


---



# Sistemas de Visão e Percepção Industrial

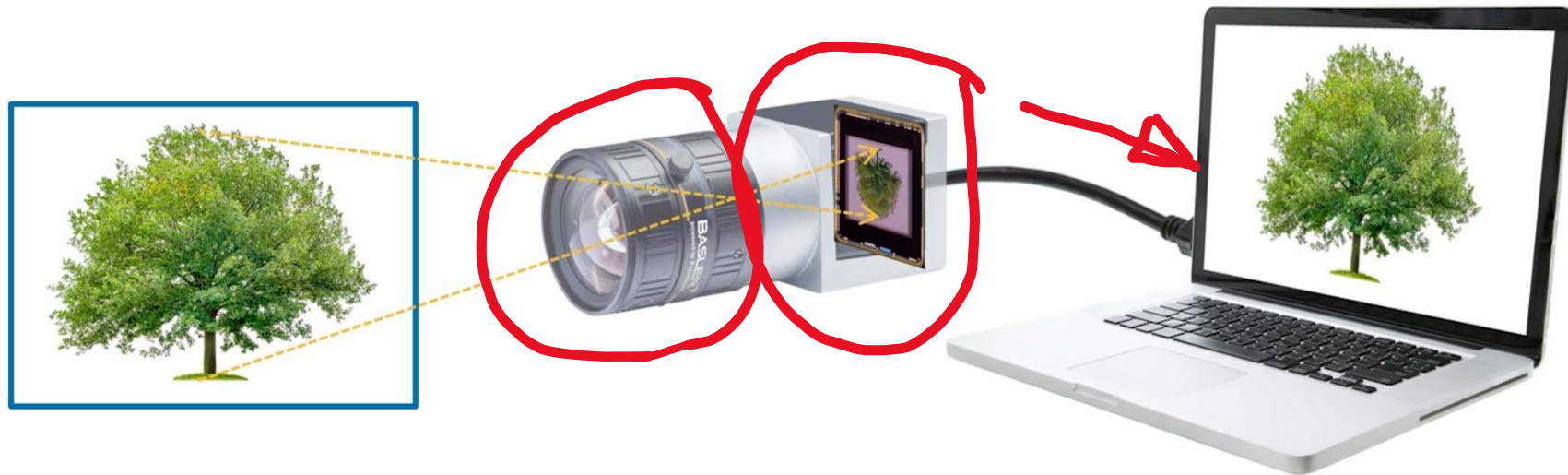
**Componentes de um sistema de visão**

2022-2023



# SVPI

---



## Para captar uma imagem necessitamos:

- **Lente**, capta a luz da cena e projeta a luz no sensor
- **Sensor**, converte a luz em “dados”
- **Interface**, com o computador para envio da informação recolhida
- **Software**, para processamento da imagem

Como seleccionar cada um dos components?



# Sistema de Visão: Componentes e Parâmetros

- ✦ • Diferentes **soluções de visão**:
  - Sensores de Visão
  - Smart Camara
  - PC + Câmara + Componentes
- **Caraterísticas** dos componentes:
  - Lentes: **Field of View, F-Stop**, etc
  - Sensores: **CCD e CMOS**
  - Interfaces de comunicação: **GiGE, USB, CameraLink**

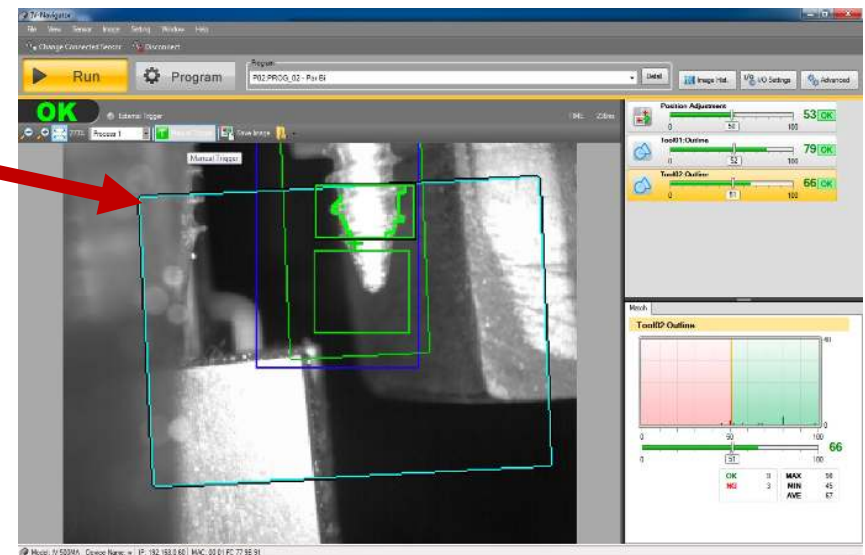
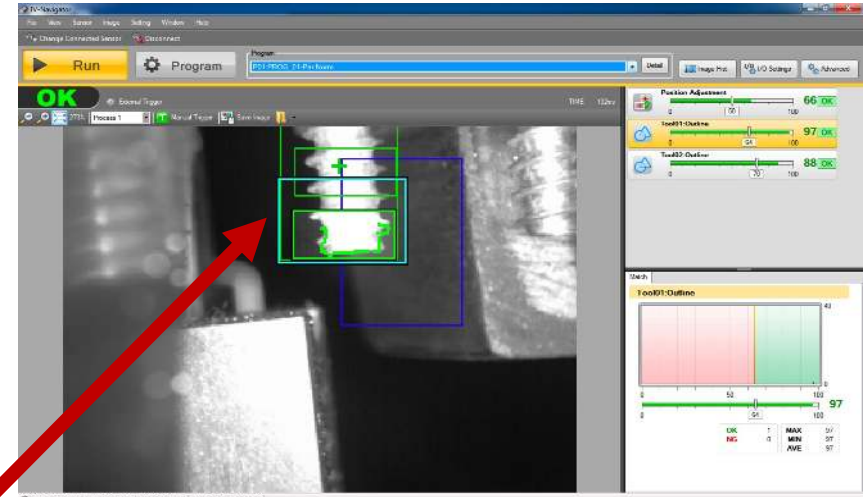
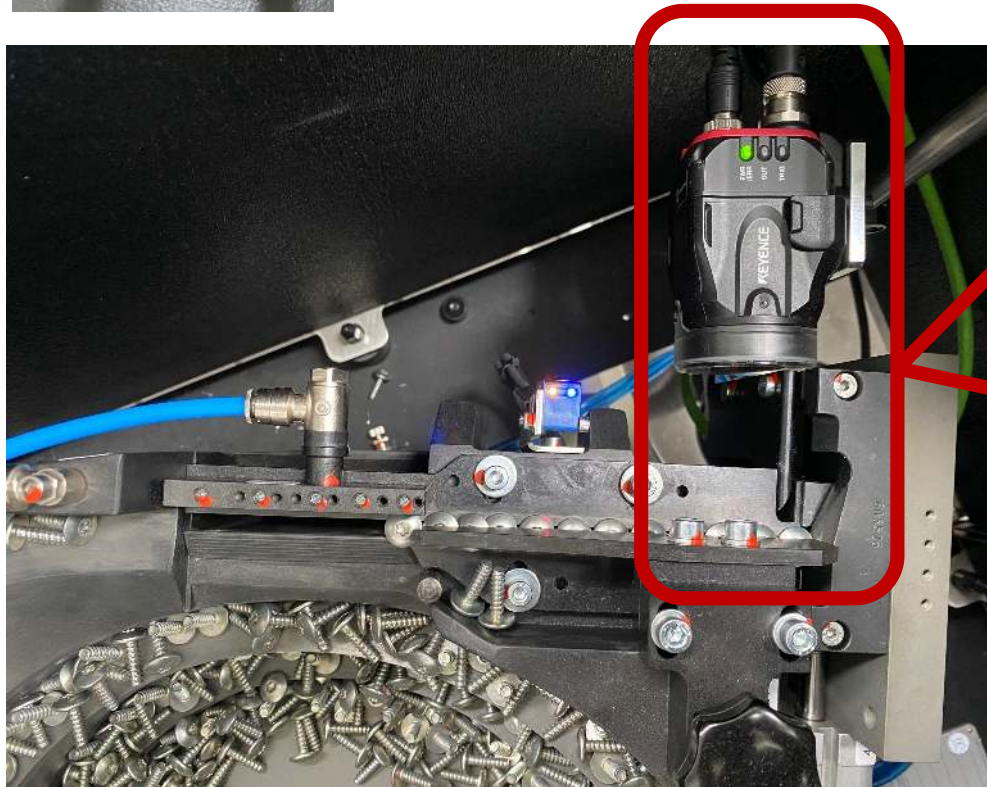
# Sensores de Visão



- **Solução integrada:** Lente + Sensor + Unidade de processamento + Iluminação (normalmente)
- **Funcionamento autónomo**
- **Armazenamento de diferentes programas, Programação remota** através de um **Web Browser** ou através de programa específico
- Comunicação com outros dispositivos através de protocolos industriais usuais: **TCP/IP, RS232, Profibus, Devicenet, Modbus**, etc
- Resultado da inspeção enviado através de **E/S digitais** ou através dos **protocolos de comunicação** disponíveis no sistema no equipamento
- Número de **ferramentas de análise reduzidos:** Identificação contornos e áreas (normalmente)



# Sensores de Visão (Aplicações)



- Identificação dos tipos de parafusos: (diferentes formato do parafuso, utilizado para diferentes componentes)
- Analise do contorno do parafuso e verificação relativamente a um padrão





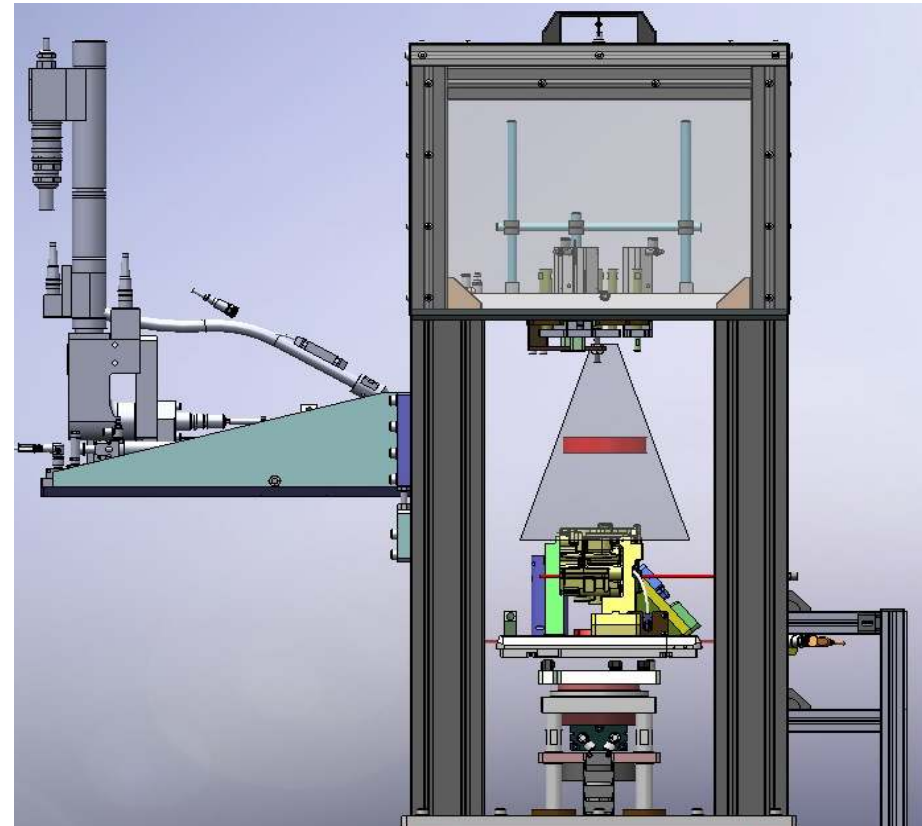
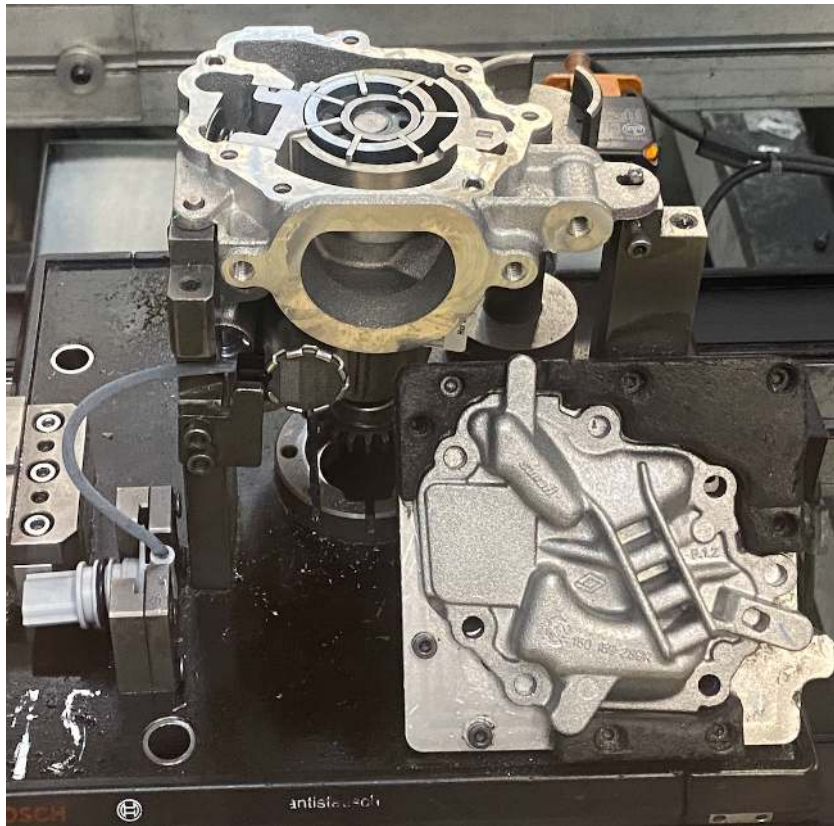
# Smart Camera



- **Solução integrada:** Lente + Sensor + Unidade de processamento (configuráveis)
- **Memória para armazenar diferentes programas**
- **Programação remota** através de um **Web Browser** ou de um **programa específico**
- Possibilita a visualização do processo – **Programação de básica de alguns algoritmos**
- Comunicação com outros dispositivos através de protocolos industriais usuais como: **TCP/IP, RS232, Profibus, Devicenet, Modbus**, etc
- Resultado da inspeção enviado através de **E/S digitais** ou através dos **protocolos de comunicação** (Profinet, TCP/IP, etc) disponíveis no sistema
- **Possibilidade de dispor de iluminação integrada** e respetivo controlo
- Maior capacidade de processamento: Maior número de ferramentas de pré-processamento e maior número de algoritmos



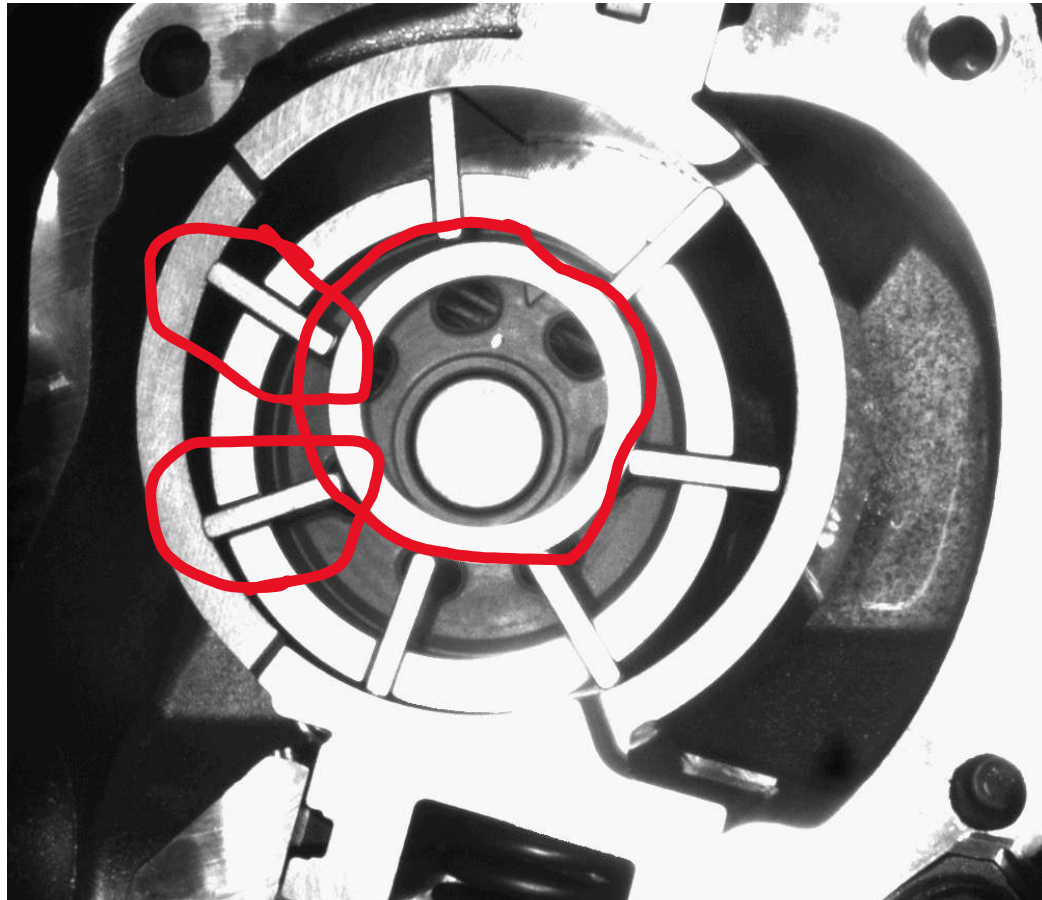
# Smart Camera (Aplicações)



- Iluminação vermelha (Dark Field) e filtro passa-banda 660 nm
- Iluminação vermelha interessante em objetos metálicos/industriais em que a iluminação é predominantemente fluorescente
- Identificação da anilha e das palhetas (componentes com muita reflexão)



# Smart Camera (Aplicações)



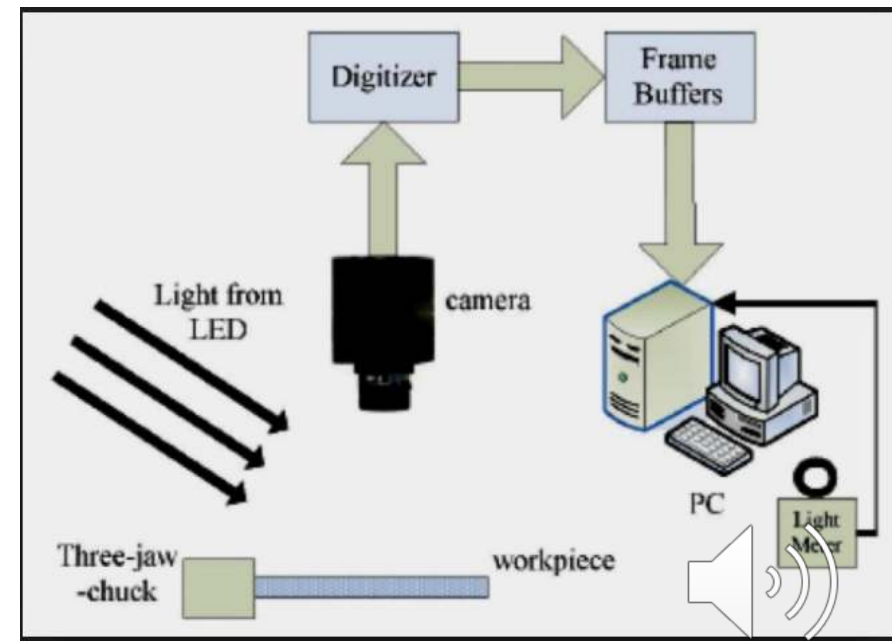
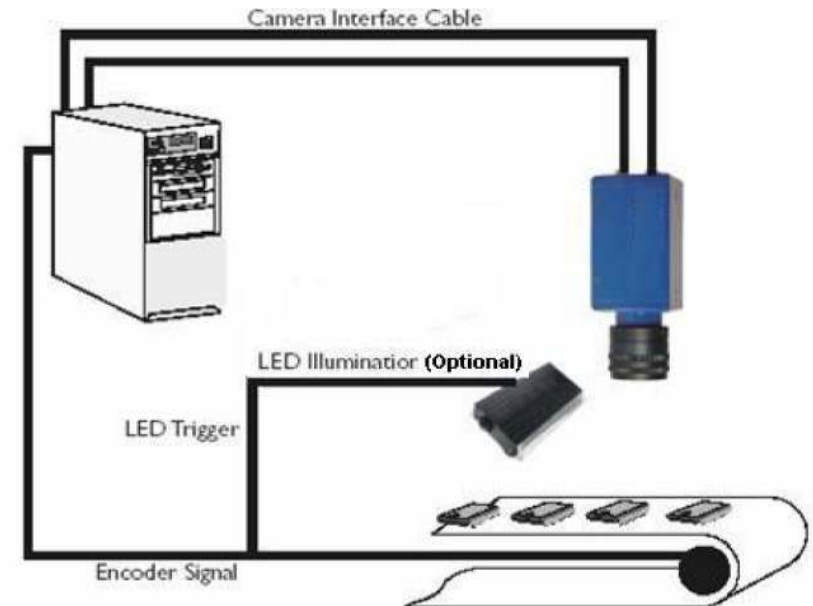
- Identificação da anilha e das palhetas (indicadas na figura)



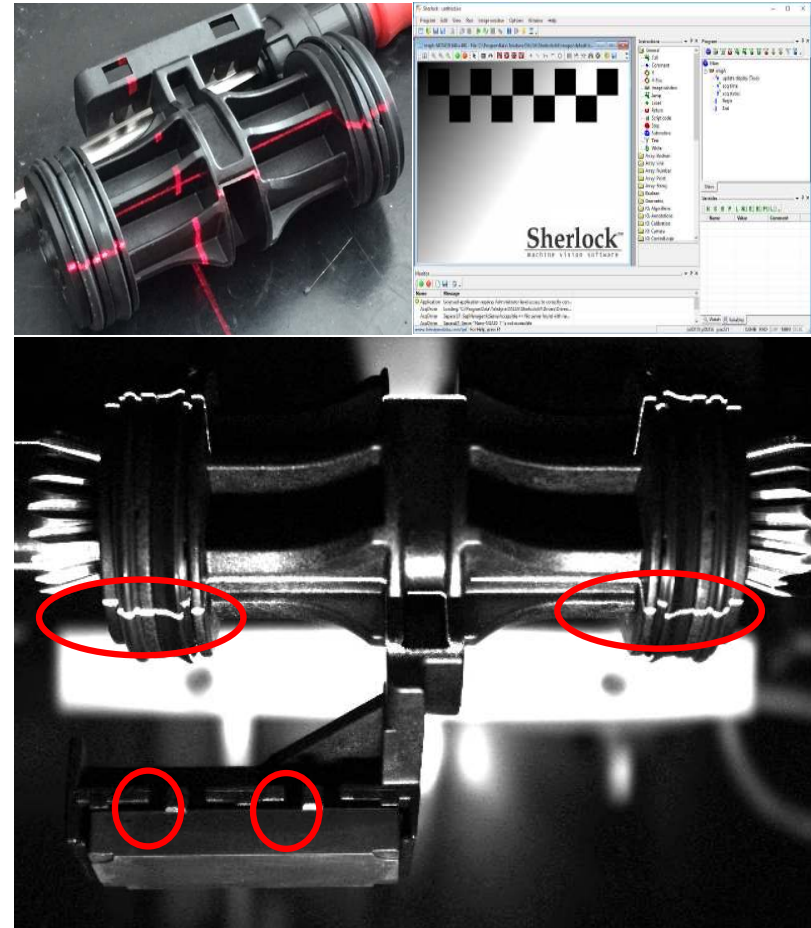
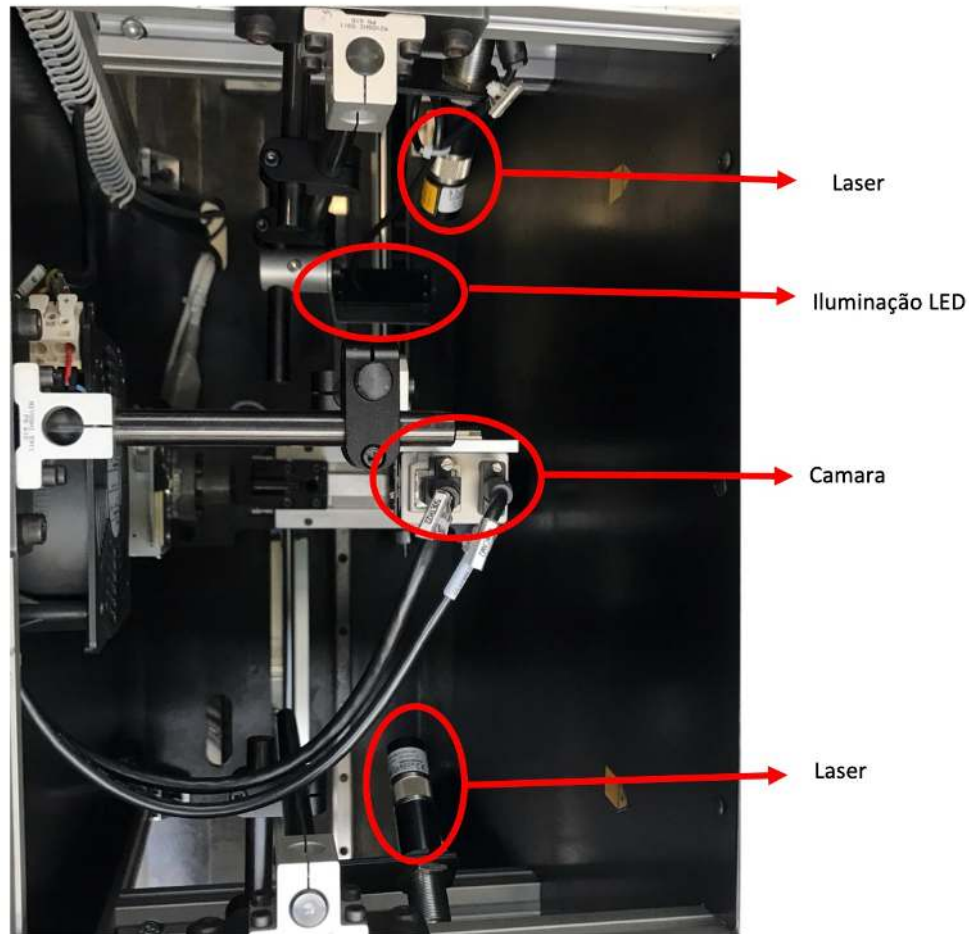
# Computador + Câmara

## ★ PC + Sistema de Aquisição

- Todos os **componentes são independentes**
- Uma ou mais **Câmaras e óticas**
- Aquisição de imagens em alta velocidade (Protocolos de comunicação específicos, Frame Grabber)
- Sistema de aquisição (Placas de I/O, Comunicações Industriais, etc)
- Comunicações Industriais: Profibus, ProfiNet, DeviceNet, etc,
- Capacidade de armazenamento de imagens para rastreabilidade e outras aplicações
- Software (Sherlock, Halcon, OpenCV, outros)
- Iluminação e outros acessórios



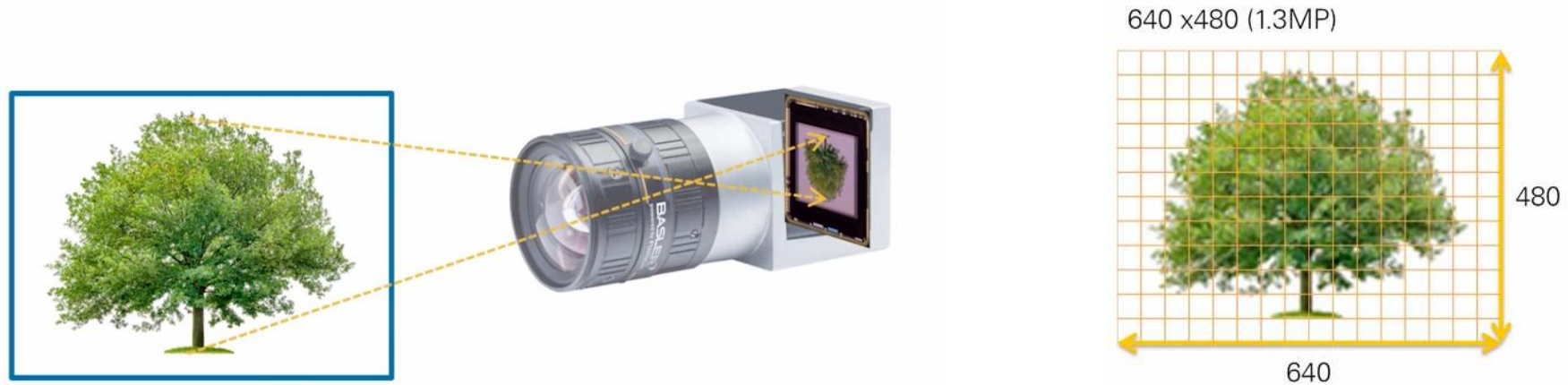
# Aplicação de um sistema com PC+Câmaras



- PC Industrial com várias portas de ligação: Ethernet, Gigabit Ethernet, USB3, RS-232, RS-422, RS-485, VGA ou HDMI
- Software de desenvolvimento: Sherlock, Halcon, Matlab, C#, C++
- Aplicações mais complexo



# Aquisição de Imagem

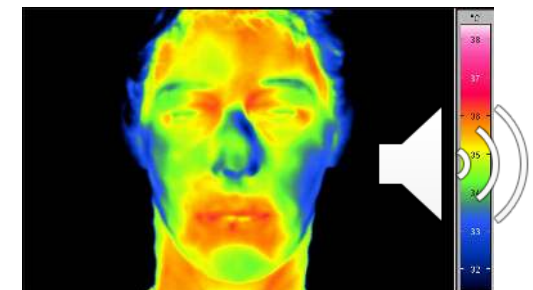


1. **Lente**, capta a luz refletida do objeto e projeta no sensor. O **campo de visão, é definido pela distância focal**. Definir um campo de visão que maximize o objeto que pretendemos avaliar
2. **Resolução** depende da **dimensão do sensor (por ex 640x480) e do campo de visão**. Definir em função da característica mínima que pretendemos...



# Câmara: Constituição

- Tipo de Sensor: **CCD, CMOS**
- **Protocolo de comunicação:**
  - Analógico
  - FireWire
  - USB 2.0 e atualmente 3.0
  - Gigabit Ethernet (GiGE)
  - CameraLink
- **Formato do sensor:**
  - Área
  - Linear
  - TDI (time delay integration)
- **Resolução:** VGA, SVGA, XGA, ...
- **Espectro:** Visível, Ultravioleta, Infravermelho, Térmico



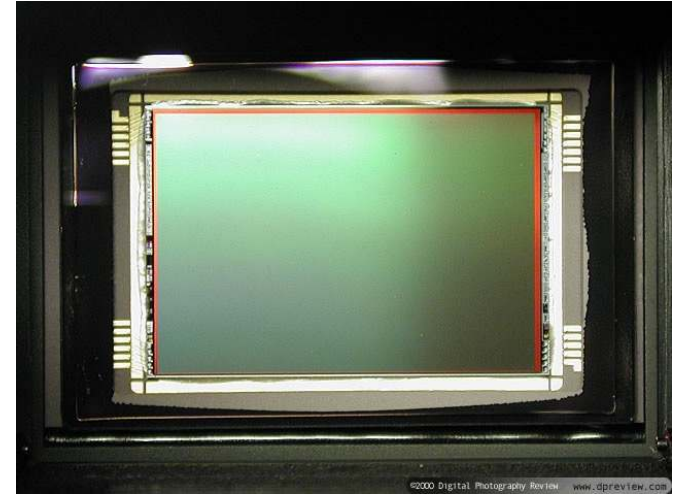


# Sensores de Imagem



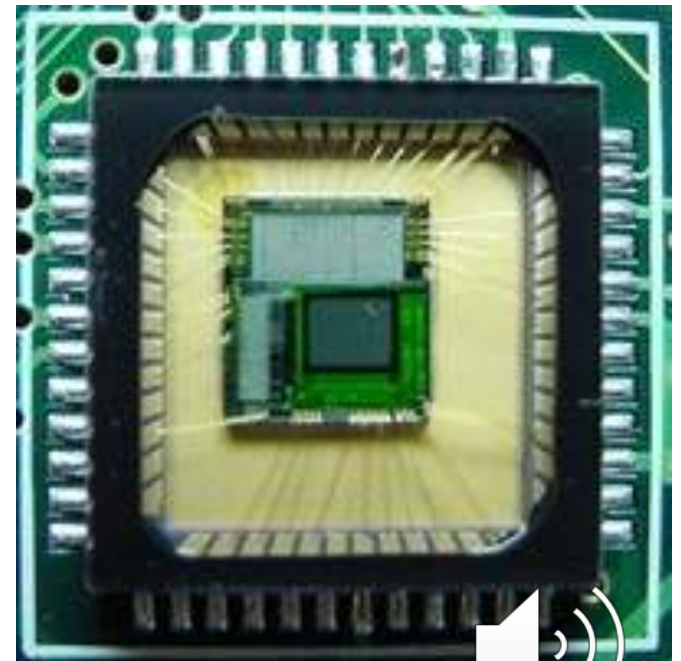
## CCD (Charge-Coupled Devices):

- **Array de condensadores**, a carga dos condensadores é proporcional à intensidade de luz e, convertida em tensão
- Imagens com **maior qualidade**
- Menos suscetível ao ruído
- Maior número de pixéis
- Maior sensibilidade à luz

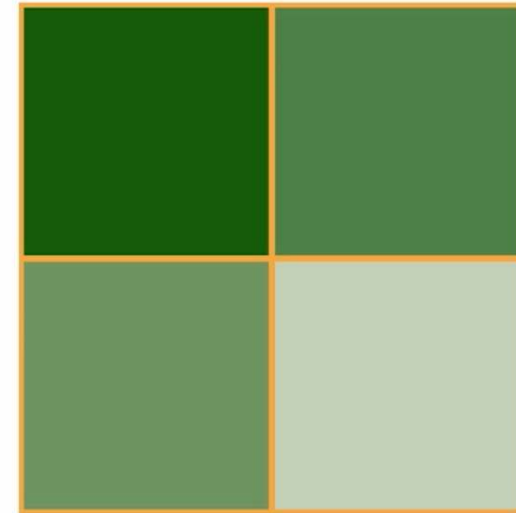
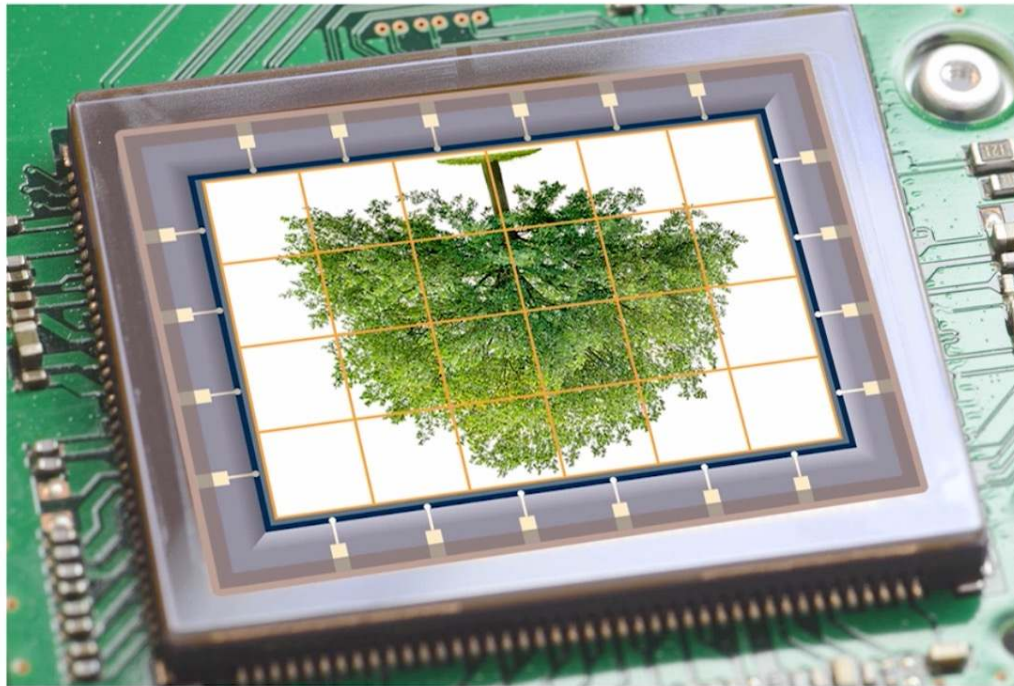


## CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor):

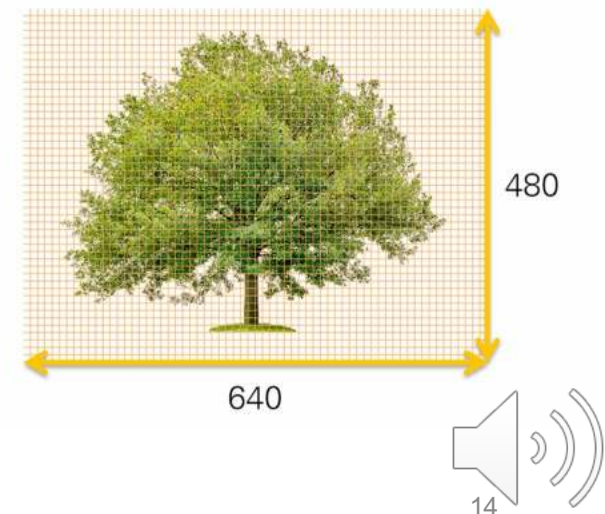
- **Array de transístores e foto díodos**, os foto díodos transformam a luz em tensão
- **Menor custo**
- Mais fácil construir
- Menor consumo



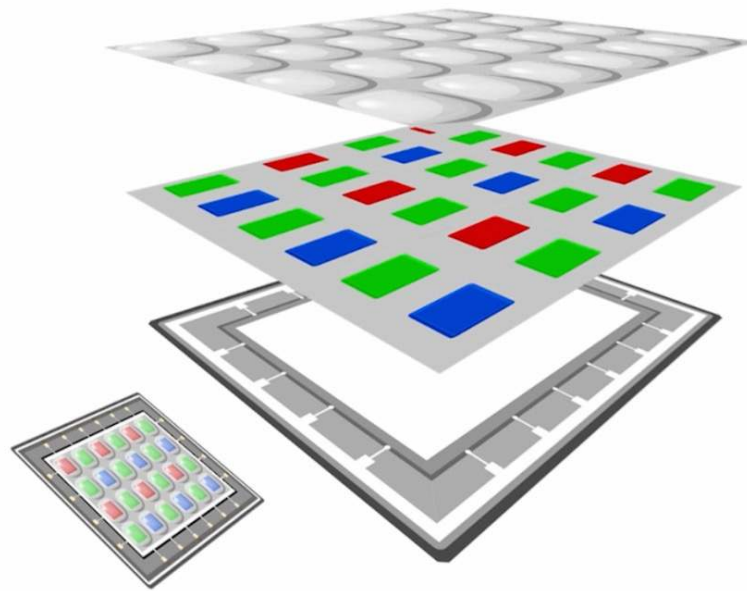
# Sensores de Imagem - Dimensões



- **Resolução espacial:** Número de células do sensor (por ex: 640x480, 1280\*1024, 1600\*1200, ...)
- **Profundidade:** Número de bits para representar os **níveis de cinzento ou componente de cor** de cada célula



# Sensores de Imagem - Dimensões



- **Sensores a cores:** têm uma célula para cada uma das componentes de cor (RGB)
- Os sensores a cores com o mesmo número de células, têm menos resolução do que um sensor monocromático



# Sensores de Imagem - Dimensões

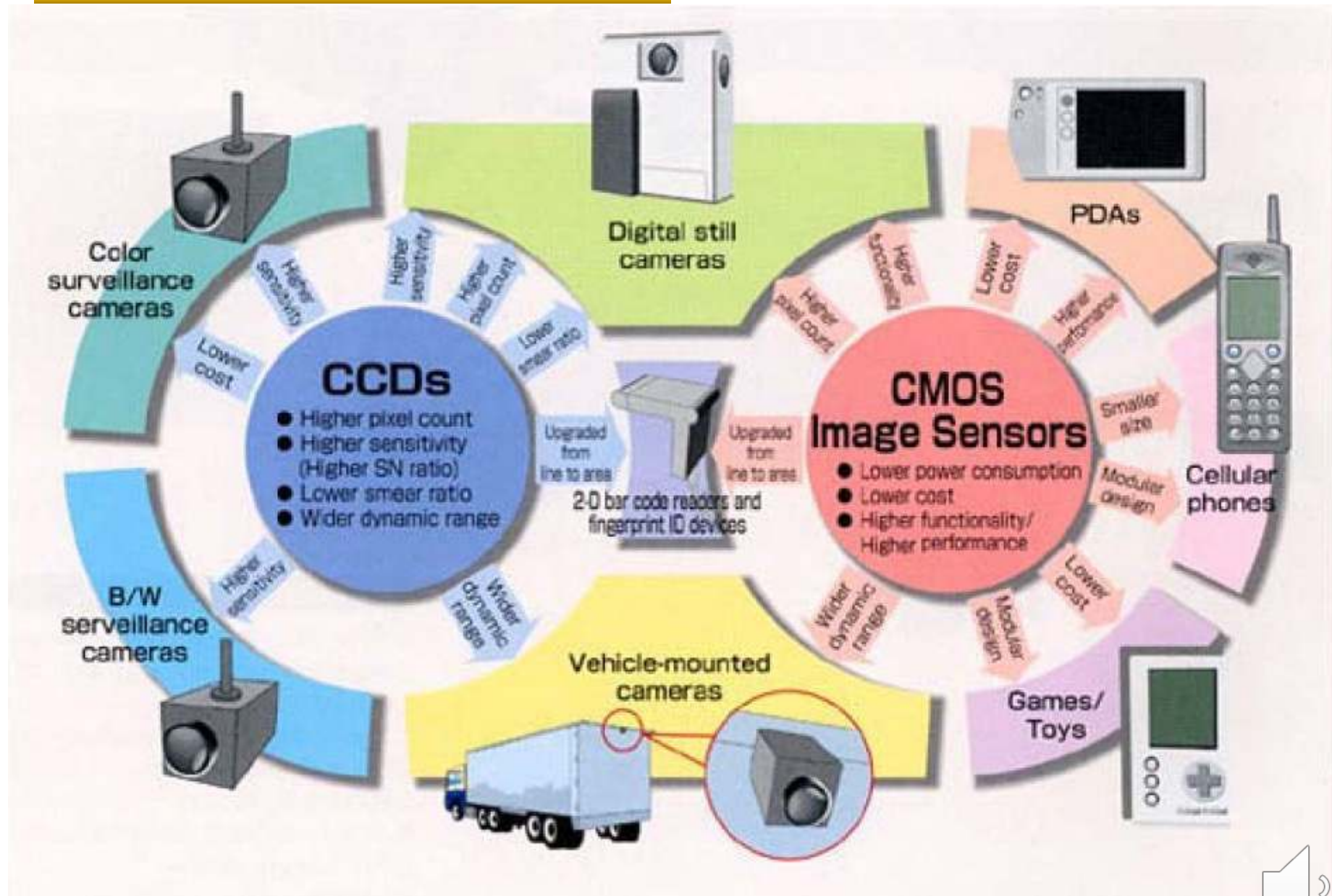


	Sensor Dimensions (mm)		
Type	Diagonal	Width	Height
1/3.6"	5.000	4.000	3.000
1/3.2"	5.680	4.536	3.416
1/3"	6.000	4.800	3.600
1/2.7"	6.721	5.371	4.035
1/2.5"	7.182	5.760	4.290
1/2.3"	7.70	6.16	4.62
1/2"	8.000	6.400	4.800
1/1.8"	8.933	7.176	5.319
1/1.7"	9.500	7.600	5.700
2/3"	11.000	8.800	6.600
-and, for comparison, also some sizes not applied in standard compact cameras:			
1"	16.000	12.800	9.600
4/3"	22.500	18.000	13.500
1.8"	28.400	23.700	15.700
35 mm film	43.300	36.000	24.000





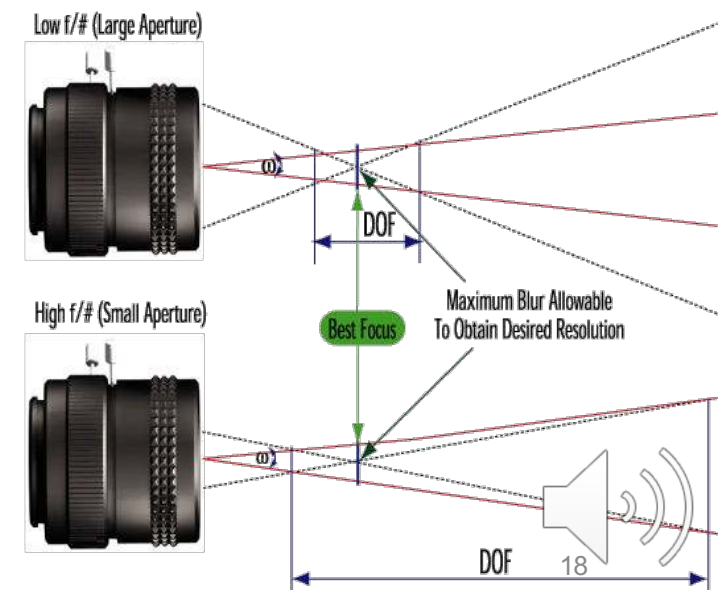
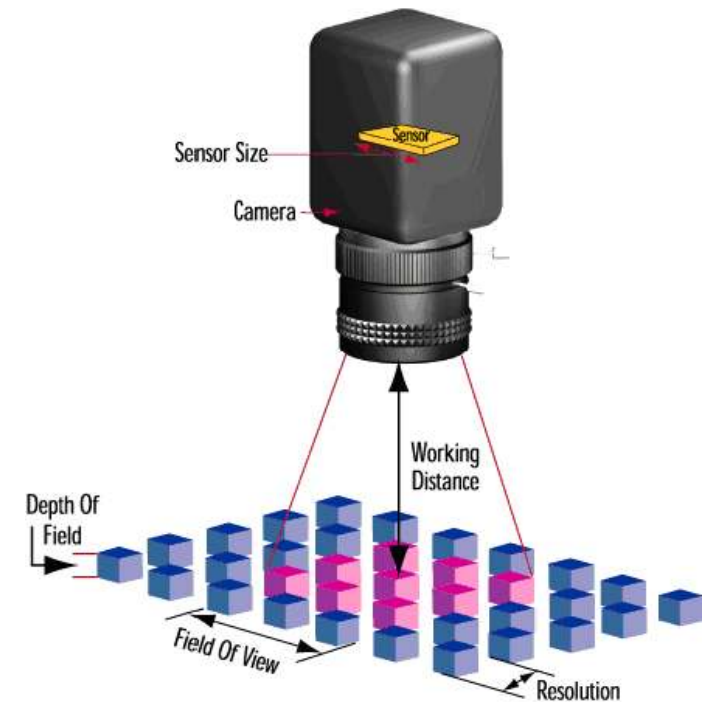
# Sensores de Imagem - Aplicações



# Sistema de Visão: Parâmetros Gerais

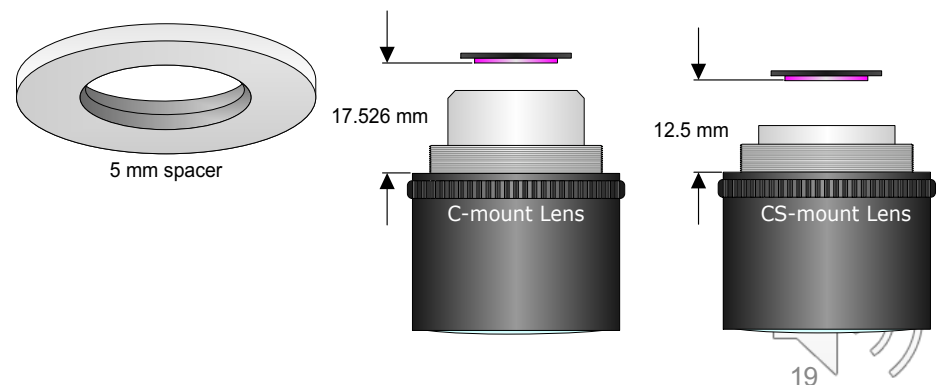


- **Sensor Size**
  - Dimensão do Sensor (1/3", 1/2", etc)
- **Working Distance** (Distância de Trabalho)
  - Distância entre o a lente e a superfície em análise
- **Resolução (Sensor/Ótica)**
  - Característica mínima a distinguir pela câmara
- **Field of View (Campo de Visão)**
  - Área visível do objeto a inspecionar. Área captada pelo sensor da câmara
  - Distância focal (mm)
- **Depth of Field**
  - Profundidade de campo – máxima profundidade em que diferentes zonas do objeto se mantem focado
- **Shutter Speed**
  - Velocidade do obturador
  - Número de imagens adquiridas por segundo
- **Aperture (Abertura da Lente)**
  - Maior ou Menor entrada de luz

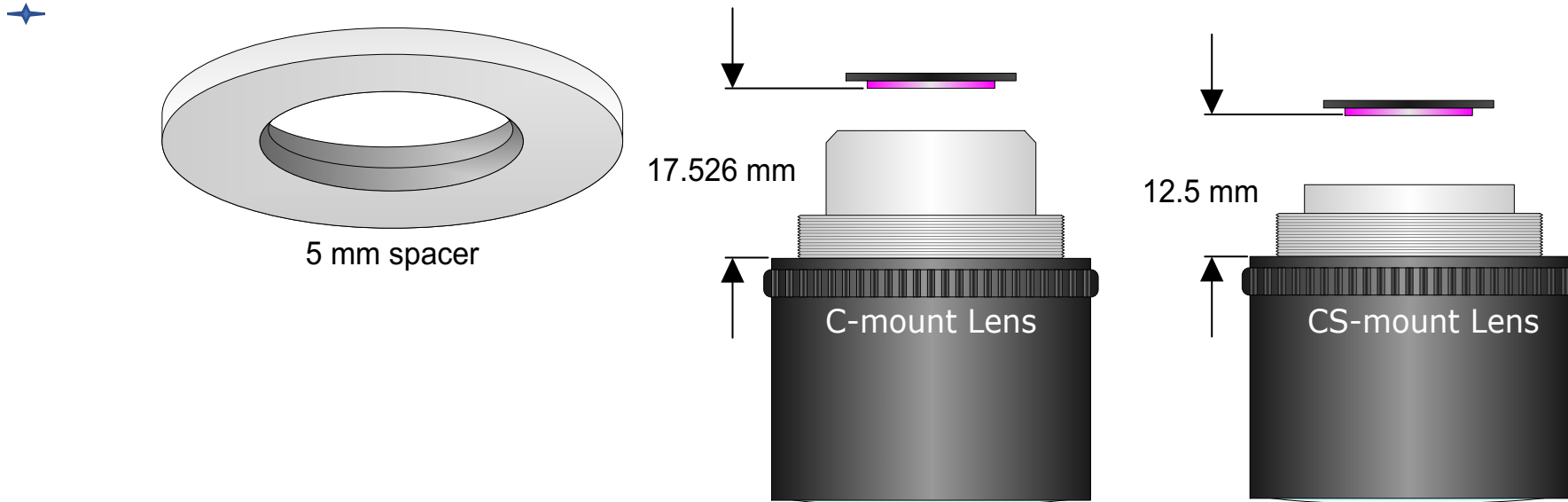


# Óticas

- Lentes captam a luz do Objeto/Cena e **projetam a luz** no sensor de imagem (CCD/CMOS)
- **Óticas Standard** (Concêntricas)
- **Óticas Telecêntricas**
- Óticas para câmaras de **alta definição**
- Óticas para câmaras RGB
- Óticas Zoom até 160x
- **CS-Mount e C-Mout**



# Óticas



## CS-mount

- 12,5 mm – Distância entre a lente e o sensor
- Pode ser adaptada em C-mount utilizando um espaçador

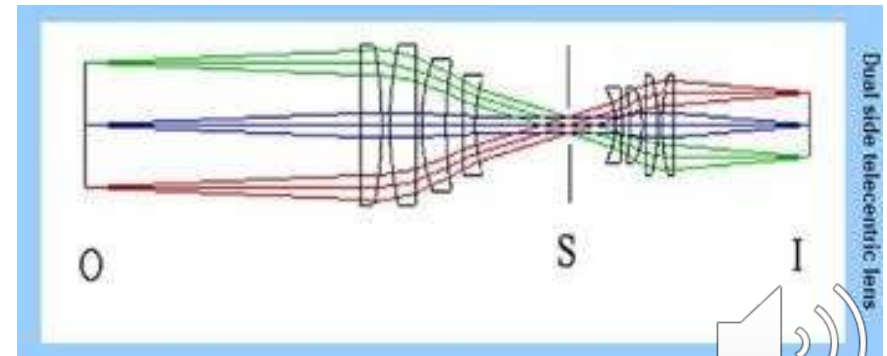
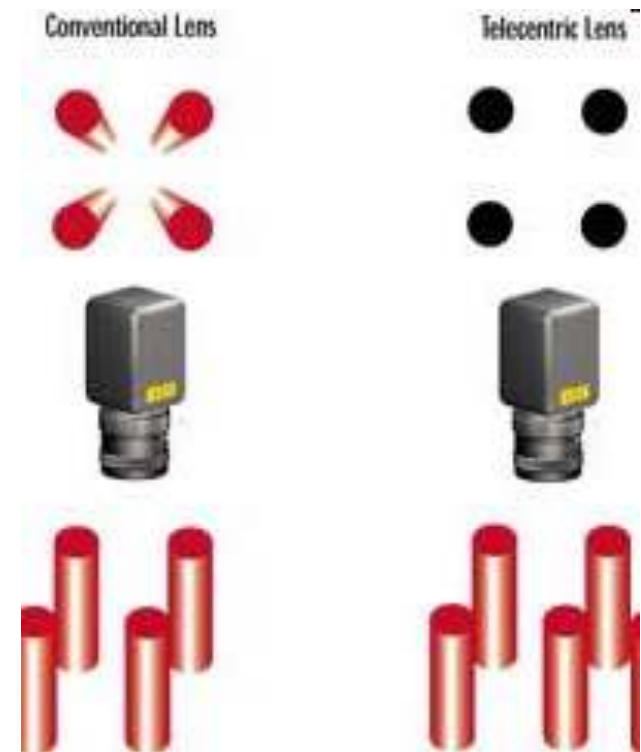
## C-mount

- Lente mais antiga
- 17,5 mm – Distância entre a câmara e o sensor

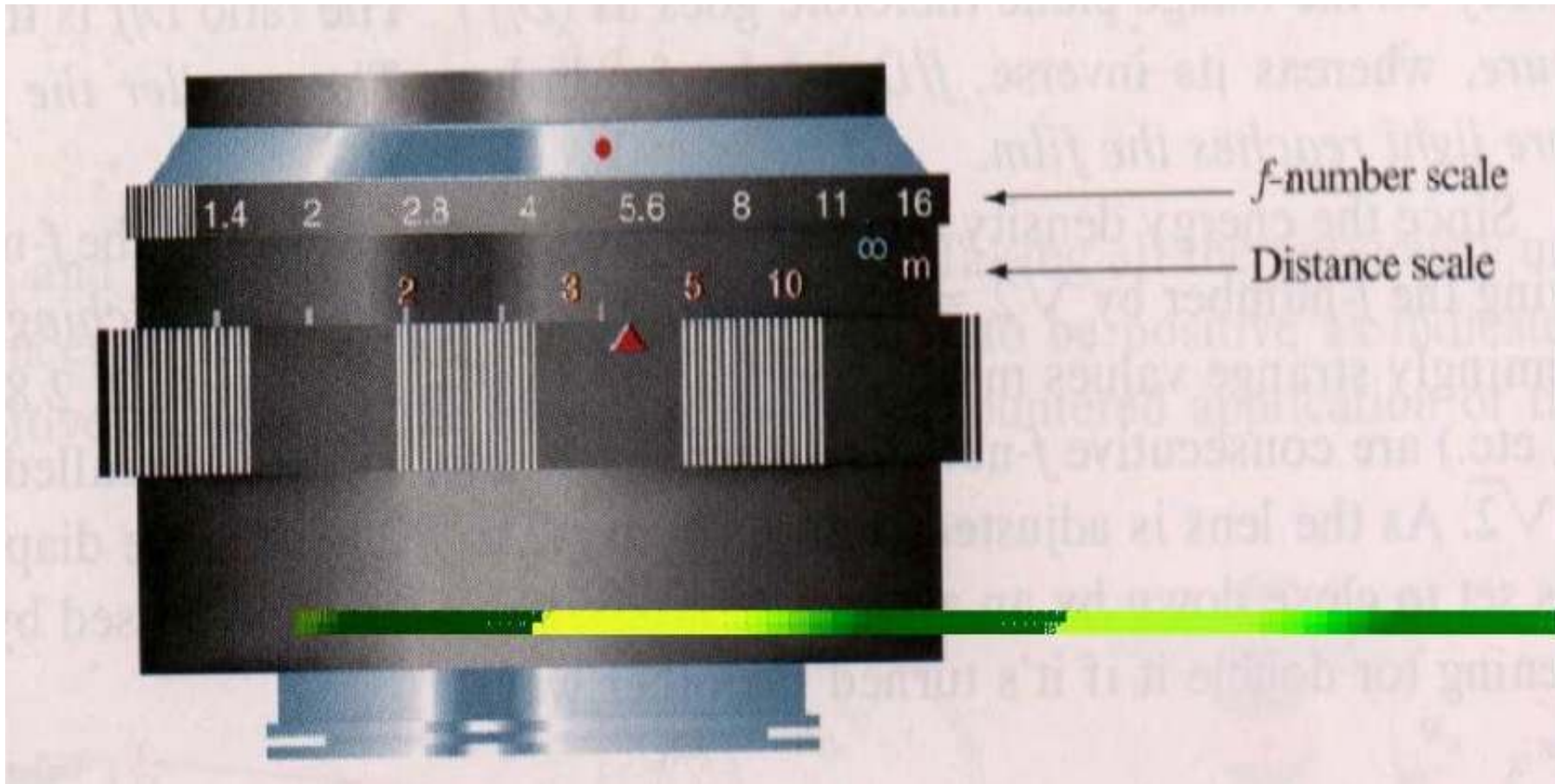


# Lentes Telecêntricas

- Lentes que **com projeção ortogonal** em vez de central (*pin-hole*)
- Os **raios paralelos** ao eixo óptico
- Utilizadas em **medições de elevada precisão**. Por exemplo na medição de diâmetros de furos e outras características geométricas



# Objetivas (Lentes)



- **F-Number (ou F-Stop)** – Relação entre a distância focal e a abertura do diafragma
- **Distance scale** – distância ao objeto



# Depth of Field (profundidade de campo)

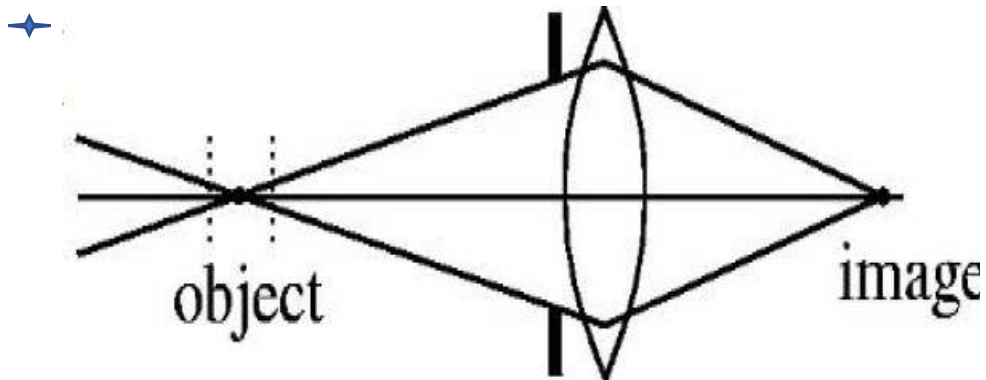


■ 
$$Dof = \frac{\text{Distance to Object}}{\text{Aperture} * \text{Focal Length}}$$





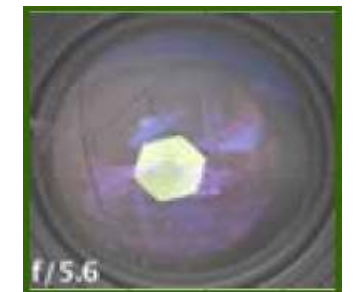
# Depth of Field (profundidade de campo)



Grande Abertura



Pequena Abertura



A abertura da lente, afeta a profundidade de campo.

Abertura pequena:

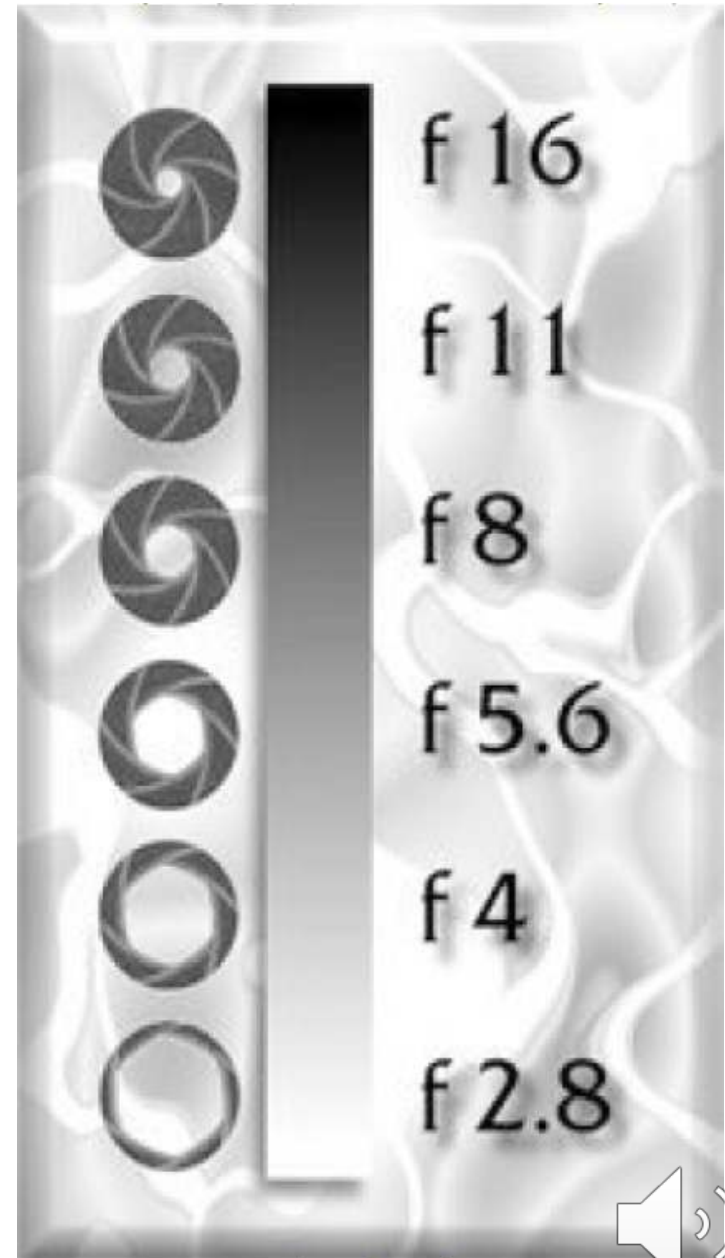
- aumenta a profundidade de identificação/focagem
- diminui a quantidade de luz, necessário mais tempo de exposição para captar a imagem





# F-Number (ou F-Stop)

- **Indica a abertura do diafragma**, possibilitando maior ou menor entrada de luz
  - $f/2.8$  – relaciona a distância focal com a abertura do diafragma
  - $f/8$  equivale à relação  $1/8$
  - $f/2$  equivale à relação  $1/2$
- por isso,  $1/2$  é maior que  $1/8$ ,  
deixa entrar mais luz na lente...



# Relação entre F-Number (ou F-Stop) e o Shutter Speed

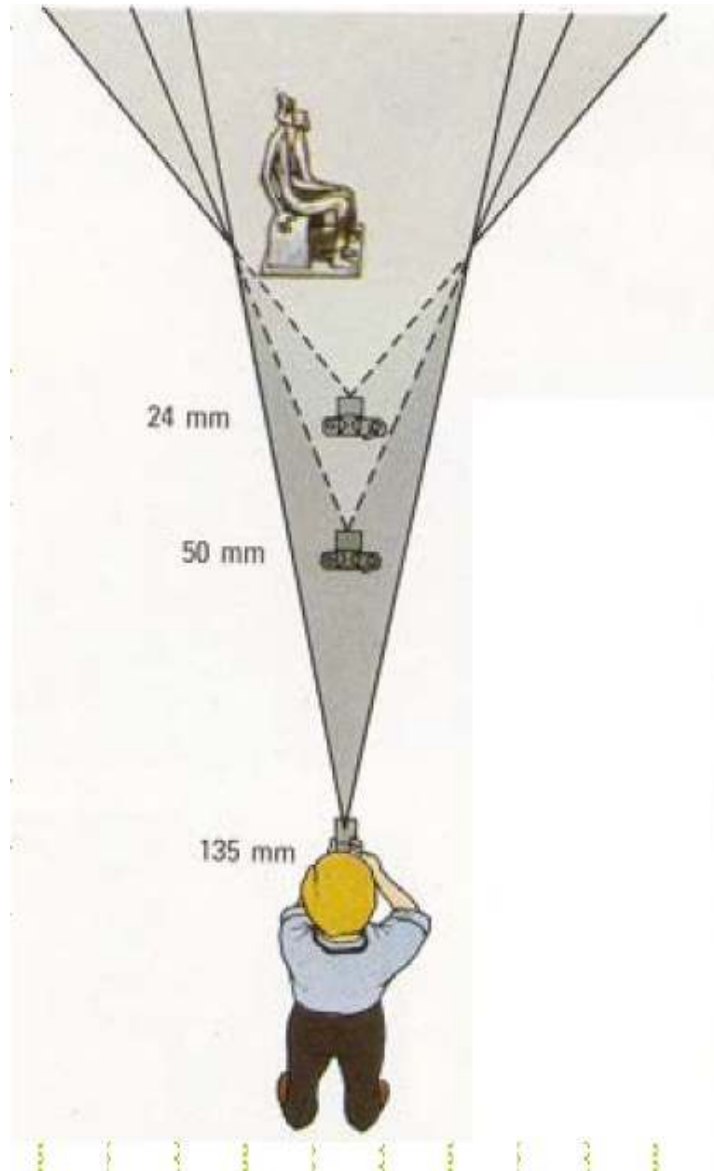
Maior velocidade →

Shutter Speed seconds	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	<b>1/125</b>	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000
f/stop	f/45	f/32	f/22	f/16	f/11	<b>f/8</b>	f/5.6	f/4	f/2.8	f/2	f/1.4

→ Maior abertura

- Tempo de exposição para a mesma quantidade de luz:
  - Para uma abertura pequena do diafragma, é necessário maior tempo de exposição (abertura grande->menor tempo de exposição)
  - Condiciona a aquisição da imagem em função do movimento/luz do objeto ou da cena em análise

# FOV – Field of View (campo de visão)



Grand-angle 24 mm



Normal 50 mm



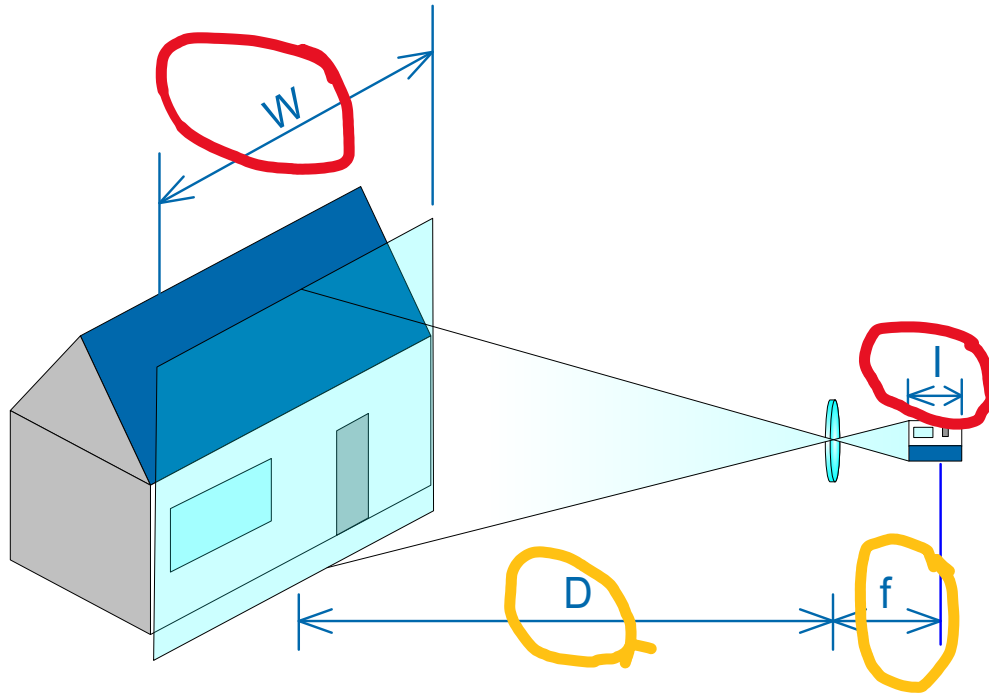
Longue focale 135 mm

- **Campo de visão depende da distância focal**
- Menor distância focal -> Maior ângulo de visão, maior campo de visão
- Maior distância focal -> Menor ângulo de visão, menor campo de visão
- A dimensão da imagem também está condicionada pela dimensão do sensor



# 1º Cálculo da Distância Focal (lente)

## • 1º Seleção da ótica (lente)



$$f = D * \frac{I}{W}$$

f – Distância focal

D – Distância ao objecto

W – Largura do Objecto

I – Largura do sensor

### ■ Cálculo da distância focal:

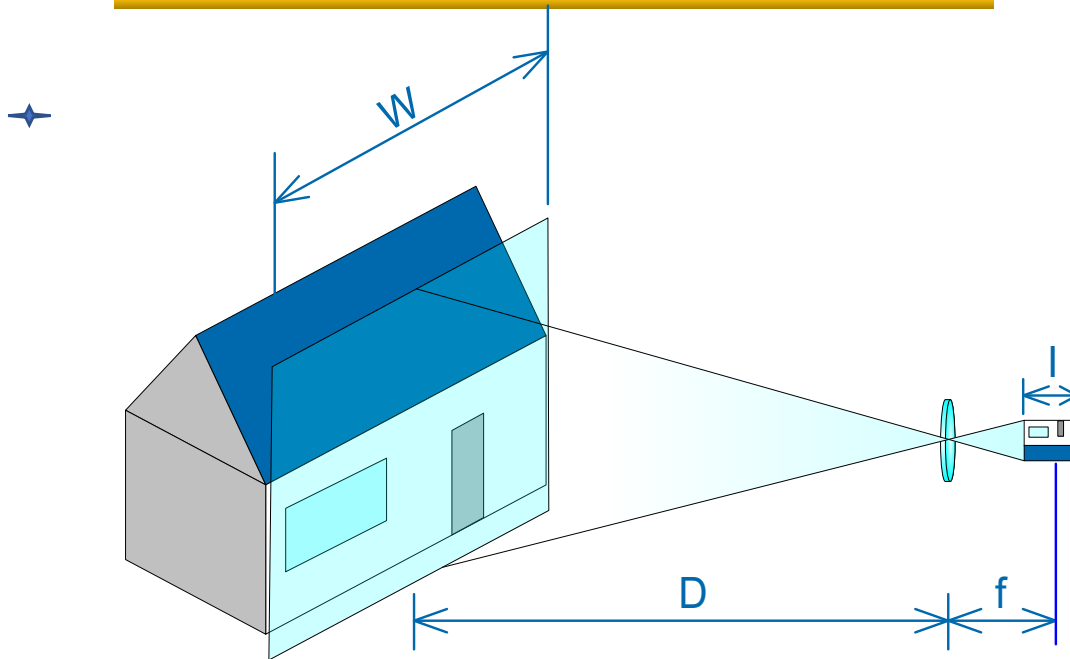
- Dimensão objecto (largura) = 50 mm
- Largura do sensor = 4 mm
- Distância ao objecto = 100 mm

$$f = 100 * \frac{4}{50} = 8 \text{ mm}$$





# 1º Cálculo da Distância Focal (exemplo 2)



$$f = D * \frac{I}{W}$$

f – Distância focal

D – Distância ao objecto

W – Largura do Objecto

I – Largura do sensor

- Distância Objeto = 120 mm
- Largura Objeto = 50 mm
- Largura Sensor (1/1.8" -> 7.2\*5.3) = 7.2 mm
- $F = D * I / W = 120 * 7.2 / 50 = 17,28 \text{ mm}$
- Resolução =  $50 / 1280 = 0,039 \text{ mm}$



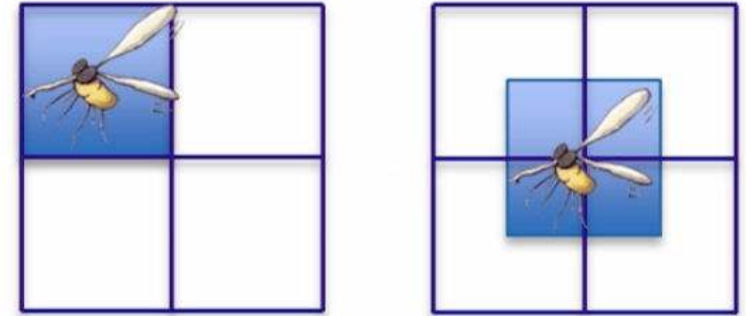
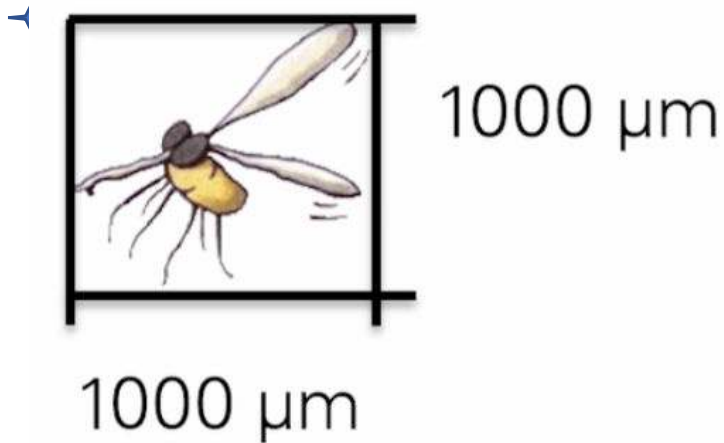
## uEye 3240LE

Câmara compacta USB3 de 1.3 megapíxeis

### Especificações do produtos

Saída	USB 3.0
Tipo Sensor	CMOS
Tamanho Sensor	1/1.8"
Resolução	1280x1024
Velocidade máx.	60 img/s
Família	uEye LE
Fabricante	IDS

# 2º Cálculo da Resolução do Sensor



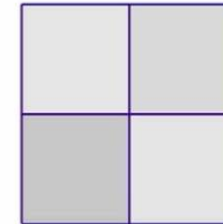
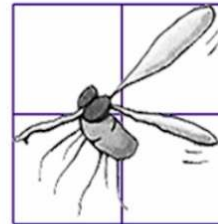
- Para identificar um defeito (por exemplo uma das asas não existe...) com uma dimensão de 1mm, qual a resolução a utilizar?
- Resolução pretendida = FOV (Campo de Visão) (-> Pixéis) / (Caraterística Mínima \* 3) (-> Pixéis)



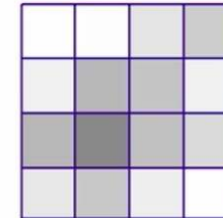
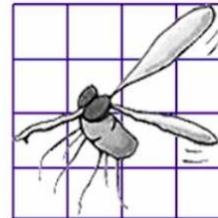
# 2º Cálculo da Resolução do Sensor



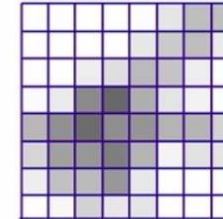
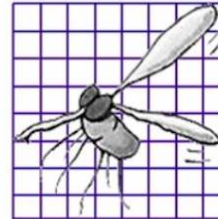
- 4 Pixel (500μm)



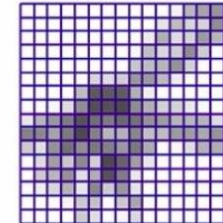
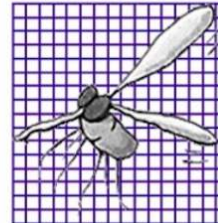
- 16 Pixel (250μm)



- 64 Pixel (125μm)



- 256 Pixel (62μm)



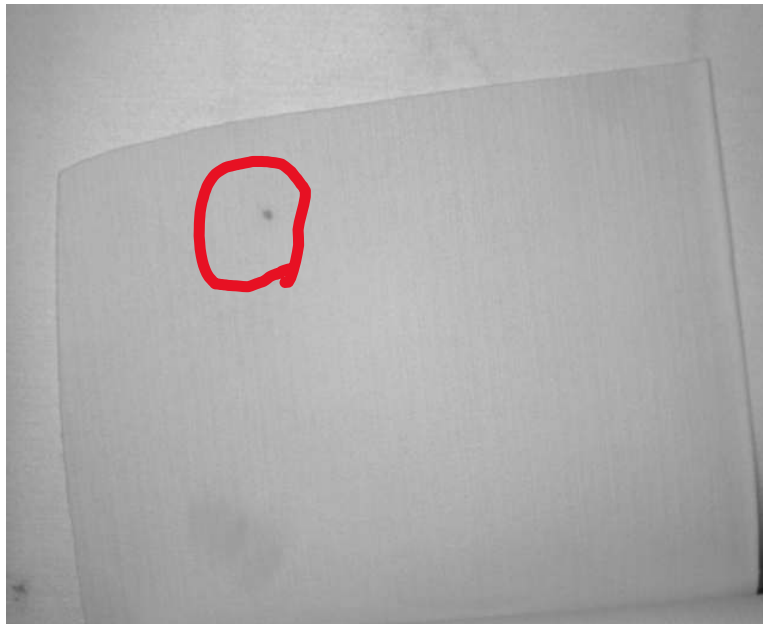
- Para identificar um defeito com uma dimensão de 1mm, qual a resolução a utilizar?
- **Resolução pretendida = FOV (Campo de Visão) (em Pixéis) / (Caraterística Mínima \* (2 a 4)) (em Pixéis)**



# 2º Cálculo da Distância Focal (exemplo)



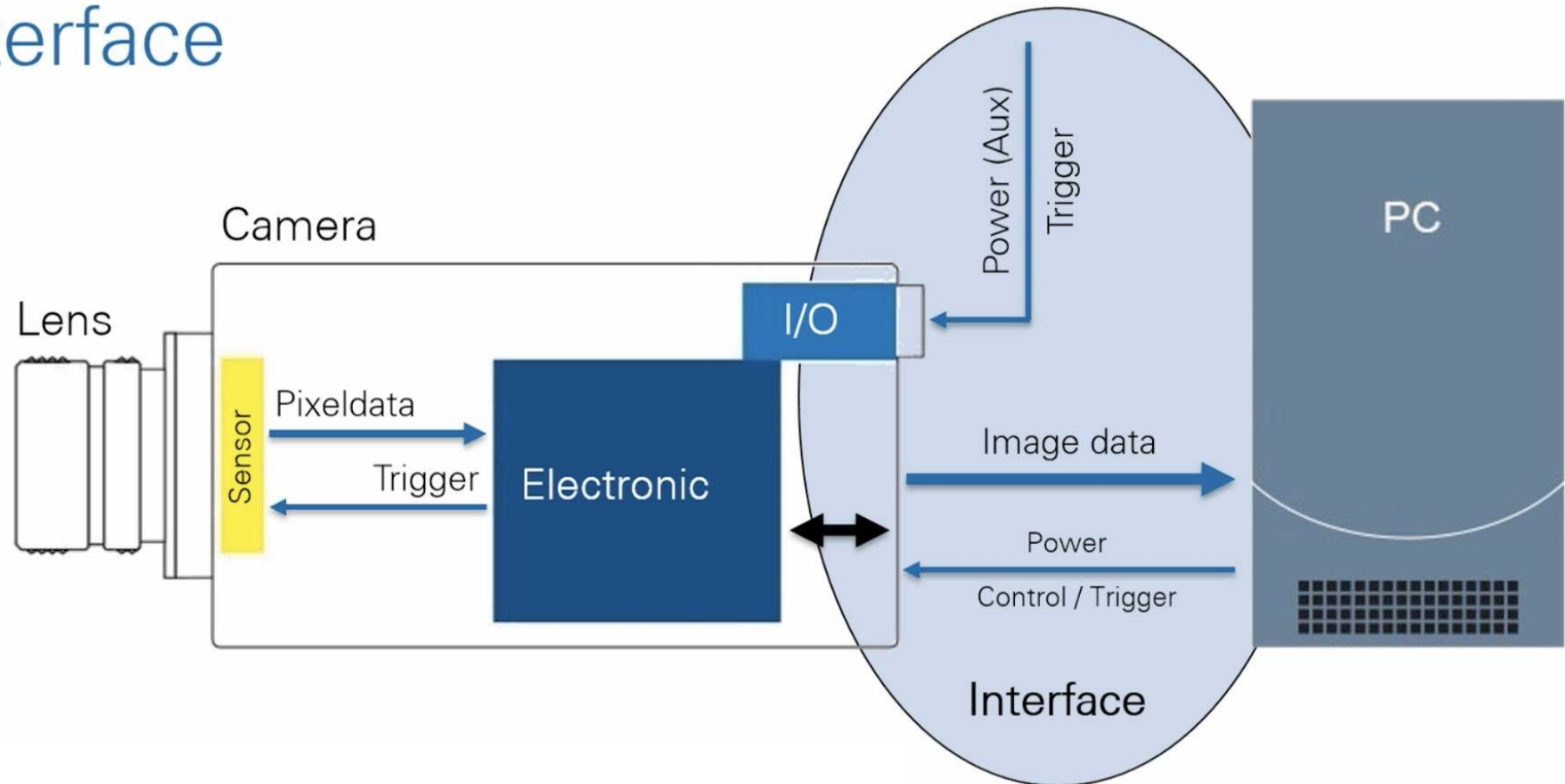
- Dimensão mínima da mancha: **1mm**
- A camara está a uma distância de **400 mm**
- **Sensor 1/1.8" -> (Largura do sensor: 7,176 mm)**
- Considerando **4 pixéis, para representar a mancha de 1 mm**, para garantir uma boa qualidade de analise
- Largura máxima do objeto= **1280/4 = 320 mm**
  - Largura Objeto = **320 mm**
- **$F = D * I / W = 400 * 7.2 / 320 = 9 \text{ mm}$**





# Câmaras: Protocolos de Comunicação

## Interface



- Data Rate (MByte/sec) = Resolução Imagem (W\*H) \* Frame Rate (fps) \* Bit Depth (8, 10, 12, 16...)/ (1 048 520 \* 8)
- 1 048 520 = MByte

# Câmaras: Protocolos de Comunicação



Protocolo	FireWire	USB (2.0) USB (3.0)	Gigabit Ethernet	CameraLink
Vel. Comunicação	<400 Mb/s	<480 Mb/s <5 Gb/s	<1000Mb/s	<7140Mb/s
Distância	10 m	4,5 m	100 m	10 m
Nº Máx de Dispositivos	63	127	ILIMITADO	4
Interface	Placa Base/PCI Drive Windows	Placa Base/PCI Drive Windows	Placa Base/PCI Drive Windows	Frame Grabber  Drive proprietário



# Câmaras: Protocolos de Comunicação



- Data Rate (MByte/sec)= Resolução Imagem (W\*H) \* Frame Rate (fps) \* Bit Depth (8, 10, 12, 16...)/ (1 048 520 \* 8)
- Data Rate (MByte/sec) = (1280\*1024\*60\*8)/(1 048 520 \* 8)
- Data Rate (MByte/sec) = 75 MByte/sec

(Considerando 8 bits resolução profundidade...)



# Auto Focus

---



## Sistemas Ativos:

- **Tempo de voo de ultrassons** (medição do tempo de envio e receção da onda)
- **Triangulação de feixes infravermelhos**
- Ambos os sistemas são falíveis a longas distâncias e para objetos escuros ou especulares

## Sistemas Passivos:

- Necessário utilizar **cenas bem iluminadas**
- A focagem é realizada por análise/processamento da imagem do sensor
- Comparação do contraste de zonas de imagens em 3 profundidades diferentes, a lente **está focada corretamente, quando o contraste é máximo**
- Método de fase, análise de cor uniforme em duas zonas do sensor





# Links interessantes

---

- ✦ <https://www.opto-e.com/basics/camera-basics>  
[https://www.optex-fa.com/tech\\_guide/vision/guide/](https://www.optex-fa.com/tech_guide/vision/guide/)

