

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

BRUNO GOTTSFRITZ SILVA

DANIEL RAMOS MELGES

GABRIEL MARQUES

GUILHERME NICOLAU MARÓSTICA

VICTOR NOGUEIRA CIRILLO

VINICIUS CARDOSO FREITAS

**ISIS:** Integrated System for Industrial Safety

São Bernardo do Campo

2022

BRUNO GOTTSFRITZ SILVA  
DANIEL RAMOS MELGES  
GABRIEL MARQUES  
GUILHERME NICOLAU MARÓSTICA  
VICTOR NOGUEIRA CIRILLO  
VINICIUS CARDOSO FREITAS

**ISIS:** Integrated System for Industrial Safety

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada  
ao Centro Universitário da FEI para obtenção do  
título de Bacharelado em Engenharia. Orientado  
pelo Prof. Dr. Ricardo Janes.

São Bernardo do Campo

2022

# Ficha catalográfica

# Folha de aprovação

## RESUMO

A segurança do trabalho na indústria brasileira é um tópico muito bem regulamentado, visando a segurança e a preservação da integridade dos funcionários. A disponibilização gratuita de equipamentos de proteção individual (EPI) segundo as normas da NR-6, é obrigatoriamente dever da empresa contratante do funcionário. Ao mesmo tempo em que a empresa é responsável por garantir que estejam sendo utilizados corretamente.

Porém, somente o fornecimento dos EPIs não garantem que os funcionários estejam livres de possíveis acidentes, a negligência e o mau uso destes equipamentos é um fato que implica em riscos e acidentes que poderiam ser evitados. Este comportamento levou o Brasil à posição de segundo país do G20 em mortalidade por acidentes no trabalho.

Atualmente na indústria, investimentos relacionados a novas tecnologias para garantir a segurança dos operadores são uma prioridade. Com o avanço da visão computacional e suas inúmeras aplicações, uma possível solução para auxiliar as empresas neste controle é a utilização e integração da inteligência artificial nos processos de fabricação.

Nesse contexto, pretende-se desenvolver neste projeto de conclusão de curso um sistema capaz de monitorar e determinar se o operador está utilizando os EPIs necessários e da maneira correta. Além disso, todo o sistema será embarcado em um hardware projetado para a aplicação.

**Palavras-chave:** Segurança no trabalho. Visão Computacional. Aprendizado de Máquina. Aprendizado Profundo.

## ABSTRACT

Occupational safety in Brazilian industry is a very well regulated topic, aiming at the safety and preservation of the integrity of employees. The provision of personal protective equipment (PPE) free of charge, in accordance with the norms of NR-6, is a mandatory duty of the employee's contracting company. While the company is responsible for ensuring they are being used correctly.

However, only the provision of PPE does not guarantee that employees are free from possible accidents, negligence and misuse of this equipment is a fact that implies risks and accidents that could have been avoided. This behavior took Brazil to the position of second country in the G20 in mortality due to accidents at work.

Currently in the industry, investments related to new technologies to ensure the safety of operators are a priority. With the advancement of computer vision and its numerous applications, a possible solution to help companies in this control is the use and integration of artificial intelligence in manufacturing processes. In this context, it is intended to develop in this Undergraduate thesis a system capable of monitoring and determining if the operator is using the necessary PPE and correctly. In addition, the entire system will be embedded in hardware designed for the application.

Keywords: Occupational Safety. Computer Vision. Machine Learning. Deep Learning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Histórico da segurança do trabalho no Brasil. . . . .   | 12 |
| Figura 2 – Digitalização de imagem, número de pixels. (a) 256 x 256; (b) 128 x 128; (c) 64 x 64; (d) 32 x 32. . . . .  | 19 |
| Figura 3 – Digitalização de imagem, intervalos de brilho. (a) 64; (b) 16; (c) 4; (d) 2. . .  | 20 |
| Figura 4 – (a) Representação da Onda Eletromagnética e (b) O espectro eletromagnético. .   | 22 |
| Figura 5 – Histograma de intensidades monocromático. . . . .   | 24 |
| Figura 6 – Histograma de intensidades RGB. . . . .   | 25 |
| Figura 7 – Equalização de histograma monocromático. (a) Imagem com baixo contraste, antes da equalização; (b) Imagem equalizada para aumento de contraste, histograma melhor distribuído e melhor percepção dos contornos. . . . . | 26 |
| Figura 8 – Transformação de pixel com método de filtro de medianas. Imagem 9x9 com janela 3x3. . . . .   | 27 |
| Figura 9 – Imagem suavizada por filtro de medianas. (a) Imagem original; (b) Imagem após filtro. . . . .   | 28 |
| Figura 10 – Transformação de pixel com método de filtro de médias. Imagem 9x9 com janela 3x3. . . . .  | 29 |
| Figura 11 – Imagem suavizada por filtro de médias. (a) Imagem original; (b) Imagem após filtro. . . . .  | 30 |
| Figura 12 – Segmentação com algoritmo do método <i>Thresholding</i> . (a) Imagem original; (b) <i>Threshold</i> bem definido; (c) <i>Threshold</i> muito baixo; (d) <i>Threshold</i> muito alto. . . . .                           | 31 |
| Figura 13 – Neurônio Artificial x Neurônio Biológico. . . . .  | 34 |
| Figura 14 – Gráfico de saída das funções de ativação e suas regras de ativação. . . . .  | 34 |
| Figura 15 – Posicionamento e camadas das redes neurais artificiais. . . . .  | 36 |
| Figura 16 – Arquitetura da rede neural profunda da SuperVision, conhecida como "AlexNet". . . . .  | 38 |
| Figura 17 – Exemplos de Segmentação de instâncias (A) e Segmentação panóptica (B). .   | 39 |
| Figura 18 – Exemplos de Detecção de Objetos. . . . .   | 40 |
| Figura 19 – Principais componentes de um CLP. . . . .  | 52 |
| Figura 20 – Programa Ladder . . . . .  | 54 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Figura 21 – Programa FBD . . . . . | 55 |
| Figura 22 – Programa SC . . . . .  | 56 |
| Figura 23 – Programa IL . . . . .  | 57 |
| Figura 24 – Programa ST . . . . .  | 58 |



## SUMÁRIO

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>1</b>         | <b>INTRODUÇÃO</b>   | 11 |
| 1.1              | OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA                                     | 12 |
| <b>2</b>         | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                  | 14 |
| 2.1              | TRABALHOS RELACIONADOS  | 14 |
| 2.2              | IMAGENS DIGITAIS  | 17 |
| <b>2.2.1</b>     | <b>Representação de Imagens</b>                               | 17 |
| <b>2.2.2</b>     | <b>Digitalização de Imagens</b>                               | 17 |
| <b>2.2.2.1</b>   | <b><i>Matrizes</i></b>  | 18 |
| <b>2.2.2.2</b>   | <b><i>Amostragem</i></b>                                      | 18 |
| <b>2.2.2.3</b>   | <b><i>Quantização</i></b>                                     | 18 |
| <b>2.2.3</b>     | <b>Introdução à cores</b>                                     | 21 |
| <b>2.2.3.1</b>   | <b><i>Física das Cores</i></b>                                | 21 |
| <b>2.2.3.2</b>   | <b><i>Sistemas de Cores</i></b>                               | 22 |
| <b>2.2.4</b>     | <b>Processamento de imagens</b>                               | 24 |
| <b>2.2.4.1</b>   | <b><i>Histogramas</i></b>                                     | 24 |
| <b>2.2.4.1.1</b> | <b><i>Equalização</i></b>                                     | 24 |
| <b>2.2.4.2</b>   | <b><i>Suavização (Smoothing)</i></b>                          | 25 |
| <b>2.2.4.2.1</b> | <b><i>Filtro de Medianas (Median Filtering)</i></b>           | 26 |
| <b>2.2.4.2.2</b> | <b><i>Filtro de Médias (Averaging Filtering)</i></b>          | 27 |
| <b>2.2.4.3</b>   | <b><i>Segmentação</i></b>                                     | 28 |
| 2.3              | Aprendizado Profundo  | 32 |
| <b>2.3.1</b>     | <b>Neurônios</b>  | 33 |
| <b>2.3.1.1</b>   | <b><i>Funções de Ativação</i></b>                             | 33 |
| <b>2.3.2</b>     | <b>Redes Neurais Artificiais</b>                              | 35 |
| <b>2.3.3</b>     | <b>Redes Neurais Convolucionais</b>                           | 37 |
| <b>2.3.3.1</b>   | <b><i>Métodos de Aprendizado</i></b>                          | 37 |
| <b>2.3.4</b>     | <b>Interpretação de Imagens</b>                               | 38 |
| <b>2.3.4.1</b>   | <b><i>Detecção de Objetos</i></b>                             | 40 |
| <b>2.3.4.1.1</b> | <b><i>Algoritmos de detecção com redes convolucionais</i></b> | 40 |
| <b>2.3.4.1.2</b> | <b><i>Algoritmos de detecção por disparo único</i></b>        | 41 |
| 2.4              | Internet das Coisas (IOT)                                     | 41 |

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>2.4.1</b>   | <b>Comunicação sem fio</b>   | 42 |
| <b>2.4.1.1</b> | <b><i>RFID</i></b>   | 42 |
| <b>2.4.1.2</b> | <b><i>NFC</i></b>  | 43 |
| <b>2.4.1.3</b> | <b><i>Bluetooth</i></b>  | 43 |
| <b>2.4.1.4</b> | <b><i>ZigBee</i></b>   | 43 |
| <b>2.4.1.5</b> | <b><i>Wi-Fi</i></b>  | 44 |
| <b>2.4.1.6</b> | <b><i>SigFox</i></b>   | 44 |
| <b>2.4.1.7</b> | <b><i>LoRa</i></b>   | 44 |
| <b>2.4.2</b>   | <b>Transmissão de dados</b>  | 44 |
| <b>2.4.2.1</b> | <b><i>Protocolo avançado de enfileiramento de Mensagens (AMQP)</i></b> | 45 |
| <b>2.4.2.2</b> | <b><i>Protocolo de Aplicação Restrita (CoAP)</i></b>                   | 45 |
| <b>2.4.2.3</b> | <b><i>Serviço de Distribuição de Dados (DDS)</i></b>                   | 45 |
| <b>2.4.2.4</b> | <b><i>Transporte de Telemetria da Fila de Mensagens (MQTT)</i></b>     | 45 |
| <b>2.4.2.5</b> | <b><i>Protocolo de Comunicação Máquina a Máquina (M2M)</i></b>         | 46 |
| <b>2.4.2.6</b> | <b><i>Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)</i></b>        | 46 |
| <b>2.5</b>     | <b>Redes Industriais</b>   | 46 |
| <b>2.5.1</b>   | <b>Tipos de redes</b>  | 46 |
| <b>2.5.1.1</b> | <b><i>ProfiBus</i></b>   | 46 |
| <b>2.5.1.2</b> | <b><i>CAN Open</i></b>   | 47 |
| <b>2.5.1.3</b> | <b><i>ModBus</i></b>   | 47 |
| <b>2.5.1.4</b> | <b><i>EthernetIP</i></b>   | 47 |
| <b>2.5.1.5</b> | <b><i>Interface IO Link</i></b>  | 47 |
| <b>2.5.2</b>   | <b><i>OPC UA</i></b>   | 48 |
| <b>2.5.3</b>   | <b>Padronização de Redes</b>   | 48 |
| <b>2.5.4</b>   | <b>Criptografia e segurança</b>  | 49 |
| <b>2.5.5</b>   | <b>Topologias</b>  | 49 |
| <b>2.5.5.1</b> | <b><i>Topologia Anel</i></b>   | 49 |
| <b>2.5.5.2</b> | <b><i>Árvore</i></b>   | 50 |
| <b>2.5.5.3</b> | <b><i>Barramento</i></b>   | 50 |
| <b>2.5.5.4</b> | <b><i>Estrela</i></b>  | 50 |
| <b>2.5.5.5</b> | <b><i>Malha</i></b>  | 50 |
| <b>2.5.5.6</b> | <b><i>Híbrida</i></b>  | 51 |
| <b>2.6</b>     | <b>Controlador Lógico Programável</b>                                  | 51 |

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>2.6.1</b>   | <b>Panorama Histórico</b>                         | 51 |
| <b>2.6.2</b>   | <b>Definição e componentes principais</b>         | 51 |
| <b>2.6.3</b>   | <b>Ciclo de varredura do CLP</b>                  | 53 |
| <b>2.6.4</b>   | <b>Linguagens de programação do CLP</b>           | 53 |
| <b>2.6.4.1</b> | <b><i>Diagrama de Contatos (Ladder):</i></b>      | 54 |
| <b>2.6.4.2</b> | <b><i>Diagrama de Blocos Funcionais (FBD)</i></b> | 55 |
| <b>2.6.4.3</b> | <b><i>Grafcet (SFC)</i></b>                       | 55 |
| <b>2.6.4.4</b> | <b><i>Lista de instruções (IL)</i></b>            | 56 |
| <b>2.6.4.5</b> | <b><i>Texto Estruturado (ST)</i></b>              | 56 |
| 2.7            | Normas de Segurança                               | 57 |
| 2.8            | Hardwares Industriais                             | 60 |
| <b>2.8.1</b>   | <b>Câmeras</b>                                    | 60 |
| <b>2.8.2</b>   | <b>Sistemas Embarcados</b>                        | 60 |
| <b>2.8.3</b>   | <b>Proteção (Grau IP)</b>                         | 61 |
|                | <b>REFERÊNCIAS</b>                                | 62 |

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança sempre esteve presente na vida do ser humano. Buscar maneiras para se proteger e tentativas de neutralizar efeitos que causam perigo à vida, está presente desde os primórdios. A norma regulamentadora que dita as regras e medidas que devem ser tomadas pelas empresas a respeito de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) é a NR-6. Contido nela, visando a saúde, integridade e bem estar do colaborador, está a lei que obriga o fornecimento de EPIs adequados aos operadores pela empresa contratante, assim como o treinamento e a fiscalização durante todo o período de trabalho (BALBO, 2021).

De acordo com uma pesquisa realizada pela Organização Internacional do Trabalho, cerca de 350 mil trabalhadores morrem anualmente por acidentes de trabalho. Além de 270 milhões de acidentes que acarretam no afastamento do funcionário por pelo menos 3 dias (SOUTO MAIOR et al., 2018). Segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, a cada 15 segundos morre um trabalhador ao redor do mundo. Do ano de 2012 até 2020, 21.467 destes funcionários eram brasileiros. Totalizando para o Brasil, uma taxa de 6 mortes a cada 100 mil profissionais devidamente registrados pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (BASILIO, 2021).

Tais acontecimentos não só geram grandes sofrimentos para a sociedade, mas também causam um grande impacto na produtividade e na economia (SANTANA et al., 2006). Foi registrado no Brasil 5,6 milhões de doenças e acidentes de trabalho em apenas oito anos, gerando um custo de R\$ 100 bilhões de gastos previdenciários (BASILIO, 2021).

Diversos trabalhadores não se adequam com a utilização dos equipamentos de proteção, muitas vezes alegando que geram atraso na execução do processo. Este comportamento resulta na utilização da maneira incorreta (muitas vezes por falta de treinamento) e até mesmo o não uso dos EPIs.

Com isso, é evidente que somente o fornecimento dos EPIs não garante que os funcionários estejam livres de possíveis acidentes, a negligência e o mau uso destes equipamentos é um fato que implica em riscos e acidentes que poderiam ser evitados (CREA-SC, 2017).

A seguir, será discutido o desenvolvimento do trabalho e serão apresentados diversos tópicos do presente projeto, como: objetivos do projeto; a importância da utilização de EPIs; as pesquisas e trabalhos pertinentes sobre o tema; possíveis tipos de tecnologias a serem implementadas no auxílio do monitoramento de segurança dos operadores; os componentes que seriam utilizados na concretização do projeto; por fim, os resultados obtidos e as constatações feitas a partir deste, além de comentários a respeito de potenciais futuras pesquisas.

Figura 1 – Histórico da segurança do trabalho no Brasil.



Fonte: Basilio, 2021

## 1.1 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O presente projeto tem como objetivo geral a pesquisa e desenvolvimento de uma abordagem para automatização e monitoramento do adequado uso de EPIs por operadores em um ambiente industrial. O projeto consiste no desenvolvimento do software de visão computacional que será embarcado em um hardware devidamente projetado para atender as demandas de processamento e protocolos de comunicação do sistema.

Desta maneira, é necessário o estudo dos diferentes métodos propostos na literatura, identificando aqueles que são adequados ao que se deseja atingir, para que eles possam ser utilizados como base no desenvolvimento desse projeto de pesquisa. Propõe-se, como objetivo final, comparar a abordagem desenvolvida neste trabalho aos métodos tradicionais de

monitoramento de EPIs ao redor do mundo, com o propósito de identificar os principais pontos positivos e negativos do trabalho proposto.

Por fim, será feita uma breve análise econômica da viabilidade de implantação do projeto proposto em escala comercial. Contudo, levar-se-á consideração apenas os gastos atrelados ao projeto, que consistem em variáveis como despesas com o hardware, custos da integração com os processos, entre outros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TRABALHOS RELACIONADOS

Para estudar a viabilidade do que se deseja fazer nesse projeto de conclusão de curso, foi realizado um mapeamento inicial de alguns trabalhos de pesquisa. Os métodos propostos foram analisados e estudados para que sejam utilizados como base no desenvolvimento deste trabalho, foram selecionados estudos com dois diferentes focos a fim de contemplar todas as áreas de nosso projeto.

O primeiro trabalho relacionado foi realizado por Jiancheng Jia, busca atender a necessidade de velocidade e precisão em uma linha de manufatura de seringas, utilizando de recursos visuais e de machine learning é possível inspecionar uma grande quantidade de produtos em pouco tempo, aumentando assim a produtividade e a eficiência da linha de produção.

Para realizar o processo de inspeção das seringas em visão computacional foram utilizados dois processadores de verificação de visão instalados em um computador, para a visualização do objeto 10 câmeras monocromáticas com lentes de 16mm e duas luminárias de led foram instaladas próximas à linha de produção, cada processador ficou responsável por 5 cameras. Cada processador de visão tem somente 4 entradas, então para isso foi utilizado um multiplexador, os controladores de visão contam também com interfaces de entrada e saída discretas para que se comunicam com o PLC, este que realiza o controle de toda a linha de montagem, o computador também é conectado ao PLC via protocolo ethernet. Para integrar o projeto com a linha de produção foi preciso criar uma Interface Humano Máquina (IHM), ela pode ser descrita em 5 pontos, o painel principal, o painel de programação das câmeras, os painéis de inspeção, painel de monitoramento e por fim o painel de calibração das câmeras (JIA, 2009).

O segundo trabalho relacionado foi desenvolvido por alunos da faculdade de Controle e Ciência da Computação de Bucareste, Romênia, tem como proposta a implementação de uma sistema que utiliza câmeras para detecção em tempo de real de falhas de componentes em uma linha de montagem de paletes, utilizando o matlab para realizar o processo de medição e compilação.

Com o objetivo de realizar a detecção e reporte de falhas de montagem em uma linha produtiva, foi desenvolvido um algoritmo de visão computacional que realiza uma análise por cores e compara com um modelo pré estabelecido, para isso foram utilizados dois sensores de vídeo que convertem a imagem captada do ambiente em 3D (03D303) IFM, também foi utilizado

uma câmera de 5 Megapixels arecont Vision IP, posicionadas estrategicamente na parte de cima da linha de montagem. Com a implementação do algoritmo é possível detectar através do padrão de cores as peças que estão posicionadas em locais errados, deste modo um gatilho é enviado até o controlador que emite um alerta de peça com erro, permitindo assim a correção por parte do operador (COJOCARU; POPESCU; ICHIM, 2020).

Um conceito inovador foi apresentado pelos alunos da TianJin University, China, propõe a utilização de um novo conceito de câmera inteligente voltado para aplicações industriais, juntamente com um novo algoritmo voltado para visão computacional que otimiza a captura de imagens, reduzindo assim o tamanho dos arquivos gerados e diminuindo o tempo de processamento. Para suportar este algoritmo de visão computacional foram utilizados módulos, pré fabricados batizados de ETNDRIIC, sua estrutura modular permite que ele se adapte a diferentes tipos de aplicação, os módulos podem ser descritos como, interface de rede, energia e controle de lógica, aquisição de imagens e por fim processamento de imagens e controle. O bloco responsável pela captação de imagens é analógico por conta da redução de ruídos, foi utilizado uma câmera LUPA-1300 de 1.3 Megapixels para captação de imagem, sensores com chips CMOS de resolução 1280x1024. O módulo responsável pelo processamento de imagens e controle, compara e analisa as imagens obtidas, muitas das vezes os dados processados tem grandes tamanhos, para isso foi utilizado uma FPGA que realiza o processamento e controle, toda a interface da ETNDRIIC é realizada via protocolo Ethernet, deste modo quando a FPGA processa uma informação que necessita a tomada de ações um gatilho é acionado e enviado até o computador integrado a rede. Com o auxílio dos sensores CMOS, a velocidade de processamento foi otimizada permitindo assim um monitoramento em tempo real, utilizando uma FPGA integrada ao projeto que facilita o modelamento a diferentes aplicações (MIN; ZHAN-HUA, 2009).

Com o objetivo de solucionar a perda de dados em grandes redes de comunicação de câmeras em ambiente industrial, foi realizado um estudo pelos alunos da universidade de tecnologia de Xiamen, China, este propõe resolver o problema utilizando a teoria das filas. Para que os processos de fila fossem amenizados durante o envio de pacotes de mensagem o protocolo baseado em Ethernet Gigabit, GigE Vision foi utilizado, este protocolo permite o envio de informações em pacotes maiores de até 16224 bytes e uma velocidade maior que os protocolos de rede convencional, em contrapartida é preciso uma CPU com alto poder de processamento para dar conta do fluxo (ZENG et al., 2022).

Além do hardware e protocolos de comunicações, outro grande pilar para o desenvolvimento do nosso projeto é o software de visão computacional. Para isso, trabalhos envolvendo inteligência artificial, redes neurais e aprendizado de máquina foram analisados.

Foi desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação e Engenharia da Escola de Engenharia Amrita Bangalore da Índia um sistema capaz de reconhecer objetos. Segundo esta pesquisa, para garantir um modelo treinado capaz de identificar e classificar objetos, foi utilizado o Faster R-CNN para construir o modelo de treinamento e TensorFlow Object Detection API para realizar o reconhecimento dos objetos. Treinaram o modelo com 4500 steps e obtiveram cerca de 0.1 de loss. Concluíram que quanto maior o número de steps, melhor será o resultado (SAI; SASIKALA, 2019).

Um estudo comparativo com duas redes neurais foi desenvolvido pela Universidade de Tenaga Nasional da Malásia. Utilizaram para o treinamento do modelo, Faster-RCNN e SSD MobileNet V2, já para o reconhecimento dos objetos utilizaram o TensorFlow Object Detection API. Conseguiram atingir aproximadamente zero de loss no treinamento com a Faster-RCNN com 29000 steps, já com a SSD MobileNet V2, conseguiram aproximadamente 0.5 de loss com 71000 steps. Concluíram que ambos os testes conseguiram detectar os objetos, porém, o modelo treinado pela SSD MobileNet V2 obteve muitos falsos positivos e uma acurácia inferior ao Faster-RCNN (JANAHIRAMAN; SUBUHAN, 2019).

Com a preocupação da utilização de EPIs contra a COVID-19, a Universidade North South de Bangladesh desenvolveu uma aplicação para auxiliar a detecção destes equipamentos. Este projeto utilizou para o treinamento do modelo YOLOv4 e para detecção dos objetos o TensorFlow. Com 8000 steps obtiveram um loss de aproximadamente 2.97, concluíram que conseguiram o nível de acurácia médio em 80%, atendendo a demanda do projeto (PROTIK; RAFI; SIDDIQUE, 2021).

Um trabalho que também trouxe uma solução bem interessante foi desenvolvido por pesquisadores da Indonésia. Com o objetivo de desenvolver um modelo capaz de reconhecer EPIs de operadores na indústria utilizando redes neurais convolucionais, utilizaram para o treinamento do modelo a Faster-RCNN com 20.000 steps e conseguiram cerca de 0.1 de loss. E para classificação dos objetos, utilizaram ResNet. Concluíram que o projeto atendeu o propósito com acurácia média de 80% (ZHAFRAN et al., 2019).

O mapeamento inicial apresenta os projetos e métodos que serão aprofundados e utilizados como base, possibilitando o desenvolvimento deste.

## 2.2 IMAGENS DIGITAIS

Um dos principais sentidos utilizados pelos humanos é a visão, usada para reconhecer objetos, pessoas, lugares, perigos, etc. e descrever o mundo ao seu redor. A visão computacional é, nada mais que, transportar esse sentido aos computadores, possibilitando as mesmas percepções e identificações a partir da análise de vídeos e imagens. Para desenvolver a visão computacional, o passo primordial é a captação e digitalização de imagens (BEBIS; EGBERT; SHAH, 2003; SZELISKI, 2010).

### 2.2.1 Representação de Imagens

As imagens podem ser modeladas através de modelos matemáticos, funções contínuas, discretas e digitais. Considerando uma imagem capturada por uma câmera, é possível modela-la como uma função contínua de duas variáveis  $f(x,y)$  sendo  $(x,y)$  coordenadas de um plano ou uma função com três variáveis,  $(x,y,t)$  sendo  $t$  o tempo. Esses modelos podem representar de forma satisfatória a maioria das aplicações do cotidiano (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Os valores dessas funções contínuas descrevem as imagens. Usualmente, representam o brilho (função *gray-scale*) em imagens monocromáticas, ou a intensidade cores, mas as representações podem também sair do espectro visível, sendo representadas no espectro infravermelho, como para a captação recente da primeira imagem de buracos negros, eletromagnético, entre outros (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

### 2.2.2 Digitalização de Imagens

Já que a visão computacional está relacionada com a interpretação de imagens através de computadores, o princípio para ela está na digitalização das imagens. Como visto, uma imagem bidimensional monocromática capturada por uma câmera, por exemplo, pode ser descrita através de uma função contínua  $f(x,y)$ , onde para cada posição no plano  $xy$  um valor de intensidade de brilho está associado. A digitalização dessa imagem seria sua amostragem matricial com  $m$  linhas e  $n$  colunas. Além disso, para cada amostra um valor inteiro está associado, variando dentro de um intervalo com  $k$  valores. A qualidade da digitalização está ligada ao tamanho da amostragem ( $m$  e  $n$ ) e a quantização de valores (nesse caso intensidade de brilho), ou seja, número de intervalos de valores ( $k$ ), quanto maiores esses parâmetros forem, melhor a digitalização (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

### 2.2.2.1 *Matrizes*

A representação de imagens por matrizes é a estrutura mais comumente utilizada. Os elementos da matriz são números inteiros que representam, por exemplo, a intensidade, brilho, ou outras propriedades das cores. No caso de imagens coloridas, cada elemento recebe um vetor com cada informação, por exemplo no sistema RGB, a intensidade de cada uma das cores primárias (os sistemas de cores serão descritos tópicos à frente) (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

### 2.2.2.2 *Amostragem*

A amostragem define a quantidade de pontos analisados na imagem, ou seja, pensando no exemplo anterior, o número de coordenadas (x,y) em que o brilho é extraído da função contínua é o número de elementos da matriz. Esses pontos, para as imagens digitais, são chamados pixels e são considerados indivisíveis no que tange a análise de imagens (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

A Figura 2 mostra uma mesma imagem com diferentes quantidades de pixels, ou seja, amostras. Com isso é nítido o efeito do tamanho da amostragem na resolução e qualidade das imagens digitalizadas (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

### 2.2.2.3 *Quantização*

A quantização se refere ao mapeamento dos valores de uma função de brilho de imagem para valores discretos na imagem digital. Esses valores são discretizados em  $k$  intervalos, representando-os em bits ( $b$ ) obtemos que  $k = 2^b$ . Normalmente são utilizados sistemas com 8 bits por pixel para cada canal (no caso do sistema RGB, vermelho, verde e azul) (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A principal consequência do baixo número de intervalos de quantização (abaixo do que o ser humano pode distinguir facilmente) é a criação de falsos contornos, fazendo a imagem perder sua qualidade. Um método utilizado para evitar esses problemas é a quantização com intervalos diferentes, isto é, para as intensidades de brilho mais comuns na imagem os intervalos possuem espaços menores do que para as intensidades menos comuns (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A Figura 3 mostra a diferença entre o número de intervalos de brilho para uma mesma imagem digital.

Figura 2 – Digitalização de imagem, número de pixels. (a) 256 x 256; (b) 128 x 128; (c) 64 x 64; (d) 32 x 32.



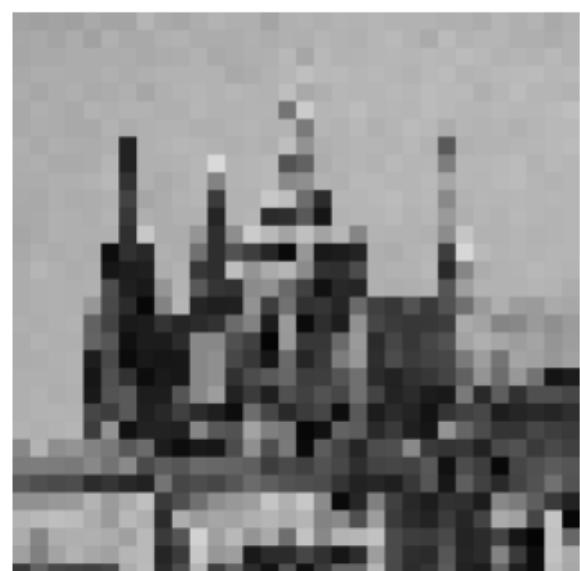
(a)



(b)



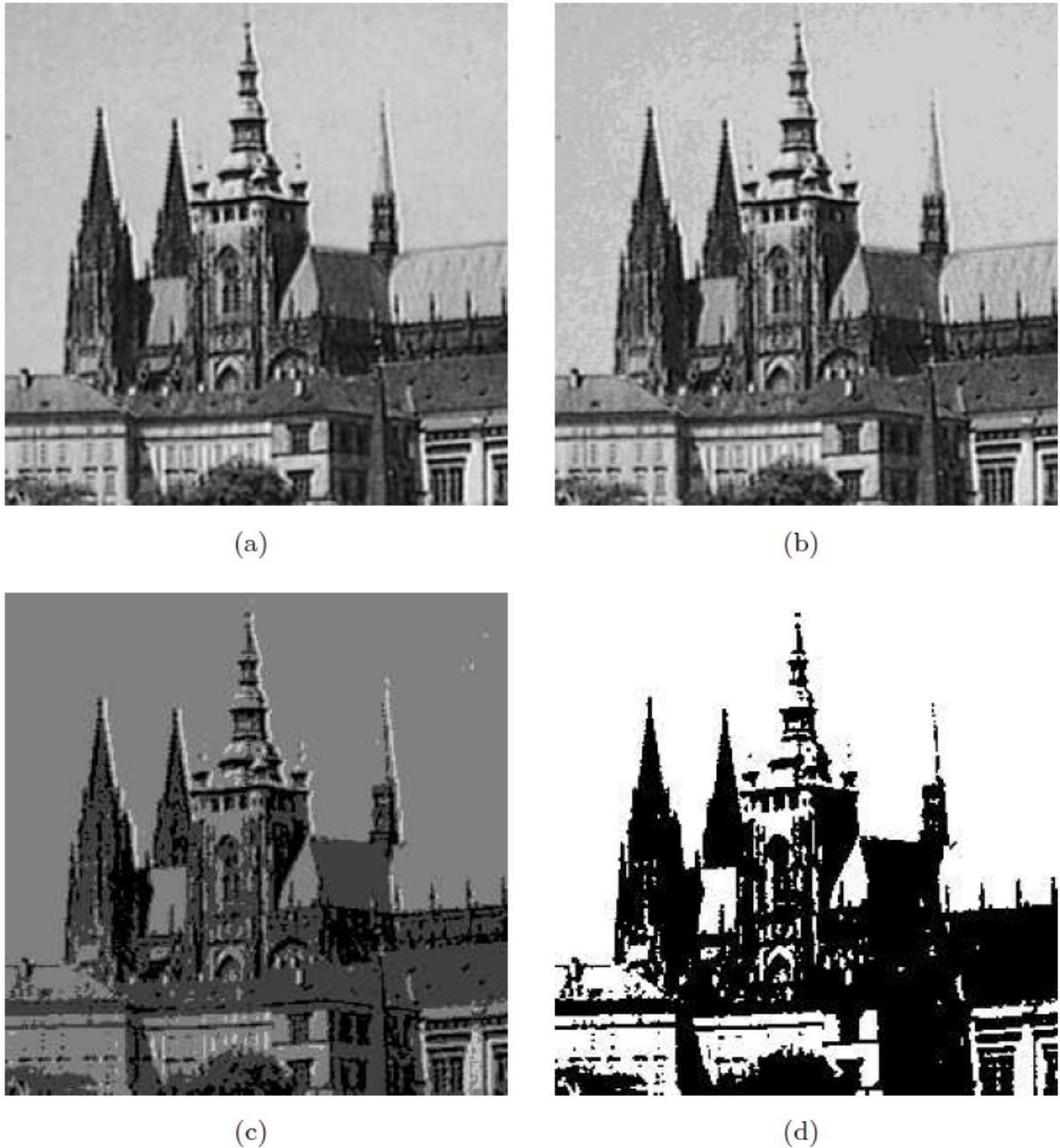
(c)



(d)

Fonte: Sonka, Hlavac e Boyle, 2014.

Figura 3 – Digitalização de imagem, intervalos de brilho. (a) 64; (b) 16; (c) 4; (d) 2.



Fonte: Sonka, Hlavac e Boyle (2014).

### 2.2.3 Introdução à cores

Apesar dos exemplos apresentados mostrarem a digitalização de imagens monocromáticas, os seres humanos enxergam e percebem diferentes cores na natureza. Para que a interpretação e representação de cores seja replicada para imagens digitais, primeiro deve-se compreender o que é a luz e de onde veem as cores.

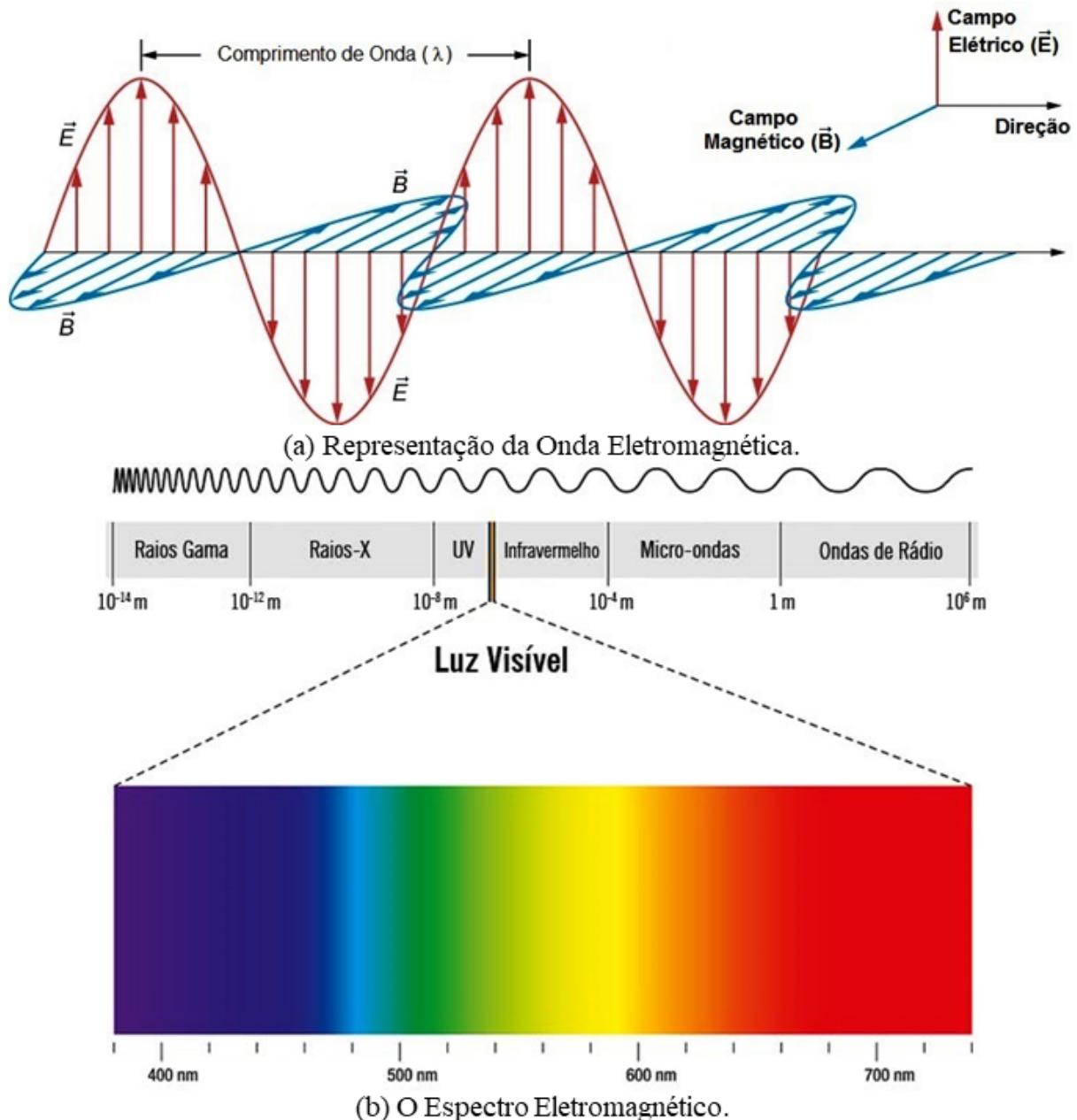
#### 2.2.3.1 Física das Cores

A luz que os seres humanos enxergam é uma fração do espectro eletromagnético, ou seja, a luz é uma onda que se propaga através de campos elétricos e magnéticos em conjunto. Essas ondas possuem algumas propriedades como amplitude  $A$ , comprimento de onda  $\lambda$ , velocidade de propagação  $v$ , que no vácuo é de aproximadamente  $3.10^8 \frac{m}{s}$ , frequência  $f$  e período  $T$ . Dessa forma, as diferentes cores que os seres humanos percebem são distinguidas pelos seus distintos comprimentos de onda  $\lambda$ , sendo eles entre aproximadamente 380 à 740 nm. A Figura 4 mostra em (a) a representação da onda eletromagnética e em (b) o espectro eletromagnético, destacando a parcela correspondente à luz visível e suas diferentes cores (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 2016).

Os seres humanos percebem essas cores através de células fotorreceptoras localizadas na retina, os cones e os bastonetes. Os bastonetes são responsáveis pela visão monocromática (preto e branco) e os cones são as células responsáveis pela percepção das cores. Os cones são classificados segundo sua capacidade de detecção dos comprimentos de onda, sendo curtos ( $S$  – *short*) com sensibilidade de no máximo 430 nm, médios ( $M$  – *medium*) sensíveis até 560 nm e longos ( $L$  – *long*) sensíveis até 610 nm. Essas faixas de captação correspondem aproximadamente às cores azul, verde e vermelho, respectivamente, porém a percepção dessas cores não está associada exclusivamente a ativação de um desses tipos de células, mas sim em sua ativação conjunta (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Como mostrado anteriormente, as imagens podem ser representadas por sua função contínua de intensidade (brilho), e assim, digitalizada pela amostragem discretizada dessa função. Do mesmo modo que esse processo é realizado em imagens monocromáticas, é possível realiza-lo a partir da função de intensidade para diferentes comprimentos de onda, dessa forma, diferentes cores. Para esse processo de obtenção de cores digitalizadas, existem diversos padrões de cores primárias utilizadas na digitalização (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). Esses padrões serão discutidos no tópico subsequente.

Figura 4 – (a) Representação da Onda Eletromagnética e (b) O espectro eletromagnético.



Fonte: Química (2020).

#### 2.2.3.2 Sistemas de Cores

Para padronização das representações de imagens digitais, os sistemas de cores foram criados. Cada um possui como base cores definidas como primárias para que, a partir delas, as outras sejam criadas. Cada sistema de cores possui uma área para sua utilização, mas é possível realizar a conversão entre sistemas através do mapeamento das informações (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Em 1931, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE – *International Commission on Illumination*), definiu o primeiro sistema de cores denominado XYZ color space. Esse sistema define três comprimentos de onda como cores primárias e as relaciona com suas funções  $X(\lambda)$ ,  $Y(\lambda)$  e  $Z(\lambda)$ , correspondentes a capacidade de percepção da visão humana (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Após a criação do primeiro sistema outros foram desenvolvidos, sempre visando auxiliar em sua atividade de uso. Alguns dos principais sistemas de cores utilizados estão descritos a seguir.

a) RGB:

O sistema RGB foi criado a partir da necessidade de representação de cores na imagem de televisores da tecnologia de tubo de raios catódicos (CRT – *cathode ray tubes*). O sistema se baseia em três cores primárias, vermelho (R – *red*), verde (*green*) e azul (B – *blue*), definidas com o intuito de se aproximar das cores emitidas pelo fósforo das telas (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

O sistema trabalha com a construção aditiva de cores, ou seja, as demais cores são resultado da soma de intensidades das cores primárias. Dessa forma, cada pixel é representado por um vetor com três valores, correspondendo a intensidade de cada uma das cores primárias (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

b) CMYK:

O sistema CMY, é um sistema subtrativo e parte das cores primárias ciano (C – *cyan*), magenta (M) e amarelo (Y – *yellow*). Esse sistema é utilizado para impressão à tinta, portanto em alguns casos, adicionalmente utiliza-se a cor preta para facilitar a impressão, sendo então representado como CMYK (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

c) HSV:

Esse sistema é o mais utilizado por artistas. O HSV descreve três propriedades das cores, matiz (H – *hue*), saturação (S – *saturation*) e brilho ou valor (V – *value*). A matiz define a base da cor, ou seja, os principais comprimentos de onda do espectro visível, o nível de saturação seria semelhante à adição de branco ou preto para alterar o tom da cor e o brilho sua intensidade (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

d) HSL:

Figura 5 – Histograma de intensidades monocromático.



Fonte: Autores.

O sistema HSL mantém os mesmos dois parâmetros que o HSV, matiz e saturação, porém o brilho é substituído pela luminosidade (L – *lightness*). A principal diferença entre o brilho e a luminosidade está na cor de seu fundo de escala, ou seja, a escolha do valor máximo de brilho representa a cor branca, já a luminosidade cinza (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

## 2.2.4 Processamento de imagens

### 2.2.4.1 *Histogramas*

Histogramas são gráficos de colunas que indicam a frequência das intensidades de brilho de uma imagem, ou seja, o histograma agrupa os pixels de mesma intensidade de brilho e exibe sua quantidade (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A Figura 5 mostra um exemplo de histograma, nele é possível observar que a imagem possui maior frequência nas intensidades de brilho entre 50 e 100.

Nos histogramas, o eixo x apresenta os valores de intensidade e o eixo y a quantidade de pixels presentes em cada intensidade (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). Além de imagens monocromáticas, existem histogramas segmentados pelas cores primárias dos sistemas, a Figura 6 mostra o histograma baseado no sistema RGB para a mesma imagem da Figura 5.

#### 2.2.4.1.1 *Equalização*

A visualização de imagens digitais pode ser melhorada através do aumento no contraste delas, principalmente tratando-se de imagens que são vistas por seres humanos. As transformações de níveis de brilho de pixels podem ser feitas através de dois modos, um dependente da posição

Figura 6 – Histograma de intensidades RGB.



Fonte: Autores.

do pixel e outro independente, realizando a transformação somente através dos valores. Uma transformação de níveis de brilho pode ser obtida ao equalizar os histogramas das imagens, assim, ajustando seu contraste (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

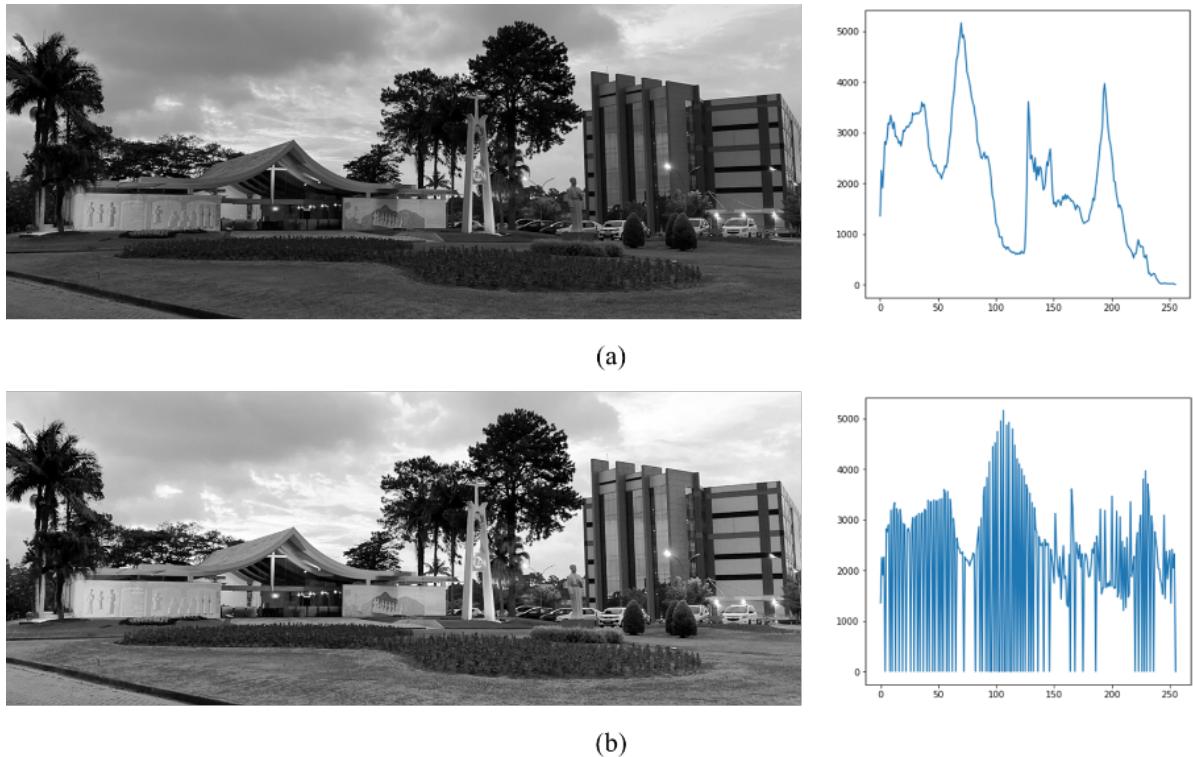
Equalizar um histograma significa redefinir os valores de intensidade de brilho dos pixels, a fim de deixá-los igualmente distribuídos ao longo da escala de intensidades. A equalização ajusta o contraste reduzindo-o em nas intensidades menos frequentes e aumentando-o nas mais frequentes. A equalização também pode ser feita para imagens coloridas, realizando-a para todos os histogramas, ou seja, canais de cor presentes (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). Um exemplo de equalização para aumento de contraste está apresentado na Figura 7.

#### 2.2.4.2 *Suavização (Smoothing)*

A suavização de imagens digitais consiste na criação de uma nova função aproximada dos valores de brilho de cada pixel. Essa transformação tem como objetivo suprimir ruídos da imagem, deixando-a com transições mais suaves. Para isso, a suavização avalia os valores de brilho de pixels adjacentes para aumentar valores baixos e reduzir valores altos, possivelmente originários de ruídos (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Considerando esse efeito, quando o uso da suavização é direcionado à detecção de objetos, vale ressaltar a importância da utilização de métodos de suavização que preservem as bordas (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Figura 7 – Equalização de histograma monocromático. (a) Imagem com baixo contraste, antes da equalização; (b) Imagem equalizada para aumento de contraste, histograma melhor distribuído e melhor percepção dos contornos.



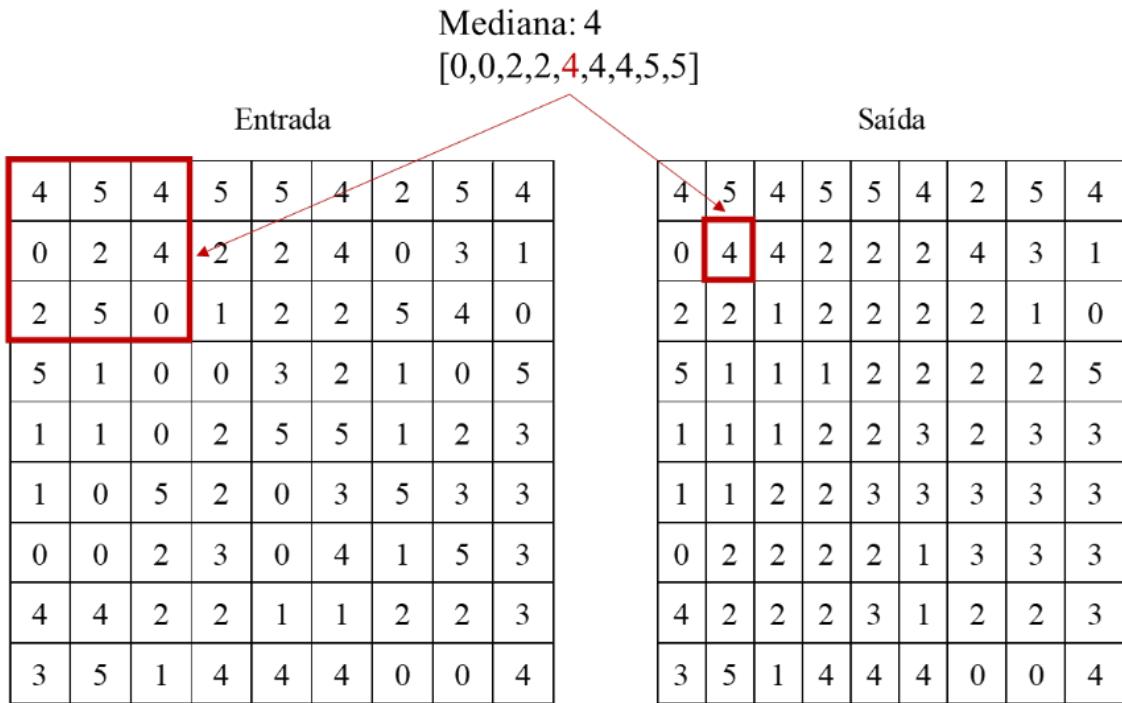
Fonte: Autores.

#### 2.2.4.2.1 *Filtro de Medianas (Median Filtering)*

O método de suavização de mediana é muito utilizado devido sua boa performance removendo ruídos (principalmente do tipo “sal e pimenta”, pixels pretos e brancos espalhados pela imagem) e, ainda assim, preservando as bordas (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Nesse método, para cada pixel avaliado, é definida uma janela de pixels adjacentes. Os valores de todos os pixels são ordenados e o pixel avaliado recebe o valor médio da janela. Os pixels das bordas, por não possuírem a mesma quantidade de pixels adjacentes, podem ser tratados de diferentes maneiras: copiando seus valores, ou seja, as bordas se mantêm iguais; estendendo os valores das bordas para fora, utilizando seus próprios valores e; estendendo valores das bordas valendo 0 (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A Figura 8 mostra um exemplo de transformação de um pixel para uma imagem 9x9, utilizando uma janela 3x3.

Figura 8 – Transformação de pixel com método de filtro de medianas. Imagem 9x9 com janela 3x3.



Fonte: Autores.

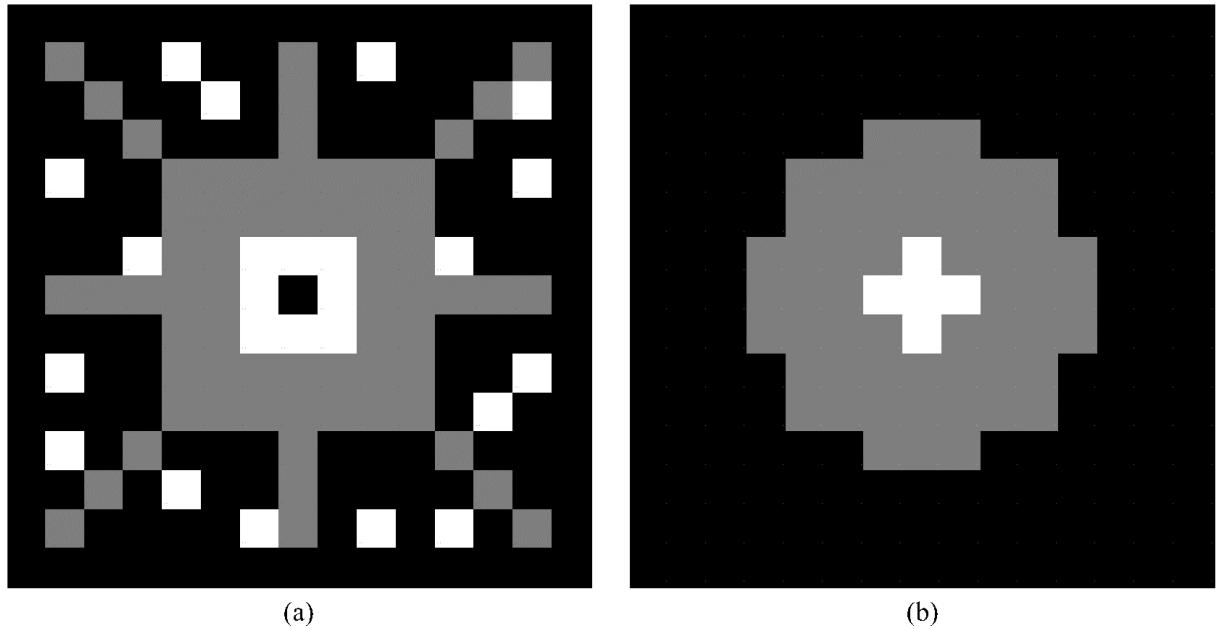
Um exemplo de uso desse filtro pode ser observado na Figura 9, onde uma imagem passa pelo método da mediana mantendo seus valores de borda. É possível observar a remoção dos ruídos do tipo “sal e pimenta” e a suavização das transições de cores da imagem.

#### 2.2.4.2.2 Filtro de Médias (Averaging Filtering)

O filtro de médias é também utilizado para suavizar imagens. Nesse método, os pixels são substituídos pelos valores médios dos seus adjacentes, dessa forma, a suavização é feita reduzindo a variação de intensidades de pixels adjacentes. Devido à essa característica, esse filtro acaba “embaçando” as bordas, dessa forma prejudicando uma futura análise e identificação de objetos (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

O método é realizado de forma análoga à explicada no filtro de medianas, porém neste caso, o valor substituído é o resultado da média de valores dos pixels da janela (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A Figura 10 mostra um exemplo do processo de transformação dos valores dos pixels para uma imagem 9x9, utilizando uma janela 3x3.

Figura 9 – Imagem suavizada por filtro de medianas. (a) Imagem original; (b) Imagem após filtro.



Fonte: Autores.

A Figura 11, mostra um exemplo do uso do filtro de médias para suavização de uma imagem 9x9 com janela 3x3. Vendo o resultado desse filtro, é possível observar a degradação das bordas, deixando-as “embaçadas”. Porém, o formato da imagem é mais preservado.

#### 2.2.4.3 Segmentação

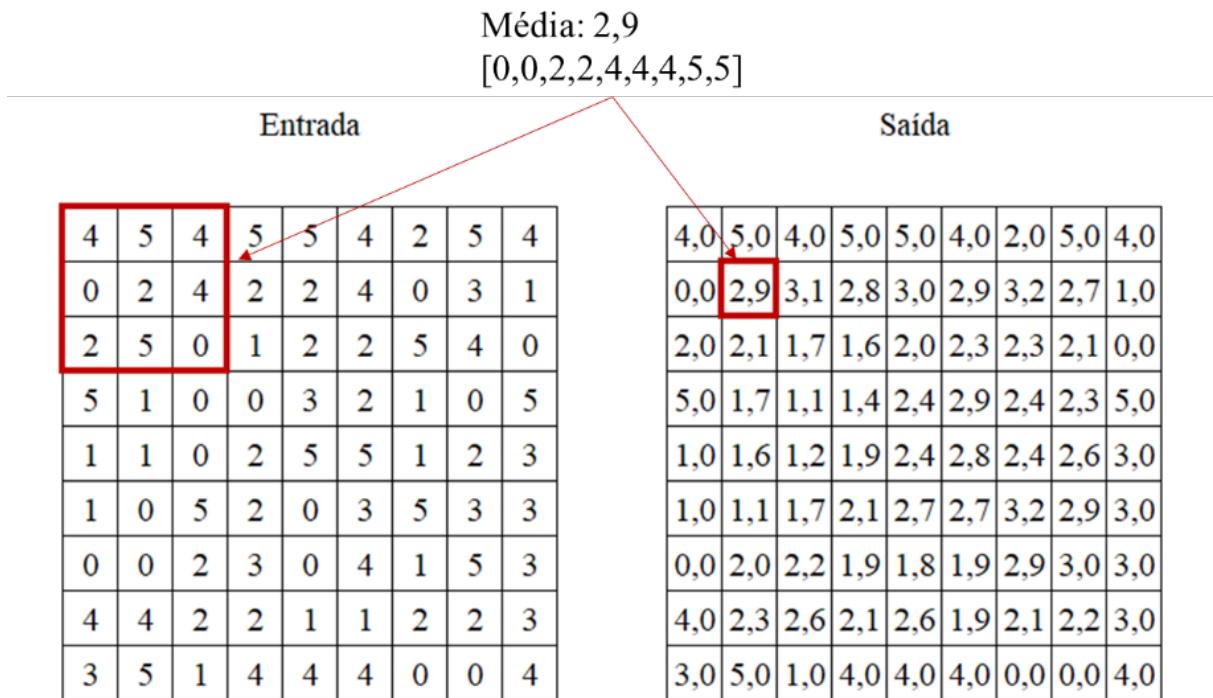
Visando a detecção de objetos, um passo importante é a segmentação das imagens digitais. A segmentação tem como objetivo a identificação e separação da imagem em partes, que possivelmente contenha objetos que possam ser de interesse (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Os principais algoritmos se baseiam em três principais métodos de segmentação, eles são: limiar ((thresholding)), com base nas bordas e com base nas regiões (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

##### a) *Thresholding*:

O método de *thresholding* é o mais simples para segmentação de imagens. Esse método consiste na definição de um nível de brilho como limiar para que, após

Figura 10 – Transformação de pixel com método de filtro de médias. Imagem 9x9 com janela 3x3.



Fonte: Autores.

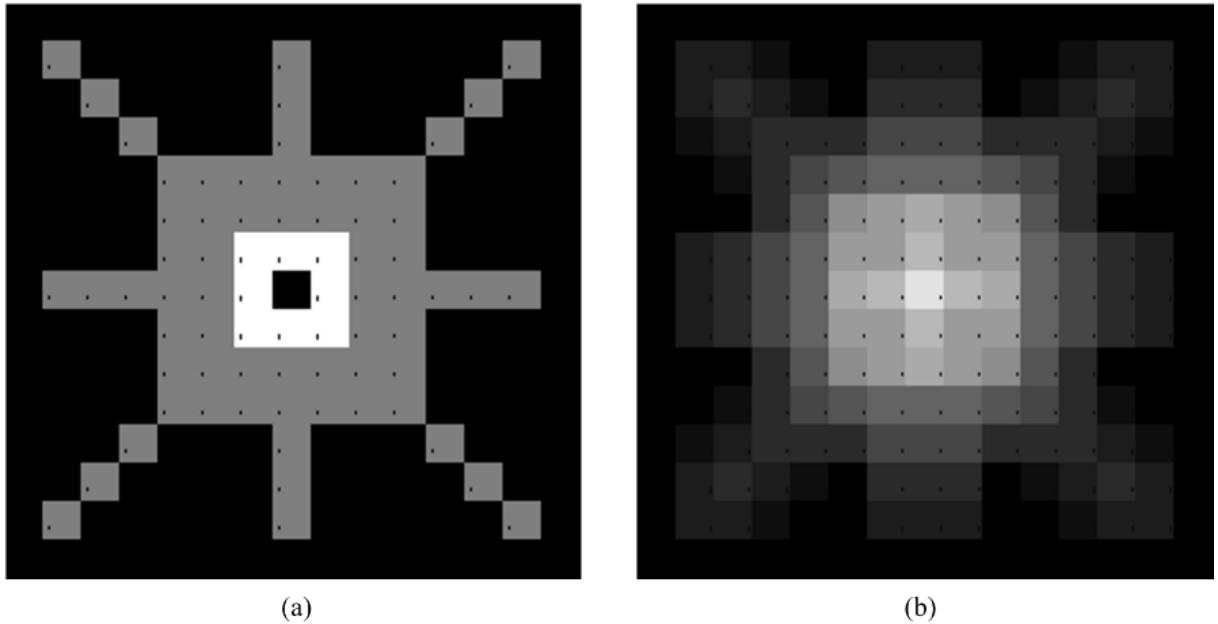
a análise de cada pixel, a imagem de saída possua somente dois níveis de brilho (branco ou preto) (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

A análise realizada verifica se o brilho dos pixels é superior ou não o brilho limiar. Caso seja, seu novo valor de brilho é igual a 1 (preto) e, para pixels inferiores ao limiar, novo nível igual a 0 (branco), ou vice e versa (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). O método de limiar, apesar de efetivo em alguns casos, pode apresentar alguns problemas caso o limiar não seja bem definido, ou as escalas de brilho variem bastante entre objetos (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014). A Figura 12 mostra um exemplo de uso desse método para três diferentes situações, limiar bom (b), limiar muito baixo (c) e limiar muito alto (d).

Tendo esses problemas em vista, uma maneira desenvolvida para contorná-los foi a definição de limiares locais, ou limiares adaptativos. Isto é, para uma mesma imagem, são definidos diferentes limiares, de acordo com a região (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

b) *Edge-based:*

Figura 11 – Imagem suavizada por filtro de médias. (a) Imagem original; (b) Imagem após filtro.



Fonte: Autores.

O método de segmentação *edge-based*, é baseado nos limites da imagem. Esses limites são definidos onde ocorrem descontinuidades dos níveis de brilho, cor, textura, entre outros (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Esse método identifica essas descontinuidades definindo os limites da imagem, porém a saída de um algoritmo desse tipo não é o resultado final da segmentação, os limites encontrados ainda devem ser organizados e combinados a fim de criar as bordas dos objetos analisados. Esse método, quando aplicado a imagens com bastante ruído, pode acabar criando bordas onde não existe originalmente e não detectando-as em locais que existem (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

c) *Region-based*:

O método *region-based* classifica e define regiões na imagem para segmentação. Essas regiões são definidas por conjuntos de pixels em que algumas propriedades são similares, como cor, intensidade, etc. Algoritmos desse método são mais utilizados em casos de imagens com ruídos.

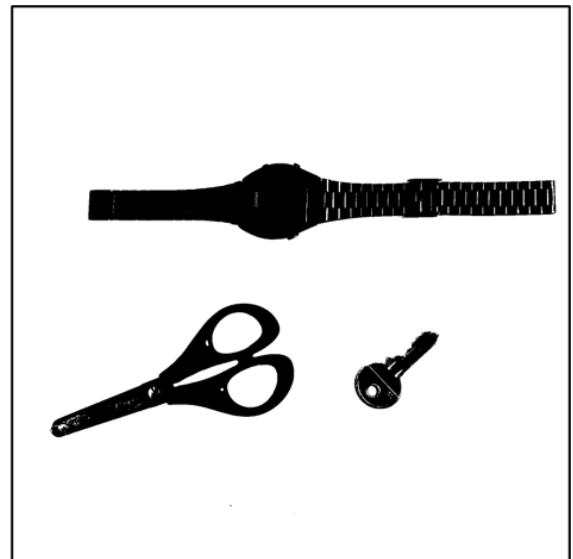
Existem dois principais tipos de técnicas de segmentação *region-based*, elas são *growing* e *split and merge* (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

A técnica de *growing* consiste na expansão de uma região. Ou seja, a região inicia com um único pixel que atende as suas propriedades. Quando um pixel é

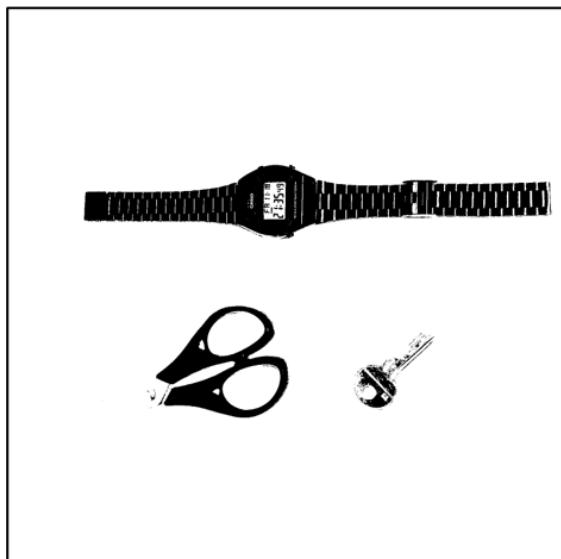
Figura 12 – Segmentação com algoritmo do método *Thresholding*. (a) Imagem original; (b) *Threshold* bem definido; (c) *Threshold* muito baixo; (d) *Threshold* muito alto.



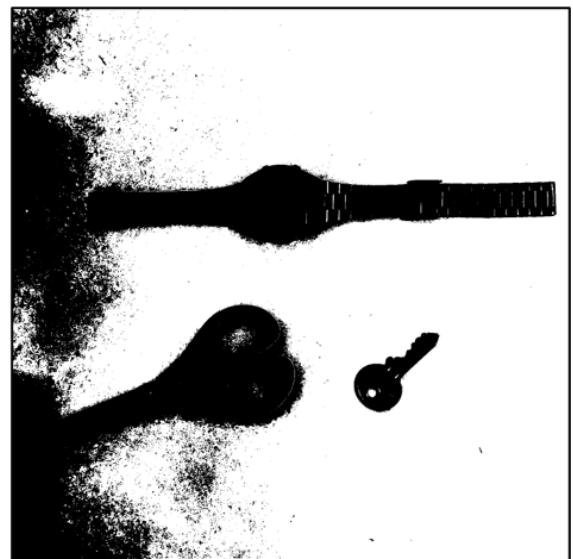
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autores.

analisado, caso ele também possua as mesmas propriedades, ele é adicionado à região (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Já a técnica *split and merge*, inicia a imagem com uma única região contemplando todos os pixels. Nesses pixels são feitas as verificações das propriedades e, no caso de a região não atender às propriedades, ela é dividida em outras menores e o processo continua (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

## 2.3 APRENDIZADO PROFUNDO

O grande pilar da análise das imagens é o aprendizado profundo, ou *Deep Learning*. A técnica possibilita treinar um algoritmo para identificar características significativas em diversos tipos de dados, representados numericamente.

Segundo Glassner (2021), o processo de identificação em um humano busca localizar padrões que ajudem a entender os dados, um processo composto por três etapas:

- a) Identificação de informações relevantes;
  - b) Coleta de dados que contenham essas informações;
  - c) Projeto e execução de algoritmos para extrair ao máximo as informações desses dados.
- .

A estrutura base para o aprendizado são as redes neurais, classificadas em artificiais ou convolucionais. As redes artificiais se assemelham ao cérebro humano com a presença de neurônios completamente conectados transmitindo o valor atribuído a cada pixel da imagem de entrada para a próxima camada de neurônios. As redes convolucionais atuam com auxílio de um *kernel* (matriz de valores) que percorre a imagem multiplicando cada bloco de pixel para extrair valores significativos.

Essas redes podem ser treinadas por aprendizado supervisionado, não supervisionados ou por reforço, os quais são diferenciados pela quantidade de auxílio que possuem durante o treinamento.

Cada treinamento gera um modelo para ser aplicado no problema desejado, que possibilitem uma rede classificar um objeto na imagem. A identificação ocorre pela localização de locais relevantes na imagem, por meio de algoritmos, e os classificam se baseando no modelo construído.

Abaixo têm-se o estudo do funcionamento do aprendizado profundo e seus principais componentes.

### 2.3.1 Neurônios

Os neurônios biológicos são a unidade de conexão e aprendizado no cérebro, formados por Dendritos, Corpo Celular e Terminais do Axônio. Seu funcionamento ocorre num sentido único, que consiste em um recebimento de estímulo por meio dos dendritos, provenientes da conexão com outro neurônio, processamento das informações no corpo celular e emissão por meio do axônio.

Com base nesse funcionamento, em 1943 o neurofisiologista Warren McCulloch e o matemático Walter Pitts publicaram o artigo *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity* com a primeira modelagem matemática de um neurônio utilizando circuitos elétricos (MCCULLOCH; PITTS, 1988). Em 1957, o cientista Frank Rosenblatt inspirado nesse artigo apresentou um modelo chamado de Perceptron, onde a saída do neurônio é o resultado de uma função de ativação que possui de argumento a soma ponderada de cada entrada e um viés (*bias*). As entradas apresentam pesos que são adicionados por um mecanismo e aprimoram o aprendizado. A equação 1 representa a variável de somatória do produto entre as entradas seus pesos e a equação 2 apresenta a saída obtida pelo neurônio. A comparação entre o neurônio humano e perceptron está apresentada na Figura 13.

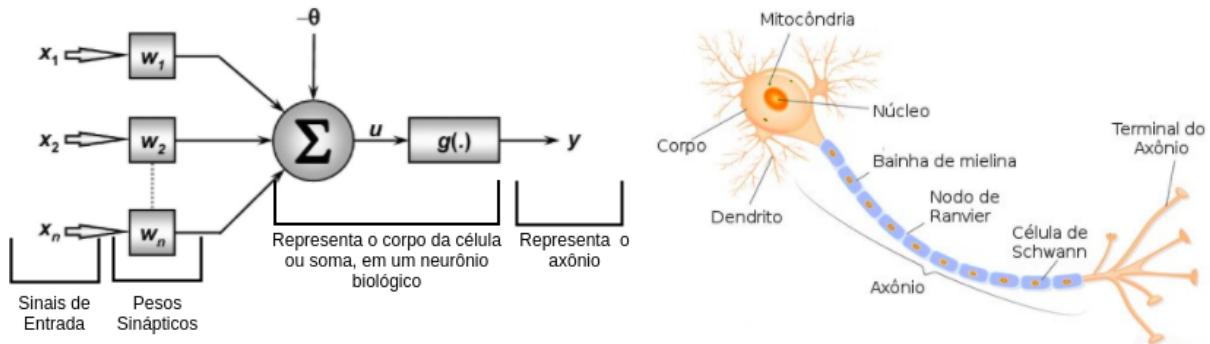
$$net = \sum \text{entradas} \times \text{pesos} = \sum x_i \times w_i \quad (1)$$

$$Y = F_{ativação}(net + bias) \quad (2)$$

#### 2.3.1.1 Funções de Ativação

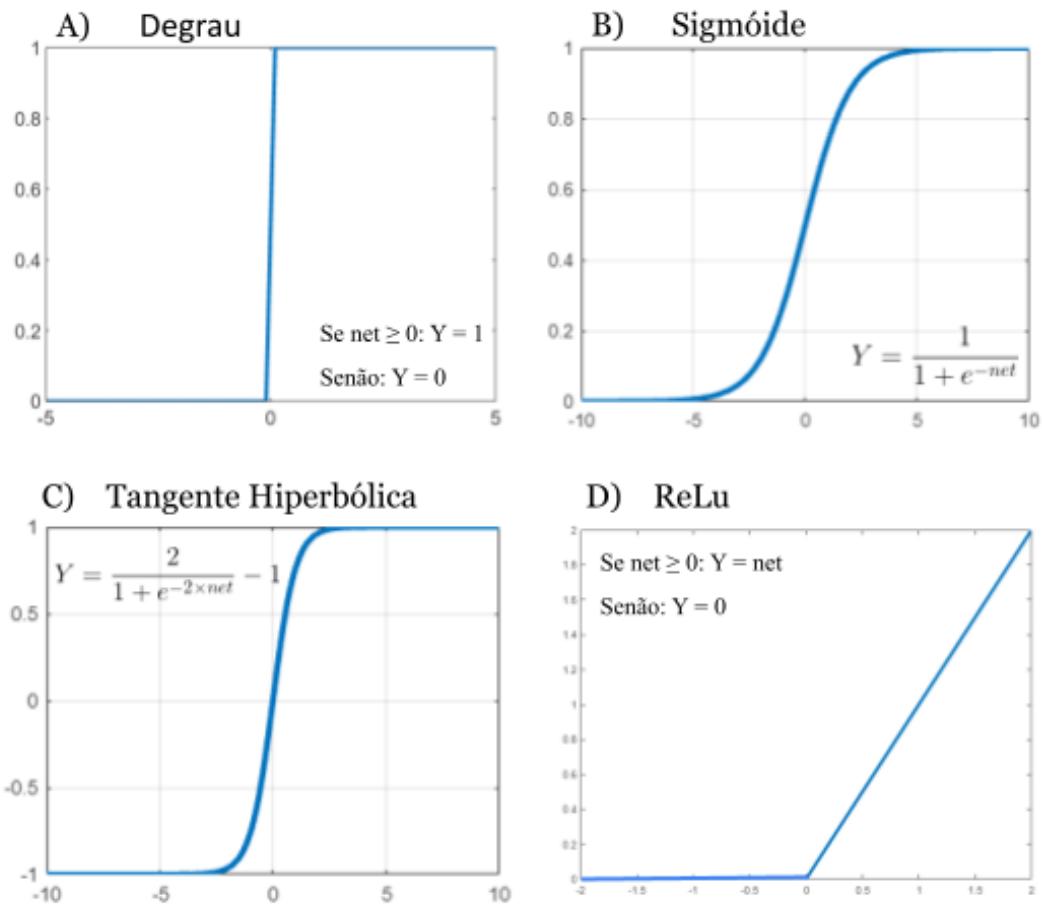
A função de ativação é o componente matemático de um neurônio responsável pela parcela de não-linearidade dos resultados, de modo que sem sua aplicação os modelos seriam de regressão linear. A função de Etapa Binária (*Binary Step Function*), ou Degrau, é a linear mais simples operando e foi aplicada no primeiro neurônio. Essa função atribui o valor de saída igual a 1, ou seja, o neurônio é ativado, se *net* for maior ou igual ao limiar definido, no caso 0. E atribui 0 a saída, se *net* for menor que o limiar. A Figura 14A) apresenta o gráfico e a regra dessa função (REIS, 2016).

Figura 13 – Neurônio Artificial x Neurônio Biológico.



Fonte: VINICIUS, 2017.

Figura 14 – Gráfico de saída das funções de ativação e suas regras de ativação.



Fonte: Autores, 2022.

Em redes atuais, possuem outros 3 tipos de funções de ativação que são mais aplicadas. A função Sigmóide é utilizada em redes neurais de multicamadas, com sinais contínuos e em problemas de classificação binária. Seu intervalo de variação são os valores de 0 a 1. Essa função já apresenta a não-linearidade e têm-se um aumento do custo computacional. A Figura 14B) apresenta o gráfico de saída da função e sua equação.

A função Softmax é uma generalização da função Sigmóide com aplicação em camadas de saída com diversas classes, onde sua saída representa a probabilidade da entrada estar entre cada uma das classes do problema. A somatória das probabilidades resulta em 1 (GLASSNER, 2021).

A função de Tangente Hiperbólica é comumente utilizada para redes cujas saídas são entre -1 e 1, possuindo o mesmo formato de ‘S’ presente na sigmóide, porém se adequa melhor nas aplicações em camadas ocultas das redes neurais artificiais. A Figura 14C) apresenta a saída da função Tangente Hiperbólica e sua equação.

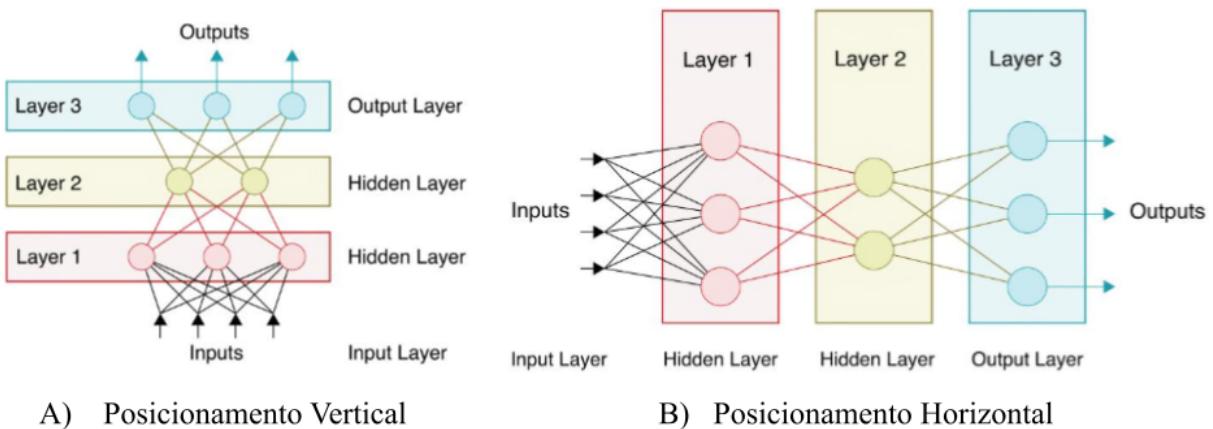
Por fim, uma das funções mais utilizadas para camadas ocultas é a ReLU, acrônimo de *rectified linear unit* (unidade linear retificada). Como é possível observar na Figura 14D), a saída dessa função é 0 para valores negativos e assume o valor de *net* quando positivos. A vantagem dessa função é o ganho de velocidade pela exclusão de alguns neurônios por conta da saída em 0 para valores negativos, ativando somente uma parte dos neurônios da rede. Essa técnica também pode representar um problema de pausa no aprendizado, caso a entrada mude para valores negativos, que resultam sempre em 0 (GLASSNER, 2021).

### 2.3.2 Redes Neurais Artificiais

A consolidação do módulo mais básico do *Deep Learning* permite sua organização em redes neurais artificiais (ANN, acrônimo de *Artificial Neural networks*) para aprendizado desejado. Assim como no cérebro humano, as redes são formadas com o acoplamento da saída dos neurônios na entrada dos presentes na próxima camada. Dessa forma, o fluxo de informação se propaga da entrada para a saída, conhecido como *FeedForward*, o qual não apresenta nenhum tipo de retropropagação. A expressão de aprendizado profundo é oriundo do posicionamento das camadas na vertical, ou seja, da saída para a entrada um aprofundamento pelas camadas, como pode ser visualizado na Figura 15A). Na mesma imagem, em B), têm-se também a organização mais comum na horizontal.

A descrição das camadas presentes na imagem são:

Figura 15 – Posicionamento e camadas das redes neurais artificiais.



Fonte: Glassner, 2021.

- a) **Camada de Entrada (Input Layer):** Não possuem neurônios, é a camada de memória onde os valores de entrada estão;
- b) **Camada de Saída (Output Layer):** É a última camada com neurônios, é responsável por entregar os valores de saída;
- c) **Camada de Escondida (Hidden Layer):** São todas as camadas entre a de entrada e de saída, são compostas por neurônios e tornam a rede mais profunda com o aumento da sua quantidade.

As camadas são totalmente conectadas, portanto, cada neurônio da camada anterior se conecta em todos os neurônios da próxima, passando a entrada e seu determinado peso. Essa forma de conexão é conhecida por Perceptron Multicamadas, do inglês *Multilayer Perceptron* (MLP) (GLASSNER, 2021).

Esse tipo de rede apresenta um novo sentido no fluxo de informação, conhecido como *BackPropagation*. O método surgiu em 1986, com o objetivo de utilizar o erro obtido na saída para modificar os pesos resultantes em cada neurônio até a entrada, assim, convergindo a rede aos valores de treinamento e validação (SZELEISKI, 2010).

Para aplicações no processamento de imagens, as MLP são ineficientes por sua arquitetura utilizar um Perceptron para cada pixel da imagem, que são suas entradas. Outro problema é que com o aumento de neurônios o tempo de aprendizado fica mais lento e propício à hiperespecialização (*overfitting*).

### 2.3.3 Redes Neurais Convolucionais

As redes neurais convolucionais (CNN, acrônimo de *Convolutiuonal Neural Network*), é a técnica de aprendizado profundo que se tornou padrão para classificar e manipular imagens. A rede foi popularizada com o artigo *Gradient-based learning applied to document recognition* em 1998, onde introduziram a rede LeNet-5 para reconhecimento de dígitos.

A Figura 16, extraída do livro Szeliski (2010), apresenta um exemplo de arquitetura em rede convolucional. A entrada da rede se constitui de uma imagem 227 x 227, a qual é analisada por um passo (*stride*) de valor 4, mas que usualmente se aplica 1. Esse passo é responsável por deslocar o filtro matricial (*kernel*) para extração de alguma característica.

*Pooling*, traduzido como subamostragem, atua como filtro a partir da aplicação de funções específicas para eliminar características irrelevantes no mapa de característica, estabelecendo os valores que serão transmitidos para a próxima camada (SILVEIRA, 2019). O *Max pooling* é aplicado para filtrar os valores máximo em cada agrupamento.

A cada camada convolucional, são aplicadas as funções de ativação para retirar a linearidade dos valores, como já citado. A função mais comumente aplicada é a ReLu.

As camadas de convolução e subamostragem são as camadas onde os dados são filtrados, transformados e processados. As Perceptron Multicamadas, ou *dense* como na imagem, são responsáveis por integrar as características extraídas e com aplicação da função Softmax normalizar os valores de saída para classificação da imagem.

A aplicação desse método se viabiliza por via da utilização de bibliotecas, onde as mais famosas são Caffe, Dlib, TensorFlow, Keras e PyTorch.

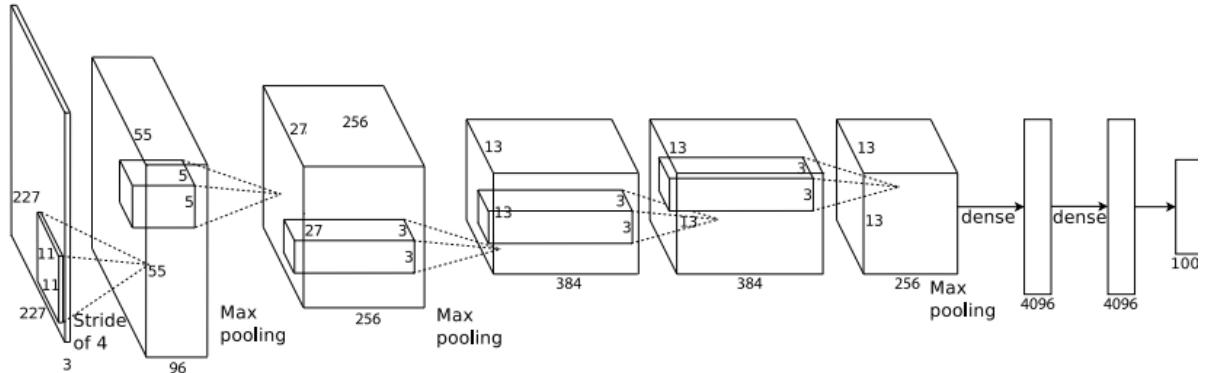
#### 2.3.3.1 *Métodos de Aprendizado*

O aprendizado de uma rede pode ser realizado de 3 formas, sendo aplicados em abordagens diferentes, são elas:

- a) **Aprendizado Supervisionado;**
- b) **Aprendizado Não Supervisionado;**
- c) **Aprendizado Por Reforço.**

O aprendizado supervisionado é aplicado em tarefas de classificação e regressão, onde a classificação busca definir a qual classe o objeto estudado pertence (saída categórica) e a regressão busca ajustar os dados a um padrão definido (saída em valores contínuos). Nesse modelo, a entrada e saída são fornecidas ao algoritmo, o qual ajusta seus parâmetros para

Figura 16 – Arquitetura da rede neural profunda da SuperVision, conhecida como "AlexNet".



Fonte: Szeliski, 2010.

maximizar a obtenção dos resultados previstos na saída (Szeliski, 2010). Com o fornecimento de um grande número de entradas e os rótulos para cada uma, um sistema será considerado treinado quando prever frequentemente o resultado correto para o tipo de dado da entrada, tendo descoberto as regras e padrões das entradas (Glassner, 2021).

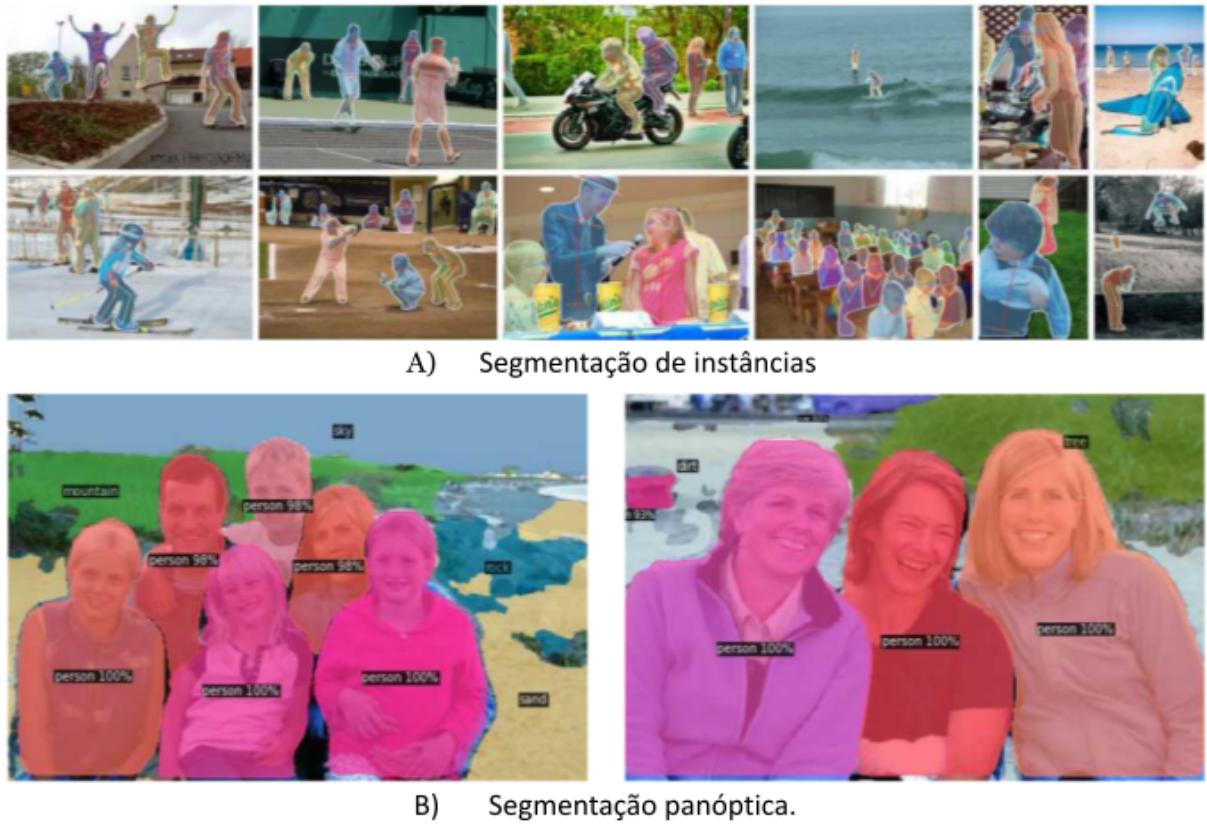
O aprendizado não supervisionado abrange a solução de problemas onde os dados de entrada não possuem rótulos, sendo tarefa da rede identificar os padrões, regularidades e distribuições típicas. Atualmente esse tipo de aprendizado é aplicado em segmentação de imagens e reconhecimento de corpos e rostos (Szeliski, 2010). O aprendizado é realizado com o agrupamento dos objetos semelhantes da entrada, de modo considerar as características semelhantes e organizá-los de forma relacionada.

Aprendizado por Reforço, como o nome sugere, busca treinar um algoritmo a aprender por meio de tentativa e erro. De modo que, para problemas complexos de infinitas possibilidades de ações, como jogos, o algoritmo pode testar e validar todos os cenários classificando e determinando um peso a cada alternativa de movimento experimentada pelo programa, aprendendo pouco a pouco as melhores estratégias. Esse tipo de algoritmo foi o responsável por vencer o campeão de “Go” em 2016.

### 2.3.4 Interpretação de Imagens

O Aprendizado profundo trouxe avanços para solucionar aplicações como classificação de imagens, segmentação semântica e a detecção de objetos na imagem. A classificação soluciona

Figura 17 – Exemplos de Segmentação de instâncias (A) e Segmentação panóptica (B).



Fonte: Szeliski, 2010.

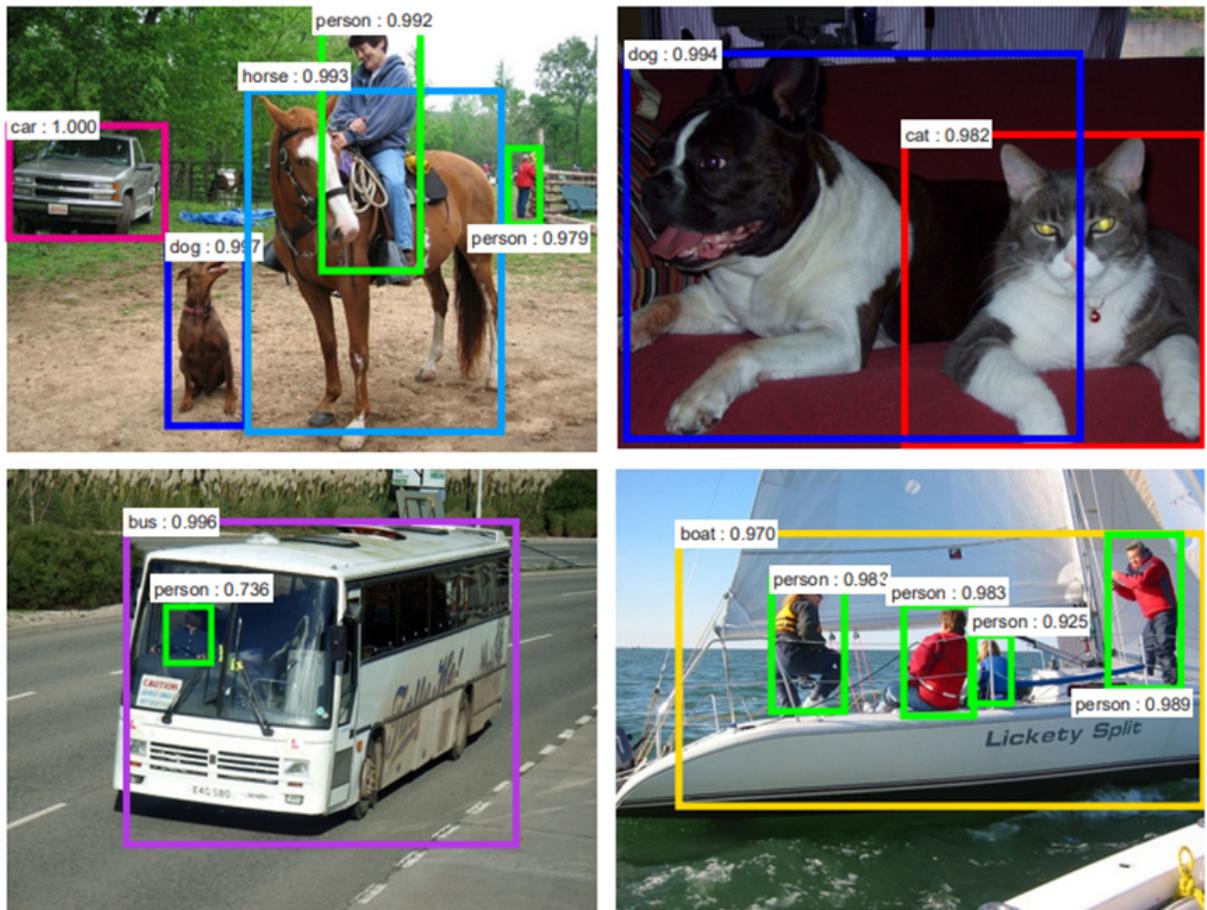
problemas que necessitam da categorização de um objeto contido na imagem, sendo ele o componente principal.

Esse tipo de algoritmo é muito sensível ao *overfitting*, traduzido como sobreajuste, erro que ocorre quando o algoritmo decora o modelo passado, não aprendendo as características da classe e sim as particularidades do conjunto de imagens de treino.

Segmentação semântica separa a imagem conjuntos de pixels ou regiões. Com o particionamento da imagem, as áreas podem representar os objetos de interesse da aplicação. Há a distinção em 3 tipos de algoritmos e pode-se visualizar sua aplicação na Figura 17.

- Segmentação de instâncias:** Identifica cada instância de objeto, ou seja, identifica e destaca cada objeto treinado na imagem;
- Segmentação semântica:** Identifica cada classe de objeto com a separação do fundo;
- Segmentação panóptica:** Identifica cada instância de objeto e o fundo da imagem.

Figura 18 – Exemplos de Detecção de Objetos.



Fonte: Ren et al., 2015.

### 2.3.4.1 Detecção de Objetos

A detecção de objetos alcança aplicações na determinação do objeto na imagem e sua localização, retornando uma marcação em retângulo ao redor do local com maior confiança da presença do objeto, conhecida como *bounding box*. A Figura 18 é possível visualizar diversas detecções de objetos diferentes, os quais são destacados pela caixa com a predição de confiança do algoritmo.

#### 2.3.4.1.1 Algoritmos de detecção com redes convolucionais

Os algoritmos para realizar a detecção de objetos em imagens selecionam regiões de interesse dentro da imagem escolhida, aplicando uma CNN que as classifica. O algoritmo R-CNN (GIRSHICK et al., 2013) foi desenvolvido para obtenção de 2000 regiões de interesse a

cada imagem, por conta disso, sua aplicação em tempo real era inviável, sendo necessários 47 segundos de identificação para cada imagem de teste.

O Fast R-CNN (GIRSHICK, 2015) foi uma evolução do anterior, onde modificou-se a coleta das regiões por uma derivada da convolução, sendo necessária uma por imagem para geração de um mapa de características (em inglês, *Feature Map*), o que diminui o tempo de processamento em 20 vezes.

Por fim, a Faster R-CNN (REN et al., 2015) é a última evolução que resultou em uma diminuição em 10 vezes do tempo necessário a cada imagem, comparado com a Fast R-CNN. O funcionamento desse método utiliza uma imagem como entrada de rede convolutiva para obtenção de um mapa de características. Uma rede separada atua na previsão das regiões de interesse. Há uma camada de agrupamento, denominada *RoI pooling*, onde ocorre a classificação das regiões e os valores das *Bounding Boxes*.

#### 2.3.4.1.2 Algoritmos de detecção por disparo único

Outra abordagem para detecção de objeto são as redes de disparo único, que realizam o posicionamento de *Bounding Boxes* por toda a imagem, as quais são mantidas somente se os valores das classes superarem um limiar estabelecido de probabilidade. Os métodos mais conhecidos são o YOLO (REDMON et al., 2015) e o SSD (LIU et al., 2015). Esse método é mais rápido por eliminar a necessidade das regiões propostas e seus cálculos são efetuados por uma rede única.

## 2.4 INTERNET DAS COISAS (IOT)

Dispositivos IOT ou comumente conhecido como internet das coisas é a descrição de uma determinada rede de dispositivos interconectados entre si pela internet tais como, softwares, hardwares e sensores, suas aplicações variam desde instalações industriais, sistemas embarcados e automação residencial, estima-se que no ano de 2021 existiam aproximadamente 36 bilhões de dispositivos IOT conectados a rede de internet, número este que pode mais que dobrar até 2025

Uma das aplicações mais conhecidas para os dispositivos IOT são os processos de automação residencial, alguns dispositivos atualmente já vem com sistema de comunicação IOT de fábrica, (ares condicionados, cafeteiras, máquinas de lavar, televisões, celulares, geladeiras, etc.) Ou seja, é possível que sua geladeira perceba através de sensores que algum item está em falta

e então envia automaticamente este item para a lista de compras em seu smartphone (OLIVEIRA, 2017)

Na indústria 4.0 sistemas IOT são amplamente utilizados nos processos de manutenção preventiva e preditiva, são instalados sensores de temperatura, vibração, rotação etc. nos equipamentos, estes sensores enviam os dados até um controlador que analisa as informações de modo que a partir de qualquer alteração nos parâmetros monitorados a manutenção do equipamento deve ser acionada. [Cite 3]

#### **2.4.1 Comunicação sem fio**

O processo de comunicação e envio de dados feito pelas redes IOT, é a princípio realizado via redes sem fio, os mais conhecidos pelas pessoas são (Bluethoot, RFID e WIFI), deste modo um ou mais dispositivos IOT podem conversar entre si e enviar dados até a central de comando, as redes sem fio funcionam através de ondas eletromagnéticas de diferentes amplitudes e frequências. os dispositivos sem fio operam em uma gama específica do espectro eletromagnético, de 3Hz até 3000GHz este espectro abrange tecnologias de telefonía (3G, 4G & 5G), grandes variedades de aplicações em computação, sistemas internos de Wi-Fi entre outros (OLIVEIRA, 2017) .

Conforme a necessidade da rede vai se alterando o tipo de rede também se altera a fim de atender seu propósito da melhor forma possível, pensando nisso foram criadas 4 tipos diferentes de padrões de comunicação sem fio. A rede mais comum de se encontrar em ambientes residenciais é a WPAN que tem como função de atuar somente como uma rede de uso pessoal, conforme o número de dispositivos conectados aumenta a necessidade de resposta da rede também aumenta e para isso utiliza-se as redes WLAN, que tem abrangência local, WMAN para conexões metropolitanas e por fim a rede WWAN com abrangência de conexão a nível global (OLIVEIRA, 2017).

##### **2.4.1.1 *RFID***

RFID (Radio Frequency Identification) é uma tecnologia sem fio que consegue ler informações de objetos que estejam com etiqueta quando se aproximam de um leitor, a comunicação ocorre via sintonização de ondas eletromagnéticas, possibilitando assim ler todas as informações cadastradas na etiqueta, o processo de leitura também é realizado forma simples, quando o leitor se aproxima da etiqueta é emitido um sinal de rádio em uma frequência específica e então a etiqueta reflete uma parte do sinal, convertendo assim o sinal em dados.

Esta tecnologia ganhou muito espaço na indústria e no varejo no processo de identificação de ativos, tornando assim o processo mais ágil e robusto (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.2 *NFC***

Near Field Communication (NFC) ou em português Comunicação por Campo de Proximidade, assim como a tecnologia RFID também utiliza como meio de comunicação as ondas eletromagnéticas, a grande diferença é que com esta tecnologia é possível enviar e receber dados do dispositivo como uma forma de via de mão dupla, os dispositivos com a tecnologia NFC podem ser dos tipos passivo e ativo, as etiquetas NFC podem ser tanto ativas como passivas porém os leitores, sempre serão leitores (ativos), o que difere o tipo do dispositivo é a forma como ele consegue a tensão necessária para que seu circuito interno funcione, os dispositivos passivos necessitam que o ativo induza um campo eletromagnético para que assim retornem a informação, enquanto o ativo tem sua própria fonte de energia, o modo de comunicação mais comum é o Half-Duplex ou seja, um dispositivo transmite enquanto o outro somente recebe a informação.

Uma das aplicações mais comuns hoje é o pagamento com cartão de crédito virtual instalado nos smartphones (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.3 *Bluetooth***

O bluetooth é uma tecnologia também baseada em ondas de rádio, projetado para comunicação em curto alcance, principalmente para dispositivos portáteis (celulares, fones de ouvido, etc.), seu processo de comunicação via pilha permite que os dispositivos se encontrem e anunciem seus serviços, dispositivos bluetooth funcionam na topologia master-slave onde um dispositivo atua como fornecedor da informação e os demais dispositivos atuam como receptores dela (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.4 *ZigBee***

ZigBee é um protocolo de comunicação padronizado mundialmente pela norma IEEE 802.1, é frequentemente utilizado para controlar dispositivos pessoais e de nível residencial, esta rede é utilizada em aplicações que demandam baixo volume de dados, ou seja controlar alguns sensores e atuadores em uma distância entre 10 e 100 metros, o grande diferencial desta tecnologia é a baixa quantidade de energia que consome. Este tipo de rede é comumente utilizado

para projetos de automação residencial, com lâmpadas, sensores, portas e janelas dentre outros (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.5 *Wi-Fi***

Wi-Fi (Wireless Fidelity) é a tecnologia que utilizamos no dia a dia para se comunicar com mundo, padronizada pela IEEE 802.11 a rede Wi-Fi é utilizada em redes do tipo WLAN's, que demandam de um alto volume de dados e velocidade, seu alcance em ambientes internos é de cerca de 20 metros (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.6 *SigFox***

A Sigfox assim como o ZigBee fornece um meio de conexão para dispositivos Wireless, ela é famosa por operar utilizando a tecnologia UNB (Ultra Narrow Band), sua transmissão também é em forma de ondas eletromagnéticas, os dispositivos integrados a rede utilizam ondas de rádio de baixa frequência para enviar e receber dados (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.1.7 *LoRa***

LoRa é um método de comunicação sem fio desenvolvido para atender demandas de baixo volume de dados e grandes distâncias, suas principais aplicações são em dispositivos IOT e M2M, esta tecnologia utiliza da técnica de espelhamento espectral a fim de aumentar o ganho de codificação atingindo assim maiores distâncias. Atualmente muitas redes de telefonia celular utilizam-se do LoRa para manter a comunicação entre seus dispositivos, seu range de atuação pode chegar a incríveis 20 km de extensão as baterias presentes em suas antenas chegam a durar 10 anos (OLIVEIRA, 2017).

### **2.4.2 Transmissão de dados**

Com a tecnologia já definida para a comunicação dos dispositivos é preciso também definir um protocolo de comunicação entre dispositivos compatível com a tecnologia, isto significa que os equipamentos precisam conversar no mesmo idioma, caso contrário dados se perdem no caminho ou funcionam de forma incorreta. Além disso, cada protocolo tem sua particularidade e limitação, estes fatores devem ser levados em consideração para um bom desempenho (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

#### **2.4.2.1 *Protocolo avançado de enfileiramento de Mensagens (AMQP)***

O AMQP ou protocolo avançado de enfileiramento de mensagens pode ser definido como um padrão de se enviar pacotes de dados do ponto A até o ponto B, este protocolo fornece o processo de roteamento e direcionamento das mensagens para um ambiente próprio para as mensagens, comumente utilizado para troca de dados ponto-a-ponto, bem como entre o dispositivo e a nuvem, o AMQP possui basicamente 3 componentes, Exchange, Message Queue e Binding, estes garantem uma boa troca de dados e de maneira confiável (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

#### **2.4.2.2 *Protocolo de Aplicação Restrita (CoAP)***

CoAP é uma tecnologia utilizada em redes e em larguras de banda restritas, este protocolo é destinado para uma gama restrita de dispositivos, sua comunicação se dá através de solicitações via HTTP entre servidor e cliente. Suas aplicações atendem principalmente dispositivos de automação, microcontroladores e celulares com a ajuda do protocolo CoAP (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

#### **2.4.2.3 *Serviço de Distribuição de Dados (DDS)***

O DDS é um tipo de protocolo utilizado em pontos flexíveis, esta tecnologia tem a capacidade de executar pequenas tarefas em dispositivos até realizar a conexão de rede de alto desempenho (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

#### **2.4.2.4 *Transporte de Telemetria da Fila de Mensagens (MQTT)***

O MQTT, é um protocolo amplamente utilizado em soluções de sistemas por sua facilidade em escrever e publicar informações nos dispositivos conectados, um dos pontos mais importantes desta tecnologia é o baixo peso de suas mensagens, o MQTT consegue coletar dados de diversos dispositivos bem como supervisiona-los, suas principais aplicações são em dispositivos de baixa memória e com conexão wireless, como sensores automotivos e relógios inteligentes (OLIVEIRA, 2017).

#### **2.4.2.5 *Protocolo de Comunicação Máquina a Máquina (M2M)***

A tecnologia M2M é um protocolo de comunicação comumente utilizado na indústria, foi criado com o intuito de permitir a comunicação mútua entre dois dispositivos, o protocolo utiliza de redes públicas para monitorar os dispositivos sem fio, deste modo as máquinas podem entender as mudanças no ambiente e se adaptarem a elas, suas aplicações principais abrangem casas inteligentes veículos e até caixas eletrônicos (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

#### **2.4.2.6 *Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)***

o XMPP foi dimensionado de forma especial, desenvolvido em tecnologia XML esta tecnologia utiliza do mecanismo push para enviar e receber mensagens, em poucas palavras este protocolo consegue verificar e exibir o status dos servidores, uma das aplicações mais simples para esse tipo de protocolo é a em jogos online (BUYYA; DASTJERDI, 2016).

### **2.5 REDES INDUSTRIAIS**

#### **2.5.1 *Tipos de redes***

Uma rede industrial pode ser definida como um sistema de máquinas, equipamentos, sensores, controladores e atuadores conectados entre si por um meio, seja ele físico, wireless ou híbrido, a definição da rede industrial depende de alguns fatores tais como, velocidade de controle, número de dispositivos sendo monitorados, precisão e segurança (LUGLI; SANTOS, 2012).

##### **2.5.1.1 *ProfiBus***

Atualmente umas das interfaces de rede industrial que mais cresce no mundo é o Profibus, sua popularidade é dada pela facilidade e simplicidade da rede, dentro da tecnologia ainda existem algumas ramificações como por exemplo a profibus DP, rede está que é amplamente utilizada em máquinas e equipamentos de grande porte, existem além destas outros tipos de comunicação profibus cada um especializado em determinados tipos de componentes (LUGLI; SANTOS, 2012).

### **2.5.1.2 *CAN Open***

A rede CAN está presente nas indústrias e sistemas desde a década de 90, esta tecnologia com aplicação em sistemas de tempo real, possibilita a troca de mensagens entre dispositivos microcontroladores sem a necessidade de um computador para realizar o trabalho de host, seu grande diferencial é a habilidade de se comunicar mutuamente com todos os agentes presentes na rede sem a necessidade de um mestre emissor da informação (LUGLI; SANTOS, 2012).

### **2.5.1.3 *ModBus***

A tecnologia ModBus é uma das mais antigas presente nas indústrias do mundo, existe um motivo pelo qual a rede se tornou tão seprente no mercado, sua interface tem baixo custo em comparação com as demais redes, além disso não necessita de chips ou softwares auxiliares para que a rede opere, atualmente a rede ModBus ainda é utilizada em interfaces homem-máquina medidores e I/O's dentre outros (LUGLI; SANTOS, 2012).

### **2.5.1.4 *EthernetIP***

O protocolo Ethernet é um dos mais conhecidos entre as pessoas, afinal de contas utilizamos esta tecnologia em nossos computadores pessoais, no ambiente industrial este protocolo também tem vasta aplicação, sua aplicação pode ser vista desde computadores até máquinas pequenas, a velocidade deste protocolo é seu grande diferencial, por conta do ambiente industrial está infestado de interferências eletromagnéticas proveniente de grandes indutores presentes em motores, por esse motivo a tecnologia Ethernet não é amplamente utilizada, no ambiente industrial (LUGLI; SANTOS, 2012).

### **2.5.1.5 *Interface IO Link***

Com a evolução dos equipamentos e máquinas bem como dos processos de automação dentro das indústrias do mundo é preciso também aperfeiçoar os métodos de comunicação, a fim de torná-los mais eficientes, robustos e seguros.

I/O link é uma tecnologia de comunicação baseada em dados abertos, sua utilização é dada entre sensores e atuadores, dentro da comunicação os dispositivos podem testar e diagnosticar problemas na rede, dentre os benefícios do I/O link o mais relevante é sem dúvida a redução no

tempo de instalação dos componentes, bem como a capacidade de identificar falhas elétricas na rede (LUGLI; SANTOS, 2012).

### 2.5.2 OPC UA

Os processos automatizados ligados a controladores industriais começaram a ser implementados em larga escala na década de 90, na época existiam vários fornecedores de hardware e sistema de controles, sendo assim cada fornecedor tinha seu próprio protocolo de comunicação, conforme a demanda da cadeia produtiva foi aumentando, a quantidade de dispositivos conectados a rede também aumentou, assim houve a necessidade de padronizar os processos de comunicação, o protocolo ethernet não era uma opção por conta de sua fragilidade a ataque de hackers, em 2008 foi criado o protocolo OPC Classic com o objetivo de atender a esta demanda

Atualmente é possível ver fábricas com seus processos integralmente conectados a um sistema, com a extensão do OPC UA mais dispositivos se conectam entre si, quebrando a limitação de sistemas operacionais e hardware, no futuro se mais equipamentos precisaram ser integrados a rede, poderá ser feito sem problemas utilizando a tecnologia OCP (LUGLI; SANTOS, 2012).

### 2.5.3 Padronização de Redes

Dentro de uma grande indústria é importante que as máquinas e equipamentos se comuniquem na mesma linguagem, caso contrário as informações se perdem e a produção se torna dessincronizada, deste modo cada empresa define um modelo padrão de comunicação para seus equipamentos, aumentando a produtividade a previsibilidade e facilitando a manutenção dos equipamentos.

Segundo uma pesquisa feita 2019 mostra que as redes fieldbus que representam 35% do mercado recuaram 5%, as redes wireless representando 6% do mercado teve um aumento de 30% em comparação ao último ano e por último a internet industrial representando a maior fatia do mercado 59% teve um aumento de 20% em relação ao ano anterior.

As redes ethernet comumente utilizadas em naturezas de escritórios e residências são sensíveis a ruídos e por vezes podem atrasar o envio de um pacote, resultando em atrasos, em um ambiente industrial não é diferente, cabos de dados percorrer todo o chão de fábrica estendendo-se às vezes por quilômetros, dentro deste percurso podem ocorrer tensões não desejadas nos cabos, variações de temperatura além das vibrações das máquinas, mas o grande vilão por trás das interferências são as ondas eletromagnéticas originadas de grandes motores,

inversores de frequência e contatores, estas interferências “bagunçam” as informações que estão sendo enviadas, gerando por vezes atrasos e até a necessidade de reiniciar o sistema, por fim um grande atraso é gerado impactando diretamente na produtividade (LUGLI; SANTOS, 2012).

#### **2.5.4 Criptografia e segurança**

Nos dias atuais onde temos cada dia mais dispositivos conectados à rede e vários processos ocorrendo com processamento em nuvem, vem a necessidade de manter os dados seguros contra ataques de pessoas má intencionadas, existem vários métodos para manter a integridade dos dados que são colocados na rede, no ramo industrial não poderia ser diferente, afinal de contas boa parte dos processos e dados de produtos estão na rede.

Um dos meios de proteger segredos industriais é escolhendo um bom protocolo de rede, existem alguns protocolos confiáveis para transmissão de dados, são eles MQTT, AMQP e OPC UA, estas tecnologias possuem um sistema de criptografia nativo, ou seja embaralham a mensagem antes de enviá-la, deste modo caso alguém consiga interceptar a mensagem não irá entender o que significa cada comando, por fim quando a mensagem chega ao seu destino ela é desembaralhada para que possa ser processada.

Outro método importante utilizado junto a criptografia é a conectividade VPN (Virtual Private Network), que permite a conexão do dispositivo através de outros servidores, é uma tecnologia que vem sendo cada vez mais utilizada, em outras palavras é possível utilizar seu computador pessoal em um país, mas para quem estiver observando a rede terá a impressão de que está em outro local (TANENBAUM, 2021).

#### **2.5.5 Topologias**

Em um ambiente com vários dispositivos e equipamentos é possível imaginar a quantidade de componentes e cabos necessários para realizar a comunicação entre eles, então é muito importante que esta rede esteja muito bem estruturada para que todos os dispositivos sejam atendidos da melhor forma e em caso de alguma intercorrência o controlador seja avisado (TANENBAUM, 2021).

##### **2.5.5.1 Topologia Anel**

A topologia Anel como o próprio nome diz representa a conexão em linha fechada com outros dispositivos, a fim de formar um círculo, nesta topologia a confiabilidade dos dados é

alta e elimina a chance de erros, em contrapartida caso um dispositivo perca a conexão todo o sistema pode ficar comprometido (TANENBAUM, 2021).

#### **2.5.5.2 Árvore**

Na topologia árvore os dispositivos se separam em forma de pequenos ramos que remetem a um ramo principal, desta forma criando uma hierarquia entre os dispositivos conectados, em comparação com a topologia anel a falha de um equipamento não compromete todo o sistema, mas é de certa forma mais caro e complexo de ser implementado, além disso se um nó principal sofrer falha toda a operação estará comprometida (TANENBAUM, 2021).

#### **2.5.5.3 Barramento**

O padrão barramento é um dos mais simples e baratos, nesta topologia existe um meio principal de comunicação que então diverge para os demais, mantendo um fluxo de uma só direção a identificação de problemas fica dificultada, do mesmo modo que a topologia árvore sofre com a perda do nó principal, o barramento também fica vulnerável caso seu cabo principal seja danificado (TANENBAUM, 2021).

#### **2.5.5.4 Estrela**

A topologia estrela é um pouco mais complexa em comparação com as demais, os dispositivos conectados neste tipo de topologia tem uma conexão direta com o servidor principal, por este motivo o gerenciamento da rede bem como a detecção de erros se torna mais fácil, um dos pontos negativos é a dependência de um nó central que concentra as informações, em caso de falha, todo o processo fica comprometido (TANENBAUM, 2021).

#### **2.5.5.5 Malha**

Uma das topologias com maior confiabilidade durante o processo de transmissão de dados, com este método todos os dispositivos da rede estão conectados entre si, exaurindo assim qualquer chance de erro ou de perda de dados, é importante ressaltar que quanto maior o número de dispositivos mais complexa se torna a ligação entre eles (TANENBAUM, 2021).

### 2.5.5.6 *Híbrida*

A topologia híbrida é aquela que mescla um ou mais estilos de ligação de dispositivos na rede por ser extremamente versátil, esta tecnologia é hoje uma das mais utilizadas no mercado, sua adaptação dentro da cadeia produtiva permite que a rede mais adequada seja instalada para determinados pontos da fábrica (TANENBAUM, 2021).

## 2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMAVEL

### 2.6.1 Panorama Histórico

Desenvolvido pelo engenheiro Richard Morley, o controlador lógico programável (CLP) foi criado no fim da década de 60, devido ao aumento da força da indústria automobilística norte-americana. Segundo (GROOVER, 2007), a primeira aplicação do CLP foi na Hydronic Division da General Motors, por conta do grande custo e dificuldade de alterar os painéis de controle com lógicas de relés, a cada alteração necessária na linha de montagem.

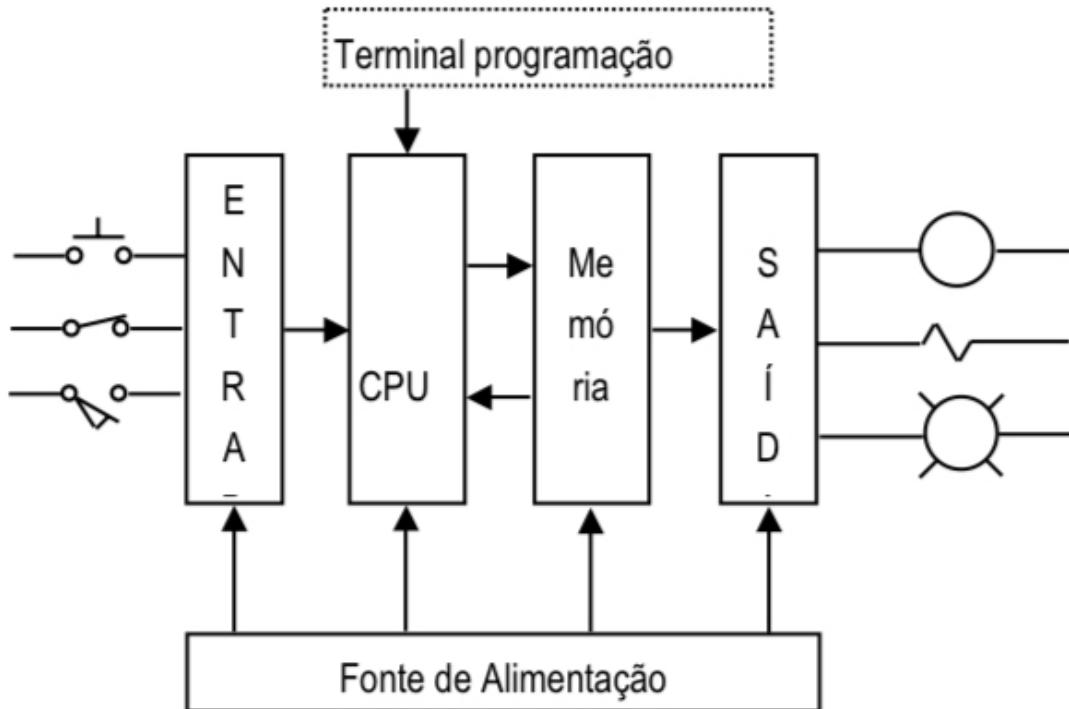
Com isso, em 1968 o primeiro CLP foi batizado de Modular Digital Controller (MODICON), sendo lançado como o modelo 084, por se tratar do 84º projeto da empresa, conforme (GROOVER, 2007), com exigências de projeto que refletiam necessidades reais da indústria como a capacidade de reprogramar o controlador quantas vezes necessário, design para operar em ambientes industriais, operação contínua e principalmente linguagem de programação própria.

Ao longo dos anos os CLPs foram se aprimorando com o advento de melhorias nas tecnologias dos microprocessadores, a implementação de comunicação com redes industriais e um alto grau de integração. Atualmente o CLP é uma ferramenta essencial na indústria e realiza controles complexos nas operações de produção em diversos ramos da indústria. Além de possuir diversas novas linguagens de programação, monitoramento de falhas com relatórios de diagnósticos, entre outras.

### 2.6.2 Definição e componentes principais

Segundo a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), na norma NEMA ICS3-1978, parte ICS3-304, um controlador lógico programável é definido por “*Um equipamento de lógica digital que, operando eletronicamente, usa memória programável para armazenamento interno das instruções de implementação específica, como: lógica sequencial, lógica combinató-*

Figura 19 – Principais componentes de um CLP.



Fonte: Ribeiro, 1999

*ria, temporização, contagem, operações aritméticas, algoritmos PID para controle de máquinas e processos industriais com vários módulos de entradas e saídas digitais e analógicas."*

Com isso, os principais componentes de um CLP estão representados na Figura 19, sendo: O processador, unidade de memória, fonte de alimentação, os módulos de entrada e saída e o dispositivo utilizado para programar o controlador (RIBEIRO, 1999).

A parte principal do CLP é o processador, em que ocorre uma sequência de cálculos e funções para realizar o controle programado, trabalhando um sinal recebido no módulo de entrada, normalmente de um sensor e gerando um sinal no módulo de saída. A diferença entre um processador de CLP para um processador de computador está na facilidade de troca de informações entre entradas e saídas, além do sistema operacional que atua em tempo real.

Conectado ao processador está a unidade de memória, que contém os programas desenvolvidos, as variáveis de controle, bits, contadores, parâmetros e o sistema operacional. A fonte transforma 110V/220VAC em +/- 5V utilizada para alimentar o CLP e outros equipamentos

associados, como sensores e atuadores, muitas vezes possuindo nobreaks em conjunto para garantir o funcionamento do controle em casos de falta de energia.

Os módulos de entrada e saída promovem a comunicação do CLP entre os componentes da linha de montagem, seja receber informações de sensores, botões e fins de cursos nos módulos de entrada e nos módulos de saída enviar sinais para motores, robôs, válvulas e atuadores, realizando assim o controle da linha de montagem em si. Por fim, o dispositivo para programar o controlador, normalmente é um dispositivo externo para ser utilizado em diversos controladores, possuindo um software e linguagem de programação própria (LAMB, 2015).

### 2.6.3 Ciclo de varredura do CLP

Para o usuário o programa está funcionando simultaneamente, porém para que ocorra o funcionamento o processo leva um determinado tempo de execução variando conforme o programa executado. A leitura do Programa que é realizada no SCAN possui a seguinte ordem da esquerda para direita e de cima para baixo, analisando isso, é importante que as partes principais do programa venham em um primeiro momento, sendo explicitado melhor no assunto de programação, pois se deve ficar atento à montagem do programa (LAMB, 2015).

Para que ocorra o funcionamento do CLP é necessário a execução de ciclos de operações, que é dividido em três partes: (1) varredura de entrada, (2) varredura do programa e (3) varredura de saída.

Na primeira parte, durante a varredura de entrada, cada entrada é lida e verifica se houve algum acionamento e o status de cada entrada é armazenado em uma memória. Após isso, o programa de controle é executado e por fim os valores de entrada que estavam armazenados na memória são utilizados na lógica de controle.

### 2.6.4 Linguagens de programação do CLP

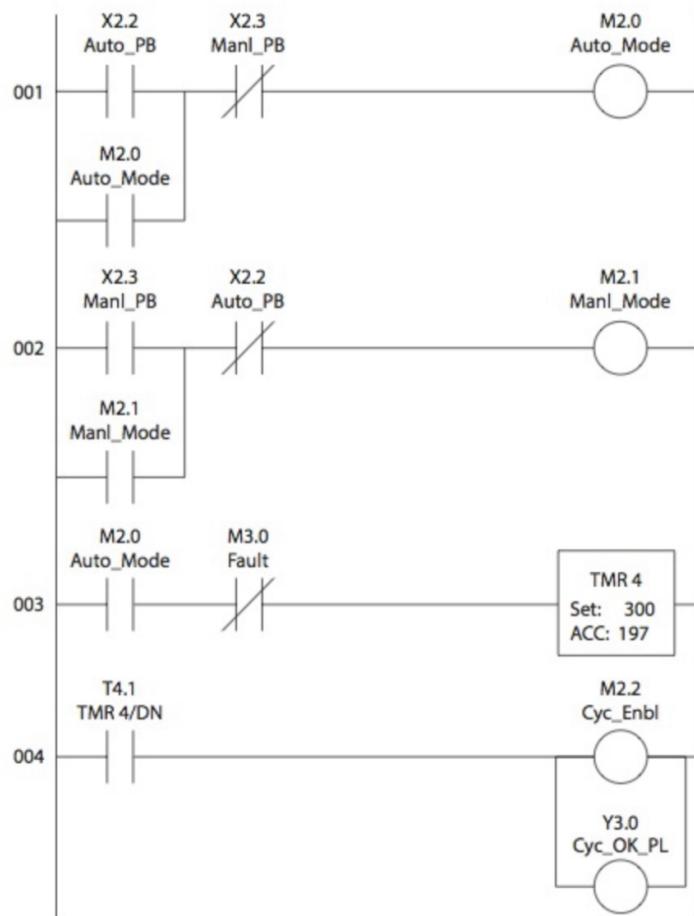
A programação de CLPs é a parte principal de todo o processo, realizada pela unidade de programação, normalmente, em um software proprietário e utilizando uma das cinco linguagens convencionadas em 1992 pela *International Standard for Programmable Controllers* (IEC 61131-3) (LAMB, 2015).

#### 2.6.4.1 Diagrama de Contatos (Ladder):

A linguagem de programação *Ladder* é amplamente utilizada por ser uma linguagem gráfica que se aproxima dos antigos diagramas de relés utilizados nas linhas de montagens, esta linguagem foi criada com o intuito de evitar uma quebra de padrões e facilitar o entendimento do programa pelos operadores.

Um programa em Ladder consiste em um diagrama formado por duas linhas verticais paralelas, uma representando o VCC e outra o GND. Entre as duas linhas formadas são inseridos os elementos responsáveis por realizar a lógica do programa (LAMB, 2015), sendo eles: contatos abertos, contatos fechados, bobinas e controladores lógicos, representando as entradas e saídas do CLP, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Programa Ladder

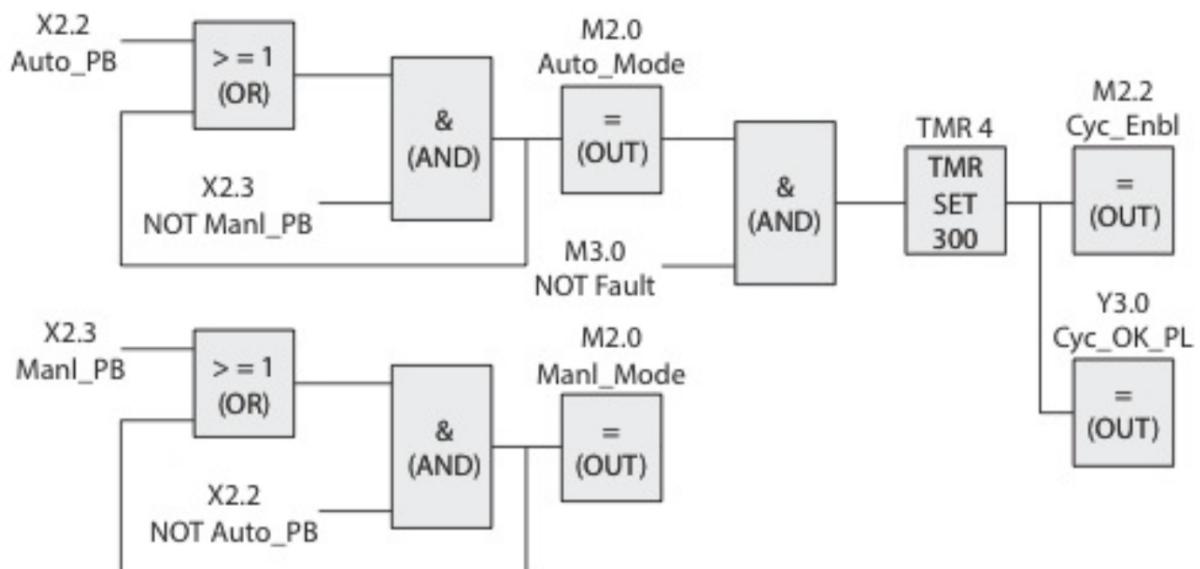


Fonte: Lamb, 2015

#### 2.6.4.2 Diagrama de Blocos Funcionais (FBD)

Assim como a linguagem *Ladder*, o Diagrama de Blocos Funcionais também é uma linguagem gráfica que consiste em blocos e linhas, os blocos são responsáveis por realizar operações lógicas com os sinais das entradas e promover respostas de saídas, normalmente os blocos possuem múltiplas entradas, saídas e funções específicas, como: timers, contadores, AND, OR, etc. Já as linhas interligam os blocos, apresentando o fluxo de dados e as possíveis ramificações do programa, como pode ser visto na Figura 21 (LAMB, 2015).

Figura 21 – Programa FBD

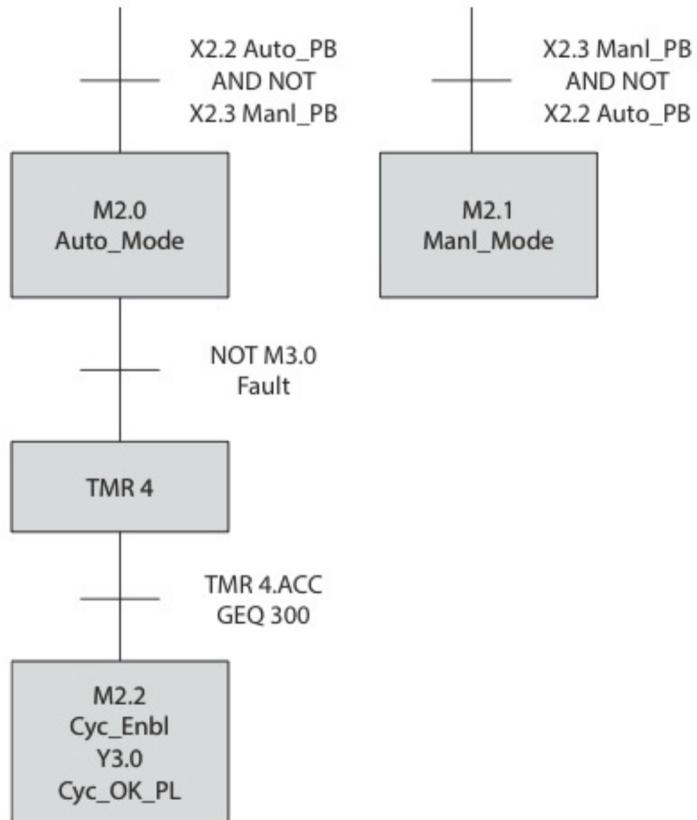


Fonte: Lamb, 2015

#### 2.6.4.3 Grafcet (SFC)

O Grafcet é uma linguagem gráfica de programação em que a lógica do programa é realizada no estilo de fluxograma em que são representados sistemas automatizados, os elementos presentes nesta linguagem são: Passos, que são responsáveis por representar os estados do processo, normalmente representados por retângulos. Os Elos, que são linhas que representam o fluxo do sinal dentro do sinal. Por fim, as Transições são barras horizontais responsáveis por representar as condições do sistema. Um programa em SFC está representado na Figura 22 (LAMB, 2015).

Figura 22 – Programa SC



Fonte: Lamb, 2015

#### 2.6.4.4 *Lista de instruções (IL)*

A linguagem de programação de Lista de Instruções é uma linguagem textual similar a *Assembly*, um programa em IL é composto por uma sequência de funções que manipulam o sinal de entrada, separadas linha a linha em pilhas. Separando os principais elementos do programa em Operadores e Operandos, os operadores são as funções citadas anteriormente e os operandos são as variáveis e dados alterados ao longo do código, como pode ser visto na Figura 23 (LAMB, 2015).

#### 2.6.4.5 *Texto Estruturado (ST)*

A linguagem de Texto Estruturado é uma linguagem de programação textual baseada em *PASCAL*, em que o programa é composto por expressões constituída de operadores e operandos, de maneira muito similar à linguagem IL citada anteriormente. Porém, a linguagem ST segue

Figura 23 – Programa IL

```

LD X2.2 Auto_PB
O M2.0 Auto_Mode
AN X2.3 Manl_PB
= M2.0 Auto_Mode
LD X2.3 Manl_PB
O M2.1 Manl_Mode
AN X2.2 Auto_PB
= M2.1 Manl_Mode
LD M2.0 Auto_Mode
AN M3.0 Fault
= TMR 4 Set 300
LD T4.1 TMR 4/DN
= M2.2 Cyc_Enbl
= Y3.0 Cyc_OK_PL

```

Fonte: Lamb, 2015

as normas de invocação de funções e definição de variáveis pré definidas pela IEC 61131. Um exemplo de um programa em ST está representado na Figura 24 (LAMB, 2015).

## 2.7 NORMAS DE SEGURANÇA

Atualmente as novas tecnologias podem ser utilizadas de uma forma muito mais eficiente, atuando de maneira preventiva e com maior segurança, sendo realizado a análise em tempo real o que assegura um maior dinamismo, gerando algum alarme, desligando algum equipamento. Com isso, uma forma de analisar essa segurança é com as normas regulamentadoras (NR'S), que tem a finalidade de regulamentar e fornecer orientações de procedimentos técnicos relacionados à segurança e saúde do trabalhador.

Neste presente trabalho será analisado as seguintes Normas Regulamentadoras:

NR 06 – Equipamentos de Proteção Individual EPI;

Definição de EPI, o EPI é uma forma de amenizar os riscos dos acidentes, e caso ocorra que ele seja de uma forma mais amena nos danos causados. A sua função não é que não ocorra um acidente, mas sim que se caso ocorrer que o risco seja menor.

Figura 24 – Programa ST

```

// Configuração do CLP
CONFIGURATION DefaultCfg
  VAR_GLOBAL
    Auto_PB    :IN @ %X2.2      // Botão auto
    Manl_PB    :IN @ %X2.3      // Botão manual
    Cyc_OK_PL  :OUT @ %Y3.0    // Cycle OK Pilot Light
    Auto_Mode  :BOOL @ M2.0    // Modo automático
    Manl_Mode  :BOOL @ M2.1    // Modo manual
    Cyc_Enbl   :BOOL @ M2.2    // Ciclo habilitado
    Fault      :BOOL @ M3.0    // Falha da máquina
    TMR 4      :TIMER @ T4     // 10ms Base Timer
  END_VAR

  END_CONFIGURATION

  PROGRAM Main
    STRT  IF (Auto_PB=1 OR Auto_Mode=1) AND Manl_PB=0 THEN Auto_Mode=1
           ELSE IF (Manl_PB=1 OR Manl_Mode=1) AND Auto_PB=0 THEN Manl_Mode=1
           End IF

           IF Auto_Mode=1 AND Fault=0 THEN
             START TMR 4
           END IF

           IF TMR 4.ACC GEQ 300 THEN
             Cyc_Enbl=1
             Cyc_OK_PL=1
           END IF

           JMP STRT
  END_PROGRAM

```

Fonte: Lamb, 2015

O equipamento de proteção individual só poderá ser utilizado após a indicação do Certificado de Aprovação – CA, que será expedido pelo órgão Nacional do Ministério do Trabalho e Emprego.

A empresa é obrigada a fornecer os EPI adequados a seus funcionários de forma gratuita em bom estado de conservação e exigir o seu uso, assim como realizar treinamentos e orientações ao trabalhador sobre a maneira correta de utilização, conservação, mas cabe ao Serviço Especializado em Engenharia e Segurança e em Medicina do Trabalho – SESMT verificar quais são as recomendações do uso adequado do EPI.(GOV.BR, 2020b)

NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;

Objetivo e campo de aplicação [10.1.1 Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.] Esta NR tem o intuito de garantir os requisitos mínimos de segurança em intervenções de instalações elétricas,

adotando medidas preventivas de controle de riscos. Além de ser necessário a conclusão de curso específico na área elétrica, pelo Sistema Oficial de Ensino para reconhecer um trabalhador qualificado.(GOV.BR, 2020c)

NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;

A norma regulamentadora recebeu alguns ajustes desde a sua criação, tendo em vista a necessidade de se adequar aos novos segmentos que surgiam, melhorando assim as condições de segurança relacionadas ao trabalho em conjunto com as máquinas. Além disso, houve a criação de diversos projetos que visavam garantir uma melhor segurança e maior proteção aos usuários das máquinas.

A NR 12 trouxe uma alteração de paradigma pois ela faz parte não apenas da utilização da máquina, mas sim de toda a sua cadeia de fabricação e importação. Sendo discutido internacionalmente como pode ser visto que [foi publicado o resultado do estudo internacional “Métodos de Avaliação de Risco e Ferramentas de Estimativa de Risco Utilizados na Europa Considerando Normativas Europeias e o Caso Brasileiro”, que mais uma vez serviu para aperfeiçoar e harmonizar a NR-12 com a vanguarda da boa técnica e o estreitamento da cooperação internacional.](GOV.BR, 2020a)

Em 30 de julho de 2019 a Portaria SEPRT nº916, foi realizado a última alteração substancial da NR-12, facilitando o entendimento e aplicações, atualizando as máquinas novas e usadas, recepcionando as normas técnicas europeias harmonizadas do tipo C, quando não havia as normas técnicas nacionais e internacionais.(GOV.BR, 2020a)

Princípios Gerais [12.1.1 Esta Norma Regulamentadora - NR e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais NRs aprovadas pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais ou nas normas internacionais aplicáveis e, na ausência ou omissão destas, opcionalmente, nas normas Europeias tipo “C” harmonizadas.](GOV.BR, 2020a)

## 2.8 HARDWARES INDUSTRIAIS

### 2.8.1 Câmeras

Quando se fala em câmera, lembra-se de câmeras fotográficas, de memórias, mas uma outra aplicabilidade é no reconhecimento de padrões na indústria e a escolha da câmera ideal deve ser levada em consideração diversos fatores como a sua aplicação, espectro de inspeção, sensor de imagem, interface de comunicação e o ambiente de instalação, podendo ser utilizado uma câmera de visão infravermelha ou ultravioleta, além disso, terá que optar por qual tipo de sensor utilizar CCD, CMOS, microbolômetro ou FPA, e se a comunicação será USB 2.0, GigE, PoE ou VGA (INDUSTRY, s.d.).

Para realizar toda a análise é necessário a presença de uma câmera para que possa capturar as imagens de objetos ou de locais e dessa forma desenvolver as análises. E para isso existem diversos sensores de imagem que são utilizados por câmeras, por exemplo os sensores CCD e CMOS que são sensores fotossensíveis que datam da década de 1960 e 1970. Inicialmente o CCD foi mais utilizado pois se tornou mais desenvolvido tecnologicamente na época, já que apresentava uma alta taxa de sensibilidade e baixos níveis de ruído e seu funcionamento era que a cada nó de saída é transferido uma carga de pixel para ser convertido em tensão, sendo armazenado em um buffer e enviado externamente como um sinal analógico. A tecnologia CMOS passou a ser dominada da década de 1990 e o que diferencia da anterior é que cada carga de pixel tem sua própria conversão de carga para tensão e com isso possui uma faixa mais alta de intensidades (cerca de 4 ordens de grandeza) e alta velocidade de leitura (cerca de 100ns) além de acesso aleatório a pixels individuais. Por último, são ideais para utilização em ambientes de baixa luminosidade, e com um baixo consumo energético (SONKA; HLAVAC; BOYLE, 2014).

Os sensores 3D são extremamente mais avançados que os sensores 2D pois é possível realizar a análise de profundidade e estrutura de objetos. Além disso, possuem alta taxa de precisão, por volta de 98%, sendo eficiente nos mais variados segmentos. Enquanto os sensores 2D possuem uma capacidade de análise “plana”, pois possuem apenas dois índices de análise, altura x comprimento, com isso demanda menor capacidade de processamento (RAFAEL, 2018).

### 2.8.2 Sistemas Embarcados

Sistemas embarcados como o próprio nome sugere são sistemas eletrônicos que possuem um microcontrolador ou um microprocessador que é um software dedicado embarcado que está

em um hardware, sendo possível a manipulação de dados dentro do sistema, permitindo assim a realização de um conjunto de tarefas que foram preestabelecidas. Dessa forma, ao interagir com o ambiente o dispositivo pode analisar dados coletados por sensores e executar uma determinada tarefa como por exemplo o acionamento de atuadores.

Um exemplo de um microcontrolador que pode ser utilizado é uma Raspberry Pi que possui semelhança a um computador, possuindo os seus principais componentes, de uma maneira bem mais compacta, porém o Raspberry Pi está voltado para execução de tarefas que demandam menos processamento, como por exemplo tarefas básicas ou automatização de tarefas simples. Além disso, pode ser utilizado para controlar robôs e processamento de dados (ARAUJO, 2019).

O intuito da criação do dispositivo estava focado na promoção de ensino de ciência da computação básica para jovens de escolas e universidades na Europa, pois é possível conectar o dispositivo em um monitor, um teclado e um mouse, dessa forma ele deve funcionar como um computador, com um menor custo e maior facilidade, sendo desenvolvida na Fundação Raspberry Pi no Reino Unido (ARAUJO, 2019).

### 2.8.3 Proteção (Grau IP)

Comumente se depara com algum produto que apresenta o código “IP XX”. Mas, poucos sabem o que é esta sigla, o IP indica qual é o grau de proteção de um determinado produto, seja ele cabos elétricos, celulares, máquinas. Esse indicativo é definido pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), avaliando assim o grau dos produtos eletrônicos contra a entrada de água e poeira. Além disso, é importante para analisar se determinado equipamento suporta a instalação em ambientes com uma atmosfera em condições variadas de umidade, temperatura, ruído ou vapores tóxicos (FIBRACEM, 2021).

É importante pontuar que o IP 68 é o maior grau possível de proteção que pode atingir, sendo o ideal que todos os produtos atingissem esse grau, porém isso aumenta os custos de desenvolvimento e proteção do produto, por exigir mais barreiras (FIBRACEM, 2021).

A classificação é realizada analisando o primeiro número que corresponde ao grau de proteção contra objetos sólidos. E o segundo número corresponde ao grau de proteção contra objetos líquidos, quanto maior o número, maior será a sua resistência (FIBRACEM, 2021).

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Barbara Grazielle Firmino. Sistema de visão de máquinas para detecção e localização automática de peças utilizando raspberry pi, p. 53–71, 2019.
- BALBO, Wellington. **O uso do EPI - Equipamento de Proteção Individual e a influência na produtividade da empresa.** [S.l.: s.n.], jul. 2021. <https://administradores.com.br/producao-academica/o-uso-do-epi-equipamento-de-protacao-individual-e-a-influencia-na-produtividade-da-empresa>. Acessado em 11/11/2022.
- BASILIO, Patrícia. **Brasil é 2º país do G20 em mortalidade por acidentes no trabalho.** [S.l.: s.n.], mai. 2021. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/01/brasil-e-2o-pais-do-g20-em-mortalidade-por-acidentes-no-trabalho.ghtml>. Acessado em 15/11/2022.
- BEBIS, G.; EGBERT, D.; SHAH, M. Review of computer vision education. **IEEE Transactions on Education**, v. 46, n. 1, p. 2–21, 2003. DOI: 10.1109/TE.2002.808280.
- BUYYA, Rajkumar; DASTJERDI, Amir Vahid. **Internet of Things Principles and Paradigms.** [S.l.]: Elsevier, 2016.
- COJOCARU, Jan-Iliuță-Romeo; POPESCU, Dan; ICHIM, Loretta. Real-time Assembly Fault Detection Using Image Analysis for Industrial Assembly Line. In: 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). [S.l.: s.n.], 2020. P. 484–487. DOI: 10.1109/TSP49548.2020.9163544.
- CREA-SC, Portal. **Uso de EPI e sua importância na prevenção de acidentes de trabalho - CREA-SC.** [S.l.: s.n.], ago. 2017. <https://portal.crea-sc.org.br/uso-de-epi-e-sua-importancia-na-prevencao-de-acidentes-de-trabalho/>. Acessado em 15/11/2022.
- FIBRACEM. **O QUE É GRAU DE PROTEÇÃO (IP).** [S.l.: s.n.], 2021. <https://www.fibracem.com/o-que-e-grau-de-protacao-ip/>. (Accessed on 10/21/2022).
- GIRSHICK, Ross B. Fast R-CNN. **CoRR**, abs/1504.08083, 2015. arXiv: 1504.08083. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1504.08083>.
- GIRSHICK, Ross B. et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. **CoRR**, abs/1311.2524, 2013. arXiv: 1311.2524. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1311.2524>.
- GLASSNER, A. **Deep Learning: A Visual Approach.** [S.l.]: No Starch Press, 2021. ISBN 9781718500730. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=NgTyDwAAQBAJ>.
- GOV.BR. **Norma Regulamentadora No. 12 (NR-12) — Português (Brasil).** [S.l.: s.n.], 2020. <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspeciao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>. (Accessed on 10/21/2022).

**GOV.BR. Norma Regulamentadora No. 6 (NR-6) — Português (Brasil).** [S.l.: s.n.], 2020. <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>. (Accessed on 10/21/2022).

**GOV.BR. NR 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE.** [S.l.: s.n.], 2020.

<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. (Accessed on 10/21/2022).

**GROOVER, Mikell P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing.** [S.l.]: Pearson, 2007.

INDUSTRY, Direct. **Que câmera de visão industrial escolher? - Buying Guides DirectIndustry.** [S.l.: s.n.]

<https://guide.directindustry.com/pt/que-camara-de-visao-industrial-escolher/>. (Accessed on 10/21/2022).

JANAHIRAMAN, Tiagrajah V.; SUBUHAN, Mohamed Shahrul Mohamed. Traffic Light Detection Using Tensorflow Object Detection Framework. In: 2019 IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET). [S.l.: s.n.], 2019. P. 108–113. DOI: 10.1109/ICSEngT.2019.8906486.

JIA, Jiancheng. A Machine Vision Application for Industrial Assembly Inspection. In: 2009 Second International Conference on Machine Vision. [S.l.: s.n.], 2009. P. 172–176. DOI: 10.1109/ICMV.2009.51.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática.** [S.l.]: ABDR, 2015.

LIU, Wei et al. SSD: Single Shot MultiBox Detector. **CoRR**, abs/1512.02325, 2015. arXiv: 1512.02325. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1512.02325>.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes Industriais. Características, Padrões e Aplicações.** [S.l.]: Saraiva, 2012.

MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. MIT Press, Cambridge, MA, USA, p. 15–27, 1988.

MIN, Wang; ZHAN-HUA, Huang. New concepts of network camera for measuring images. In: 2009 International Conference on Image Analysis and Signal Processing. [S.l.: s.n.], 2009. P. 389–391. DOI: 10.1109/IASP.2009.5054627.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas com ESP8266.** [S.l.]: Novatec, 2017.

PROTIK, Adban Akib; RAFI, Amzad Hossain; SIDDIQUE, Shahnewaz. Real-time Personal Protective Equipment (PPE) Detection Using YOLOv4 and TensorFlow. In: 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP). [S.l.: s.n.], 2021. P. 1–6. DOI: 10.1109/TENSYMP52854.2021.9550808.

QUÍMICA, O Mundo da. :. **O Mundo da Química | Química Orgânica I - Farmácia UFRJ :** [S.l.: s.n.], 2020. [https://www.omundodaquimica.com.br/academica/org1\\_mec\\_ondulatoria](https://www.omundodaquimica.com.br/academica/org1_mec_ondulatoria). Acessado em 22/10/2022.

RAFAEL. **2D ou 3D? Evolução de Sensores - Vemco Group.** [S.l.: s.n.], 2018. <https://vemcogroup.com.br/2d-ou-3d-evolucao-de-sensores/>. (Accessed on 10/21/2022).

REDMON, Joseph et al. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. **CoRR**, abs/1506.02640, 2015. arXiv: 1506.02640. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1506.02640>.

REIS, Bernardo. **Redes neurais - Funções de ativação - Laboratório iMobilis.** [S.l.: s.n.], jul. 2016. <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/redes-neurais-funcoes-de-ativacao/>. Acessado em 20/10/2022.

REN, Shaoqing et al. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. **CoRR**, abs/1506.01497, 2015. arXiv: 1506.01497. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1506.01497>.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. **Fundamentos De Física - Gravitação, Ondas E Termod.** [S.l.]: LTC, 2016. ISBN 9788521630364. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=iopPvgAACAAJ>.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial.** [S.l.]: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

SAI, B N Krishna; SASIKALA, T. Object Detection and Count of Objects in Image using Tensor Flow Object Detection API. In: 2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT). [S.l.: s.n.], 2019. P. 542–546. DOI: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987942.

SANTANA, Vilma et al. Acidentes de trabalho: custos previdenciários e dias de trabalho perdidos. **Revista De Saude Publica - REV SAUDE PUBL**, v. 40, dez. 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000700007.

SILVEIRA, Rodrigo Cezar. **Análise de Arquiteturas de Redes Neurais Convolucionais para Classificação de Sinais de Trânsito.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: [https://formiga.ifmg.edu.br/documents/2019/Biblioteca/TCCs/Monografia\\_Rodrigo\\_Cezar.pdf](https://formiga.ifmg.edu.br/documents/2019/Biblioteca/TCCs/Monografia_Rodrigo_Cezar.pdf).

SONKA, Milan; HLAVAC, Vaclav; BOYLE, Roger. **Image processing, analysis, and machine vision.** [S.l.]: Cengage Learning, 2014.

SOUTO MAIOR, Caio et al. Personal protective equipment detection in industrial facilities using camera video streaming. In: [s.l.: s.n.], jun. 2018. P. 2863–2868. ISBN 9781351174664. DOI: 10.1201/9781351174664-359.

SZELISKI, R. **Computer Vision: Algorithms and Applications.** [S.l.]: Springer London, 2010. (Texts in Computer Science). ISBN 9781848829350. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=bXzAlkODwa8C>.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores.** [S.l.]: Pearson, 2021.

VINICIUS, ANDERSON. **Redes Neurais Artificiais. Perceptron.** [S.l.: s.n.], nov. 2017. <https://medium.com/@avinicius.adorno/redes-neurais-artificiais-418a34ea1a39>. Acessado em 28/10/2022.

ZENG, Huangbin et al. Analysis of Image Transmission Traffic Based on Queuing Theory. In: 2022 Global Conference on Robotics, Artificial Intelligence and Information Technology (GCRAIT). [S.l.: s.n.], 2022. P. 281–285. DOI: 10.1109/GCRAIT55928.2022.00066.

ZHAFRAN, Faishal et al. Computer Vision System Based for Personal Protective Equipment Detection, by Using Convolutional Neural Network. In: 2019 International Electronics Symposium (IES). [S.l.: s.n.], 2019. P. 516–521. DOI: 10.1109/ELECSYM.2019.8901664.