essencial para garantir a efetividade e precisão do sistema, proporcionando a correta interpretação das grandezas físicas medidas pelos sensores no contexto do controle.

Com base nas opiniões de Brito (2019), pode-se observar uma concordância quanto ao uso dos termos "sensor" e "transdutor". "Muitas vezes os termos 'sensor' e 'transdutor' são usados indistintamente. Neste caso, o transdutor é o instrumento completo que engloba sensor e todos os circuitos de interface capazes de serem utilizados numa aplicação industrial" (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020, p.11). Isto confirma que, em determinados contextos, o transdutor vai além do sensor isolado e inclui os circuitos de interface necessários para uma aplicação industrial.

Essa visão compartilhada reforça a ideia de que o transdutor desempenha um papel mais abrangente do que apenas o sensor, conforme explicado acima, englobando os componentes adicionais, por exemplo, responsáveis pela interface e processamento dos sinais captados. Esses circuitos de interface são cruciais para a interpretação e utilização adequadas dos sinais em aplicações industriais. Dessa forma, a diferenciação entre sensor e transdutor se torna relevante no contexto industrial, em que a funcionalidade e a precisão do transdutor dependem não apenas do sensor em si, mas também da correta integração com os circuitos de interface.

É possível construir um transdutor de sinal a partir de um sensor. Para tanto, combinam-se um elemento primário (sensor) e um secundário (circuito de condicionamento de sinal), que transforma a pequena variação passiva em uma correspondente variação de tensão ou corrente elétrica. (CAMARGO, 2014, p.49)

No contexto abordado, Camargo (2014) deixa claro que é possível construir um transdutor de sinal a partir de um sensor, combinando um elemento primário e um secundário. Essa combinação permite a transformação de uma variação passiva em uma correspondente variação de tensão ou corrente elétrica. Essa abordagem ressalta a importância do circuito de condicionamento de sinal na conversão precisa e eficiente dos dados captados pelo sensor.

No mundo da aquisição de dados, a compreensão desses conceitos é fundamental para garantir a efetividade e precisão das informações provenientes das leituras dos sensores, possibilitando a interpretação correta das grandezas físicas medidas. Esse entendimento permite uma integração mais harmoniosa entre os componentes do sistema, assegurando que os dados coletados sejam representativos e úteis para a análise e controle dos processos.

Os avanços tecnológicos nessa área têm contribuído para o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados e precisos, capazes de atender às demandas específicas de diferentes aplicações industriais. Em suma, sensores e transdutores desempenham um

papel sinérgico na medição e controle de grandezas físicas, proporcionando informações valiosas para o monitoramento e otimização de processos industriais.

2.2.1.1 Escolha de Sensores/Transdutores Para Um Sistema De Aquisição De Dados

A escolha adequada de sensores e transdutores em um sistema de aquisição de dados é relevante para garantir medições precisas e confiáveis. Ao se deparar com essa tarefa, é essencial compreender o fenômeno físico a ser medido, considerando suas características e comportamentos. É importante considerar fatores como a faixa de medição necessária, a precisão requerida, a resolução desejada, a sensibilidade do sensor, a linearidade de resposta, a estabilidade ao longo do tempo, o tempo de resposta e o custo envolvido na aquisição e manutenção dos dispositivos de medição.

A análise criteriosa desses quesitos permitirá uma seleção adequada dos sensores e transdutores para o sistema de aquisição de dados. “A escolha do transdutor certo é uma das etapas mais importantes no projeto de todo o sistema de medição.” (KUTZ, 2016, p. 2247, tradução nossa).

Conforme destacado no manual de montagem para sistemas de medição da [National Instruments \(2021\)](#), fabricante de Sistemas de Aquisição de dados, é importante considerar múltiplas características ao escolher o instrumento mais adequado para uma aplicação específica.

Antes de projetar um sistema de medição, você precisa dos sensores certos (ou transdutores). O mercado atual oferece uma infinidade de sensores que medem diferentes fenômenos - você encontrará até mesmo vários sensores que medem os mesmos fenômenos (termopares e detectores de temperatura de resistência (*RTDs*) para medições de temperatura, por exemplo). (NATIONAL INSTRUMENTS, 2021, p.3, tradução nossa).

Pode-se dizer que a escolha adequada de sensores e transdutores em um sistema de aquisição de dados é crucial para medições precisas e confiáveis. Neste contexto, a [National Instruments \(2021\)](#) deixa claro que há uma série de características dos sensores a serem consideradas na seleção do instrumento mais adequado. Conforme citado acima, fatores como faixa de medição, precisão, resolução, sensibilidade, linearidade, estabilidade, tempo de resposta e custo devem ser avaliados.

O mais preocupante, contudo, é constatar que uma escolha inadequada pode comprometer toda a eficiência do sistema. Não é exagero afirmar que a seleção dos sensores e transdutores desempenha um papel fundamental em todo esse processo, ocorrendo a interação entre o fenômeno físico e a obtenção de dados confiáveis. Assim, importante que se faça uma escolha correta para que não se comprometa com a precisão das medições e, conseqüentemente, a tomada de decisões com base nesses dados.

As características mencionadas são considerações relevantes segundo a [National](#)

[Instruments \(2021\)](#) para avaliar a precisão dos dados fornecidos pelos sensores. Na lista abaixo Vai-se explorar cada uma delas:

- **Sensibilidade (*Sensitivity*):** A sensibilidade refere-se à capacidade do sensor de detectar pequenas variações na quantidade medida. Um sensor altamente sensível fornecerá uma medição mais precisa e exata;
- **Resposta em frequência (*Frequency Response*):** A resposta em frequência descreve a faixa de frequências em que o sensor pode medir com precisão o sinal desejado. É necessário garantir que a resposta em frequência do sensor esteja alinhada com a faixa de frequência do fenômeno sendo medido;
- **Frequência de ressonância (*Resonance Frequency*):** A frequência de ressonância é a frequência natural em que o sensor vibra de forma mais eficiente. É importante operar o sensor dentro da faixa de frequência de ressonância especificada para obter uma precisão ideal;
- **Ressonâncias secundárias (*Minor Resonances*):** Ressonâncias secundárias são frequências ressonantes adicionais que podem ocorrer na resposta do sensor. Essas ressonâncias podem afetar a precisão das medições e devem ser consideradas durante a seleção do sensor;
- **Capacitância interna (*Internal Capacitance*):** A capacitância interna refere-se à capacitância inerente do sensor. Isso pode afetar a resposta do sensor e deve ser considerado no projeto do sistema de medição;
- **Sensibilidade transversal (*Transverse Sensitivity*):** A sensibilidade transversal mede a sensibilidade do sensor a forças ou influências externas perpendiculares ao eixo de medição desejado. Minimizar a sensibilidade transversal é importante para garantir medições precisas;
- **Linearidade da amplitude e histerese (*Amplitude Linearity and Hysteresis*):** Linearidade da amplitude descreve a linearidade da resposta do sensor em toda a sua faixa de operação. Histerese refere-se à diferença na saída do sensor para uma mesma entrada, dependendo se a entrada está aumentando ou diminuindo. Ambos os fatores podem afetar a precisão da medição e devem ser avaliados;
- **Desvio de temperatura (*Temperature Deviation*):** O desvio de temperatura representa a mudança no desempenho do sensor com variações de temperatura. É importante compreender e compensar quaisquer efeitos relacionados à temperatura na precisão do sensor;

- **Peso e tamanho (*Weight and Size*):** O peso e o tamanho do sensor podem impactar sua adequação para aplicações específicas. É necessário considerar restrições práticas e garantir que o sensor possa ser integrado de forma eficaz ao sistema de medição;
- **Resistência interna em temperatura máxima (*Internal Resistance at Maximum Temperature*):** A resistência interna em temperatura máxima é uma consideração para certos tipos de sensores, como termistores. Isso pode afetar a precisão das medições de temperatura e deve ser levado em conta;
- **Precisão de calibração (*Calibration Accuracy*):** A precisão de calibração refere-se a quão próxima à saída do sensor está em relação aos valores de referência conhecidos. A calibração regular é essencial para manter medições precisas ao longo do tempo;
- **Sensibilidade a deformações (*Strain Sensitivity*):** A sensibilidade a deformações mede a sensibilidade do sensor a deformações mecânicas. É importante selecionar um sensor com uma sensibilidade adequada às deformações para a aplicação pretendida;
- **Amortecimento em temperaturas extremas (*Damping at Temperature Extremes*):** O amortecimento refere-se à capacidade do sensor de dissipar energia e reduzir oscilações. Deve-se considerar as características de amortecimento do sensor, especialmente em temperaturas extremas, para garantir medições precisas;
- **Saída do zero do medido (*Zero Measurand Output*):** A saída do zero do medido refere-se à saída do sensor quando não há entrada aplicada ou quando a quantidade medida está no mínimo. A estabilidade e precisão da saída zero do sensor devem ser avaliadas;
- **Desvio zero térmico (*Thermal Zero Shift*):** O desvio zero térmico refere-se à alteração no deslocamento da saída do sensor devido a variações de temperatura. É importante considerar o desvio zero térmico para garantir medições precisas em condições de temperatura variáveis;
- **Resposta transitória térmica (*Thermal Transient Response*):** A resposta transitória térmica descreve quão rapidamente a saída do sensor se estabiliza após uma mudança repentina de temperatura. Uma resposta transitória rápida e estável é crucial para medições precisas em ambientes dinâmicos;

Considerar essas características e avaliar seu impacto na precisão dos dados desejados auxiliará na seleção dos sensores mais adequados para sua aplicação. É importante

consultar as especificações dos sensores, realizar testes abrangentes e considerar quaisquer requisitos específicos do seu sistema de medição.

Conforme verificado, as características mencionadas desempenham um papel relevante na escolha dos sensores e transdutores. Trata-se inegavelmente de elementos essenciais para garantir a precisão e confiabilidade das medições. "É escolha do projetista selecionar o melhor sensor para uma aplicação física particular. A melhor escolha só pode ser feita depois que todas as características do fenômeno físico forem consideradas"(EREN, 2003, p.43, tradução nossa).

Seria um erro, porém, atribuir a mesma importância a todas as características, uma vez que cada aplicação pode ter requisitos específicos. Assim, reveste-se de particular importância realizar uma análise criteriosa das necessidades do sistema e das características dos sensores disponíveis. Sob essa ótica, ganha particular relevância a compreensão das limitações e potenciais fontes de erro associadas a cada característica. Dessa forma, é possível selecionar os sensores e transdutores mais adequados, levando em consideração os requisitos específicos de cada aplicação e garantindo a obtenção de dados precisos e confiáveis.

As características do sensor fornecerão a precisão dos dados desejada? Verifique: Sensibilidade, Resposta em Frequência, Frequência de Ressonância, Ressonâncias Menores, Capacitância Interna, Sensibilidade Transversal, Linearidade de Amplitude e Histerese , Desvio de Temperatura, Peso e tamanho, Resistência Interna à Temperatura Máxima , Precisão de Calibração, Sensibilidade à Deformação, Amortecimento em Extremos de Temperatura, Saída de Medida Zero, Deslocamento Térmico Zero, Resposta Transitória Térmica.(WILSON; ATKINSON, 1996, p.23, tradução nossa)

Pode-se dizer que "a habilidade de um sistema de aquisição de dados em medir diferentes propriedades depende de ter sensores adequados para detectar as várias propriedades a serem medidas. Existem sensores específicos para muitas aplicações diferentes"(SHUNMUGALATHA; RADHIKA; MUTHU, 2021, p. 130, tradução nossa).

Neste contexto, fica claro que a seleção de sensores é uma etapa crítica, por exemplo, na adaptação às necessidades específicas de cada projeto. É pertinente constatar que uma escolha inadequada pode comprometer todo o sistema. E que a seleção adequada é fundamental para o sucesso da aplicação. É importante que a escolha seja feita com análise profunda. Assim, é relevante considerar que uma escolha inadequada possa levar a erros, isso porque a interação entre o fenômeno físico e os sensores requer cuidado e compreensão.

Parece óbvio que há uma relação direta entre a escolha adequada de sensores e transdutores e a obtenção de medições precisas e confiáveis, mas nem sempre essa conexão é compreendida ou levada em consideração. Sob o ponto de vista técnico, a seleção dos

sensores é uma tarefa complexa e envolve diversas características e requisitos específicos para cada aplicação. Afinal, tratam-se de equipamentos sensíveis que devem capturar e converter de forma precisa as grandezas físicas em sinais elétricos.

Essas questões são, contudo, obviamente cruciais para o funcionamento correto do sistema de aquisição de dados. No entanto, muitas vezes, o que estaria acontecendo, na verdade, é uma falta de conhecimento ou atenção na seleção dos sensores, resultando em medições imprecisas, instáveis ou até mesmo inválidas. Portanto, é fundamental que haja um entendimento aprofundado das características dos sensores e uma análise criteriosa na escolha dos dispositivos mais adequados para cada situação.

2.2.2 Hardware Para Aquisição de Dados

Na era digital atual, o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de aquisição de dados, também conhecidos como (*DAQ*) tem se tornado tópicos de grande interesse e importância. Esses sistemas são responsáveis por coletar informações do mundo real e convertê-las em um formato digital que pode ser processado por um computador.

A escolha do *hardware* certo para aquisição de dados é um aspecto relevante nesse processo e depende de vários fatores, incluindo o tipo de sinais que se precisa medir ou gerar, a necessidade de condicionamento de sinal, a taxa de amostragem necessária, a menor mudança no sinal que precisa ser detectada e a quantidade de erro de medição que a aplicação permite [Ozkul \(2017\)](#). Além disso, a escolha do computador e do *software* de gerenciamento de dados certos também é fundamental para garantir que o sistema de aquisição de dados funcione de maneira eficiente e eficaz. Esses aspectos fornecem um embasamento teórico sólido para a exploração e discussão do tema.

O *hardware* de aquisição de dados é a interface entre o sinal analógico e um *PC*. Pode ser na forma de módulos que podem ser conectados ao computador via porta serial e USB, por exemplo, ou placas conectadas a um *slot* na placa-mãe, como *PCI* ou *PCI express*. ([DI PAOLO EMILIO, 2013](#), p. 7, tradução nossa).

[Di Paolo Emilio \(2013\)](#) deixa claro a importância do *hardware* de aquisição de dados. Ele serve como uma ponte entre o mundo analógico e o digital, permitindo a conversão de sinais em um formato processável por um computador. Além disso, a versatilidade do (*DAQ*), que pode assumir várias formas, reforça sua essencialidade em diversas aplicações, conforme citado acima.

O *hardware* de aquisição de dados desempenha um papel fundamental em sistemas de aquisição e controle de dados, possibilitando a entrada, processamento, conversão e saída de informações analógicas e digitais, permitindo assim o monitoramento, controle e análise de sistemas e processos.

O *hardware* de aquisição de dados pode ser definido como o componente de um sistema completo de aquisição e controle de dados, que executa qualquer uma das seguintes funções:

- A entrada, processamento e conversão para formato digital, usando *ADCs*, de dados de sinal analógico medidos de um sistema ou processo — os dados são então transferidos para um computador para exibição, armazenamento e análise;
- A entrada de sinais digitais, que contêm informações de um sistema ou processo;
- O processamento, conversão para formato analógico, usando *DACs*, de sinais digitais do computador — os sinais de controle analógicos são usados para controlar um sistema ou processo;
- A saída de sinais de controle digital (PARK; MACKAY, 2003, p.4, tradução nossa).

Conforme citado acima, a evolução dos sistemas de aquisição de dados na era digital tem sido um tópico de grande interesse e importância. Trata-se inegavelmente de uma ferramenta essencial que converte informações do mundo real em um formato digital para processamento computacional. Seria um erro, porém, atribuir o sucesso desses sistemas apenas ao *hardware* de aquisição de dados. Assim, reveste-se de particular importância a escolha do computador e do *software* de gerenciamento de dados adequados, que garantem a eficiência e eficácia do sistema (*DAQ*).

Sob essa ótica, ganha particular relevância a versatilidade do (*DAQ*), que pode assumir várias formas e desempenhar uma variedade de funções, reforçando sua essencialidade em diversas aplicações. O foco central do desenvolvimento de um sistema (*DAQ*) deve ser levado em conta, sendo muito mais simples afirmar que a eficácia do sistema depende tanto do *hardware* quanto do *software*. Diante de tal cenário, é importante lembrar que “O *hardware* de aquisição de dados está disponível em muitos formatos e de muitos fabricantes diferentes.”(PARK; MACKAY, 2003, p. 4, tradução nossa).

Dessa forma, a escolha do sistema de aquisição de dados adequado torna-se um elemento vital para a eficiência e eficácia do processamento de dados. Caso contrário, a coleta e análise de dados podem ser comprometidas, resultando em informações imprecisas ou incompletas. Não se trata apenas de escolher o *hardware* mais avançado ou caro, muitas vezes a escolha errada pode levar a um desperdício de recursos e a resultados insatisfatórios.

É importante considerar que a escolha do sistema (*DAQ*) deve ser baseada nas necessidades específicas da aplicação, seja porque diferentes aplicações podem exigir diferentes tipos de sinais, seja nesse caso, diferentes taxas de amostragem ou níveis de precisão. É pertinente trazer à baila a importância da escolha do *software* e do computador adequados, além do *hardware*, para garantir a funcionalidade completa e eficaz do sistema (*DAQ*). “Mas apenas escolhendo o cartão (*DAQ*) correto, que seja adequado para as aplicações, podemos obter uma taxa de eficácia/custo mais alta. Portanto, antes de começarmos a trabalhar, o cálculo e a análise são necessários”(YUGUANG et al., 2007, p. 4, tradução nossa).

Pode-se dizer que a escolha adequada do sistema de aquisição de dados é um parâmetro básico para o processamento eficiente de informações. Neste contexto, fica claro que tanto o *hardware* quanto o *software* devem ser selecionados com base nas necessidades específicas da aplicação, por exemplo, diferentes tipos de sinais ou taxas de amostragem.

É pertinente observar que decisões inadequadas na seleção de componentes poderiam acarretar resultados abaixo do esperado e uma utilização ineficiente de recursos. No contexto em questão, a importância da análise e do cálculo prévios não pode ser subestimada. Especial atenção deve ser dada à avaliação da versatilidade e da funcionalidade do Sistema de Aquisição de Dados. Esta ênfase deve-se ao fato de que a eficiência do sistema esta intrinsecamente ligada a uma integração harmoniosa de seus diversos elementos.

Parece óbvio que há uma necessidade de escolher o sistema de aquisição de dados correto para garantir a eficiência e eficácia no processamento de informações, mas não é uma tarefa simples, conforme explicado acima. Sob o ponto de vista da aplicação específica, a seleção envolve considerações sobre o tipo de sinais, taxas de amostragem, e compatibilidade com *hardware* e *software*.

Afinal, trata-se de uma combinação harmoniosa de componentes que determina o sucesso do sistema; essas questões são, contudo, obviamente complexas e desafiadoras, mas nesse caso, o que estaria acontecendo, na verdade, é uma integração cuidadosa de tecnologia e análise para atender às demandas específicas da aplicação.

2.2.2.1 Considerações Técnicas para a Seleção de Dispositivos de Aquisição de Dados (DAQ)

A escolha do dispositivo de aquisição de dados adequado é uma tarefa que requer consideração cuidadosa de várias especificações técnicas. Este processo envolve uma série de perguntas-chave que devem ser feitas para garantir que o dispositivo selecionado atenda às necessidades específicas da aplicação. “Escolher um dispositivo (DAQ) envolve mais do que selecionar as especificações corretas para medições de qualidade. Seu ambiente e equipamento devem moldar sua escolha” (NATIONAL INSTRUMENTS, 2021, p.3, tradução nossa).

Primeiramente, é importante determinar os tipos de sinais que precisam ser medidos ou gerados. A natureza da aplicação influenciará diretamente esta decisão, por exemplo, em um sistema de controle proporcional integral derivativo (PID), os requisitos de Entrada e Saída (E/S) de ponto único são extremamente importantes, e a latência do barramento pode impactar diretamente a velocidade máxima do laço de controle. Além disso, os sinais podem variar de natureza analógica, como tensão ou corrente, a sinais digitais, como contadores ou sinais de pulso.

Portanto, a escolha do dispositivo deve ser baseada na natureza dos sinais que se pretende medir ou gerar. No estudo “*Control and Real-Time Data Acquisition of an*

Experimental Platform” de Liu e Li (2021), a escolha adequada do sistema (*DAQ*) foi notável para a implementação bem-sucedida do controle PID. O aquisitor foi utilizado para coletar dados em tempo real, permitindo ajustes precisos nos parâmetros do controlador proporcional integral derivativo, o que é necessário para o controle eficiente do sistema.

Em segundo lugar, é necessário considerar se há necessidade de condicionamento de sinal. O condicionamento de sinal pode ser necessário quando os sinais que estão sendo medidos excedem a faixa de entrada do dispositivo (*DAQ*) ou quando os sinais são muito pequenos e precisam ser amplificados. Além disso, o condicionamento de sinal pode incluir filtragem para remover ruído indesejado do sinal. Em alguns casos, o condicionamento de sinal pode ser necessário para proteger o dispositivo (*DAQ*) de sinais que podem ser potencialmente prejudiciais.

Em geral, os dispositivos de condicionamento são projetados para serem flexíveis. O processo de condicionamento envolve uma combinação de processos mais simples que podem ser usados em todos os tipos de sinais: converter uma resistência em uma tensão, dividir, amplificar e deslocar uma tensão. Independentemente dos tipos de sensores ou transdutores, o equipamento de condicionamento de sinal adequado pode melhorar a qualidade e o desempenho do seu sistema. (DI PAOLO EMILIO, 2013, p. 15, tradução nossa).

Outra característica importante a ser considerada é a quantidade de dados transmitidos através do barramento, saber isto é fundamental na escolha do dispositivo de aquisição de dados. A largura de banda, especificada em *MB/s* (*Megabytes por segundo*), deve suportar a velocidade de aquisição, especialmente se medições de forma de onda dinâmica forem cruciais. A largura de banda pode ser compartilhada entre dispositivos ou dedicada, como no barramento *PCI*.

“A seleção cuidadosa é necessária, pois a taxa de transferência de dados efetiva será menor que os limites teóricos, dependendo do número de dispositivos e do tráfego adicional do barramento” (LIPTAK; EREN, 2016, p. 357, tradução nossa). Essa consideração garante que o (*DAQ*) selecionado atenda às necessidades específicas da aplicação.

“A latência é uma medida da capacidade de resposta de *E/S* é importante em aplicações que devem reagir de forma determinista a eventos ou alterações nos dados adquiridos.” (LIPTAK; EREN, 2016, p. 357, tradução nossa). Dependendo do barramento escolhido, esse atraso pode variar de menos de um microssegundo a alguns milissegundos.

Por fim, a distância entre as medições necessárias e onde o computador está localizado pode variar drasticamente de aplicação para aplicação. Para obter a melhor integridade do sinal e precisão de medição, o *hardware* (*DAQ*) deve ser colocado o mais próximo possível da fonte do sinal. Isso pode ser um desafio para medições distribuídas em grande escala, como as usadas para monitoramento estrutural ou monitoramento ambiental.

Em conclusão, a escolha do dispositivo (*DAQ*) certo é uma decisão que requer uma compreensão profunda dos sinais a serem medidos, do ambiente em que o dispositivo será usado e das especificações técnicas necessárias para a aplicação. Ao considerar cuidadosamente esses fatores, é possível garantir que o sistema (*DAQ*) esteja pronto para as medições de hoje e de amanhã.

2.3 A Importância dos Barramentos e Formatos na Seleção de Dispositivos de Aquisição de Dados (*DAQ*)

Continuando a discussão sobre a escolha do dispositivo de aquisição de dados adequado, é importante considerar não apenas as especificações técnicas, mas também o ambiente e o equipamento que moldarão a escolha do dispositivo (*DAQ*). O formato e a robustez determinam onde o sistema pode ser utilizado, seja em um laboratório controlado ou no campo imprevisível.

A seleção do barramento, que serve como interface de comunicação entre o dispositivo (*DAQ*) e o computador para passar instruções e dados medidos, influencia a taxa de transferência, a latência e a portabilidade do dispositivo de medição. “Os dispositivos de aquisição de dados são oferecidos nos barramentos de computador mais comuns, incluindo *USB*, *PCI*, *PCI Express* e *Ethernet*. Mais recentemente, os (*DAQ*) tornaram-se disponíveis para 802.11 *Wi-Fi* para comunicação sem fio” (SEDHA, 2013, p. 442, tradução nossa)

Os barramentos em sistemas (*DAQ*) servem como canais de comunicação que facilitam a transferência de dados entre diferentes componentes de um sistema de computador ou entre computadores. “Os barramentos e redes são os mecanismos para transferir os dados entre dispositivos digitais, como componentes, a memória de aquisição de dados ou controladores. Um aspecto relevante das comunicações digitais é a padronização dos barramentos e redes” (LIPTAK; EREN, 2016, p. 418, tradução nossa).

Originados nas primeiras arquiteturas de computadores, os barramentos têm sido utilizados ao longo do tempo para conectar diferentes partes de um sistema de computação, permitindo que eles comuniquem e compartilhem recursos. Essa conexão facilitou a integração de componentes diversos, promovendo uma maior eficiência e colaboração entre as partes do sistema, o que foi fundamental para o avanço da tecnologia de computação.

No contexto de (*DAQ*), os barramentos permitem a transferência rápida e eficiente de dados, entre os componentes internos do Aquisitor com o microprocessador/processador e a memória, ou entre o aquisitor e o computador no qual está conectado, facilitando análises em tempo real. Além disso, oferecem flexibilidade na comunicação entre diferentes componentes e dispositivos, tornando o sistema mais versátil.

Na área de sistemas de aquisição de dados, os barramentos têm sido uma parte

essencial das práticas atuais, desempenhando um papel indispensável na transferência de dados e comunicação entre dispositivos. Diversos tipos de barramentos, como *USB*, *PCI*, *PCI Express* e *Ethernet*, são amplamente utilizados em aplicações industriais, laboratoriais e de pesquisa. Esses barramentos permitem a coleta e análise de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões e otimização de processos [Liptak e Eren \(2016\)](#).

Ao escolher o barramento certo para sua aplicação de medição, é necessário considerar cinco perguntas principais:

- Quanta informação será transmitida através deste barramento?
- Quais são as minhas necessidades de (*E/S*) de ponto único?
- Preciso sincronizar vários dispositivos?
- Quão portátil deve ser este sistema?
- Quão longe estarão as minhas medições do meu computador?

Segundo a [National Instruments \(2021\)](#), os barramentos mais comuns incluem *PCI*, *PCI Express*, *USB*, *PXI*, *PXI Express*, *Ethernet* e *Wireless*. Cada um tem suas próprias características e vantagens:

- *PCI* e *PCI Express*: Oferecem alta velocidade de transmissão de dados e transferência determinística para aplicações de controle de ponto único;
- *USB*: Oferece uma conexão barata e fácil de usar entre dispositivos de aquisição de dados e *PCs* (*Computador Pessoal*), mas não é recomendado para aplicações de controle fechado;
- *PXI*: Oferece embalagem robusta e uma arquitetura modular, com recursos integrados de sincronização e disparo;
- *Ethernet*: Ideal para medições portáteis ou distribuídas, com a capacidade de estender até 100 metros antes de precisar de um *hub* ou repetidor;
- *Wireless*: Estende a flexibilidade e portabilidade para aplicações onde cabos são inconvenientes ou impraticáveis.

Ao analisar os benefícios e desafios do uso dos barramentos em sistemas de aquisição de dados, é possível perceber que sua seleção e implementação são cruciais para o funcionamento eficiente do sistema.

Os barramentos permitem a transferência rápida de dados, para análises em tempo real. Eles oferecem flexibilidade na comunicação entre diferentes componentes e dispositivos,

tornando o sistema mais versátil. Além disso, alguns barramentos, como o *USB*, oferecem uma conexão fácil e barata entre dispositivos (*DAQ*) e *PCs*.

No entanto, a seleção inadequada do barramento pode levar a problemas de latência e limitações na largura de banda. A necessidade de compatibilidade entre diferentes dispositivos e sistemas pode ser um desafio, assim como a necessidade de padronização.

A seleção do barramento certo é uma decisão complexa que exige uma compreensão profunda das necessidades da aplicação e dos diferentes tipos de barramentos disponíveis. É interessante, aliás, notar que a escolha do barramento não é uma opção, mas uma necessidade crítica. Mesmo assim, essa escolha não é trivial e requer consideração cuidadosa. Conforme explicado acima, a compreensão desses fatores e a seleção cuidadosa do barramento garantirão que o sistema (*DAQ*) seja otimizado para desempenho e confiabilidade.

Ao analisar as novas tendências e direções futuras na seleção de Dispositivos de Aquisição de Dados, é possível perceber que a integração e a expansão das tecnologias de rede estão desempenhando um papel significativo. A inovação tecnológica está moldando a forma como os sistemas (*DAQ*) são implementados e utilizados, com ênfase na eficiência e na flexibilidade.

“O uso de tecnologias de rede padrão *TCP/IP* e internet, tanto com fio quanto sem fio, para implementar sistemas de medição distribuídos, está crescendo rapidamente” ([LIP-TAK; EREN, 2016](#), p. 429, tradução nossa). Essa tendência reflete a necessidade crescente de sistemas de medição distribuídos que possam se adaptar a diferentes ambientes e requisitos. A utilização de tecnologias de rede padrão permite uma comunicação mais ágil e robusta entre os dispositivos, facilitando a coleta e análise de dados em tempo real.

Além disso, a adoção de tecnologias sem fio está abrindo novas possibilidades para a implementação de sistemas (*DAQ*) em locais remotos ou de difícil acesso. A capacidade de transmitir dados sem a necessidade de conexões físicas oferece uma maior flexibilidade e potencial para expandir o alcance dos sistemas de aquisição de dados.

No futuro, é possível que essas tendências continuem a evoluir, com o desenvolvimento de novas tecnologias e padrões que permitirão uma integração ainda mais profunda e eficiente dos dispositivos (*DAQ*). A constante inovação na área de redes e comunicação promete transformar a forma como os dados são coletados, analisados e utilizados, tornando os sistemas (*DAQ*) cada vez mais versáteis e adaptáveis às necessidades específicas de cada aplicação.

A seleção de dispositivos de aquisição de dados é um processo complexo que vai além das especificações técnicas. A escolha envolve considerações sobre o ambiente, o formato e a robustez, bem como a seleção cuidadosa dos barramentos, vitais para a transferência eficiente de dados.

As tendências atuais apontam para a integração de tecnologias de rede e sem fio, refletindo a necessidade de sistemas adaptáveis. Diante do exposto, verifica-se que a seleção e implementação de barramentos e formatos em sistemas (*DAQ*) são fundamentais para a eficiência e versatilidade do sistema, e a constante inovação promete transformar como os dados são coletados e utilizados.

2.3.1 Instrumentação Virtual

A instrumentação virtual é um conceito revolucionário que está transformando a maneira como os engenheiros e cientistas interagem com sistemas de medição e controle. Essa abordagem inovadora é definida como “uma camada de *software* e/ou *hardware* adicionada a um computador comum, de forma que os usuários possam interagir com ele como se fosse um instrumento eletrônico personalizado e tradicional” (OLANSEN; ROSOW, 2001, p. 21, tradução nossa). Essa definição encapsula a essência da instrumentação virtual, destacando sua capacidade de simular o funcionamento de instrumentos de medição e controle.

A introdução de tal tecnologia não apenas economiza custos, mas também abre novas possibilidades na engenharia moderna, tornando-se um tópico importante para ser explorado e compreendido. A instrumentação virtual permite uma flexibilidade e personalização sem precedentes, o que a torna um tema relevante e fascinante para estudo e aplicação em diversas áreas da engenharia e ciência.

A instrumentação virtual representa uma mudança significativa no campo da engenharia. Enquanto os instrumentos tradicionais, embora poderosos, são geralmente caros e não extensíveis ou personalizáveis, com botões, circuitos e funções específicos à natureza do instrumento, a tecnologia e componentes especiais necessários para construí-los os tornam caros e lentos para se adaptar Liptak e Eren (2016).

Em contraste, a instrumentação virtual é definida pela capacidade de replicar as funções dos instrumentos tradicionais através de componentes de *software* e *hardware*. “Os instrumentos virtuais representam uma mudança fundamental dos sistemas de instrumentação centrados em *hardware* tradicionais para sistemas centrados em *software*.” (LIPTAK; EREN, 2016, p. 424, tradução nossa).

A importância da instrumentação virtual se estende além da engenharia, alcançando diversas áreas como medicina, pesquisa científica, indústria e educação. Sua capacidade de simular instrumentos físicos através de *software* permite uma abordagem mais acessível e econômica para a realização de medições e controles complexos.

No contexto atual, a instrumentação virtual continua a ser uma área em rápida expansão, com aplicações em diversos campos. A seguir, são apresentadas as práticas atuais e os principais *softwares* relacionados à instrumentação virtual.

Práticas Atuais:

- **Integração com Sistemas Existentes:** A instrumentação virtual é frequentemente integrada a sistemas de controle e medição existentes, permitindo uma transição suave de tecnologias tradicionais para soluções baseadas em *software*;
- **Simulação e Modelagem:** A capacidade de simular e modelar instrumentos físicos através de *software* permite uma abordagem mais acessível e econômica para a realização de medições e controles complexos. Isso é particularmente útil em pesquisa e desenvolvimento, onde a simulação pode economizar tempo e recursos;
- **Personalização e Flexibilidade:** A instrumentação virtual oferece uma flexibilidade sem precedentes, permitindo que engenheiros e cientistas criem soluções personalizadas para atender às necessidades específicas de suas aplicações;
- **Educação e Treinamento:** A instrumentação virtual é usada em programas educacionais para ensinar conceitos de engenharia e ciência, proporcionando uma experiência prática sem a necessidade de equipamentos caros.

Principais *Softwares*:

- **LabVIEW:** Desenvolvido pela National Instruments, o LabVIEW é um dos *softwares* mais populares para instrumentação virtual. Ele oferece uma ampla gama de ferramentas para design, simulação e controle de sistemas;
- **MATLAB:** O MATLAB, da MathWorks, é outro *software* amplamente utilizado em instrumentação virtual. Ele é conhecido por suas capacidades de processamento de sinal e análise de dados;
- **Vee Pro:** O Vee Pro é um *software* de instrumentação virtual que oferece uma interface gráfica intuitiva e é usado em aplicações industriais e de pesquisa;
- **DASYLab:** O DASYLab é uma plataforma de desenvolvimento gráfico que permite a criação rápida de aplicações de instrumentação virtual sem a necessidade de programação extensa.

Conforme explicado acima, a instrumentação virtual representa uma transformação significativa na engenharia e em campos relacionados. É interessante, aliás, observar como essa tecnologia não apenas economiza custos, mas também abre novas possibilidades na engenharia moderna. A capacidade de simular e modelar instrumentos físicos através de *software* permite uma abordagem mais acessível e econômica para a realização de medições e controles complexos.

Mesmo assim, não parece haver razão para que essa tecnologia seja limitada apenas à engenharia. É sinal de que há, enfim, um potencial inexplorado na aplicação da instrumentação virtual em outras áreas, como medicina, pesquisa científica, indústria e educação. A flexibilidade e personalização sem precedentes oferecidas pela instrumentação virtual tornam-na um tema relevante e fascinante para estudo e aplicação em diversas áreas da ciência e tecnologia.

Um exemplo dos benefícios da utilização da instrumentação virtual, foi constatado por [Pinho et al. \(2021\)](#), a integração da instrumentação virtual no ensino de Sistemas de Aquisição de Dados e Interface (*DAIS*) demonstrou uma redução na dificuldade e no tempo gasto pelos alunos para alcançar os objetivos estabelecidos, aumentando a satisfação dos alunos com os projetos implementados usando o *software* LabVIEW.

[Migliore, Abad e Palomeque \(2016\)](#) desenvolveram um *software* estudantil para *smartphones* que utiliza realidade aumentada, baseada em LabVIEW. Essa abordagem é voltada para a educação em controle e automação, mas suas implicações vão além. A plataforma LabVIEW e seu *toolkit* IMAQ vision permitem a rápida criação de aplicações de realidade aumentada sem a necessidade de programação extensiva em reconhecimento de padrões.

Na indústria, essa tecnologia pode ser aplicada para criar instrumentos virtuais prontos para serem usados em telas e óculos de realidade aumentada. Isso permite que o operador ou o mantenedor trabalhe com as mãos livres, e observe os dados coletados dos sensores da máquina ao mesmo tempo.

As novas tendências em instrumentação virtual vão além da realidade aumentada, incluindo a integração com a Internet das Coisas e a utilização de Inteligência Artificial (*IA*) para aprimorar os sistemas de controle. Essas inovações estão abrindo novas possibilidades na engenharia moderna, tornando a instrumentação virtual uma ferramenta poderosa e versátil para a indústria, com potencial para transformar práticas de treinamento, manutenção e reparo.

A instrumentação virtual, caracterizada pela simulação de instrumentos de medição e controle através de *software* e *hardware*, representa uma revolução na engenharia moderna. Essa tecnologia não apenas economiza custos, mas também oferece flexibilidade e personalização sem precedentes. A transição dos sistemas centrados em *hardware* para os centrados em *software* abre novas possibilidades.

As tendências futuras, como a integração com a Internet das Coisas e a utilização de Inteligência Artificial (*IA*) e Realidade Aumentada, sinalizam um futuro promissor. A instrumentação virtual é uma ferramenta poderosa e versátil, com potencial para transformar práticas de treinamento, manutenção e reparo na indústria moderna.

2.4 A Importância Dos Aquisitores de Dados Na Indústria Moderna

Para entender sobre a Importância dos Aquisitores de Dados na Indústria Moderna, é importante destacar a revolução que está sendo impulsionada pela Indústria 4.0. Com a adoção dessa nova era industrial, as máquinas de manufatura estão projetadas para serem totalmente interconectadas e monitoradas por sensores, utilizando técnicas avançadas de aprendizado de máquina, como a *Inteligência Artificial (IA)*.

Conforme (GUNAL, 2019, p.8, tradução nossa), essas tecnologias são empregadas para “aumentar a qualidade e diversidade do produto, otimizar processos e diminuir custos com sistemas inteligentes.” A integração dessas tecnologias representa uma transformação significativa na indústria, tornando os aquisitores de dados elementos cruciais na otimização dos processos de manufatura e na redução de custos, redefinindo assim a maneira como a indústria moderna opera e inova.

Para compreender melhor a Importância dos Aquisitores de Dados na Indústria Moderna e sua relevância, é preciso definir o conceito de forma clara e objetiva. A indústria de manufatura tem passado por uma evolução significativa, culminando na Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0. Nesse contexto, os aquisitores surgem como elementos centrais, responsáveis por coletar e processar informações de diversos dispositivos de fábrica.

Conforme (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 275, tradução nossa)

A indústria de manufatura evoluiu gradualmente nas últimas décadas, mantendo o mesmo objetivo de alcançar eficiência na produção. Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de informação e comunicação (TIC) possibilitou muitas tecnologias emergentes para acelerar o desenvolvimento da indústria, iniciando a Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0.

Essa transformação representa uma mudança significativa na maneira como a indústria opera, tornando os (DAQ) fundamentais para a otimização dos processos de manufatura e a eficiência geral dos equipamentos. A integração dos aquisitores de dados com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas, está possibilitando uma visão mais abrangente e precisa dos processos industriais, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e ágil.

Na indústria moderna, os aquisitores de dados têm sido essenciais para a implementação da Indústria 4.0, permitindo a interconexão completa de máquinas e a otimização de processos de manufatura. Com a coleta e análise de dados em tempo real, as fábricas inteligentes estão se tornando mais eficientes e flexíveis, aproveitando tecnologias como Inteligência Artificial (IA) e manutenção preditiva. Além disso, a integração de tecnologias inteligentes, como robôs e máquinas automatizadas movidas por dados, tem sido uma grande vantagem para melhorar a capacidade de produção Toro, Akhtar e Wang (2021).

Contudo, apesar das vantagens dos aquisitores de dados, como a diminuição do tempo de inatividade da máquina e o aumento da produção, há também desafios, como a necessidade de infraestrutura tecnológica avançada e a dependência de algoritmos complexos. No entanto, com o avanço contínuo das *tecnologias de informação e comunicação (TIC)* e a crescente integração de sistemas, é possível superar esses desafios e tornar a aquisição de dados uma ferramenta indispensável para a indústria moderna, contribuindo para a eficiência geral dos equipamentos e a inovação contínua.

Conforme explicado acima, a integração de (*DAQs*) na Indústria 4.0 tem sido fundamental para aumentar a eficiência da produção e melhorar o desempenho geral dos equipamentos. É interessante, aliás, destacar que essa tecnologia permite uma diminuição significativa no tempo de inatividade da máquina e um aumento na produção, beneficiando a economia de recursos e a sustentabilidade.

No entanto, há um fator que se sobrepõe a essas vantagens, que é a complexidade na implementação e a necessidade de profissionais altamente qualificados para gerenciar esses sistemas. Mesmo assim, não parece haver razão para que esses desafios sejam insuperáveis. É sinal de que há, enfim, uma tendência crescente em investir em treinamento e desenvolvimento de habilidades, garantindo que a indústria moderna esteja preparada para aproveitar ao máximo os benefícios dos aquisitores de dados.

Ao analisar as novas tendências e direções futuras da integração de aquisitores de dados na Indústria 4.0, nota-se que essa área está em constante evolução, abrindo caminhos para inovações tecnológicas significativas. “A tendência atual é implementar a computação de borda, onde a aquisição de dados está ocorrendo, permitindo uma análise mais rápida e eficiente” (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 198, tradução nossa).

Além disso, a integração de sistemas inteligentes, como Inteligência Artificial (*IA*) e manufatura aditiva, está transformando a maneira como as fábricas operam, tornando-as mais eficientes e flexíveis. Essa transformação está alinhada com a busca por uma produção mais sustentável e adaptável, permitindo que as indústrias respondam rapidamente às mudanças nas demandas do mercado e às necessidades dos consumidores.

No futuro, é possível que a Indústria 4.0 continue a explorar o potencial dos aquisitores de dados, com foco em sustentabilidade e responsabilidade social. A manutenção preditiva baseada em dados, por exemplo, pode ser a nova tecnologia para melhorar ainda mais o desempenho da máquina e a eficiência geral dos equipamentos Toro, Akhtar e Wang (2021). Essas inovações não apenas otimizam os processos de produção, mas também contribuem para um ambiente de trabalho mais seguro e uma indústria mais responsável em relação ao impacto ambiental.

Em resumo, a integração de aquisitores de dados na Indústria 4.0 é um conceito revolucionário que está transformando a maneira como a indústria de manufatura opera. A

adoção dessa tecnologia permite que as máquinas de manufatura estejam totalmente interconectadas, monitoradas por sensores, e otimizadas via técnicas avançadas de aprendizado de máquina.

Diante do exposto, destaca-se que a Indústria 4.0 está em uma trajetória de crescimento acelerado, com inovações tecnológicas que estão mudando como as fábricas operam. No entanto, é importante reconhecer que, apesar dos benefícios significativos, ainda existem desafios a serem superados, como a necessidade de infraestrutura adequada e a adaptação às mudanças tecnológicas.

Em suma, a integração de aquisitores de dados na indústria moderna é uma ferramenta valiosa para aumentar a eficiência e a flexibilidade da produção, mas é preciso continuar aprimorando e aperfeiçoando essa tecnologia para garantir que ela cumpra seu papel de forma eficiente e responsável.

2.4.1 A Era Dos Dados: Coleta e Análise

Para entender sobre a era dos dados, especialmente no contexto da coleta e análise na indústria moderna, é importante destacar a evolução das técnicas e tecnologias. Conforme (MOHANTY, 2014, p. 35, tradução nossa), “a aquisição de dados auxiliada por computador e o condicionamento de sinal tornaram-se fundamentais na monitorização da condição das máquinas”. Essas práticas são vitais para a manutenção preventiva e preditiva, permitindo uma detecção precoce de falhas e otimizando a eficiência operacional.

Para compreender melhor o que é a coleta e análise de dados no contexto de industrial, é preciso definir o conceito de forma clara e objetiva. Segundo Mohanty (2014), a coleta de dados é um processo crítico em que os sinais de máquinas, como vibração, temperatura, condição do óleo lubrificante e quantidade de corrente do motor, são adquiridos através de transdutores e convertidos em dados digitais por meio de conversores analógico-digital.

Esses dados são então analisados em computadores, permitindo o monitoramento e diagnóstico de condições de máquinas. A importância dessa modalidade de coleta e análise de dados reside em sua capacidade de fornecer informações precisas e em tempo real sobre o estado das máquinas, facilitando a manutenção e otimização dos processos industriais.

A evolução da tecnologia de aquisição de dados tem sido notável nos últimos anos. “A aquisição de dados tornou-se cada vez mais portátil e eficiente, com dispositivos capazes de transmitir dados digitalmente através de redes sem fio, permitindo o monitoramento remoto de condições de máquinas até mesmo em voo de aeronaves” (MOHANTY, 2014, p. 74, tradução nossa).

As práticas atuais de coleta e análise de dados na indústria têm mostrado avanços significativos. A exemplo, grandes inovações como, a transmissão de dados digitais através

de redes sem fio. Que tem permitido uma colaboração mais eficaz entre máquinas e a análise final dos dados coletado. Essa prática inclui até mesmo a transmissão de dados de aeronaves em voo para grupos de manutenção em terra, que monitoram as condições de saúde do motor em tempo real através de sistemas de comunicação baseados em satélite.

Contudo, apesar das vantagens dos Aquisitores de dados modernos, como a portabilidade e eficiência, ainda existem desafios a serem superados. A necessidade de processamento adicional do sinal e a compatibilidade do *hardware* com o sistema de computador são questões que precisam ser abordadas.

No entanto, com o desenvolvimento contínuo em transdutores, instrumentação, *software* de análise de sinal e sistemas de tomada de decisão, a monitorização da condição geral da máquina, via medições tornou-se a norma em muitas máquinas em todo o mundo, reforçando a importância dessa modalidade na otimização dos processos industriais.

Ao analisar os benefícios e desafios da aquisição e análise de dados na indústria moderna, verifica-se que essa prática tem transformado a maneira como as empresas monitoram e otimizam suas operações. Segundo [Mohanty \(2014\)](#) a transmissão de dados sem fio, a portabilidade e eficiência dos dispositivos de aquisição de dados (*DAQ*), são algumas das vantagens que têm permitido uma colaboração mais eficaz entre máquinas e a análise final dos dados coletados.

É interessante, aliás, observar como essas inovações têm facilitado a manutenção preventiva e preditiva, permitindo a detecção precoce de falhas e otimizando a eficiência operacional. Mesmo assim, não parece haver razão para ignorar os desafios associados a essa prática. Variáveis como frequência de amostragem, tamanho do *bit*, técnica de condicionamento de sinal, e a compatibilidade de *hardware* e sensores são questões que precisam ser abordadas com cuidado. É sinal de que há, enfim, uma necessidade contínua de desenvolvimento e inovação na área para superar esses obstáculos.

Conforme explicado acima, a aquisição de dados na indústria não é apenas uma técnica emergente, mas uma prática consolidada que se tornou a norma em muitas indústrias em todo o mundo. A complexidade e o potencial dessa prática refletem a importância de considerar cuidadosamente vários fatores técnicos e tecnológicos. A integração bem-sucedida desses elementos pode levar a uma otimização significativa dos processos industriais, reforçando a importância dessa modalidade na era moderna dos dados.

Ao analisar as novas tendências e direções futuras da aquisição e análise de dados na indústria, conclui-se que essa área está evoluindo rapidamente, com o surgimento de inovações tecnológicas e metodologias que estão mudando como as indústrias operam e tomam decisões.

Uma das tendências emergentes é a utilização da Inteligência Artificial (*IA*) e *Machine Learning* na análise de dados. Essas tecnologias permitem que as máquinas

aprendam com os dados coletados e façam previsões precisas sobre o desempenho futuro das máquinas. “A aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina na análise de dados industriais está abrindo novas possibilidades para a detecção de falhas e a otimização de processos” (MOHANTY, 2014, p. 201, tradução nossa).

Além disso, a Internet das Coisas está sendo amplamente adotada na indústria, permitindo uma conexão mais integrada entre dispositivos e sistemas. Essa integração facilita a coleta e análise de dados em tempo real, proporcionando uma visão mais clara e abrangente das operações industriais. A *IoT* também está possibilitando o monitoramento remoto de máquinas e equipamentos, o que pode levar a uma manutenção mais eficiente e a uma redução nos custos operacionais.

A implementação da Indústria 4.0 tem sido um fator-chave na transformação da manufatura. Segundo Toro, Akhtar e Wang (2021), as inovações tecnológicas, como a rastreabilidade de ativos em tempo real, plataformas unificadas de nuvem para *Industrial Internet Of Things (IIoT)*, aprendizado de máquina e simulação, estão moldando o futuro da indústria.

No futuro, é possível que a aquisição e análise de dados na indústria se tornem ainda mais avançadas e personalizadas. A utilização de tecnologias como realidade virtual e aumentada, análise preditiva, e a integração de *Big Data* com sistemas de tomada de decisão estão no horizonte. Essas inovações têm o potencial de transformar a maneira como as indústrias monitoram, analisam e otimizam suas operações, levando a uma maior eficiência, sustentabilidade e competitividade.

É possível perceber que a área está evoluindo rapidamente, com o surgimento de inovações tecnológicas como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, e a implementação da Indústria 4.0. Essas inovações estão transformando a maneira como as indústrias monitoram, analisam e otimizam suas operações, levando a uma maior eficiência, sustentabilidade e competitividade.

No entanto, é importante reconhecer que a aquisição e análise de dados na indústria não são soluções mágicas para todos os desafios operacionais. É necessário um esforço contínuo de engenheiros, cientistas de dados, e líderes industriais para garantir que essas práticas sejam utilizadas de forma efetiva e responsável.

Diante do exposto, nota-se que a aquisição e análise de dados na indústria moderna são práticas essenciais com o potencial de transformar significativamente a maneira como as empresas operam. A contínua inovação e desenvolvimento nessas áreas são vitais para o sucesso contínuo e a sustentabilidade da indústria no cenário global.

2.4.2 Monitoramento de Condições: A Vigilância Contínua dos Ativos

O monitoramento de condições refere-se ao processo de observação contínua e análise do estado de funcionamento de máquinas e equipamentos industriais. Imagine um médico que verifica regularmente a saúde de um paciente, medindo a pressão arterial, a temperatura e outros sinais vitais. Da mesma forma, o monitoramento de condições envolve o uso de sensores e outras tecnologias para medir variáveis como vibração, temperatura e pressão nas máquinas, permitindo uma detecção precoce de possíveis problemas e evitando falhas inesperadas.

Nesse contexto, os aquisitores de dados desempenham um papel fundamental. Eles atuam como os “olhos e ouvidos” do sistema, coletando informações dos sensores e convertendo-as em dados que podem ser interpretados por computadores. Pense neles como os enfermeiros que coletam informações vitais do paciente e as registram em um prontuário para análise do médico. Esses aquisitores de dados permitem que os engenheiros e técnicos entendam o que está acontecendo dentro das máquinas em tempo real, possibilitando intervenções rápidas e precisas quando algo começa a dar errado.

A Indústria 4.0 trouxe uma revolução na maneira como os ativos industriais são monitorados e mantidos. Sensores são instalados ao redor das máquinas, permitindo a coleta e análise de informações relevantes sobre a condição de saúde da máquina. “Para conhecer a condição da máquina, sensores são instalados ao redor da máquina, de modo que informações relevantes sobre a condição de saúde da máquina possam ser coletadas e analisadas” (MOHANTY, 2014, p. 23, tradução nossa).

Para compreender melhor o que é o monitoramento de condições e sua importância, é preciso definir o conceito de forma clara e objetiva. O monitoramento de condições refere-se ao processo de observação contínua do estado operacional de máquinas e equipamentos. Segundo Osarenren (2015), o monitoramento de condições (CM) é uma abordagem que utiliza medidas selecionadas para detectar mudanças nas condições operacionais, fornecendo um aviso prévio de possíveis falhas. Essa abordagem tem se tornado cada vez mais vital na indústria moderna, especialmente com o advento da Indústria 4.0.

O monitoramento de máquinas é o processo de diagnóstico das condições das máquinas usando vários sensores, o que pode levar à previsão de falhas. A área de monitoramento de máquinas está continuamente evoluindo e se adaptando às necessidades de vários setores industriais. Durante as últimas duas décadas, com o avanço nos dispositivos semicondutores, tecnologias de sensores, sistemas embarcados, automação de máquinas e telecomunicações, a demanda e o interesse pelo monitoramento de máquinas aumentaram muitas vezes. (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 132, tradução nossa).

Essa evolução no monitoramento de máquinas, alimentada por avanços tecnológicos, reflete a dinâmica e a adaptabilidade da indústria moderna. A Indústria 4.0, em particular,

está na vanguarda dessa transformação, buscando soluções inovadoras que vão além das práticas tradicionais.

A Indústria 4.0 está buscando soluções inteligentes de monitoramento de máquinas que integram coleta de dados, gerenciamento de dados e análise para construir um modelo preditivo para monitoramento contínuo em tempo real de máquinas. Além disso, um grande impulso é visto no campo do sensoriamento remoto sem fio para monitoramento de máquinas ou equipamentos em vez de soluções tradicionais de detecção com fio. (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 132, tradução nossa).

O monitoramento de máquinas e equipamentos industriais tem evoluído com o uso de sensores e técnicas de análise de dados. Essas tecnologias permitem uma observação contínua do estado de funcionamento, otimizando os processos de fabricação e reduzindo custos.

“A manutenção proativa, juntamente com procedimentos operacionais decisivos, é necessária para gerenciar as severidades de falha e obter um bom retorno do investimento (ROI)” (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 159, tradução nossa). Essa abordagem contribui para a eficiência operacional e a sustentabilidade da indústria, mesmo em contextos menos modernizados.

Por outro lado, a confiabilidade dos equipamentos de fabricação continua sendo um desafio crítico. A detecção precoce de falhas e a previsão da Vida Útil Restante (RUL) são essenciais, e “nos últimos anos, houve um aumento na demanda por detecção precoce de falhas e uma forte necessidade de previsão da Vida Útil Restante (RUL)” (TORO; AKHTAR; WANG, 2021, p. 219, tradução nossa).

Evitar reparos caros e configurar parâmetros de execução em tempo real resulta em melhores resultados de qualidade. Contudo, a implementação dessas tecnologias requer investimentos em infraestrutura e treinamento.

Além disso, é necessária uma abordagem cuidadosa para garantir a segurança e a conformidade com as regulamentações. Esses fatores são fundamentais para o sucesso da integração dessas tecnologias na indústria moderna.

Ao analisar os benefícios e desafios do monitoramento de condições em máquinas e equipamentos industriais, destaca-se que essa prática é fundamental para a eficiência e a segurança nas operações industriais. Conforme explicado acima, o uso de sensores e aquisitores de dados permite uma detecção precoce de possíveis problemas, evitando falhas inesperadas e otimizando os processos de fabricação.

É interessante, aliás, observar como essa abordagem contribui para a sustentabilidade da indústria, reduzindo o desperdício de recursos e aumentando a vida útil dos equipamentos. Mesmo assim, não parece haver razão para ignorar os desafios associados a essa prática.

A implementação dessas tecnologias requer investimentos significativos em infraestrutura e treinamento, e uma abordagem cuidadosa é necessária para garantir a segurança e a conformidade com as regulamentações. É sinal de que há, enfim, uma necessidade contínua de equilibrar os benefícios potenciais com os desafios inerentes, especialmente em contextos industriais menos modernizados.

A era da Indústria 4.0 está trazendo transformações notáveis no monitoramento de condições de máquinas e equipamentos industriais. Essas mudanças são evidentes em várias frentes, incluindo:

- **Inovações Tecnológicas:** A integração de *Machine Learning*, Inteligência Artificial, monitoramento *online* e *edge computing* está revolucionando a maneira como as máquinas são monitoradas;
- **Mudanças Sociais e Culturais:** A adoção dessas tecnologias está promovendo uma cultura de manutenção proativa, com foco na detecção precoce de falhas e na previsão da Vida Útil Restante (RUL);
- **Sustentabilidade e Responsabilidade Social:** A abordagem moderna de monitoramento de condições está contribuindo para a eficiência operacional e a sustentabilidade da indústria;
- **Desafios e Considerações Futuras:** A implementação dessas tecnologias traz desafios, incluindo investimentos em infraestrutura e treinamento, e a necessidade de garantir a segurança e a conformidade com as regulamentações.

Em resumo, o monitoramento de condições é um processo vital que envolve a observação contínua do estado operacional de máquinas e equipamentos industriais. Através da integração de sensores, (*DAQ*)s e tecnologias avançadas, essa prática permite a detecção precoce de possíveis falhas, otimizando os processos de fabricação e contribuindo para a eficiência e sustentabilidade da indústria. A era da Indústria 4.0, com suas inovações tecnológicas, mudanças culturais e desafios associados, está moldando o futuro do monitoramento de condições, tornando-o um campo em constante evolução.

No entanto, é importante reconhecer que a implementação dessas tecnologias requer investimentos significativos em infraestrutura e treinamento. Além de uma abordagem cuidadosa para garantir a segurança e a conformidade com as regulamentações, é preciso equilibrar os benefícios potenciais com os desafios inerentes, especialmente em contextos industriais menos modernizados.

Em suma, o monitoramento de condições é uma ferramenta indispensável para a indústria moderna e um campo promissor que oferece grandes oportunidades para a

otimização e inovação. No entanto, requer uma abordagem ponderada e estratégica para alcançar seu pleno potencial.

2.5 Dados de Operação Para Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva vai além do simples monitoramento de equipamentos; ela representa uma filosofia que busca otimizar a operação total da planta, utilizando diversas ferramentas e técnicas para entender a condição real de operação dos sistemas críticos. Conforme Mobley (2002), a manutenção preditiva envolve o uso de ferramentas econômicas, como monitoramento de vibração e termografia, para agendar atividades de manutenção conforme necessário, melhorando assim a produtividade e a qualidade do produto.

É fundamental ressaltar a importância do sensoriamento e dos *(DAQ)s* nesse processo, pois eles fornecem informações precisas e em tempo real que são úteis para a tomada de decisões informadas e a implementação eficaz da manutenção preditiva. Para compreender melhor o que é Manutenção Preditiva e sua importância, é preciso definir o conceito de forma clara e objetiva.

“A manutenção preditiva é uma filosofia ou atitude que, simplesmente falando, utiliza a condição real de operação dos equipamentos e sistemas da planta para otimizar a operação total da planta.”(MOBLEY, 2002, p. 5, tradução nossa). Essa abordagem faz uso de Sensores, Transdutores e sistemas de *(DAQ)* para coletar informações precisas e em tempo real sobre o estado dos equipamentos.

Essa coleta de dados, aliada à análise através de técnicas de *machine learning*, torna a Manutenção Preditiva uma opção atraente para empresas que buscam otimizar a operação, reduzir custos e melhorar a qualidade do produto na era da Indústria 4.0. “No cenário atual, a manutenção preditiva tem se tornado uma estratégia essencial em diversos setores industriais, incluindo segurança cibernética, gerenciamento de infraestrutura, fabricação de energia, plantas de energia, sistemas marítimos, instalações de exploração e cadeias de produção”(LUGHOFER; SAYED-MOUCHAWEH, 2019, p. 13, tradução nossa).

Apesar de alguns desafios na aplicação prática, a integração de tecnologias como Internet das Coisas, Big Data, Sensores sem fio e sistemas de *(DAQ)* está facilitando a implementação eficaz da manutenção preditiva nas indústrias brasileiras. “Embora muita pesquisa tenha sido feita sobre este tópico na última década, ainda não está disponível um conceito genericamente aplicável. A necessidade de uma melhor previsão de falhas e a realização de manutenção em tempo hábil são aspectos críticos que continuam sendo aprimorados”(LUGHOFER; SAYED-MOUCHAWEH, 2019, p. 316, tradução nossa).

Ao analisar os benefícios e desafios da Manutenção Preditiva, pode-se perceber que essa abordagem oferece inúmeras vantagens para as indústrias, como a otimização da

operação total da planta, a redução de custos, e a melhoria da qualidade do produto.

No entanto, a modalidade de manutenção também apresenta desafios, como a necessidade de investimento em tecnologia e treinamento, a complexidade na análise de dados, e a possibilidade de resistência à mudança por parte de alguns setores da indústria. Conforme explicado acima, é importante que as empresas tenham uma postura proativa e responsável em relação à implementação da Manutenção Preditiva, buscando compreender as necessidades específicas de seus sistemas e investindo em ferramentas e técnicas adequadas.

É interessante, aliás, observar que a Manutenção Preditiva não apenas contribui para a eficiência operacional, mas também para a sustentabilidade, ao permitir o uso mais racional de recursos e a redução de desperdícios. Mesmo assim, não parece haver razão para que essa abordagem seja vista como uma solução única e definitiva. É sinal de que há, enfim, uma necessidade contínua de avaliação e adaptação às mudanças tecnológicas e às demandas específicas de cada indústria.

Em resumo, a manutenção preditiva é uma abordagem inovadora que vai além do simples monitoramento de equipamentos, representando uma filosofia que busca otimizar a operação total da planta industrial. Ao longo deste capítulo, verificou-se a definição, os benefícios, os desafios e as tendências atuais da manutenção preditiva, destacando a importância de tecnologias como Internet das Coisas, *Bi Data*, Sensores sem fio e sistemas de *(DAQ)*.

Diante do exposto, é plausível concluir que a manutenção preditiva é uma estratégia essencial no cenário industrial contemporâneo, oferecendo inúmeras vantagens como a otimização da operação, redução de custos e melhoria da qualidade do produto. No entanto, também é importante reconhecer os desafios associados, como a necessidade de investimento em tecnologia e treinamento, e a complexidade na análise de dados.

A abordagem contribui não apenas para a eficiência operacional, mas também para a sustentabilidade, permitindo o uso mais racional de recursos e a redução de desperdícios. Em suma, a manutenção preditiva é uma ferramenta valiosa para a indústria moderna, mas é preciso continuar aprimorando e aperfeiçoando a modalidade para garantir que ela cumpra seu papel de forma eficiente e eficaz.

2.5.1 Análise e Modelagem de Dados Para Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma abordagem inovadora que utiliza algoritmos de aprendizado de máquina e outras técnicas avançadas para prever falhas em equipamentos e sistemas industriais, permitindo ações corretivas antes que ocorram problemas. Para entender sobre a manutenção preditiva em sistemas dinâmicos, é importante destacar que essa estratégia vai além do simples monitoramento, envolvendo uma série de módulos

metodológicos como aquisição de dados, construção de indicadores de saúde, detecção de anomalias, prognósticos e ações corretivas.

Conforme [Lughofer e Sayed-Mouchaweh \(2019, p. 19, tradução nossa\)](#)

A manutenção preditiva é baseada principalmente nos seguintes módulos metodológicos: aquisição e pré-processamento de dados, construção de indicadores de saúde, detecção (precoce) e localização de anomalias, previsão e prognósticos do estado de saúde do sistema/máquina ou problemas/desacelerações potencialmente emergentes.

Essa abordagem tem se mostrado uma alternativa eficiente para otimizar a operação total da planta industrial, reduzir custos e melhorar a qualidade do produto, tornando-se uma ferramenta valiosa na era da Indústria 4.0.

Para compreender melhor o que são os dados na manutenção preditiva e sua importância, é preciso definir o conceito de forma clara e objetiva. Os dados na manutenção preditiva são informações coletadas de equipamentos e sistemas industriais, que podem incluir variáveis como temperatura, pressão, vibração, entre outros. Esses dados são captados via sensores e transdutores, e são essenciais para a análise de condições e detecção de falhas.

Segundo ([ZENG et al., 2022, p. 4, tradução nossa](#)), "os dados de treinamento são coletados de sensores instalados em sistemas. Esses dados são então pré-processados para remover ruídos e são normalizados para facilitar a comparação". O tratamento desses dados envolve técnicas de limpeza, transformação e modelagem, preparando-os para análise via algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial.

A análise desses dados fornece insights valiosos sobre o estado de saúde dos equipamentos, permitindo a detecção precoce de anomalias e a previsão de falhas potenciais. Isso possibilita a tomada de ações corretivas antes que ocorram problemas, otimizando a operação total da planta industrial e reduzindo custos.

A importância dos dados na manutenção preditiva reside na sua capacidade de fornecer uma visão em tempo real do desempenho dos equipamentos, contribuindo para uma manutenção mais eficiente e eficaz. A coleta, tratamento e análise de dados são, portanto, componentes cruciais na implementação bem-sucedida da manutenção preditiva, tornando-se uma ferramenta indispensável na era da Indústria 4.0.

A construção de algoritmos para análise de dados na manutenção preditiva é um processo complexo e multifacetado que envolve várias etapas. Esses algoritmos são projetados para processar, analisar e interpretar grandes volumes de dados coletados de equipamentos e sistemas industriais, fornecendo percepções valiosas para a detecção de falhas e a tomada de decisões informadas.

- **Coleta de Dados:** A primeira etapa envolve a coleta de dados brutos de sensores e transdutores instalados nos equipamentos. Esses dados podem incluir informações como temperatura, pressão, vibração, entre outros;
- **Pré-processamento de Dados:** Os dados brutos são então pré-processados para remover ruídos e normalizar as informações. Segundo Wei et al. (2018), essa etapa é essencial para facilitar a comparação e análise posterior dos dados;
- **Seleção de Características:** Nesta etapa, as características relevantes são selecionadas para análise. Isso pode envolver a identificação de padrões específicos ou tendências que são indicativos de falhas potenciais;
- **Modelagem de Algoritmos:** A modelagem de algoritmos envolve a escolha e treinamento de modelos de aprendizado de máquina ou inteligência artificial adequados para a análise dos dados coletados. Isso pode incluir algoritmos de classificação, regressão, agrupamento, entre outros;
- **Validação e Teste:** Os algoritmos são então validados e testados usando conjuntos de dados separados para garantir que eles sejam capazes de prever falhas com precisão e confiabilidade;
- **Implementação e Monitoramento:** Finalmente, os algoritmos são implementados em sistemas de monitoramento em tempo real, onde continuamente analisam os dados e fornecem alertas ou *insights* para a equipe de manutenção.

Os benefícios da adoção de algoritmos para análise de dados de máquina incluem a precisão na detecção de falhas, que contribui para a prevenção de paradas inesperadas e prolonga a vida útil dos equipamentos. A personalização dos algoritmos de aprendizado de máquina permite soluções flexíveis e adaptadas às necessidades específicas de diferentes equipamentos e indústrias.

A análise de dados possibilita a realização de manutenções apenas quando necessário, otimizando o uso de recursos e reduzindo custos. Além disso, a modelagem de dados fornece insights valiosos sobre o desempenho dos equipamentos, permitindo a tomada de decisões informadas e estratégicas.

No entanto, os desafios também são consideráveis. A eficácia da análise depende da qualidade dos dados coletados, e dados imprecisos ou incompletos podem levar a conclusões errôneas.

Um dos desafios significativos na implementação de métodos de detecção e diagnóstico de falhas (FDD) é a falta de sensores adequados, dados normais e defeituosos, e parâmetros físicos. Esses fatores dificultam o desenvolvimento de modelos físicos precisos e

confiáveis. A incerteza, referindo-se a erros de medição e conhecimento impreciso, também é um desafio que precisa ser abordado [Zeng et al. \(2022\)](#).

No contexto industrial, a coleta e análise de grandes volumes de dados através de sensores podem ser usadas para monitorar o desempenho do equipamento e prever falhas. A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina, como Máquinas de Vetores de Suporte (*SVM*) e Redes Neurais Artificiais (*ANN*), permite a extração automática de padrões e a análise de dados sem a necessidade de conhecimento prévio extenso.

A tendência do *Edge Computing*, é relevante na manutenção industrial. O processamento de dados mais próximo da fonte reduz a latência e permite respostas mais rápidas a falhas ou anomalias. Essa abordagem é complementada pela Internet das Coisas, que facilita a coleta de dados e a implementação de soluções de IA para manutenção preditiva e preventiva.

Em conclusão, a era da Indústria 4.0 exige uma abordagem mais sofisticada e tecnologicamente avançada para a manutenção industrial. As tendências emergentes e as direções futuras discutidas neste capítulo ilustram um caminho promissor para a manutenção preditiva, tornando-se uma ferramenta indispensável no ambiente industrial moderno.

A combinação de métodos de aquisição de dados, algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas avançadas de análise de dados representa uma mudança paradigmática que está definindo o futuro da manutenção industrial, com potencial para transformar não apenas a eficiência operacional, mas também a qualidade e a sustentabilidade do setor.

2.5.2 Implementação De Sistemas de Manutenção Preditiva

A implementação de sistemas de manutenção preditiva é uma das etapas na otimização da eficiência e eficácia das operações industriais modernas. Com o avanço das tecnologias e a crescente complexidade dos sistemas industriais, a manutenção preditiva tornou-se uma abordagem indispensável para garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Como afirmado por [Lughofer e Sayed-Mouchaweh \(2019, p. 317, tradução nossa\)](#), “A premissa principal da manutenção preditiva é que as decisões são tomadas com base em uma avaliação precisa da condição atual do sistema e em um prognóstico detalhado da vida útil restante.”

Neste contexto, a implementação bem-sucedida de sistemas de manutenção preditiva vai além da simples previsão de falhas. Requer uma compreensão profunda dos processos industriais, a integração de tecnologias avançadas e, crucialmente, a utilização eficaz de aquisitores de dados. Estes dispositivos são fundamentais na coleta de informações precisas e em tempo real, essenciais para a análise e tomada de decisões informadas.

A importância dos aquisitores de dados na manutenção preditiva não pode ser

subestimada. Eles fornecem a base para a análise de condições, permitindo que as organizações industriais monitorem o desempenho dos equipamentos, detectem anomalias precocemente e programem manutenções de forma proativa, antes que falhas reais ocorram. Isso não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a redução de custos e a sustentabilidade dos processos industriais.

A implementação de sistemas de manutenção preditiva envolve desafios importantes. Exige a combinação de conhecimento técnico, tecnologias inovadoras e uma estratégia bem planejada. Nesse contexto, este capítulo examina esses elementos, oferecendo uma visão geral das práticas, vantagens e desafios associados à implementação de sistemas de manutenção preditiva na indústria contemporânea.

Uma das etapas fundamentais na implementação de sistemas de manutenção preditiva é a seleção e configuração de aquisição de dados. Esses dispositivos são responsáveis por coletar informações precisas e em tempo real dos equipamentos, permitindo uma análise detalhada das condições operacionais. A escolha correta dos aquisição de dados e sua integração com outros sistemas é vital para o sucesso da manutenção preditiva. Neste contexto, "O desafio final no campo da manutenção preditiva é a disponibilidade, acessibilidade e qualidade dos dados." (LUGHOFER; SAYED-MOUCHAWEH, 2019, p. 322, tradução nossa).

Outra etapa crítica é o desenvolvimento de algoritmos de análise que possam interpretar os dados coletados e fornecer insights valiosos sobre o estado dos equipamentos. Isso inclui a aplicação de técnicas avançadas de aprendizado de máquina e inteligência artificial para detectar padrões e tendências que podem indicar uma falha iminente.

A programação de manutenções proativas com base na análise de dados é também uma etapa essencial na implementação de sistemas de manutenção preditiva. Isso permite que as organizações industriais atuem antes que as falhas ocorram, reduzindo o tempo de inatividade e os custos associados.

A importância da implementação bem-sucedida de sistemas de manutenção preditiva não pode ser subestimada. Ela não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a redução de custos e a sustentabilidade dos processos industriais. A abordagem integrada e a utilização eficaz de tecnologias avançadas são fundamentais para alcançar esses objetivos.

Na indústria moderna, a manutenção preditiva tem sido aplicada através de diversas técnicas e métodos. Por exemplo, técnicas de monitoramento de saúde estrutural baseadas em vibração podem auxiliar na detecção de danos e diagnóstico de sistemas. Além disso, ferramentas de suporte à decisão têm sido desenvolvidas para auxiliar os usuários na seleção da abordagem mais adequada.

Contudo, a implementação de sistemas de manutenção preditiva não é uma tarefa

trivial. O desafio é detectar ou prever uma falha iminente a tempo, de modo que o reparo ou a substituição possam ser feitos antes que o sistema realmente falhe. Isso é frequentemente alcançado através do monitoramento contínuo ou inspeções periódicas, mas essa abordagem diagnóstica não é ótima do ponto de vista do planejamento. “O desafio de conectar a otimização da manutenção no nível do sistema às metodologias prognósticas no nível do componente permanece um obstáculo significativo, na prática, industrial” (LUGHOFFER; SAYED-MOUCHAWEH, 2019, p. 3, tradução nossa).

Essas práticas atuais ilustram a complexidade e a necessidade de uma abordagem integrada na implementação de sistemas de manutenção preditiva. A combinação de conhecimento técnico, tecnologias inovadoras e estratégias bem planejadas é fundamental para superar esses desafios e aproveitar as vantagens da manutenção preditiva na indústria contemporânea.

Os benefícios da manutenção preditiva na indústria são inegáveis, oferecendo uma abordagem proativa que pode prevenir falhas antes que elas ocorram. Conforme explicado acima, a integração de tecnologias avançadas e a aplicação de métodos inovadores têm sido fundamentais para o sucesso dessa abordagem.

No entanto, os desafios também são significativos, especialmente quando se trata da disponibilidade, acessibilidade e qualidade dos dados necessários para análises precisas. A pesquisa sobre detecção e diagnóstico de falhas em sistemas de energia de edifícios realizada por Zhao et al. (2019), por exemplo, revela a necessidade de uma grande quantidade de dados de treinamento e a dependência de conhecimento especializado, além de problemas de confiabilidade e robustez.

Esses desafios refletem a complexidade da implementação de sistemas de manutenção preditiva e destacam a importância de uma abordagem bem planejada e integrada para superar essas barreiras e maximizar os benefícios da manutenção preditiva na indústria moderna. As novas tendências e direções futuras na implementação de sistemas de manutenção preditiva estão alinhadas com uma abordagem mais integrada e estratégica.

Uma tendência significativa é a integração da manutenção preditiva com a manutenção preventiva, marcada por uma transição difusa onde “a manutenção preditiva não é mais vista isoladamente, mas muitas vezes integrada à manutenção preventiva. Essa integração é marcada por uma transição difusa onde ferramentas preditivas são usadas para diagnóstico, otimização e controle para reequilibrar o processo, contribuindo assim para medidas preventivas” (LUGHOFFER; SAYED-MOUCHAWEH, 2019, p. 16, tradução nossa).

Além disso, “Outra tendência emergente na manutenção preditiva é o foco na identificação e previsão de tendências de produção para inteligência de negócios no chão de fábrica. Essa tendência enfatiza a importância de entender e prever tendências de produção, o que é essencial para a manutenção preditiva eficaz” (LUGHOFFER; SAYED-MOUCHAWEH,

2019, p. 35, tradução nossa). Essas tendências emergentes demonstram a evolução contínua da manutenção preditiva, posicionando-a como uma ferramenta vital na otimização da produção industrial moderna.

A implementação de sistemas de manutenção preditiva na indústria moderna representa um marco significativo na busca pela eficiência, confiabilidade e sustentabilidade. Através da integração de tecnologias avançadas, aquisição precisa de dados e aplicação de métodos inovadores, a manutenção preditiva transcende a mera previsão de falhas, tornando-se uma ferramenta estratégica para a otimização das operações industriais.

As tendências emergentes, como a convergência com a manutenção preventiva e o foco na identificação de tendências de produção, refletem uma abordagem mais holística e alinhada com os objetivos de negócios mais amplos. No entanto, os desafios associados à disponibilidade e qualidade dos dados, bem como a complexidade da integração de diferentes sistemas, exigem uma abordagem bem planejada e coordenada. Em conclusão, a manutenção preditiva não é apenas uma técnica, mas uma filosofia de gestão que, quando implementada com sucesso, pode transformar a maneira como as organizações industriais operam, contribuindo para um futuro mais eficiente e sustentável.

3 Considerações finais

O desenvolvimento deste estudo permitiu uma análise profunda da instrumentação e aquisição de dados na indústria moderna, especialmente no contexto da Indústria 4.0. Foi possível avaliar a importância dos sensores, transdutores, *hardware* e *software* na coleta e análise de informações. A pesquisa também proporcionou uma compreensão das técnicas de manutenção preditiva e sua aplicação na otimização da eficiência industrial.

Os resultados do estudo destacam a evolução da instrumentação, desde os primeiros dispositivos mecânicos até os sistemas digitais avançados de hoje. A pesquisa também enfatiza o papel fundamental que a instrumentação e a aquisição de dados desempenham na prevenção de falhas e na melhoria da eficiência na indústria moderna. A análise dos dados coletados revela a importância da seleção adequada de sensores, *hardware* e técnicas de manutenção preditiva.

Os resultados obtidos confirmam a relevância da instrumentação e aquisição de dados na era atual. A pesquisa demonstra como esses componentes são fundamentais para a otimização de processos industriais, redução de custos e garantia da qualidade dos produtos. A análise também destaca a necessidade de aprimoramento contínuo e inovação nessas áreas para atender às demandas crescentes da indústria moderna.

Embora o estudo tenha sido capaz de elucidar diversos pontos que estão dispersos na literatura, há espaço para melhorias e expansão em áreas como instrumentação virtual e implementação de sistemas de manutenção preditiva. Futuras pesquisas podem explorar novas tecnologias e métodos, bem como a aplicação desses conceitos em diferentes setores industriais. A colaboração entre academia e indústria também pode enriquecer a pesquisa, já que os custos de implantação e testes de sistema de aquisição de dados computadorizados são altos, esta parceria poderá fornecer percepções práticas e aplicáveis.

A realização de um estudo dessa magnitude é mais do que um exercício acadêmico; representa uma jornada de descoberta e crescimento tanto pessoal quanto profissional. Aprofundar-se na complexidade da instrumentação e aquisição de dados não apenas expande o conhecimento técnico, mas também aprimora habilidades analíticas e de pensamento crítico.

Tal trabalho permite avaliar e entender os desafios e oportunidades presentes na indústria moderna, fornecendo uma perspectiva única que pode ser aplicada em futuras carreiras. A pesquisa e análise realizadas nesse contexto reforçam a paixão pela inovação tecnológica e pela busca contínua de excelência.

A contribuição de um estudo como este vai além das páginas da monografia; tem o

potencial de moldar visões e objetivos, fortalecendo a determinação em ser um agente de mudança na respectiva área de atuação. A experiência e as habilidades adquiridas durante tal projeto são ativos inestimáveis com o potencial de influenciar trajetórias profissionais.

Em conclusão, um estudo dessa natureza não é apenas uma contribuição para o campo da instrumentação e aquisição de dados, mas também um marco importante em jornadas pessoais e profissionais. Ele reafirma a convicção na importância da pesquisa e inovação e prepara para enfrentar futuros desafios com confiança e competência.

Referências

- AMOS, Sebastian BSc (Hons) CEng MInstMC. *A Brief History & Future of Process Instrumentation*. Accessed: August 21, 2023. 2017. Disponível em: <https://www.processindustryinformer.com/brief-history-future-process-instrumentation/>. Citado 4 vezes nas páginas 16–18.
- BOLTON, William. *Instrumentação & Controle*. São Paulo – SP: Hemus, 2005. P. 197. Citado 1 vez na página 15.
- BRITO, Fábio. *Sensores e atuadores*. 1^a. São Paulo: Editora Saraiva, 2019. P. 120. E-book. ISBN 9788536531953. Citado 2 vezes nas páginas 20, 21.
- CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. *Elementos de Automação*. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. P. 153. E-book. ISBN 9788536518411. Citado 2 vezes na página 21.
- DI PAOLO EMILIO, Maurizio. *Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design*. Países Baixos: Springer New York, 2013. P. 135. Citado 3 vezes nas páginas 26, 29.
- EREN, Halit. *Electronic Portable Instruments: Design and Applications*. Reino Unido: CRC Press, 2003. P. 424. Citado 1 vez na página 25.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. *Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises*. Brasil: Editora Érica, 2009. P. 280. Citado 2 vezes na página 14.
- FRANCHI, Claiton Moro. *Instrumentação de Processos Industriais: Princípios e aplicações*. Brasil: Editora Érica, 2014. P. 336. Citado 1 vez na página 14.
- FUJISAWA, Cassio H.; SARAIVA, Eduardo S.; MENEZES, Ana C. A. et al. *Instrumentação e Automação Industrial*. Porto Alegre: Grupo A, 2022. P. 176. Citado 1 vez na página 14.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Citado 3 vezes na página 12.
- GUNAL, Murat M. (Ed.). *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future*. Alemanha: Springer International Publishing, 2019. P. 288. Citado 1 vez na página 36.
- KARLSSON, Örn Arnar. *Design and implementation of a data acquisition system with filter quality evaluation: Design och implementering av ett datainsamlingsystem med filterkvalitet utvärdering*. 2019. F. xiii, 47. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – School of Electrical Engineering e Computer Science (EECS), Computer Science, Communication Systems, CoS (CCS), KTH. Citado 3 vezes na página 19.
- KUTZ, Myer (Ed.). *Handbook of Measurement in Science and Engineering, Volume 3*. Reino Unido: Wiley, 2016. P. 832. Citado 1 vez na página 22.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 11, 12.

- LIPTAK, Bela G.; EREN, Halit (Ed.). *Instrument Engineers' Handbook, Volume 3: Process Software and Digital Networks, Fourth Edition*. Ucrânia: CRC Press, 2016. P. 1139. Citado 8 vezes nas páginas 20, 29–33.
- LIU, J.; LI, P. Control and Real-Time Data Acquisition of an Experimental Platform for Stored Grain Aeration Study. *Sensors*, v. 21, n. 5403, 2021. Citado 1 vez na página 29.
- LUGHOFER, E.; SAYED-MOUCHAWEH, M. *Predictive Maintenance in Dynamic Systems: Advanced Methods, Decision Support Tools and Real-World Applications*. Springer International Publishing, 2019. ISBN 9783030056452. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=lfCKDwAAQBAJ>. Citado 8 vezes nas páginas 44, 46, 48–50.
- MIGLIORE, Ernesto Granado; ABAD, Julio Zambrano; PALOMEQUE, Flavio Quizhpi. An approach to develop a LabVIEW based augmented reality application for smartphones. In: IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2016. P. 4970–4975. DOI: [10.1109/IECON.2016.7793848](https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793848). Citado 1 vez na página 35.
- MOBLEY, R. Keith. *An Introduction to Predictive Maintenance*. Países Baixos: Elsevier Science, 2002. P. 437. Citado 2 vezes na página 44.
- MOHANTY, Amiya R. *Machinery Condition Monitoring: Principles and Practices*. Estados Unidos: CRC Press, 2014. P. 282. Citado 6 vezes nas páginas 38–41.
- NATIONAL INSTRUMENTS. *The Complete Guide to Building a Measurement System*. 26 jan. 2021. 2021. Citado 6 vezes nas páginas 22, 28, 31.
- OLANSEN, Jon B.; ROSOW, Eric. *Virtual Bio-Instrumentation: Biomedical, Clinical, and Healthcare Applications in LabVIEW*. Londres, Reino Unido: Pearson Education, 2001. P. 608. E-book. ISBN 9780132441568, 013244156X. Citado 1 vez na página 33.
- OSARENREN, John. *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance of Equipment*. Reino Unido: CRC Press, 2015. P. 527. Citado 1 vez na página 41.
- OZKUL, Tarik. *Data Acquisition and Process Control Using Personal Computers*. Hong Kong: CRC Press, 2017. P. 576. Citado 1 vez na página 26.
- PARK, John; MACKAY, Steve. *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*. Países Baixos: Elsevier Science, 2003. P. 407. Citado 2 vezes na página 27.
- PATEL, Mit P et al. Survey on developing data acquisition system using ZYNQ architecture. In: 2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS). 2017. P. 507–511. DOI: [10.1109/ISS1.2017.8389463](https://doi.org/10.1109/ISS1.2017.8389463). Citado 2 vezes nas páginas 18, 19.
- PINHO, André Gurgel et al. Development of a teaching bench containing multiple sensors and actuators. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, e222101321165, out. 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i13.21165](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21165). Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21165>. Citado 1 vez na página 35.

- RAMPAZZO, Lino. *Metodologia Científica para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação*. 3. ed. São Paulo: Loyola, 2005. Citado 1 vez na página 13.
- SEDHA, R. S. *Electronic Measurements and Instrumentation*. Índia: S CHAND & Company Limited, 2013. P. 536. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 30.
- SHUNMUGALATHA, A.; RADHIKA, A.; MUTHU, V. Umayal. *MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION: Simplified Approach for Engineering Students*. Índia: Rudra Publications, 2021. P. 164. Citado 1 vez na página 25.
- THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. *Sensores industriais: Fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora Érica, 2020. P. 367. Citado 3 vezes nas páginas 19–21.
- TORO, Carlos; AKHTAR, Humza; WANG, Wei (Ed.). *Implementing Industry 4.0: The Model Factory Approach*. Reino Unido: Wiley, 2021. P. 320. Citado 9 vezes nas páginas 36, 37, 40–42.
- WILSON, William C.; ATKINSON, Gary M. *Data Acquisition and Process Control with the M68HC11 Microcontroller*. Estados Unidos: Pearson, 1996. P. 528. Citado 1 vez na página 25.
- YUGUANG, Feng et al. Design and Data Processing Of Virtual Oscilloscope. In: 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. 2007. P. 3-246-3-249. DOI: [10.1109/ICEMI.2007.4350901](https://doi.org/10.1109/ICEMI.2007.4350901). Citado 1 vez na página 27.
- ZENG, Ziyue et al. Accurate prediction of concrete compressive strength based on explainable features using deep learning. *Construction and Building Materials*, v. 329, p. 127082, 2022. ISSN 0950-0618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127082>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822007656>. Citado 2 vezes nas páginas 46, 48.
- ZHAO, Yang et al. Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: Advantages, challenges and the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 109, p. 85–101, 2019. ISSN 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119302333>. Citado 1 vez na página 50.