

JOÃO VITOR RODRIGUES ALBERTO

Sensores e sua importância: descrição e uso na indústria 4.0

JOÃO VITOR RODRIGUES ALBERTO

Sensores e sua importância: descrição e uso na indústria 4.0

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá – SP
2023

A334s	<p>Alberto, João Vitor Rodrigues</p> <p>Sensores e sua importância: descrição e uso na indústria 4.0 / João Vitor Rodrigues Alberto - Guaratinguetá, 2024. 47 f : il. Bibliografia: f. 45-47</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza</p> <p>1. Detectores. 2. Inovações tecnológicas. 3. Automação industrial. 4. Internet das coisas. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 681.586</p>
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595


JOÃO VITOR RODRIGUES ALBERTO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO


Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **TEOFILO MIGUEL DE SOUZA**
Data: 21/12/2023 12:11:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Teófilo Miguel de
Souza
Orientador/UNESP-
FEG



Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva
SampaioUNESP-FEG



Prof. Me. Carlos Augusto Marcondes dos
SantosUNESP-FEG

Dezembro/2023

dedico este trabalho,
de modo especial, à minha família, meu pai João,
minha mãe Solange e meu irmão Gustavo, que
me deram suporte e motivação para o início e
continuidade deste trabalho, bem como para
meus planos de graduação parcial na Alemanha,
experiência rica que trouxe muitos benefícios
para minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e irmãs pelo apoio prestado durante os anos universitários, pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

ao meu orientador, Prof. Teófilo Miguel de Souza, que me apoiou durante a realização do trabalho;

ao coordenador do curso de Engenharia Elétrica, *Prof. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio*, que foi fundamental para a realização do meu intercâmbio para a Alemanha;

ao professor Carlos Augusto, cujas aulas foram importantes em minha formação;

e aos docentes e funcionários da UNESP - Campus de Guaratinguetá pelos serviços, dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“O começo de todas as ciências é o espanto das coisas serem o que são”.

Aristóteles

RESUMO

A rápida evolução da Indústria 4.0 tem transformado radicalmente os ambientes industriais, impulsionando a integração de tecnologias avançadas com o fim de otimizar processos. Neste contexto, os sensores desempenham um papel crucial como o real mecanismo de coleta de dados em tempo real. Este trabalho aborda de maneira abrangente a descrição e o uso de variados tipos de sensores presentes na Indústria 4.0. Inicia-se com uma explanação detalhada sobre 8 tipos de sensores disponíveis - como sensores de pressão, movimento, temperatura, entre outros - destacando suas características. A pesquisa destaca sua capacidade de integração com a Internet das Coisas (IoT) e outros sistemas de automação. Outro ponto de análise é a aplicação dos sensores na manutenção preditiva, onde algoritmos avançados analisam dados para antecipar falhas em equipamentos, reduzindo significativamente as paradas não programadas e aumentando a eficiência operacional.

PALAVRAS-CHAVE: IoT; Sensor; Descrição; Dados; Indústria 4.0; Automação; Segurança;

ABSTRACT

The rapid evolution of Industry 4.0 has radically transformed industrial environments, driving the integration of advanced technologies in order to optimize processes. In this context, sensors play a crucial role as the real mechanism for collecting data in real time. This paper takes a comprehensive look at the description and use of the various types of sensors present in Industry 4.0. It begins with a detailed explanation of 8 types of sensors available - such as temperature, pressure and movement sensors, among others - highlighting their characteristics. The research highlights their ability to integrate with the Internet of Things (IoT) and other automation systems. Another focal point is the application of sensors in predictive maintenance, where advanced algorithms analyze data to anticipate equipment failures, significantly reducing unscheduled downtime and increasing operational efficiency.

KEYWORDS: IoT; Sensor; Description; Data; Industry 4.0; Maintenance; Security;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sensor capacitivo genérico.....	19
Figura 2 – Ilustração da aplicação do sensor capacitivo.....	20
Figura 3 - Aplicação do sensor indutivo como chave de fim de curso.....	21
Figura 4 - Termopar genérico.....	22
Figura 5 - Termistor NTC 20 ohms.....	23
Figura 6 - Termômetro à laser infravermelho.....	24
Figura 7 - Esquema da estrutura de um sensor MEMS.....	26
Figura 8 - Capacitores diferenciais na estrutura de um sensor MEMS.....	27
Figura 9 - Acelerômetro BMA 550 da Bosch Sensortec.....	27
Figura 10 – Potenciômetro genérico.....	29
Figura 11 - Princípio de funcionamento de um sensor ultrassônico.....	30
Figura 12 - Robôs de combate em uma competição.....	30
Figura 13 - Princípio de funcionamento de um flutuador.....	31
Figura 14 - Princípio de funcionamento de um sensor de nível à laser.....	33
Figura 15 - Sensor de pressão piezoelétrico.....	34
Figura 16 - Sensor de movimento PIR.....	35
Figura 17 - Comparativo das Indústrias.....	38
Figura 18 - Prévia da Indústria 4.0.....	39
Figura 19 - Indústria 4.0 no Brasil.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre fábricas tradicionais e fábricas inteligentes.....	40
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT – Internet of Things

IA – Inteligência Artificial

ML - Machine Learning

MA - Manufatura Aditiva

RA - Robótica Avançada

MEMS – Microelectronic Mechanical Systems

NTC – Negative Temperature Coefficient

PTC - Positive Temperature Coefficient

TOF – Time of Flight

PIR – Passive Infrared

LISTA DE SÍMBOLOS

d	Distância
h	Nível
V	Volume
R	Resistência
A	aceleração
T	Temperatura
P	pressão
U	tensão
V	Velocidade
t	Tempo
A	área
C	Capacitância

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	COMPARATIVO ENTRE OS SENTIDOS HUMANOS E UM SENSOR	14
1.2	SENSORES	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.4	A ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	15
2.	ESTUDO TEÓRICO	16
2.1	SENSOR CAPACITIVO (DETECTOR DE PROXIMIDADE DE EFEITO CAPACITIVO)	16
2.1.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	17
2.1.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	17
2.2	SENSOR INDUTIVO	18
2.2.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	18
2.2.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	19
2.3	SENSOR DE TEMPERATURA	19
2.3.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	20
2.3.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	22
2.4	SENSOR DE ACELERAÇÃO	22
2.4.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	23
2.4.1.1	MEMS	23
2.4.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	25
2.5	SENSOR DE POSIÇÃO	26
2.5.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	26
2.5.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	28
2.6	SENSOR DE NÍVEL	29
2.6.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	29
2.6.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	30
2.6.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	30
2.6.4	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	31
2.7	SENSOR DE MOVIMENTO	31
2.7.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	32

2.7.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	32
2.8	SENSOR DE PRESSÃO.....	33
2.8.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	33
2.8.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	33
3.	DISCUSSÃO.....	35
3.1	1ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	35
3.1.1	2ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	35
3.1.2	3ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	35
3.1.3	INDÚSTRIA 4.0 OU 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	36
3.2	FÁBRICAS INTELIGENTES.....	38
3.2.1	DIFERENÇAS ENTRE FÁBRICAS E TRADICIONAIS E FÁBRICAS INTELIGENTES.....	39
3.3	SENSORES NA INDÚSTRIA	39
3.3.1	PRINCIPAIS ÁREAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	40
3.4	TIPOS DE SENSORES MAIS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA 4.0.....	41
3.4.1	TEMPERATURA.....	41
3.4.2	PRESSÃO.....	41
3.4.3	POSIÇÃO.....	42
3.4.4	FORÇA.....	42
3.4.5	VAZÃO OU FLUXO.....	42
4.	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

1.1 COMPARATIVO ENTRE OS SENTIDOS HUMANOS E UM SENSOR

Nós, seres humanos, assim com todos os outros indivíduos do reino Animal, somos dotados de mecanismos psicofisiológicos que nos permitem sentir e processar os estímulos do mundo ao nosso redor, sejam eles aromas, paisagens, ruídos, e assim por diante. Neste sentido, temos os nossos 5 sentidos – visão, olfato, tato, audição e paladar. Sem eles, não seria possível perceber muitas coisas, desde ruídos até toques, o que tornaria nossa experiência na Terra muito mais restrita. Além desses sentidos exteroceptivos, que captam informações advindas do mundo exterior, temos sentidos considerados internos, relativos à propriocepção do indivíduo. Aqui, pode-se citar o pensamento, a noção de espaço, o equilíbrio, a dosagem de força muscular, dentre outros.

Analogamente, a humanidade desenvolveu objetos com características semelhantes, objetos que podem sentir e quantificar variados estímulos, tanto do mundo externo como de si próprios, sendo capazes de transmitir tais informações a nós e assim contribuindo para a melhoria de uma imensa gama de sistemas - logísticos, industriais, operacionais, etc. Fala-se dos dispositivos comumente chamados de sensores.

1.2 SENSORES

Os dispositivos conhecidos como *sensores* são de grande importância nos diferentes processos industriais da atualidade. Nos dias de hoje, é impensável que um processo industrial não faça uso desses equipamentos, em maior ou menor medida. Essa ideia se aplica especialmente a processos relativos à indústria 4.0, a qual abrange principalmente a área de *automação*, onde se pretende obter o maior nível de autonomia possível, prescindindo da intervenção humana. Sem o posicionamento estratégico de vários tipos de sensor, isso seria simplesmente impossível. “Os sensores são os componentes fundamentais de qualquer sistema de máquina inteligente e são de valor inestimável em todas as tecnologias modernas. Consequentemente, as falhas e os erros nos sensores podem ter um impacto negativo significativo na configuração”. (AGARWAL *et al.*, 2022).

Desde o seu desenvolvimento e primeiro uso na indústria, em meados da década de 1950, foi observado que o uso de sensores tornava o processo produtivo muito mais rápido e eficiente. À época, eles substituíram as chaves de acionamento. Além disso, ele transferia um alto nível de precisão às máquinas, fazendo com que se economizasse tempo e aumentasse a rentabilidade da produção como um todo - os benefícios são inúmeros.

Existem diversos tipos de sensores em uso na indústria, como o sensor capacitivo, o sensor indutivo e o sensor de temperatura. Cada um contém princípios inerentes à sua natureza específica. Contudo, utilizados em conjunto, garantem um funcionamento operacional de alto nível e confiabilidade. Permitem, em última análise, o monitoramento de sistemas, com a detecção de falhas e condições operacionais dignas de atenção por parte de seus operadores.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo maior deste trabalho é realizar uma investigação sobre a importância dos sensores na atualidade, com foco na sua descrição e utilização na Indústria 4.0. Além disso:

- Apresentar os diferentes tipos de sensores, suas características e princípios de funcionamento; Identificar os mais utilizados na Indústria 4.0, para a manufatura inteligente, automação avançada, manutenção preditiva e eficiência energética; Destacar seu impacto na otimização dos processos industriais para impulsionar a inovação, a eficiência operacional e a competitividade das organizações na era atual.

1.4. A ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Este Trabalho de Conclusão de Curso é composto de 4 capítulos.

O primeiro capítulo apresenta um paralelo entre os sentidos humanos e os sensores, o conceito geral de um sensor, os objetivos e a própria estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, fala-se sobre vários tipos de sensores, sendo abordados seu conceito, princípio de funcionamento e exemplo de aplicação.

O terceiro capítulo trata das Revoluções Industriais que antecederam a Indústria 4.0 e contém relações entre ela e o uso de sensores.

O quarto capítulo, por fim, traz as conclusões derivadas do desenvolvimento do trabalho.

2. ESTUDO TEÓRICO

Tendo em mente a importância que os sensores têm na indústria de modo geral, é válido conhecer mais profundamente alguns de seus tipos. Início aqui uma descrição – contendo conceito, princípio de funcionamento e exemplo de aplicação - de 8 importantes tipos de sensores industriais, a saber e nesta ordem:

- Sensor capacitivo ou sensor de aproximação de efeito capacitivo;
- Sensor indutivo;
- Sensor de temperatura;
- Sensor de aceleração;
- Sensor de posição;
- Sensor de nível;
- Sensor de movimento;
- Sensor de pressão;

2.1 Sensor Capacitivo ou Sensor Detector de Proximidade de Efeito Capacitivo

Possivelmente o sensor de maior importância no mundo industrial, o sensor capacitivo se destaca por sua característica de, basicamente, (1) detectar presença ou ausência de massa em objetos, que podem ser tanto metálicos como não-metálicos e (2) medir pequenos deslocamentos - da ordem de mm, de acordo com SILVEIRA (2018). Fisicamente, os materiais sobre os quais operam podem ser sólidos, por exemplo plásticos, líquidos, como a água, pós ou granulados, como arroz, materiais orgânicos, como silo, dentre outros.

A figura 1 ilustra um sensor capacitivo.

Figura 1. Sensor capacitivo genérico.



Fonte: PINTO (2023).

2.1.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O sensor capacitivo se assemelha a um capacitor, como o nome sugere. Fisicamente, existe um eletrodo geralmente em forma de disco, conectado diretamente a um oscilador. O objeto que se deseja detectar, afastado de uma distância h da extremidade do sensor, age como o eletrodo oposto, configurando a grosso modo um capacitor. Conforme o alvo se aproxima da extremidade, o oscilador interno começa a ter sua amplitude aumentada. Quando ela atingir o ponto de chaveamento, o sensor é acionado. Esse acionamento indica alguma condição importante que deve orientar determinada ação no processo.

2.1.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

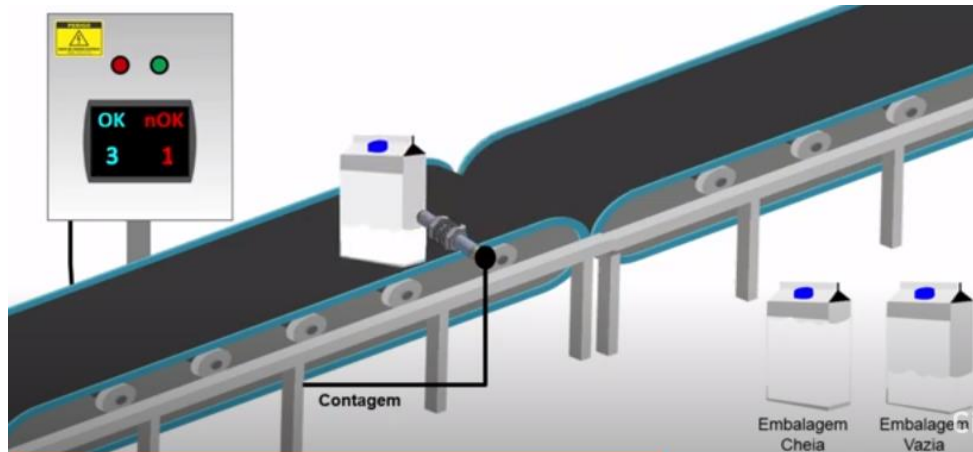
Considere-se uma fábrica hipotética com esteiras rolantes nas quais correm embalagens de suco. Elas podem apresentar 2 estados: podem estar cheias ou vazias.

Com a presença de sensores capacitivos ao longo da esteira – posicionados frontalmente às embalagens - é possível determinar o estado delas. Isso porque o sensor compara o nível de capacitância em cada um dos casos: Se a embalagem estiver cheia, a interação entre a permissividade dielétrica do material e o sensor corresponde a uma certa capacitância. Se ela estiver vazia, a nova interação corresponderá a outro valor de capacitância. Deste modo é

possível averiguar o estado correto da embalagem e, de posse desta informação, retirar o produto vazio da esteira ou mandá-lo de volta à estação de enchimento, por exemplo.

A figura 2 ilustra o processo descrito.

Figura 2. Ilustração da aplicação do sensor capacitivo.



Fonte: SILVEIRA (2018).

2.2 Sensor Indutivo

Os sensores indutivos, em contraste aos capacitivos, só interagem com materiais metálicos. Segundo SILVEIRA (2018), são robustos e podem ser utilizados em ambientes com condições adversas, como dentro de líquidos, em meio a poeira densa, etc. Assim como ocorre com os sensores capacitivos, são amplamente utilizados na indústria 4.0, seja para a detecção de presença ou ausência, de fim de curso ou para a leitura de posição, entre outros fins.

2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

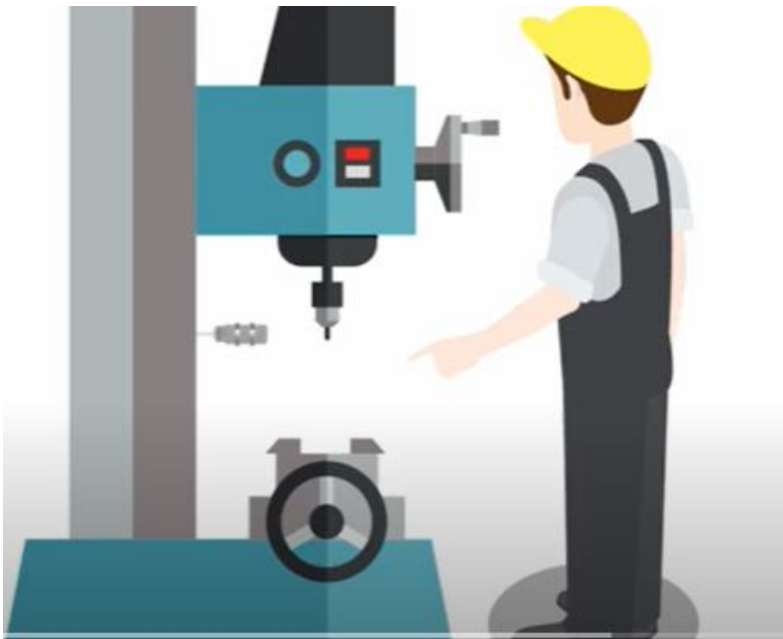
“O princípio de funcionamento do sensor indutivo se dá a partir de um campo eletromagnético variável que é gerado pelo oscilador em conjunto com a bobina na extremidade do dispositivo. Quando um material metálico penetra este campo, são induzidas pequenas correntes parasitas. Com a indução no metal, ocorre uma diminuição na energia do campo e, conseqüentemente na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Quando este sinal se torna muito baixo, o circuito de disparo percebe a mudança e altera a tensão de saída. Fornecendo uma resposta lógica, de nível alto ou baixo, que pode ser utilizada no controle do processo” SILVEIRA (2018).

2.2.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Consideremos uma máquina industrial cujo braço mecânico perfurante opera verticalmente. Ao lado do componente há uma viga onde há um sensor indutivo, que fica na sua porção final. Conforme o braço faz o movimento de descida e fura, o sinal de saída do sensor se modifica. Em certa posição limítrofe, quando ele se aproxima demais da superfície que apoia o objeto a ser perfurado, o sensor é acionado, a máquina desliga e, conseqüentemente, o braço para, impedindo que danifique a chapa na qual incide.

A figura 3 esclarece a aplicação descrita.

Figura 3. Aplicação do sensor indutivo como chave de fim de curso.



Fonte: Citysystems (2019).

2.3 Sensor de Temperatura

Os sensores de temperatura são outro tipo de sensor extensivamente utilizado na indústria. É um dispositivo que detecta e mede mudanças de temperatura e converte essa informação em um sinal que pode ser lido, exibido ou registrado. Existem vários tipos de sensores de temperatura, e cada tipo funciona com base em diferentes princípios físicos. Seu uso contribui

para a operação segura de um processo. Conscientes de que algo foi indicado por esse sensor, os operadores podem tomar melhores decisões sobre o que fazer em seguida.

2.3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

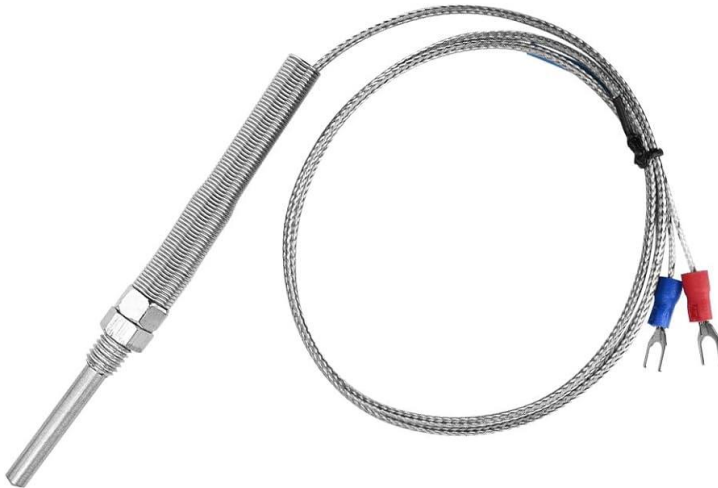
A ciência por trás deste tipo de sensor remete variações de alguma grandeza física, como resistência elétrica, campo eletromagnético, radiação térmica, dentre outros. Essas variações são convertidas em sinal elétrico e são apontadas pelo sensor.

Analise os princípios por trás de alguns tipos:

- Termopar:

Baseiam-se no efeito “Seebeck”, em que uma diferença de temperatura entre dois metais diferentes produz uma diferença de potencial (tensão) U . Além disso, 2 tipos diferentes de metal são unidos em uma junção. Quando a junção é aquecida ou resfriada, produz uma tensão que pode ser medida e convertida em uma leitura de temperatura.

Figura 4. Termopar genérico.



Fonte: Amazon (2023).

- Termistores:

Os termistores geralmente são feitos de cerâmicas semicondutoras e têm uma resposta resistiva muito mais acentuada às mudanças de temperatura. Eles podem ser do tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo, em que a resistência diminui com o aumento da temperatura) ou PTC (coeficiente de temperatura positivo, em que a resistência aumenta com o aumento da temperatura).

Figura 5. Termistor NTC 20 ohms.



Fonte: Eletropeças (2023).

- Sensores de Infravermelho:

Estes sensores medem a temperatura detectando a radiação infravermelha que um objeto emite, que está relacionada à sua temperatura.

São frequentemente usados para medições de temperatura sem contato, como em termômetros de ouvido ou câmeras térmicas.

O sinal produzido por estes sensores, seja ele uma tensão, resistência ou outra grandeza, é frequentemente lido por um dispositivo de leitura ou processador, que o converte em uma leitura de temperatura, muitas vezes exibida em um display digital ou analógico. Além disso, sistemas mais avançados podem incluir compensações e calibrações para aumentar a precisão e a confiabilidade das medições.

Figura 6. Termômetro à laser infravermelho.



Fonte: Leroy Merlin (2023).

2.3.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para entender melhor a aplicabilidade de um sensor de temperatura, consideremos uma fábrica de motores elétricos. Nela, existem sensores de temperatura PTC, os quais têm sua resistência diretamente proporcional à temperatura.

Neste caso, um possível uso é como dispositivo de proteção contra sobrecorrente. Quando a corrente excede um determinado limite – o que fisicamente é traduzido numa temperatura maior - a resistência do PTC aumenta significativamente, limitando a corrente e protegendo os componentes elétricos do motor.

2.4 Sensor de aceleração ou acelerômetro

Os acelerômetros são dispositivos de medição usados para detectar a aceleração linear de um objeto. Em termos simples, eles são projetados para medir a aceleração, que é a taxa de mudança da velocidade de um objeto em relação ao tempo. Os acelerômetros são amplamente utilizados em diferentes aplicações, desde eletrônicos de consumo até produtos industriais e científicos.

2.4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Existe mais de 1 princípio de funcionamento envolvendo tais sensores. Contudo, se dará ênfase no chamado sensor micro eletromecânico, que se baseia na tecnologia MEMS – *microelectronic mechanical systems*.

Os acelerômetros MEMS são os mais comuns atualmente. Eles consistem, basicamente, em pequenos sistemas micro eletromecânicos que reagem à aceleração. Esses sensores muitas vezes são feitos de um pequeno componente de silício com microestruturas que se deformam sob aceleração, alterando a resistência elétrica ou capacitância, o que pode ser medido eletronicamente.

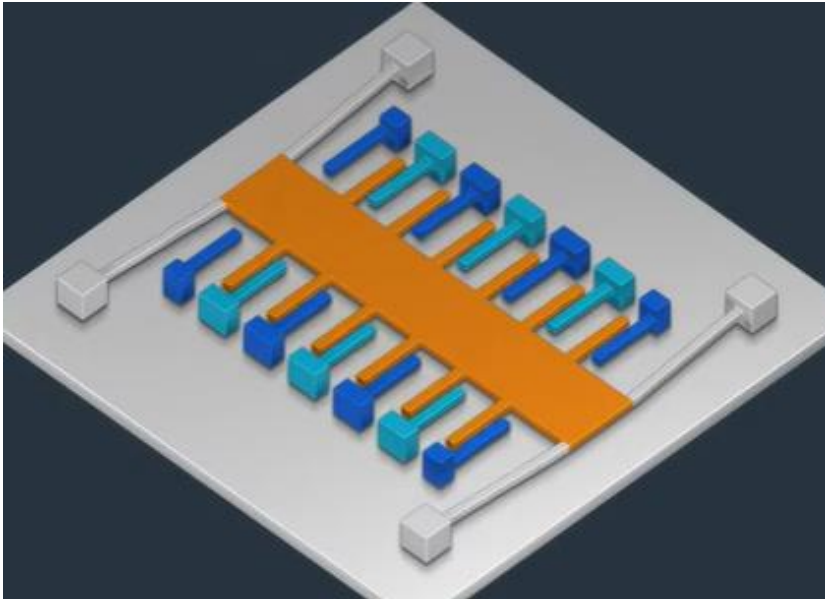
Durante meu intercâmbio na Alemanha, tive a oportunidade de trabalhar em uma filial da *BOSCH* chamada *Bosch Sensortec*. A empresa é líder mundial na produção de sensores para celulares e em tecnologia MEMS. A seguir, uma explicação mais detalhada sobre sensores que empregam esta tecnologia.

2.4.1.1 MEMS

De acordo com (CIRCUITBREAD, 2023), a tecnologia MEMS possui 3 componentes em termos físicos:

- uma massa de prova presa a dedos sensíveis, que são prolongamentos latitudinais da massa (hastes laterais laranjas na figura 7);
- 2 hastes, 1 em cada extremidade;
- e 2 fileiras de eletrodos, 1 em cada lado da massa de prova;

Figura 7. Esquema da estrutura de um sensor MEMS.



Fonte: CircuitBread (2023).

A massa de prova é presa às hastes, as quais são elásticas. Portanto, ela se move para frente e para trás, conforme forças aplicadas sobre ela agem. Já os eletrodos são fixos no substrato e não se movem. São, na prática, capacitores.

Neste contexto é útil recordar a expressão que fornece a capacitância de um capacitor de placas paralelas:

$$C = (E \times A)/d \quad (1)$$

Em que: C é a capacitância, E a permissividade elétrica do meio, A a área das placas e d a distância entre elas.

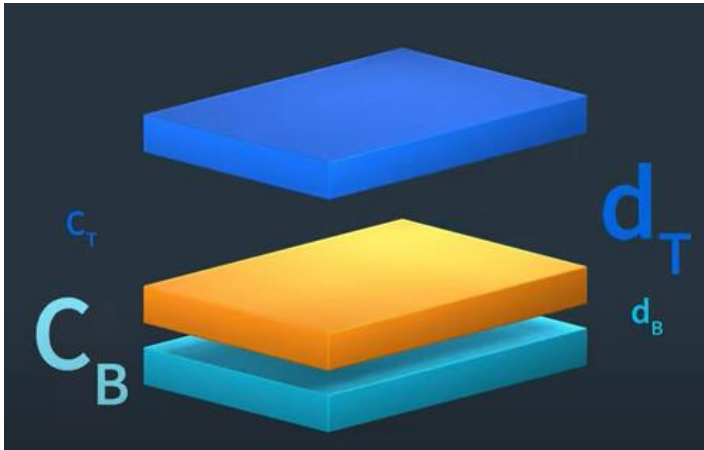
Cada “dedo” está entre 2 eletrodos, os quais podemos tomar como placas metálicas. Aqui se faz presente o conceito de capacitância diferencial:

Tem-se o dedo (móvel) e, abaixo e acima dele há uma placa, que não se move. Tem, então, 2 conjuntos de capacitores: 1 entre a placa de cima e o dedo central; e outro entre a placa de baixo e o dedo central. Conforme o dedo se move junto a massa, as distâncias entre as placas dos conjuntos variam, e por conseguinte, variam também suas capacitâncias.

Vale lembrar que, no estado inicial de repouso, onde não há aceleração, existe uma capacitância inicial, a qual serve de referência para valores na presença de aceleração.

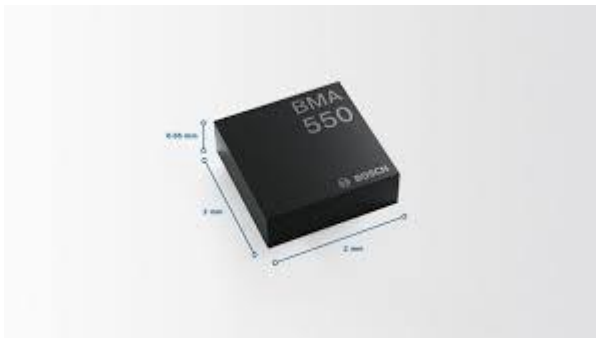
A variação na capacitância é então convertida em um sinal elétrico proporcional à aceleração a aplicada. Esse sinal é então lido por circuitos eletrônicos no acelerômetro MEMS.

Figura 8. Capacitores diferenciais na estrutura de um sensor MEMS.



Fonte: CircuitBread (2023).

Figura 9. Acelerômetro BMA 550 da Bosch Sensortec.



Fonte: Bosch Sensortec (2023).

2.4.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A aplicação mais comum de acelerômetros é em dispositivos móveis, como smartphones e tablets, para a detecção de orientação e movimento.

Os acelerômetros MEMS permitem que os smartphones detectem a orientação e o movimento. Esses sensores são usados para, por exemplo:

- Rotação automática da tela quando você gira o smartphone.
- Contagem de passos e rastreamento da atividade física.

Além disso, alguns smartphones usam acelerômetros para funções de segurança, como detecção de queda. Se o telefone detecta uma queda brusca, pode enviar um alerta ou fazer chamadas de emergência.

2.5 Sensor de posição

Um sensor de posição é um dispositivo que mede a posição de um objeto em relação a uma referência específica. Esses sensores são usados em uma variedade de aplicações para determinar a posição ou movimento de um objeto ao longo de um eixo específico. Assim como no caso dos sensores de temperatura, existem diversos tipos de sensores de posição. Vejamos 2 deles: os potenciômetros e os sensores ultrassônicos.

2.5.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

- Sensor Potenciômetro:

Um potenciômetro é um dispositivo eletrônico que utiliza uma resistência variável para medir a posição. Ele consiste em um resistor com um contato deslizante. Quando o eixo do potenciômetro é girado ou movido, o contato deslizante se move ao longo da resistência R . A resistência elétrica entre o contato deslizante e os terminais do potenciômetro varia à medida que a posição muda.

A posição é determinada pela leitura da resistência entre o contato deslizante e um dos terminais do potenciômetro. Essa resistência é diretamente proporcional à posição do contato deslizante.

Aplicações:

Controle de volume em equipamentos de áudio.

Controle de posição em sistemas de automação.

Controle de luminosidade em dispositivos de iluminação.

Figura 10. Potenciômetro genérico.



Fonte: Aliexpress (2023).

- Sensores ultrassônicos:

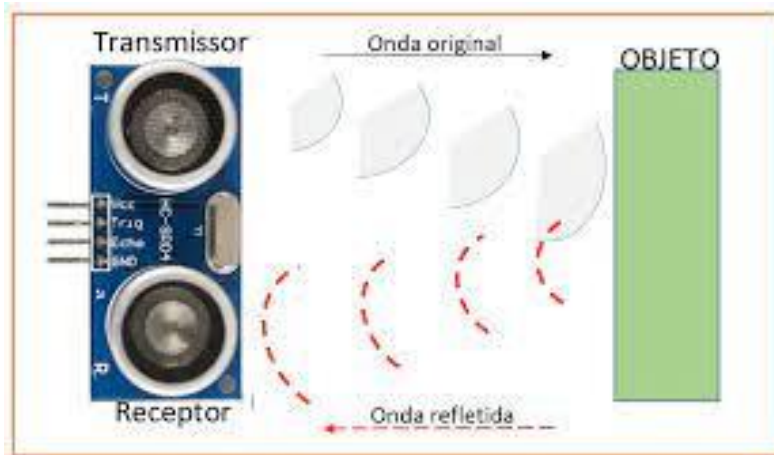
Os sensores ultrassônicos utilizam ondas sonoras de alta frequência (ultrassom) para medir a distância entre o sensor e um objeto. Eles operam com base no princípio do tempo de voo (TOF – *Time of Flight*). O sensor emite um pulso de ultrassom e, em seguida, mede o tempo que leva para o pulso ser refletido de volta ao sensor após atingir o objeto.

O sensor calcula a distância (d) multiplicando o tempo de voo do pulso pelo valor da velocidade do som no ar. A fórmula básica é:

$$d = (v \times T) / 2. \quad (2)$$

Isso ocorre porque o som viaja até o objeto e retorna, portanto, a distância a ser medida é metade da (distância de ida + distância de volta).

Figura 11. Princípio de funcionamento de um sensor ultrassônico.



Fonte: Sta-Eletronica (2023).

2.5.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Medição de distância em robótica para evitar colisões.

Robôs do tipo “combate” disputam em um espaço limitado por algum tipo de cerco. É inconveniente que esbarrem nas paredes, pois isso pode atrasar seus movimentos, fazendo com que o adversário consiga atingi-lo e possivelmente vencê-lo. Deste modo, são costumeiramente equipados com sensores de posição ultrassônicos, os quais permitem que eles se reorientem no espaço de combate caso estejam muito próximos dos limites físicos estabelecidos.

Figura 12. Robôs de combate em uma competição.



Fonte: O Globo (2014).

Outras aplicações incluem:

- Estacionamento automático de veículos.
- Medição de nível de líquidos em tanques.
- Detecção de presença em sistemas de segurança.
- Medição de distância em equipamentos de mapeamento e topografia.

2.6 Sensor de nível

Sensores de nível são dispositivos projetados para detectar e medir o nível de líquidos ou sólidos em um recipiente. Eles desempenham um papel importante em uma ampla variedade de aplicações industriais, comerciais e domésticas, ajudando a monitorar, controlar e automatizar processos que envolvem a medição de nível.

No mercado, assim como ocorre com outros tipos de sensores, há diversas variantes. No caso específico dos sensores de nível, tem-se os flutuadores, os capacitivos, os ultrassônicos, os de pressão diferencial, os à laser, os ópticos, etc. Analisemos os flutuadores e os sensores de nível à laser com um pouco mais de detalhes.

- Flutuadores:

2.6.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Figura 13. Princípio de funcionamento de um flutuador.



Fonte: Metr pole Digital (2020).

Como a figura 13 mostra, o funcionamento deste sensor se dá por um flutuador, ou boia, vinculada a um pequeno sistema de roldanas. O flutuador se move verticalmente com a variação do nível do fluido dentro do recipiente, que contém um volume V e se encontra posicionado paralelamente a uma escala centimétrica, que por sua vez possibilita a leitura do nível em qualquer instante de tempo. Se o nível aumentar, a boia subirá e parará a um valor superior. Se ele baixar, ela indicará naturalmente um valor inferior de nível.

2.6.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Esses sensores são usados para controlar o nível de água nas máquinas de lavar roupa e lava-louças, por exemplo. Quando o tanque está cheio, o sensor de flutuação interrompe o enchimento de água. Quando está na iminência de esvaziar, o fornecimento de água é retomado.

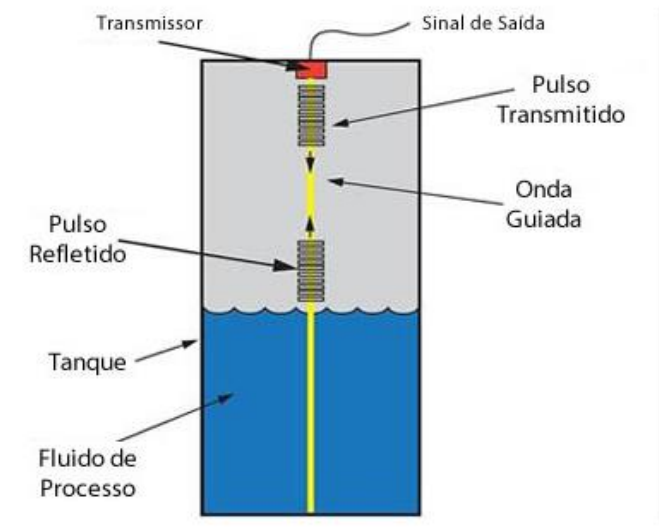
- Sensor de nível à laser:

2.6.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

De acordo com SILVEIRA (2018), o funcionamento desse sensor baseia-se na emissão de um pulso por um transmissor instalado na parte superior interna do reservatório. O pulso atinge então a interface ar-líquido e retorna ao transmissor. Logo, é possível calcular a distância entre transmissor e interface. O nível do fluido dentro do tanque é obtido pela equação:

$$\text{Nível (h)} = \text{Altura do tanque} - \text{distância medida} \quad (3)$$

Figura 14. Princípio de funcionamento de um sensor de nível à laser.



Fonte: SILVEIRA (2018).

2.6.4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Consideremos uma torre fabril onde se armazena silo. É de interesse da empresa que detém e controle o estoque da planta monitorar o volume de silo armazenada. Para isso, pode-se instalar sensores de nível do tipo laser. Conhecendo-se a altura da torre, o nível é facilmente obtido pela equação (1). A partir dessa informação, os envolvidos podem tomar decisões quanto à venda/compra de grãos, otimizando seus negócios.

2.7 Sensor de movimento

Os sensores de movimento são dispositivos eletrônicos projetados para detectar a presença ou movimento de objetos no ambiente. Eles convertem informações sobre o movimento em sinais elétricos que podem ser interpretados por outros dispositivos ou sistemas.

Um bom exemplo desta espécie de sensor é o sensor de movimento por infravermelho passivo, chamado de PIR - *Passive Infrared*. Tais dispositivos detectam a presença de corpos e objetos pela radiação infravermelha que os mesmos emitem. Pode não ser de conhecimento comum, mas os sensores humanos emitem sim radiação infravermelha, o que torna possível monitorar sua posição em um determinado espaço.

2.7.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Este tipo de sensor baseia-se no calor emitido pelo objeto alvo. Por exemplo, um corpo humano emite certa intensidade de calor no ambiente em que está - isso fará com que entre no “campo de visão” do sensor. O cerne do Sensor PIR é um elemento piroelétrico, frequentemente feito de materiais como lítio e tântalo. Este material gera uma carga elétrica quando é submetido a mudanças rápidas de temperatura.

Quando um objeto entra ou se move dentro do campo de visão do sensor, ocorrem mudanças na radiação infravermelha capturada pelas diferentes zonas dele. As mudanças são significativas quando um objeto está se movendo, gerando variações térmicas. Se tais mudanças são percebidas, indicando movimento, o sensor produz um sinal de saída que pode ser utilizado para acionar sistemas de segurança, iluminação automática, ou outros dispositivos.

A figura 15 ilustra o sensor.

Figura 15. Sensor de movimento PIR.



Fonte: Alura (2023).

2.7.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Um exemplo válido de sua aplicação é em um quarto de uma casa, onde existe um sistema automático de acionamento da luz. Neste contexto, os sensores PIR são usados para ativar automaticamente a iluminação quando movimento é detectado. Isso elimina a necessidade de interruptores manuais e também economiza energia desligando as luzes quando não há atividade.

A utilização de sensores PIR em sistemas de iluminação não apenas economiza energia, mas também aumenta a vida útil das lâmpadas, reduz custos operacionais e contribui para a

sustentabilidade ambiental. Além disso, proporciona maior comodidade aos usuários, pois a iluminação é acionada automaticamente conforme necessário.

2.8 Sensor de pressão

Sensores de pressão são dispositivos projetados para medir a pressão de um gás ou líquido em um determinado ambiente. Eles convertem a pressão física em um sinal elétrico que pode ser interpretado e utilizado por outros dispositivos ou sistemas.

2.8.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Dentre os principais mecanismos de funcionamento, pode-se citar o piezoelétrico, em que deformações mecânicas geram cargas elétricas, que são diretamente proporcionais à pressão P aplicada; o piezo resistivo, no qual deformações mecânicas geram mudanças na resistência do material, igualmente em proporção direta à pressão sobre ele.

A figura 16 ilustra um sensor de pressão piezoelétrico.

Figura 16. Sensor de pressão piezoelétrico.



Direct Industry (2023).

2.8.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Uma possível aplicação deste sensor na indústria é na pressão do ar de pneus automotivos. O sensor está localizado dentro da válvula do pneu, onde é capaz de medir a pressão do ar no interior dele.

Quando a pressão dentro do pneu muda devido a inflação, esvaziamento ou variações de temperatura, isso é detectado pelo sensor. A deformação mecânica do material piezoelétrico no sensor gera uma carga elétrica proporcional à mudança de pressão. O sinal elétrico gerado pelo é enviado para um módulo de controle instalado no veículo, que compara a atual pressão com os níveis ideais. Caso esteja fora de valores aceitáveis, um alerta é emitido para o motorista.

3. DISCUSSÃO

Antes de nos debruçarmos sobre a Indústria 4.0 em si, é conveniente analisar os períodos industriais que a antecederam historicamente.

3.1 1ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A primeira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Industrial Clássica, foi marcada pelo surgimento da maquinaria movida a vapor e pela mecanização das indústrias têxteis. Iniciada no final do século XVIII (~1784) na Inglaterra, tal revolução transformou significativamente os métodos de produção, substituindo a manufatura manual por máquinas.

3.1.1 2ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Já a segunda Revolução Industrial foi marcado pelo avanço da eletrificação, pela introdução de linhas de montagem (produção em série) e pelo desenvolvimento de indústrias químicas e de aço. Iniciada no final do século XIX, principalmente nos Estados Unidos e na Europa, essa fase foi acompanhada por inovações como a eletricidade, o telefone e o motor à combustão interna. A produção em massa tornou-se uma realidade, alterando os padrões de consumo e inaugurando uma era de urbanização acelerada.

3.1.2 3ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A terceira Revolução Industrial, muitas vezes chamada de Revolução Digital, teve início nas décadas de 1970 e 1980, com a automação e o advento da tecnologia da informação. A microeletrônica, os computadores pessoais e a disseminação da internet são elementos definidores dessa fase. A interconexão global e o surgimento da computação em nuvem transformaram a maneira como as empresas operam, originando novos setores, como a tecnologia da informação e a comunicação. A ênfase na informação e no conhecimento impulsionou mudanças significativas na economia e na sociedade, moldando a era contemporânea.

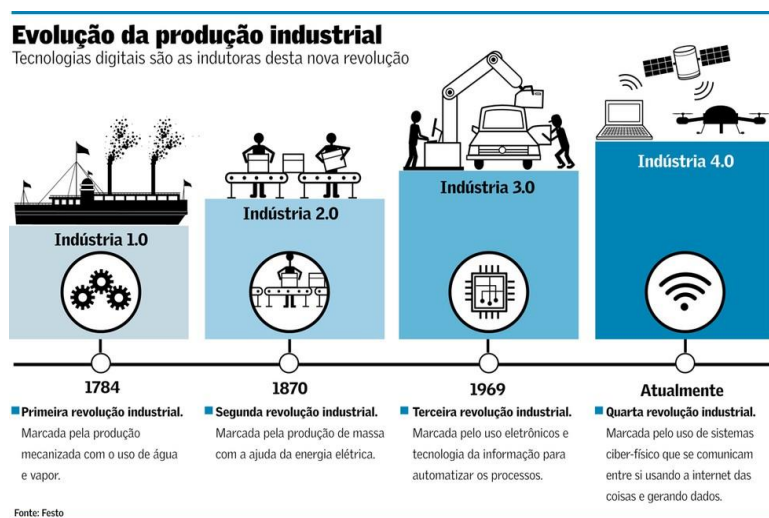
3.1.3 INDÚSTRIA 4.0 OU 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A 4ª Revolução Industrial, em curso atualmente, é caracterizada pela geração, processamento de informações, a partir das quais existe a tomada de decisão. Iniciada no fim do século XX, essa revolução é caracterizada pelo uso intensivo de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data, computação em nuvem e automação avançada. A interconexão global de dispositivos, máquinas e sistemas permite a coleta massiva de dados em tempo real uma tomada de decisão altamente fundamentada.

O termo indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, foi primeiramente utilizado em 2011 na Alemanha. Está relacionado com um projeto de aumento de produtividade da indústria do país através da inovação tecnológica. A ideia é usar tecnologias como IoT, IA, Big Data e Robótica para criar fábricas inteligentes. Em conjunto, essas tecnologias criam ambientes autônomos e altamente eficientes. (SEBRAE, 2022).

A figura 17 ressalta os principais atributos das Revoluções Industriais acima abordadas.

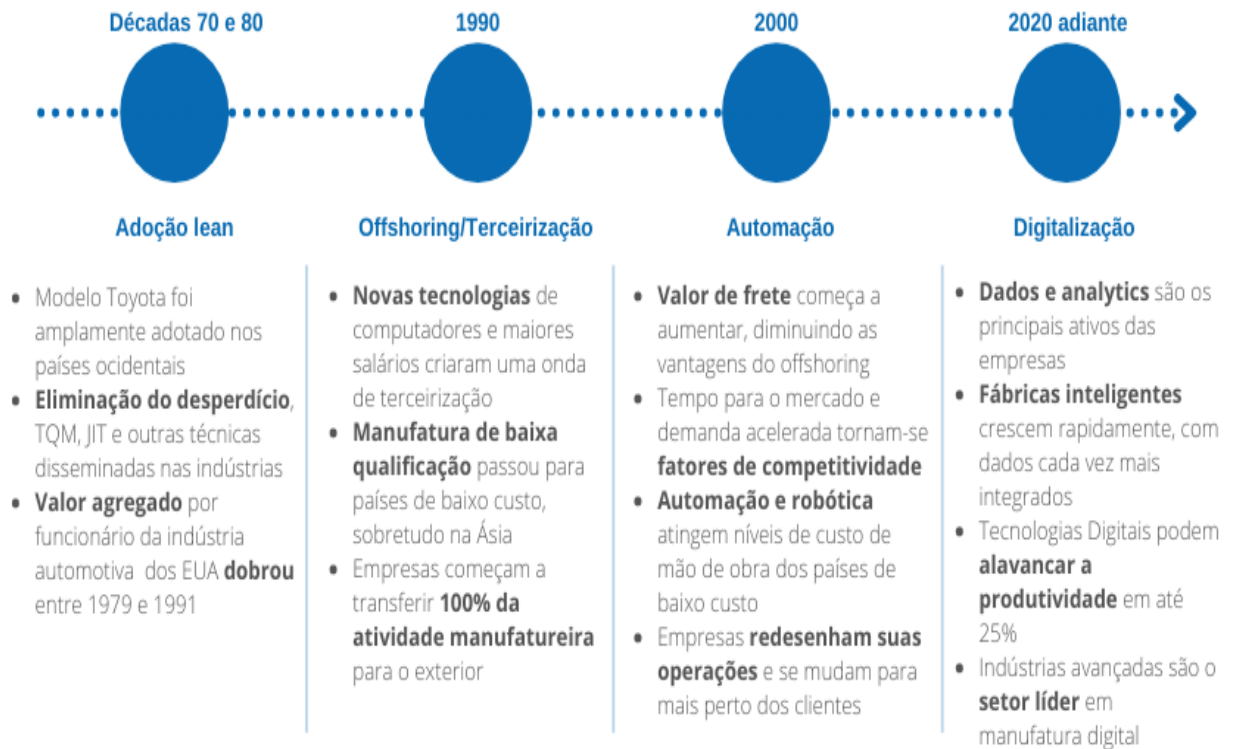
Figura 17. Comparativo das Indústrias.



Fonte: ROSTÁS, SCHNOOR (2018).

A figura 18 traz um olhar histórico sobre os antecedentes da Indústria 4.0 e seu amadurecimento.

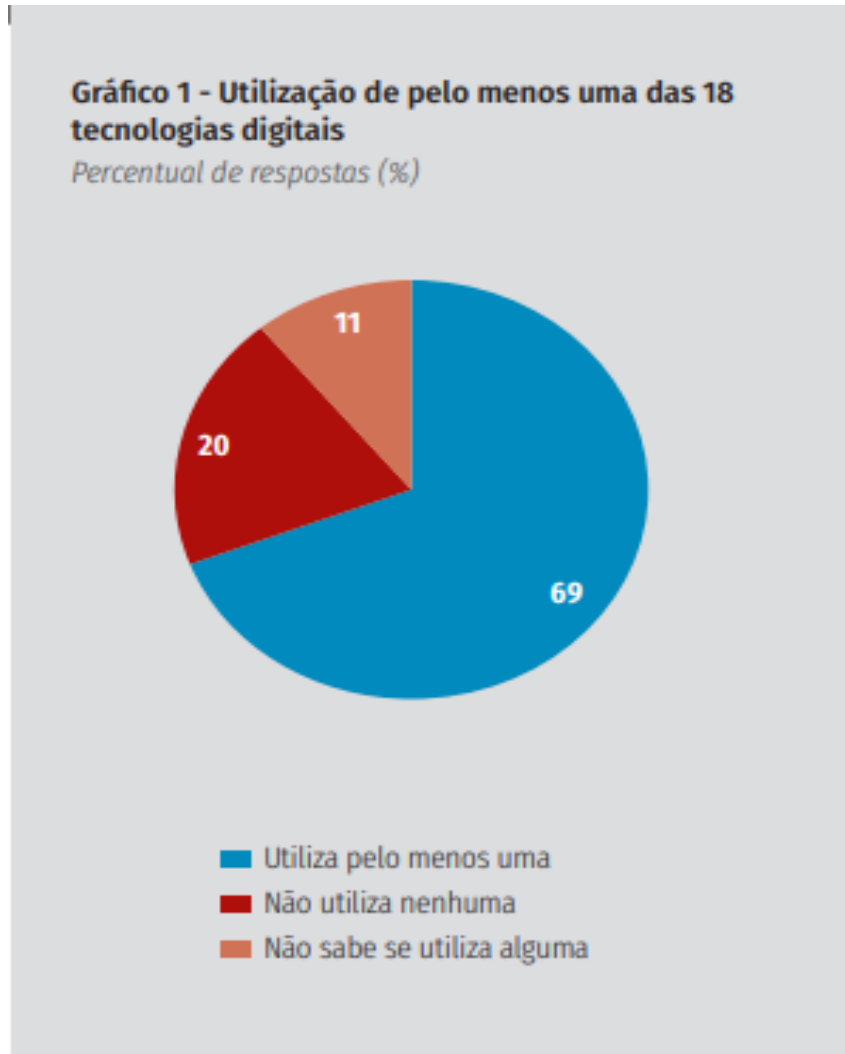
Figura 18. Prévia da Indústria 4.0.



Fonte: PINTO (2023).

A seguir, um gráfico estatístico sobre o cenário atual brasileiro referente à implementação de tecnologias digitais – Big Data, Machine Learning, Impressão 3D, dentre outras - vinculadas à Indústria 4.0.

Figura 19. Indústria 4.0 no Brasil.



Fonte: Imprensa CNI (2022).

3.2 FÁBRICAS INTELIGENTES

No contexto da indústria, existe um termo sobre o qual é válido se debruçar. As chamadas fábricas inteligentes, ou *smart factories*, são ambientes industriais marcados por grande autonomia, sincronicidade e eficiência. Os componentes dentro dela são todos conectados e funcionam de modo a monitorar os parâmetros do processo a que se dedicam.

3.2.1 DIFERENÇAS ENTRE FÁBRICAS E TRADICIONAIS E FÁBRICAS INTELIGENTES

A tabela 1 contém as principais diferenças entre elas.

Tabela 1. Comparativo entre fábricas tradicionais e fábricas inteligentes.

<i>Fábrica Tradicional</i>	<i>Fábrica Inteligente</i>
Processos manuais e isolados, sem integração entre diferentes sistemas	Processos integrados e digitais, integração completa entre sistemas existentes
Sistemas legado com falhas frequentes	Sistemas inteligentes e custos reduzidos
Dados limitados para a tomada de decisão	Tomada de decisão rápida
Envolvimento limitado de tecnologia	Iot, sensores, apps móveis
Produtividade de dados limitada	Alta transparência
Inovação limitada	Produtos inteligentes
Utilização pobre de recursos	Utilização otimizada de recursos
Baixa interoperabilidade	Alta interoperabilidade
Linha de produção fixa	Reconfiguração automática das linhas de produção

Fonte: Adaptado de KALSOOM *et al.* (2020).

3.3 SENSORES NA INDÚSTRIA 4.0

De acordo com (KALSOOM *et al.*, 2020), no contexto da indústria 4.0 os “sensores podem operar tanto ativa como passivamente”.

Os primeiros compreendem sensores que necessitam de um estímulo físico para funcionarem. Por exemplo, sensores de cor são ativos, pois dependem da luz visível incidir sobre o objeto em que estão acoplados para então fornecerem certa informação.

Por outro lado, os sensores passivos utilizam a energia proveniente dos corpos para trabalharem, como é o caso dos sensores infravermelhos.

3.3.1 PRINCIPAIS ÁREAS DA INDÚSTRIA 4.0

Big Data

O Big Data desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, onde a coleta, análise e interpretação de grandes volumes de dados em tempo real são essenciais para otimizar processos, melhorar a eficiência operacional e impulsionar a inovação. Nesse sentido, são justamente os sensores os responsáveis pela citada coleta de dados para análise, contribuindo em diversos aspectos, como:

- Prevenção de falhas e paradas não programadas em tempo hábil;
- Redução do consumo de energia e conseqüentemente custos;
- Viabilização da tomada de decisão informada. Ao terem consciência de determinado problema e baseados em informações precisas geradas por sensores, gestores de determinado processo industrial são capazes de tomar decisões visando à melhora do processo.
- Identificação de riscos de segurança.

Machine Learning

Sensores são a principal fonte de dados para alimentar algoritmos de Machine Learning (ML). É com esses dados em mãos que é possível treinar modelos de ML, os quais têm a capacidade de aprender padrões, relações e comportamentos com base nos dados com que trabalham. Analogamente ao Big Data, também contribuem na manutenção preditiva, eficiência energética e segurança industrial.

Internet of Things

Os sensores desempenham um papel crucial na coleta de dados no ambiente físico: medem uma grande variedade de parâmetros, como temperatura, umidade, pressão, luz, movimento e muitos outros. Esses dados são a matéria-prima essencial para a IoT, pois é a partir do inter-relacionamento desses dados que diferentes objetos podem ser conectados

efetivamente. Equipados com tecnologia de comunicação, como Wi-fi ou Bluetooth, transmitem os dados coletados para a nuvem ou uma plataforma central.

Exemplo: Em certa residência, os moradores gostam de tomar café de máquina, 10 minutos após despertarem. Conforme o horário para o qual seus despertadores estão programados, a máquina prepara automaticamente as porções. O termostato presente na máquina permite que o café esteja numa temperatura adequada no momento em que os moradores forem bebê-lo. Tem-se aqui, dois objetos conectados à internet e entre si – o celular e a cafeteira.

3.4 TIPOS DE SENSORES MAIS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA 4.0

Os principais parâmetros analisados no âmbito da indústria 4.0 são temperatura, posição, força, pressão e vazão.

3.4.1 TEMPERATURA

(KALSOOM *et al.*, 2020) dizem que esses sensores medem as características térmicas de gases, líquidos e sólidos. Nos últimos anos, foram desenvolvidos vários sensores de temperatura que podem ser usados em ambientes elétrica e quimicamente hostis. Esses sensores podem ser divididos em dois grupos:

- (1) sensores de baixa temperatura, com uma faixa de -100 a +400 °C, que usam materiais, como fósforos, semicondutores e cristais líquidos;
- (2) sensores de alta temperatura, com uma faixa de 500 a 2000 °C, baseados em radiações de corpo negro.

3.4.2 PRESSÃO

Segundo (KALSOOM *et al.*, 2020), são capazes de detectar variações de pressão e transformá-las em um sinal elétrico. Os principais tipos são

- (1) os sensores barométricos, que detectam mudanças na atmosfera, assim úteis na previsão de padrões climáticos.
- (2) os sensores de vácuo, importantes nos processos nos quais se deseja ter essa condição.

3.4.3 POSIÇÃO

Os sensores de posição têm um papel fundamental na indústria 4.0. São usados, por exemplo:

- (1) em braços robóticos, para garantir movimentos precisos.
- (2) em sistemas de manufatura flexíveis são usados para determinar a posição e orientação corretas de peças e componentes. (KALSOOM *et al.*, 2020).

3.4.4 FORÇA

No contexto da indústria 4.0, os sensores de força são utilizados para traduzir as forças aplicadas (como força de tração, compressão, etc.) em sinais elétricos que refletem o grau de força, segundo (KALSOOM *et al.*, 2020).

Após isso, esses sinais são enviados a indicadores, controladores ou computadores que informam os operadores sobre os processos ou servem como entradas que ajudam a obter controle sobre máquinas e processos.

Grande variedade de sensores de força é usada em fábricas inteligentes, dependendo do tipo de força que está sendo medida. Por exemplo,

- células de carga, que medem as forças de compressão,
- medidores de tensão, que trabalham com as forças de resistência interna;
- resistores de detecção de força, que medem a taxa de alteração de uma força aplicada.

3.4.5 VAZÃO OU FLUXO

Esses sensores têm a capacidade de detectar o movimento de gases, líquidos ou sólidos em condutores. São utilizados nos setores de processamento e otimizam o desempenho do sistema. (KALSOOM *et al.*, 2020).

Um sensor de vazão pode ser eletrônico, usando detecção ultrassônica de fluxo, ou parcialmente mecânico. Por exemplo, consideremos os sensores de fluxo em automóveis. Eles medem a entrada de ar no motor e ajustam o fornecimento de combustível para os injetores de combustível, provendo assim o volume ideal de combustível para o motor.

Os sensores de fluxo também são usados em ventiladores médicos, onde a taxa correta de fornecimento de oxigênio aos pacientes é necessária para a boa respiração.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho permite, numa proposta abrangente sobre sensores e sua relevância, averiguar e conhecer mais profundamente diferentes tipos de equipamentos sensoriais utilizados nas indústrias ao redor do mundo e seu emprego e relevância dentro de diversos processos imprescindíveis na sociedade, evitando acidentes e promovendo a durabilidade de equipamentos.

Fica evidente, nas relações traçadas entre alguns campos da indústria 4.0 e sensores, que estes desempenham um papel fundamental na otimização de processos industriais - tornando a produção mais rentável, segura e diversificada - e contribuindo para a redução de falhas e desperdícios de energia.

Além disso, é razoável dizer que os sensores continuarão sendo de grande importância nos meios industriais ao redor do mundo e que levarão à contínua evolução/inação das tecnologias voltadas à Indústria 4.0 e afins, fomentando a competitividade a nível mundial.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, Ritik; BHATTI, Ghanishtha; SINGH, R. Raja; INDRAGANDHI V.; SURESH, Vishna; JASINSKA, Laura; LEONOWICZ, Zbigniew. Intelligent fault detection in hall effect rotary encoders for industry 4.0 applications. **Electronics**, Basel, v. 11, n.21, p.3633, 2022.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/21/3633>. Acesso em 22 nov. 2023.

ALI EXPRESS. **CWP-S1500mm sensor de deslocamento, tipo potenciômetro, cabo, transdutores lineares**. AliExpress, [2023].

Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/i/906973572.html>. Acesso em: 13 nov. 2023.

AMAZON. **Sonda de termopar, fio de termopar resistente - para fábrica para componentes eletrônicos de uso geral para uso profissional(1M)**. Amazon, [2021].

Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Sonda-termopar-fio-resistente-profissional/dp/B096HCM2WB>. Acesso em: 30 out. 2023.

BOSCH SENSORTEC. **Acceleration sensor BMA550**. Kusterdingen, 2023.

Disponível em:

<https://www.boschsensortec.com/products/motionsensors/accelerometers/bma550/>.

Acesso em: 01 nov. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos**.

Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

DIRECT INDUSTRY. **Cavity pressure sensor DPPC DS02**. Direct Industry, [2023].

Disponível em: <https://www.directindustry.com/prod/baumer-group/product-179-1789134.html>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ELETROPEÇAS COMERCIAL ELETRÔNICA LTDA. **Termistor NTC 20 Ω** . Eletropeças Comercial Eletrônica Ltda, [2023].

Disponível em: <https://www.eletopecas.com/termistor-ntc-20/p>. Acesso em: 13 dez. 2023.

GILLIS, Alexander S. MEMS (micro-electromechanical systems). TechTarget. Newton, 2019.

Disponível em: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/micro-electromechanical-systems-MEMS>. Acesso em: 11 dez. 2023.

HOW does an Accelerometer work? | 3D Animation por Chris Gammell, 2023. 1 vídeo (6:10 min). Publicado pelo canal CircuitBread.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KuekQ-m9xpw>. Acesso em: 15 dez. 2023.

KALSOOM, Tahera; RAMZAN, Naeem; SHEHZAD, Ahmed; UR-REHMAN, Masood. Advances in sensor technologies in the era of smart factory and industry 4.0. **Sensors**, Basel, v.20, n. 23,2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/23/6783>. Acesso em 23 nov. 2023.

LEROY MERLIN. **Termômetro laser digital infravermelho para cozinha, industria e mecanica -50°-380°**. Leroy Merlin, [2023].

Disponível em: https://www.leroymerlin.com.br/termometro-laser-digital-infravermelho-para-cozinha-industria-e-mecanica--50o-380o_1566821582. Acesso em: 03 nov. 2023.

MATSUURA, Sérgio. Competição coloca robôs de combate em ringue na campus party. **O Globo**, 2014.

Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/competicao-coloca-robos-de-combate-em-ringue-nacampus-party-11435679>. Acesso em: 04 nov. 2023.

METRÓPOLE DIGITAL. **Boias e flutuadores**. [sl, s.d.].

Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/52/7/4>. Acesso em: 15 dez. 2023.

PINTO, Gustavo. **Indústria 4.0**: dados atualizados sobre o cenário brasileiro.

Disponível em: <https://v2com.com/2021/03/10/industria-4-0/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ROBOCORE. **Sensor de presença PIR - HC-SR501**. RoboCore, [2023].

Disponível em: https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-presenca-pir-hc-sr501?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAwP6sBhDAARIsAPfK_wbWwCf_JWkadXq_4kueKdwZ1F6HWKxnifFUPk7FVtoj6hLvr5-IWUaAnJcEALw_wcB. Acesso em: 15 dez. 2023.

ROSTÁS, Renato; SCHNOOR, Tatiana. Desafio para o Brasil, “indústria 4.0” traz novo paradigma de negócios. **Valor**, 2018.

Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/04/20/desafio-para-o-brasil-industria-4-0-traznovo-paradigma-de-negocios.ghtml>. Acesso em: 03 dez. 2023.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Sensor capacitivo**: o que é e como funciona? 2015.

Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/> Acesso em: 26 out. 2023.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Sensor de nível**: 10 tipos diferentes para aplicar na indústria.2018.

Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-de-nivel/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

SISTEMA BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Quando surgiu a indústria 4.0?** 2022.

Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/quando-surgiu-a-industria40,4542c009cbce3810VgnVCM100000d701210aRCRD#:~:text=O%20termo%20Ind%C3%BAstria%204.0%20foi,estudo%20sobre%20a%20Ind%C3%BAstria%204.0>. Acesso em: 03 nov. 2023.

SISTEMAS E TECNOLOGIA APLICADA. **Sensor ultrassônico HC-SR04**. [2023].
Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/sensor-ultrassonico-hc-sr04>. Acesso em: 15 dez. 2023.