

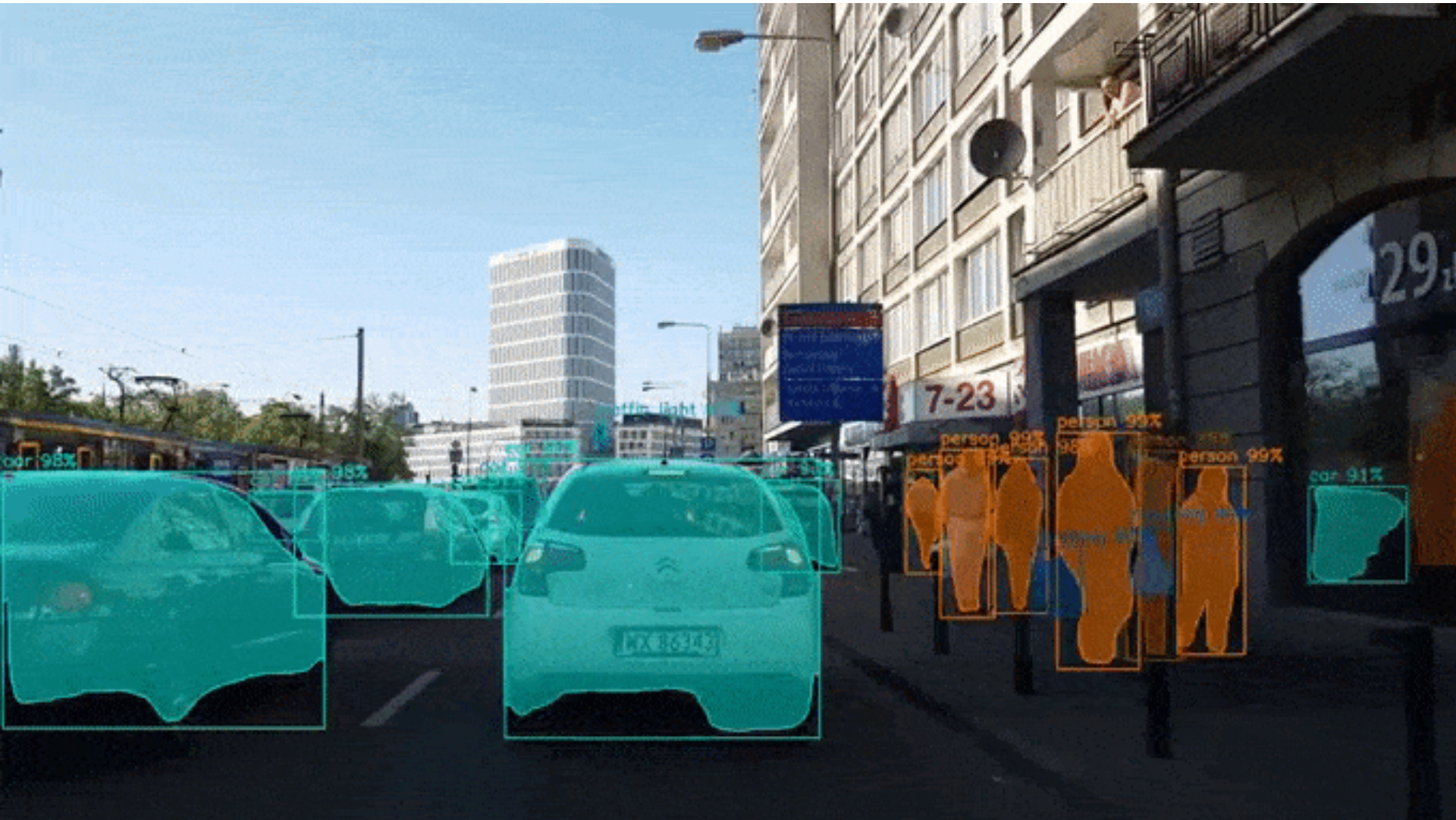
# **SEL-0339 Introdução à Visão Computacional**

## **Aula 7**

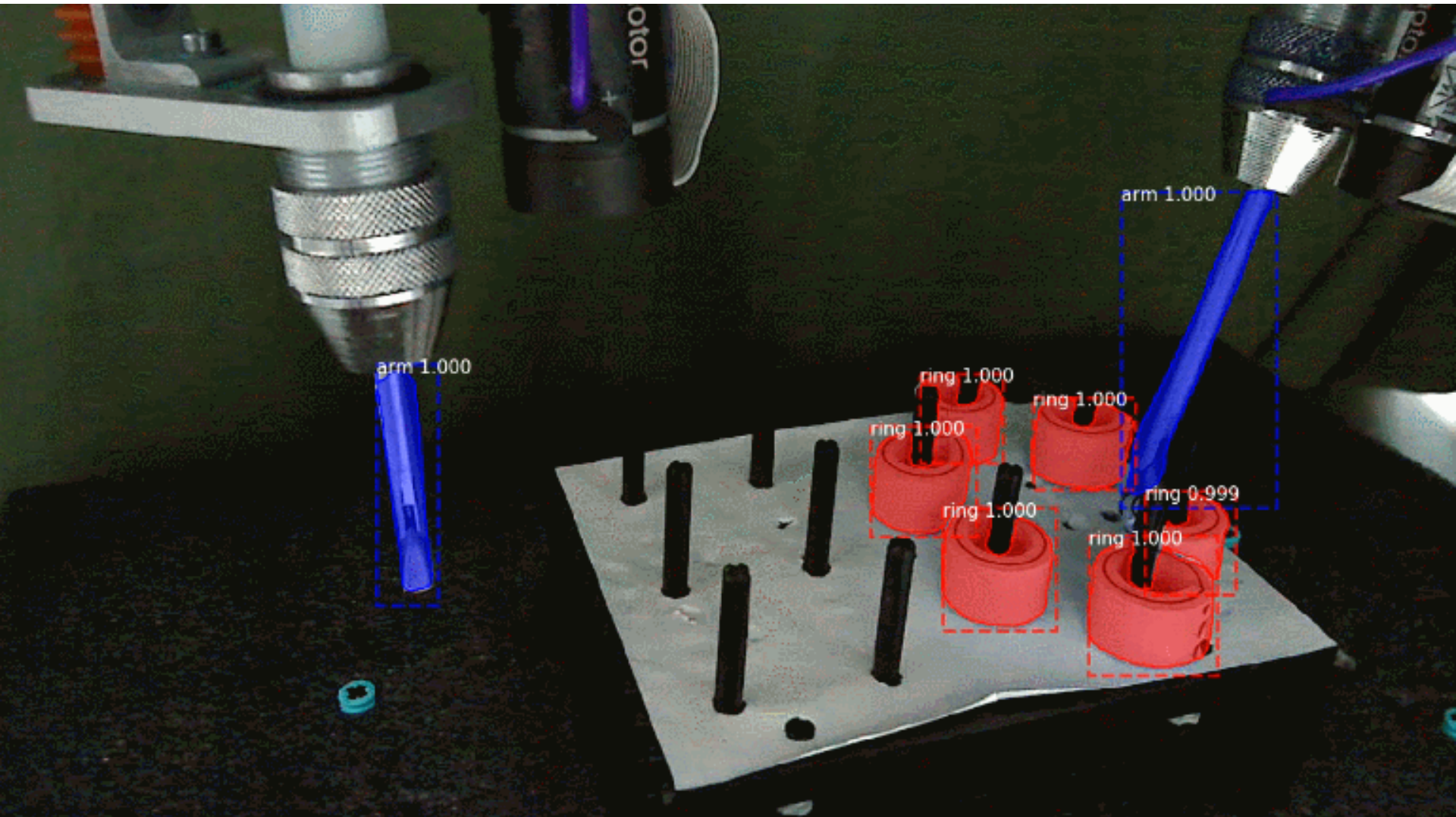
### **Segmentação de Imagens**

### **Parte 1 - Descontinuidade**

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira  
Rodrigo de Barros Vimieiro



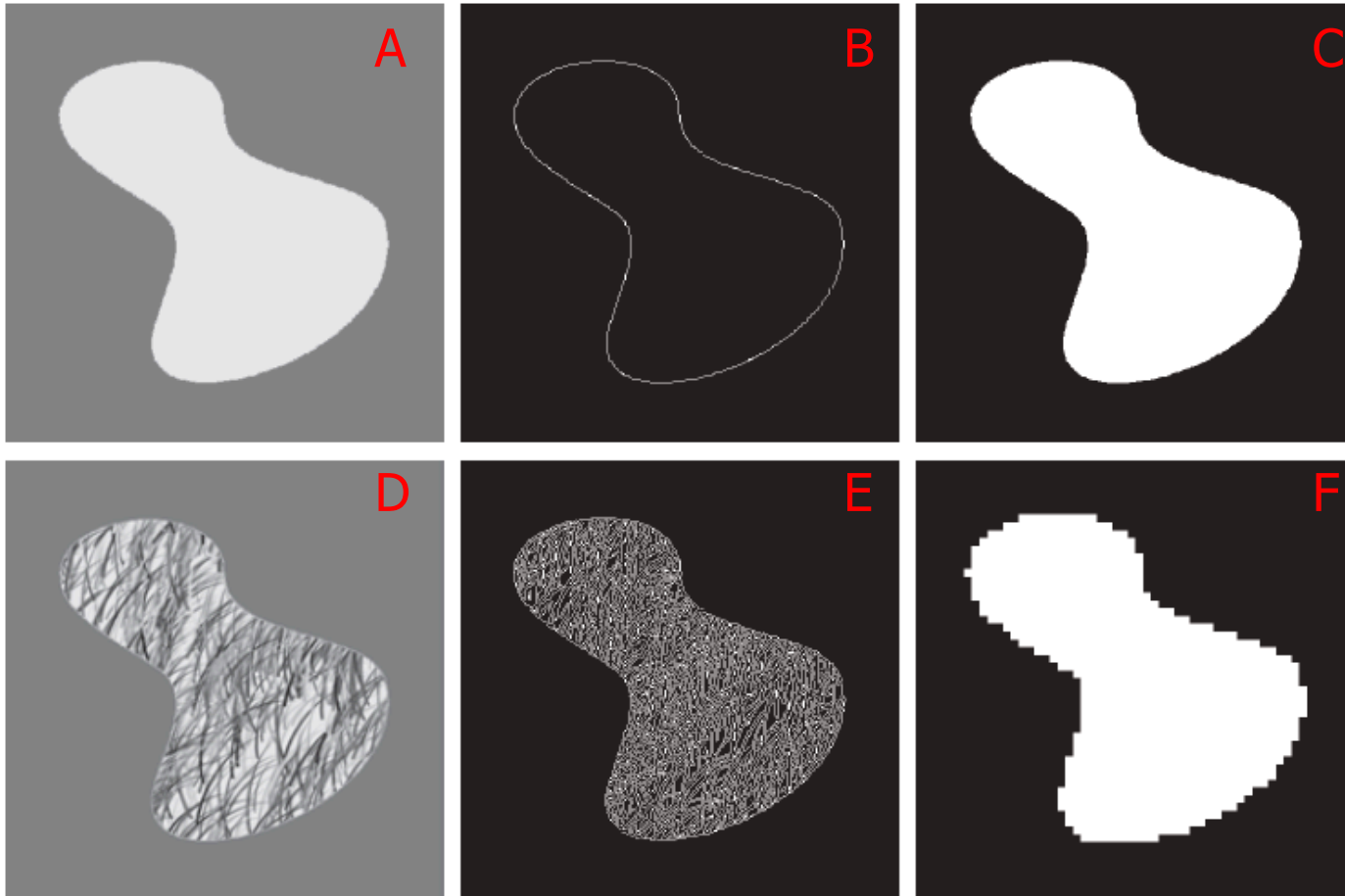




- **Segmentação** é o processo que subdivide uma imagem em regiões que satisfaçam alguns critérios de similaridade ou descontinuidade pré-definidos.
- Geralmente a segmentação é baseada em propriedades dos níveis de cinza da imagem como:

## Descontinuidade ou Similaridade

- **Descontinuidade:** Segmentação baseada em Bordas:
  - Detector de bordas, linhas ou pontos isolados
  - Baseado em filtros gradiente ou laplaciano
- **Similaridade:** Segmentação baseada em Regiões:
  - Limiarização, Crescimento de Regiões, Divisão e Fusão, etc..



**Figura 10.1** (a) Imagem que contém uma região de intensidade constante. (b) Imagem mostrando a fronteira da região interior, obtida a partir das descontinuidades de intensidade. (c) Resultado da segmentação da imagem em duas regiões. (d) Imagem que contém uma região com textura. (e) Resultado do cálculo da borda. Repare no grande número de pequenas bordas que estão conectadas com a fronteira original, o que torna difícil encontrar um limite único utilizando apenas a informação das bordas. (f) Resultado da segmentação baseada nas propriedades da região.

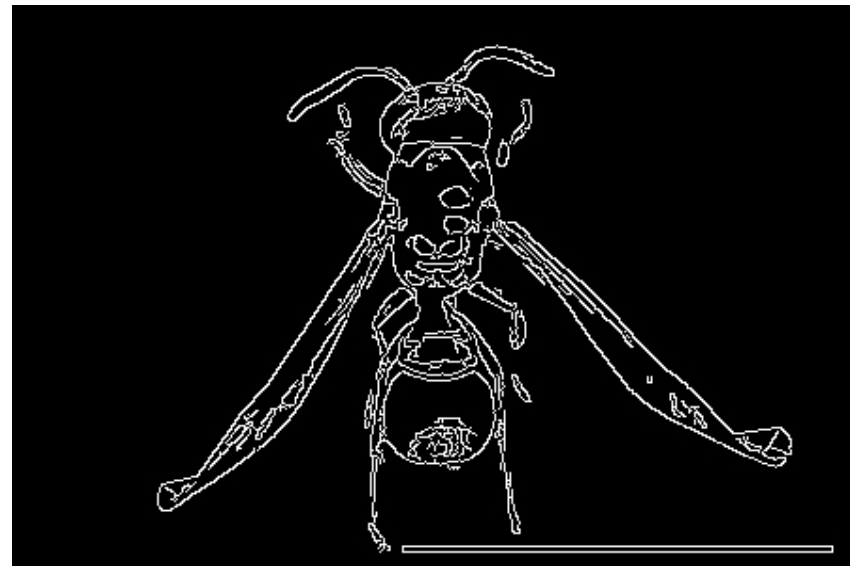
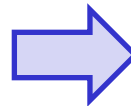
- |                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Descontinuidade: Detector de bordas | - Interno ou externo à borda |
| Similaridade: Região com textura    | - Desvio padrão região 4x4   |

- **Descontinuidade:**
  - Detecção de pontos isolados, linhas ou bordas.
  - Baseado em filtros derivativos: Operador Gradiente (primeira derivada) e Laplaciano (segunda derivada)
  - Exemplos: Roberts, Prewitt, Sobel, entre outros.
  - Geralmente o processo de detecção de bordas é seguido de algum algoritmo de ligação para resolver os problemas de “quebra” das bordas e para separar as regiões separadas pelas bordas.

- **Similaridade:**
  - Baseado em regiões.
  - Agrupamento de pixels de regiões que são similares baseado em algum critério pré-definido (conectividade).
  - Exemplo: Limiarização (binarização), crescimento de região, divisão e fusão, entre outras.

# Parte 1:

## Segmentação por Descontinuidade



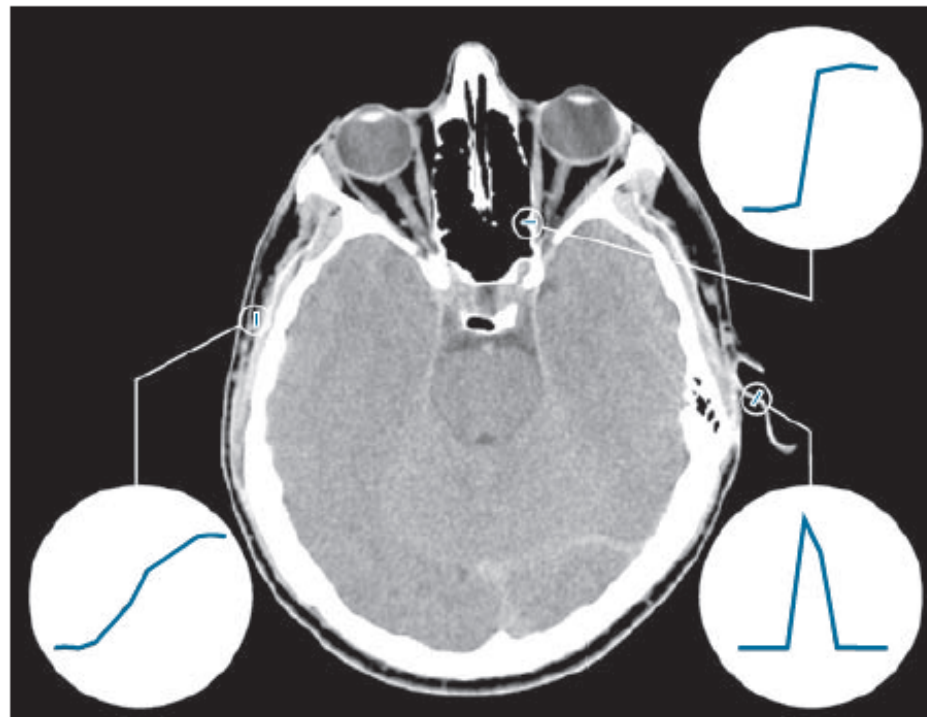
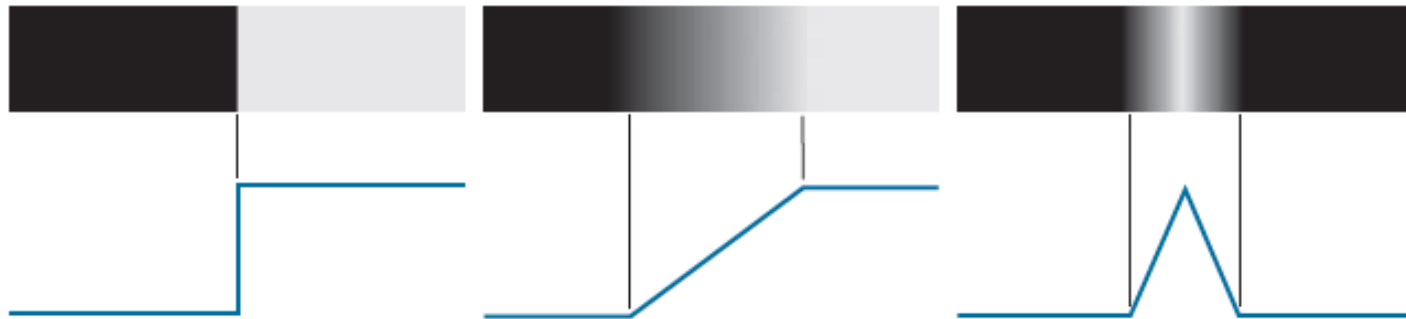


# Segmentação por Descontinuidade

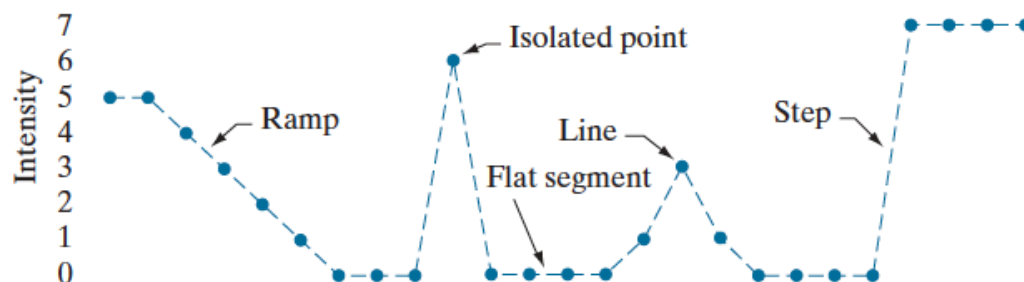
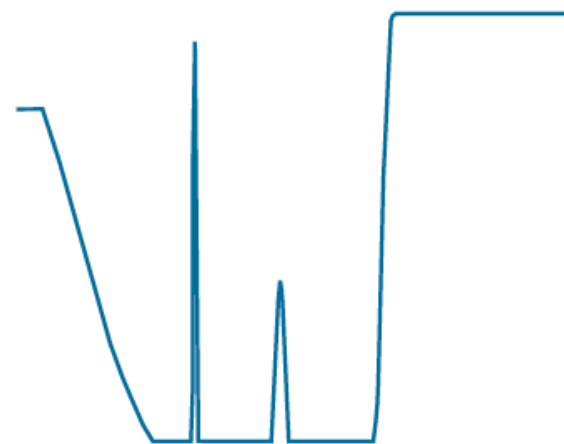
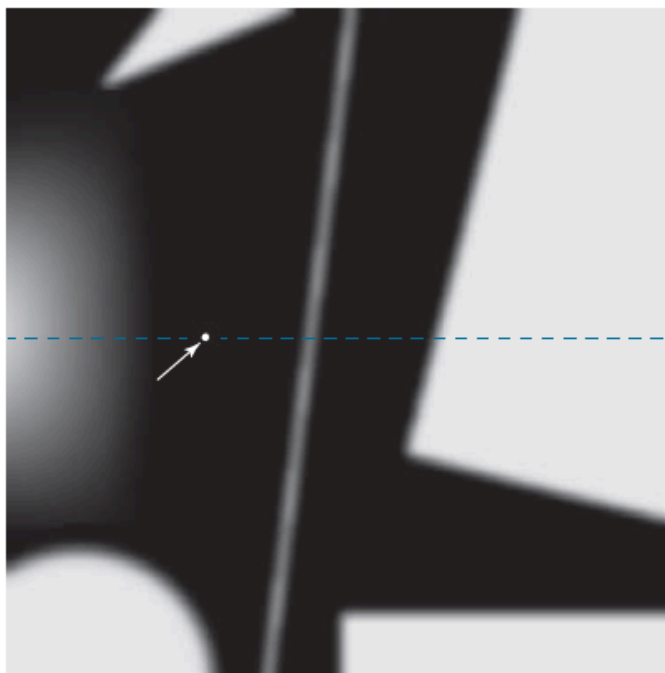
Borda em degrau

Borda em rampa

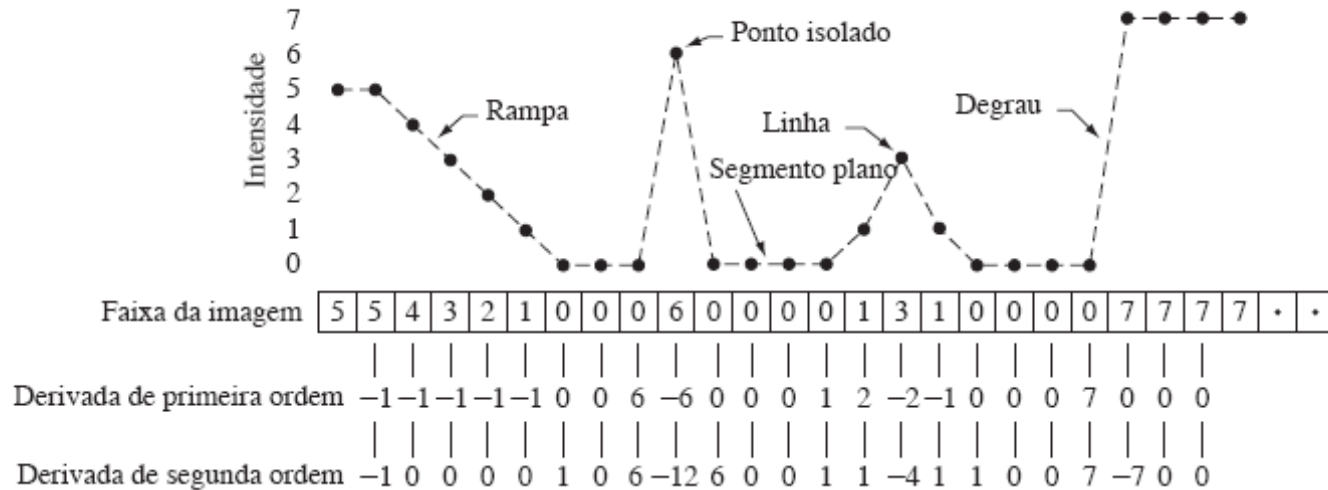
Borda em forma de telhado



# Segmentação por Descontinuidade



Intensity values	5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	7	7	7	•	•
First derivative	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	6	-6	0	0	0	0	1	2	-2	-1	0	0	0	0	7	0	0	0		
Second derivative	-1	0	0	0	0	1	0	6	-12	6	0	0	0	1	1	-4	1	1	0	0	0	7	-7	0	0		



- Borda em Rampa:
  - Magnitude da resposta é maior para filtros de 1ª Derivada
  - 1ª Derivada – Diferente de 0 em toda a rampa
  - 2ª Derivada – Diferente de 0 apenas no início e final da rampa
- Pontos Isolados e Borda em forma de telhado:
  - Magnitude da resposta é maior para filtros de 2ª Derivada
- Borda em Degrau:
  - Bordas duplas
  - 2ª Derivada - Sinais opostos conforme “entra” ou “sai” da borda
  - Sinal pode ser usado para detectar se a transição é do “claro para escuro” ou vice-versa
  - O mesmo ocorre para a rampa...

# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

- Filtros de **primeira derivada**:
  - O operador de primeira ordem mais comum é o **Gradiente**:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

$$\frac{\partial f}{\partial \vec{x}} = f(x+1, y) - f(x, y)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \vec{y}} = f(x, y+1) - f(x, y)$$



# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

### Bordas Verticais

1	-1
---	----

-1	1
----	---

### Bordas Horizontais

1
-1

-1
1

### Bordas Diagonais

0	-1
1	0

0	1
-1	0

-1	0
0	1

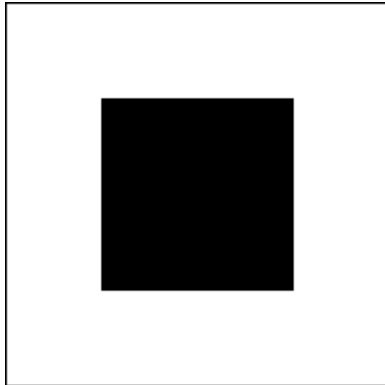
1	0
0	-1

Esses operadores são conhecidos como  
**Operadores Gradiente-Cruzado de Roberts** ou  
**Detectores de Bordas de Roberts**

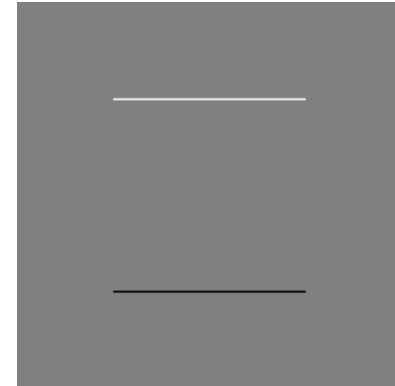
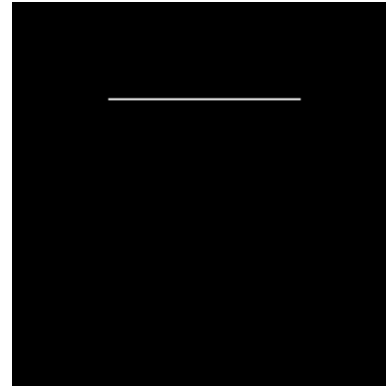
- ❑ São filtros não-isotrópicos (detectam bordas em uma direção específica);
- ❑ Detectam gradiente (bordas) positivo ou negativo dependendo do *kernel* utilizado;
- ❑ Não são muito sensíveis à ruídos e pequenos detalhes como os detectores Laplacianos (de segunda ordem).

# Detector de Bordas de Roberts

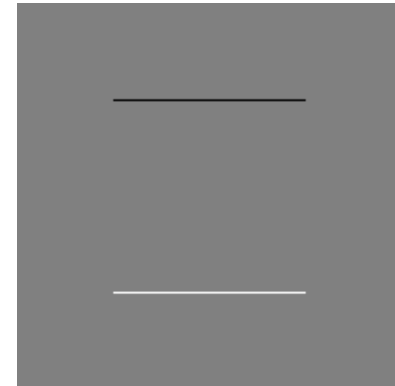
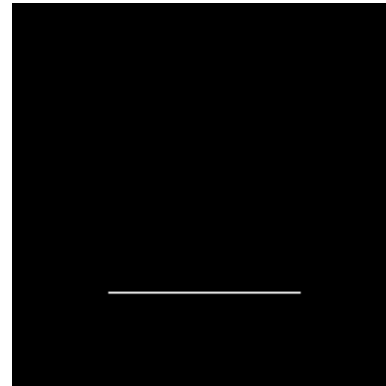
## Correlação cruzada



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



$$h2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

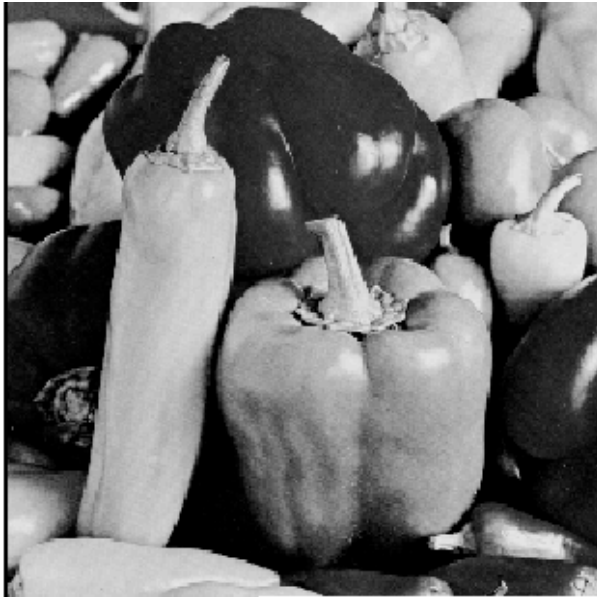


[0 255]

[-255 +255]

# Detector de Bordas de Roberts

## Correlação cruzada



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



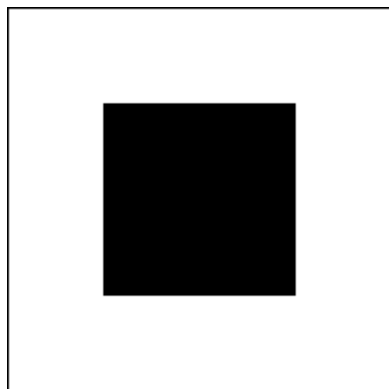
$$h2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



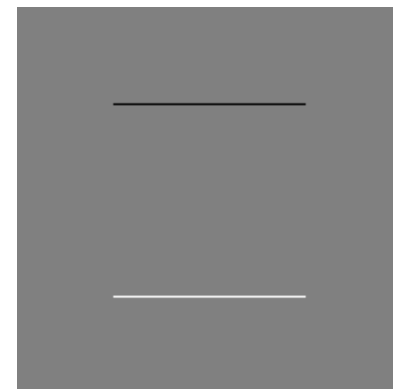
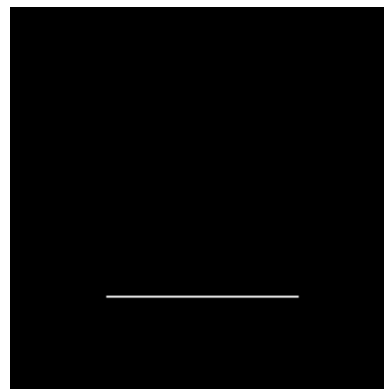
- Negativo da imagem final
- Direção do gradiente = direção dos sinais
- Direção da borda = perpendicular a do *kernel*

# Detector de Bordas de Roberts

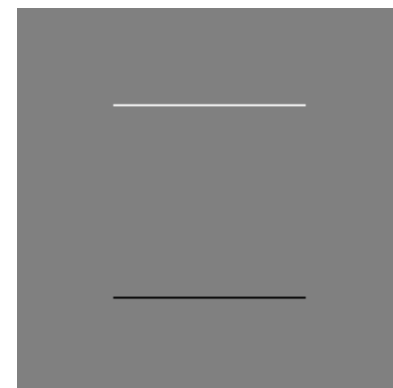
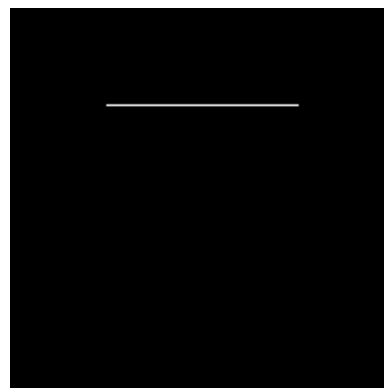
## Convolução (rotaciona o *kernel*)



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



$$h2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

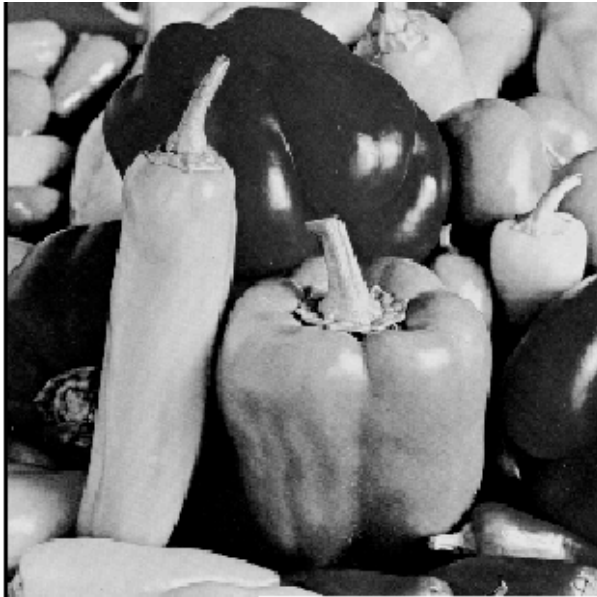


[0 255]

[-255 +255]



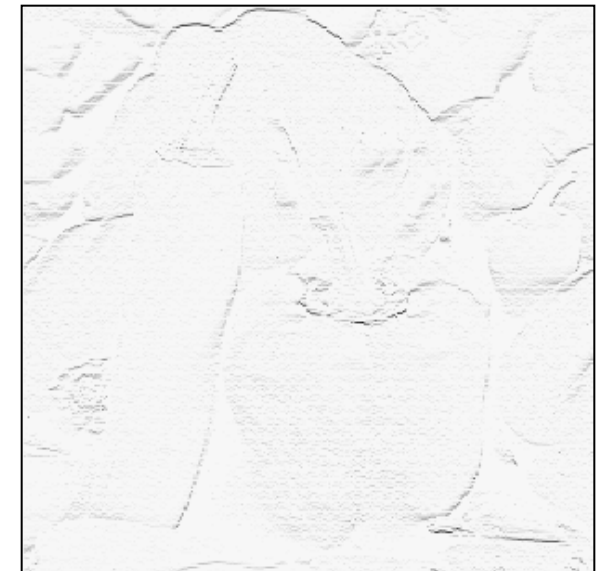
## Convolução



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



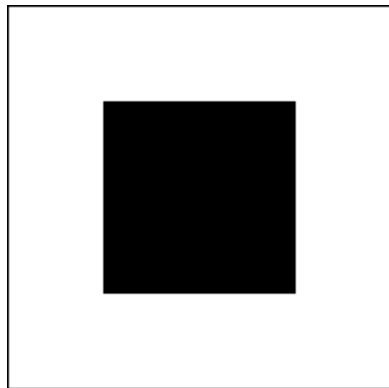
$$h2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



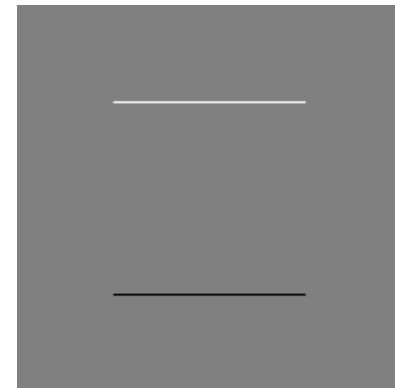
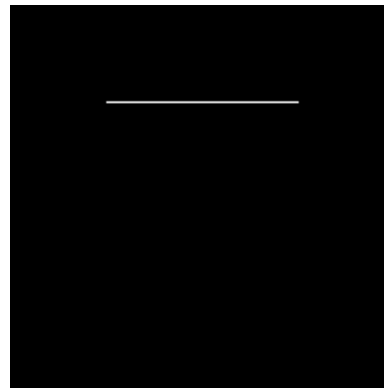
- Negativo da imagem final
- Direção do gradiente = direção dos sinais
- Direção da borda = perpendicular a do *kernel*

# Detector de Bordas de Roberts

## Correlação cruzada



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



$$h2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$$



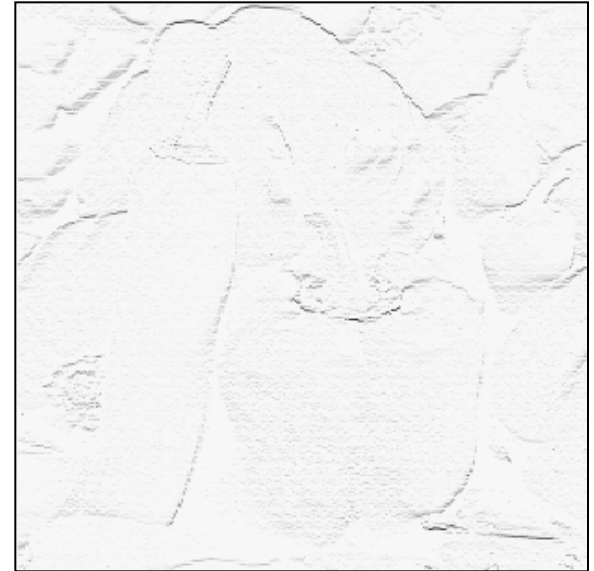
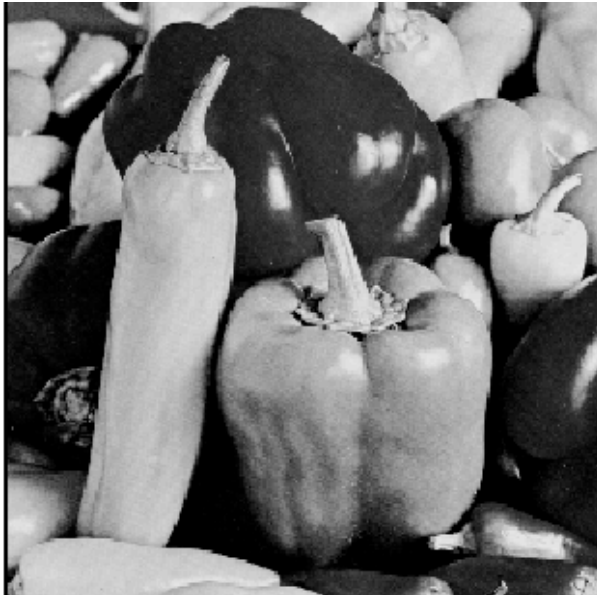
[0 255]

[-255 +255]

# Detector de Bordas de Roberts

## Correlação cruzada

$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

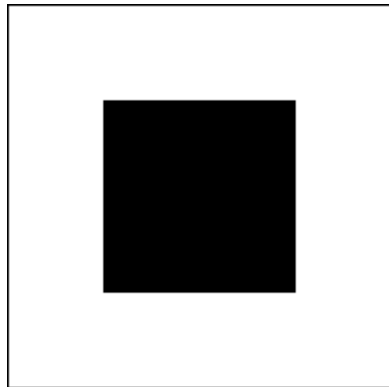


$$h2 = [1 \ -1]$$



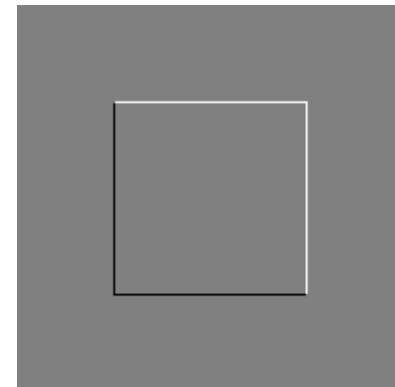
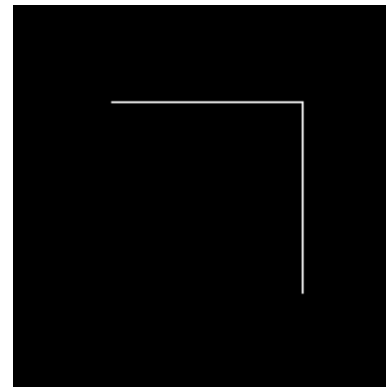
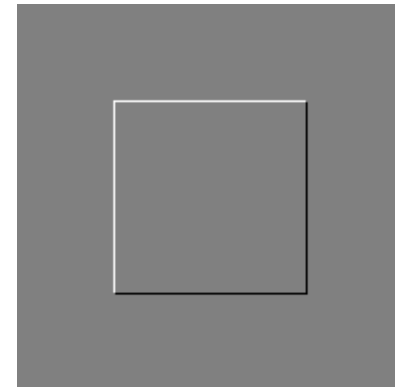
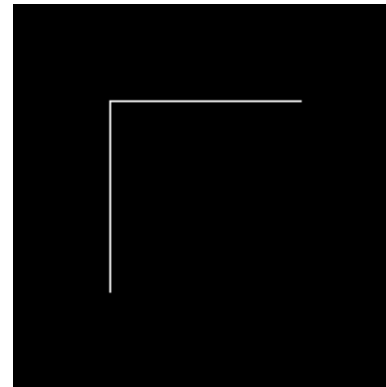
- Negativo da imagem final
- Direção do gradiente = direção dos sinais
- Direção da borda = perpendicular a do *kernel*

## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

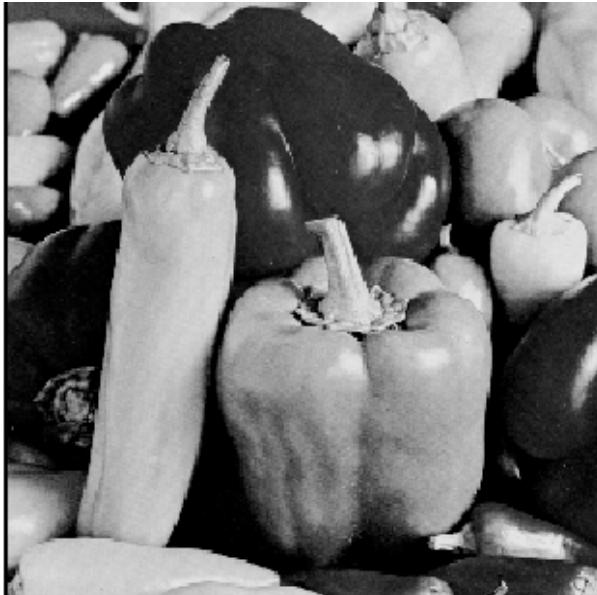
$$h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$



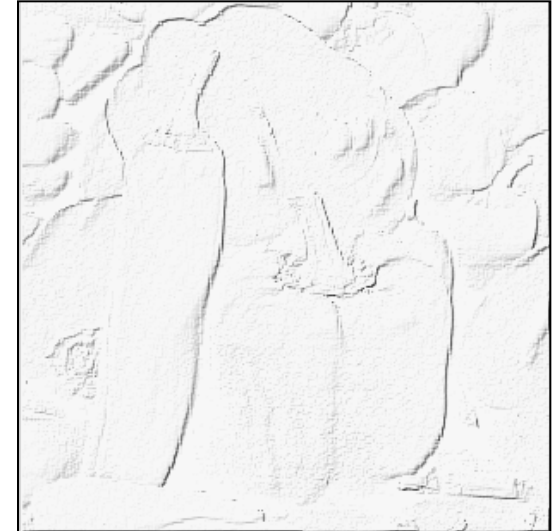
[0 255]

[-255 +255]

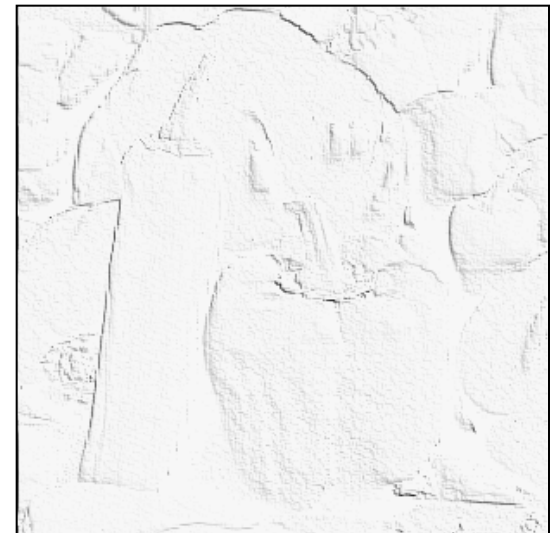
## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$



$$h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$



- Negativo da imagem final
- Direção do gradiente = direção dos sinais
- Direção da borda = perpendicular a do *kernel*



# Detector de Bordas de Prewitt

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

Bordas Horizontais

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

Bordas Verticais

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

# Detector de Bordas de Prewitt

0	-1	-1
1	0	-1
1	1	0

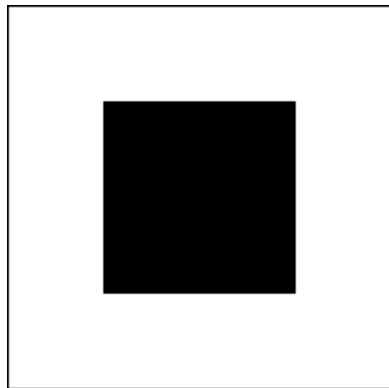
0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

Bordas Diagonais

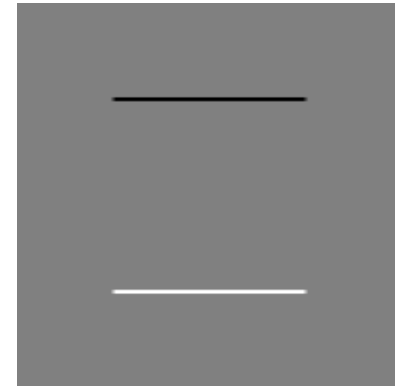
1	1	0
1	0	-1
0	-1	-1

-1	-1	0
-1	0	1
0	1	1

## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

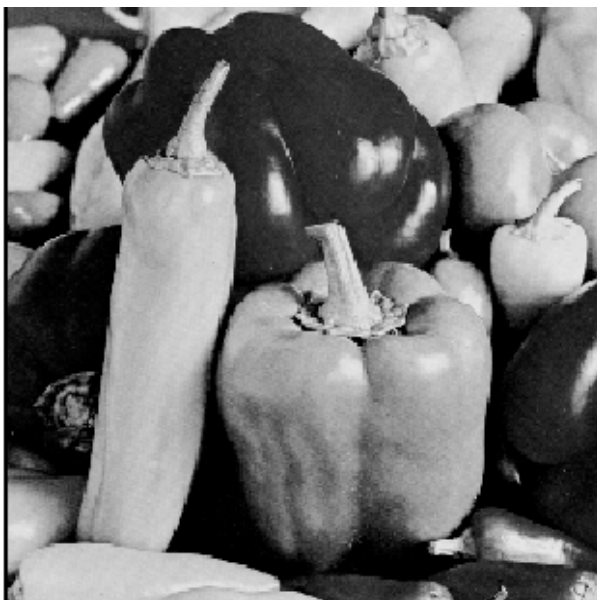


[0 765]

[-765 +765]

# Detector de Bordas de Prewitt

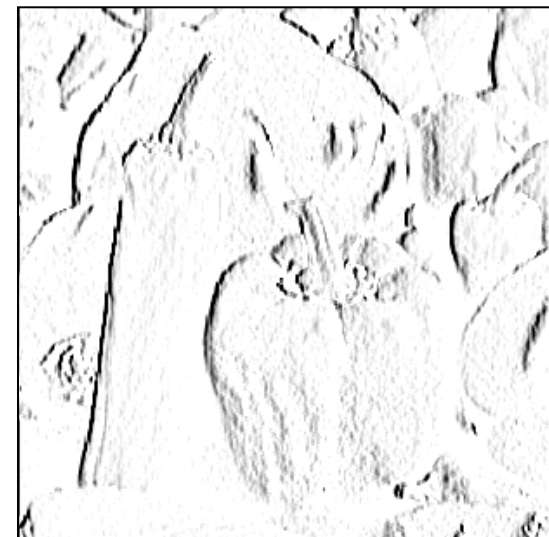
## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



# Detector de Bordas de Sobel

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Bordas Horizontais

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

Bordas Verticais

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

# Detector de Bordas de Sobel

0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

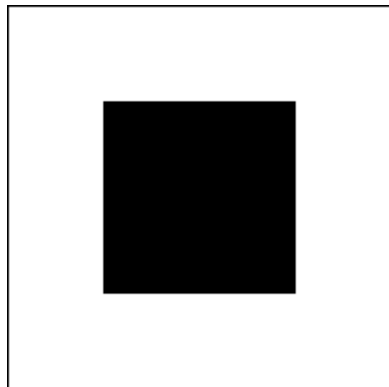
Bordas Diagonais

2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

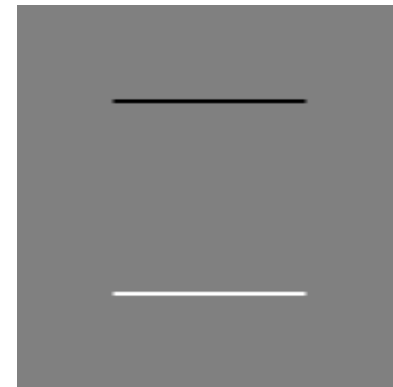
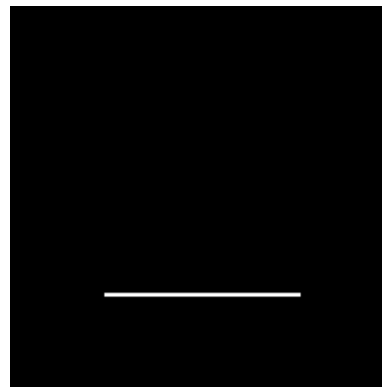
# Detector de Bordas de Sobel

## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

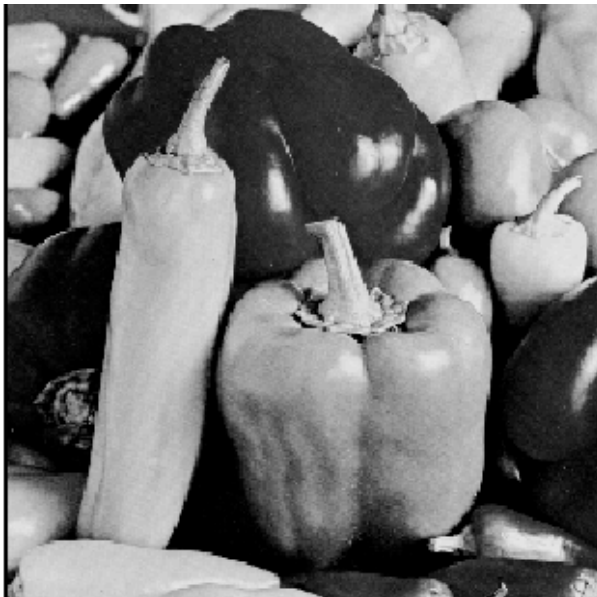


[0 1020]

[-1020 +1020]

# Detector de Bordas de Sobel

## Correlação cruzada



$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



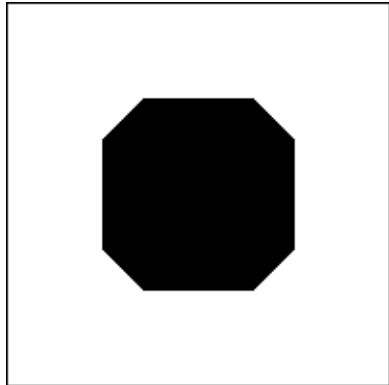
$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





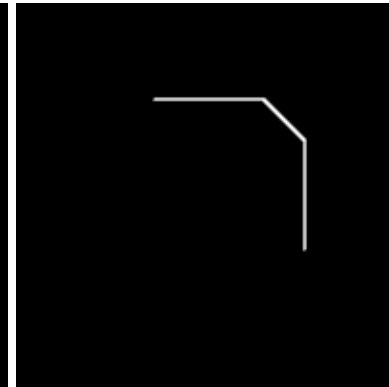
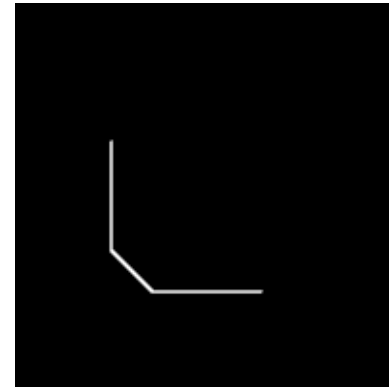
# Detector de Bordas de Sobel

## Correlação cruzada



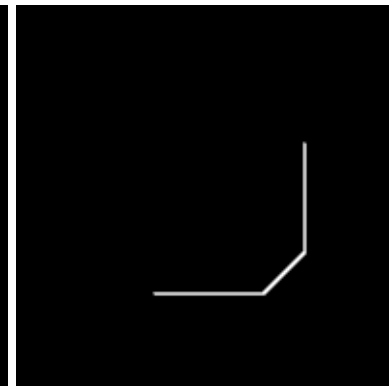
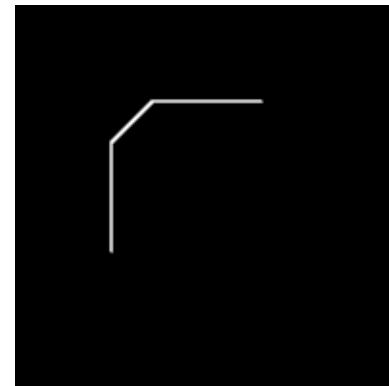
0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0



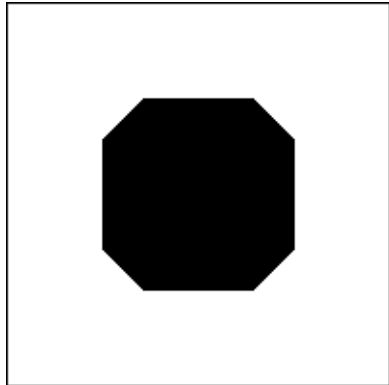
2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2



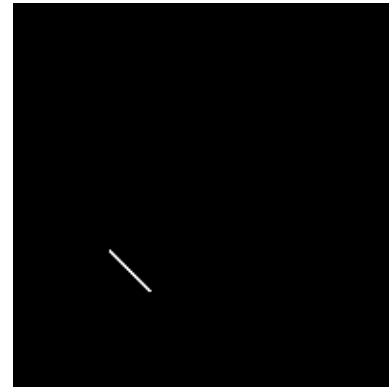
# Detector de Bordas de Sobel

Binarizando com  $T > 800$



0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

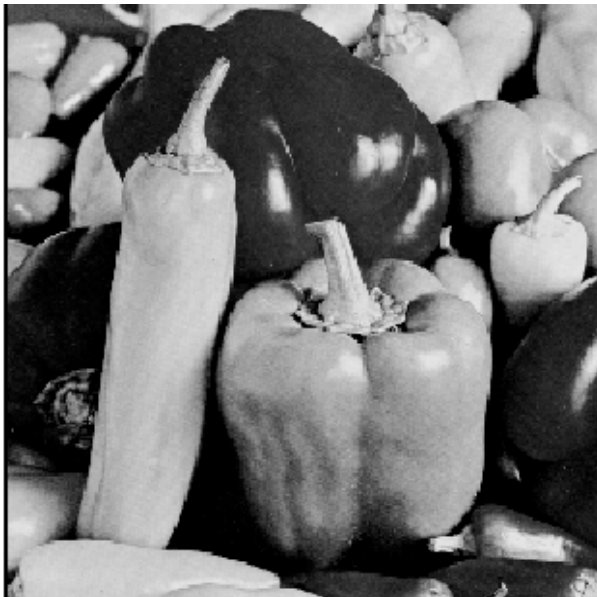


2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2



## Correlação cruzada



$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 2ª Ordem

- Filtros de **segunda derivada**:
  - O operador de segunda ordem mais comum é o **Laplaciano**:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

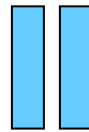
# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 2ª Ordem

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x + 1, y) - 2f(x, y) + f(x - 1, y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y + 1) - 2f(x, y) + f(x, y - 1)$$



$$\nabla^2 f(x, y) = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 4f(x, y)$$

# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 2ª Ordem

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

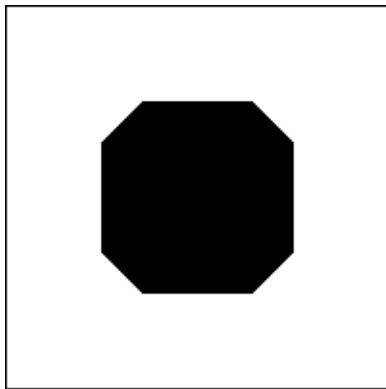
$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- São filtros isotrópicos (detectam bordas em todas as direções);
- São muito sensíveis (detectam) à ruídos e pequenos detalhes.

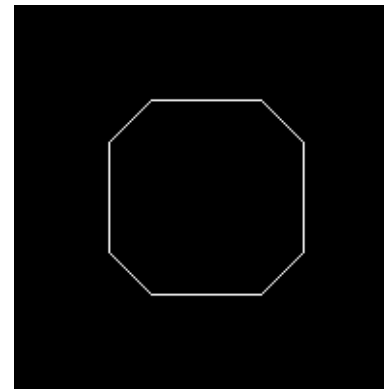
# Segmentação por Descontinuidade

## Filtros Derivativos de 2ª Ordem

Correlação cruzada ou Convolução

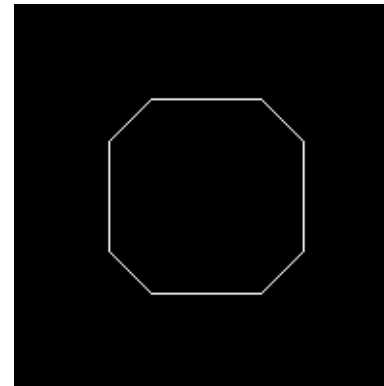


0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0



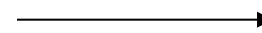
r	48	49	50	51
96	0	255	-255	0
97	0	255	-255	0
98	0	255	-255	0
99	0	255	-255	0
100	0	255	-255	0
101	0	255	-255	0
102	0	255	-255	0
103	0	255	-255	0
104	0	255	-255	0
105	0	255	-255	0

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



r	48	49	50	51
96	0	765	-765	0
97	0	765	-765	0
98	0	765	-765	0
99	0	765	-765	0
100	0	765	-765	0
101	0	765	-765	0
102	0	765	-765	0
103	0	765	-765	0
104	0	765	-765	0
105	0	765	-765	0

a) Detecção de Pontos Isolados:



-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

$$R = \sum_{i=1}^9 w_i \cdot z_i$$

Dizemos que um ponto foi detectado na posição da máscara se:

$$|R| > T$$

onde **T** é um Limiar não-negativo para a binarização.

Se um nível de cinza de alto valor está isolado em uma região, o filtro passa-alta é usado para detectar esse ponto, aumentando sua diferença.



### (a) Máscara Laplaciana

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

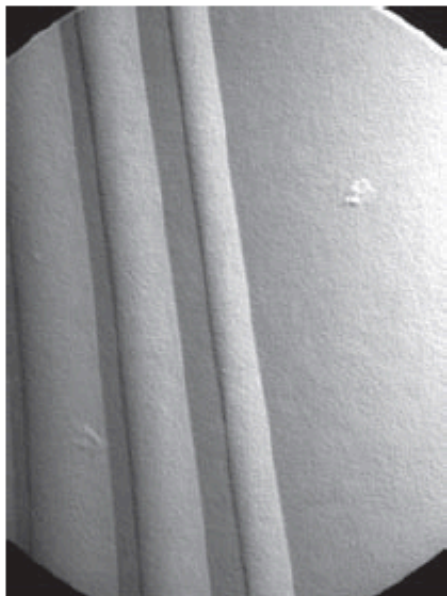


Imagem original

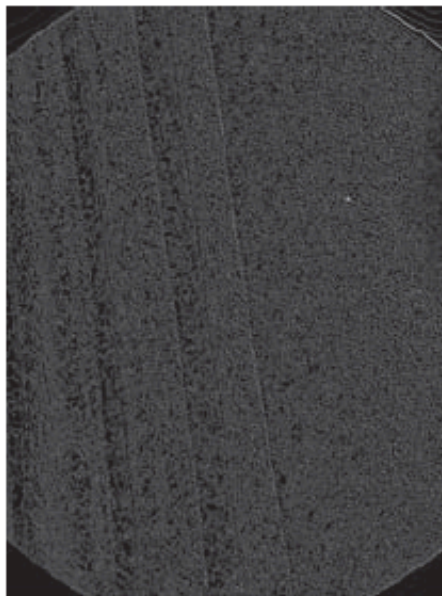


Imagem filtrada  
com (a)

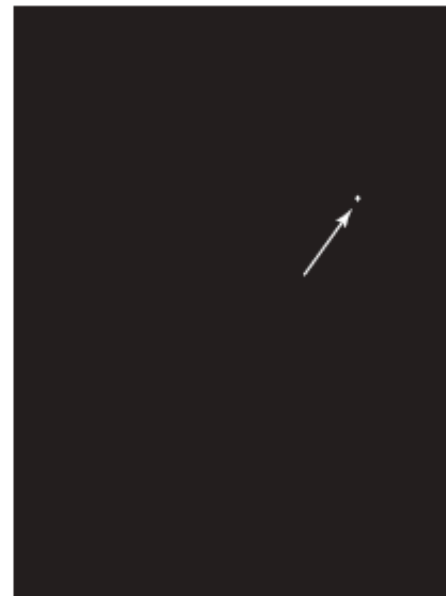


Imagem final, após:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } |R(x, y)| \geq T \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

## b) Detecção de linhas:

-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
2	2	2	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1
-1	-1	-1	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1
Horizontal			+45°			Vertical			-45°		

### Algoritmo:

Realiza-se a correlação cruzada de cada máscara com a imagem, obtendo-se os resultados:

$R_1$  = Linhas Horizontais

$R_2$  = 45°

$R_3$  = Linhas Verticais

$R_4$  = - 45°

- Se em um certo ponto da Imagem  $|R_i| > |R_j|$  para todos os  $j \neq i$ , diz-se que esse ponto está mais provavelmente associado com uma linha na direção da máscara  $i$ .
- Usa "binarização" para selecionar as linhas desejadas.

Imagem original

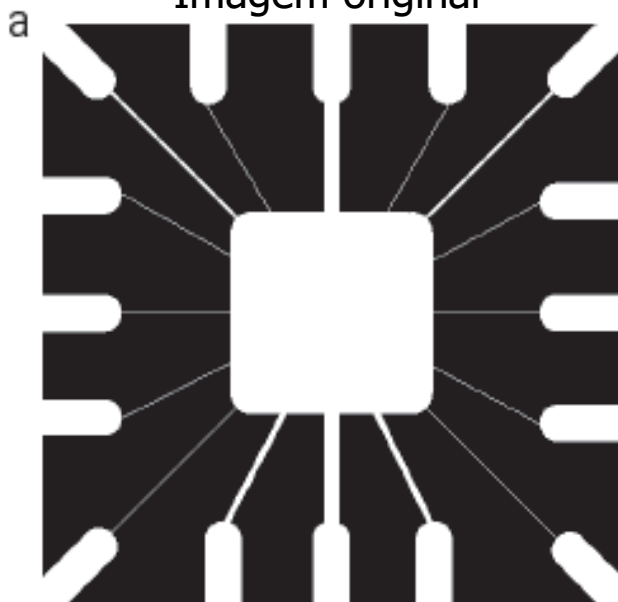


Imagem filtrada com +45°

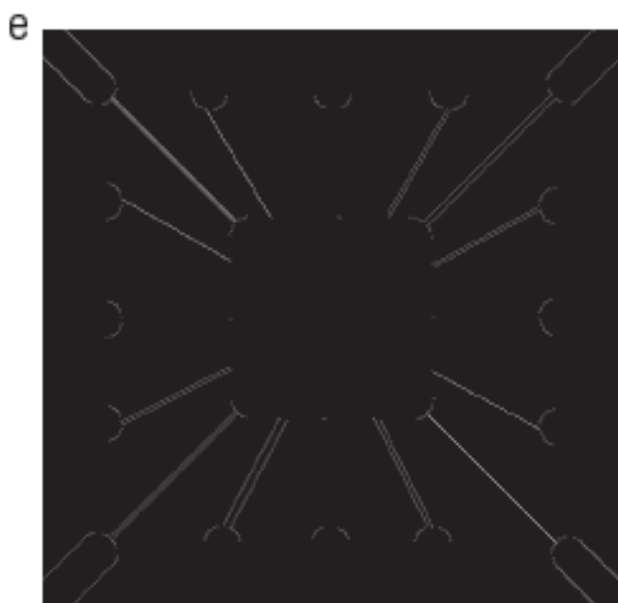


Imagem filtrada com +45°

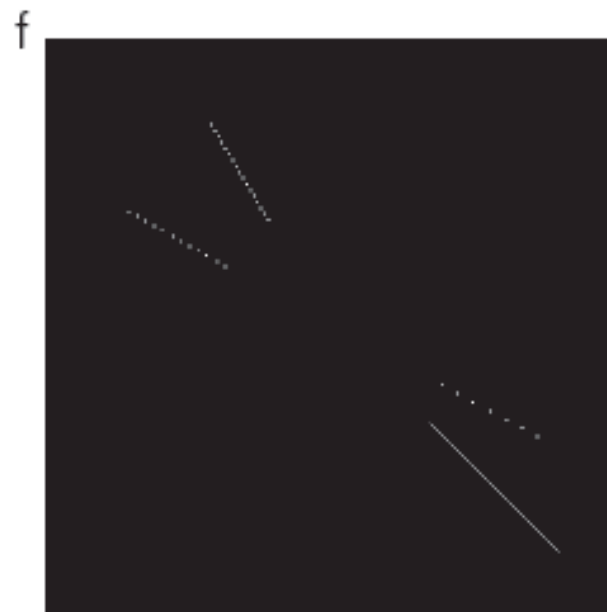
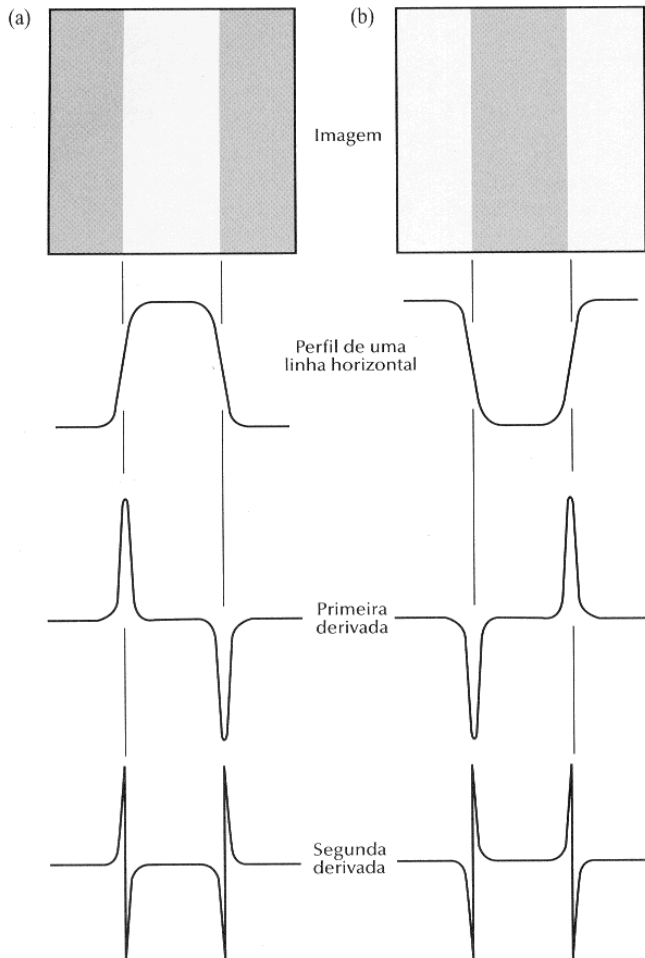


Imagem após binarização

## c) Detecção de bordas:

Uma Borda é o limite entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de nível de cinza.



A magnitude da **primeira derivada** pode ser usada na detecção da presença de uma borda em uma Imagem.

A **segunda derivada** pode ser usada para determinar se um pixel da borda localiza-se no lado escuro ou claro da Imagem.

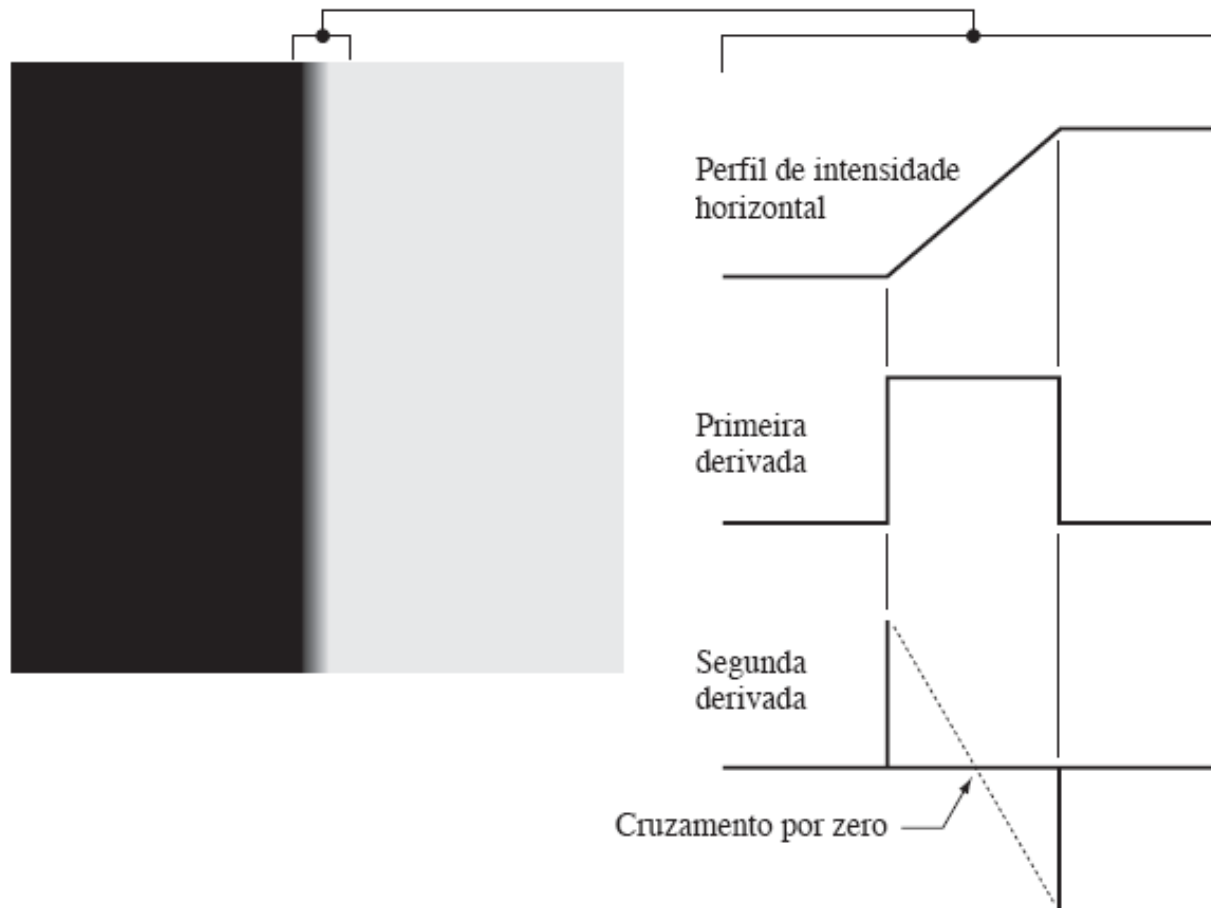
A **segunda derivada** possui um cruzamento por zero no ponto intermediário da transição dos níveis de cinza.

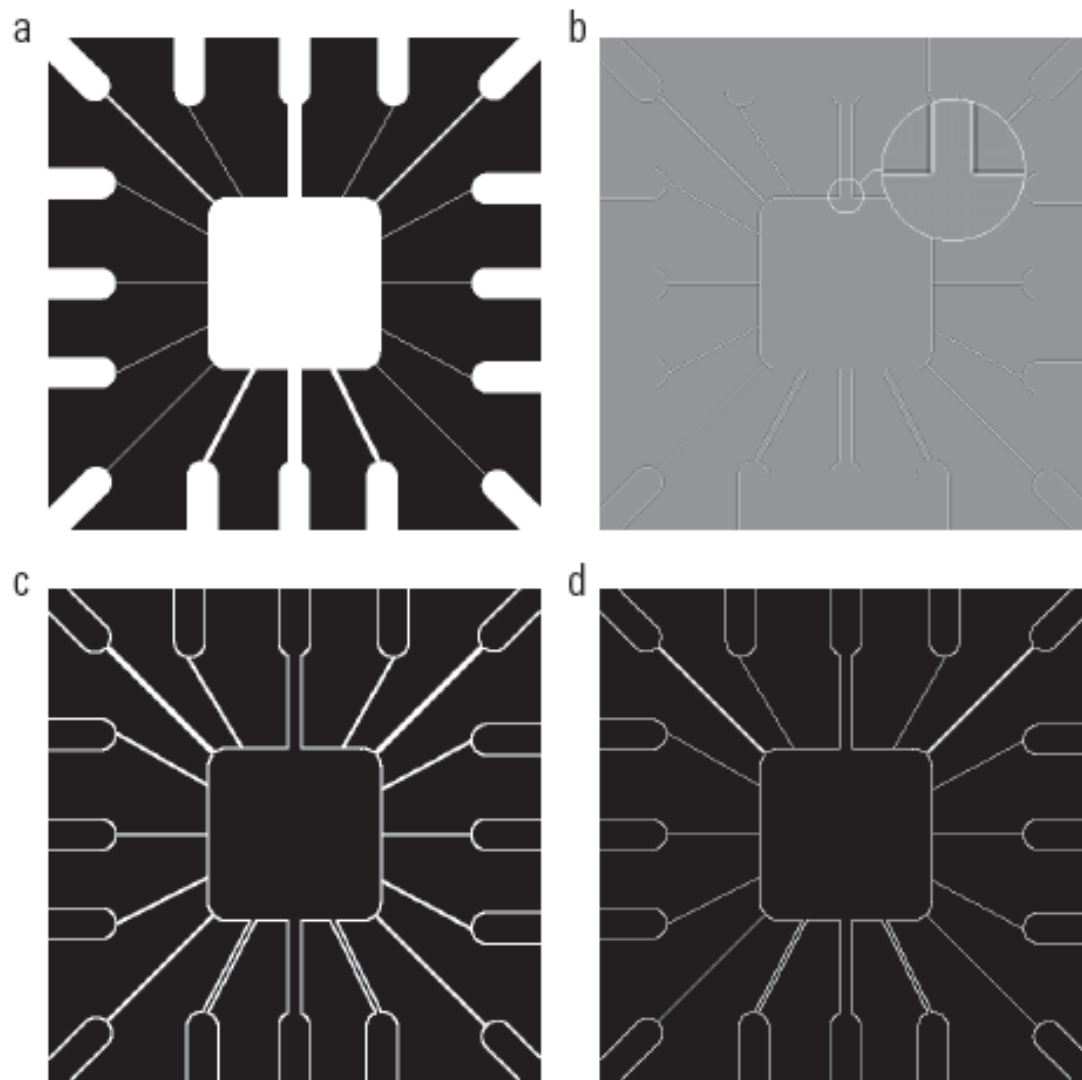
## c) Detecção de bordas: Operador Laplaciano (Segunda derivada)

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- ❑ O Laplaciano é raramente utilizado na prática para a detecção de bordas;
- ❑ Por ser uma derivada de segunda ordem o Laplaciano é bastante sensível a ruído;
- ❑ O Laplaciano produz **bordas duplas**, sendo incapaz de detectar a direção da borda;
- ❑ O Laplaciano cumpre papel secundário para estabelecer se um pixel está no lado claro ou escuro de uma borda.

# Detecção de Descontinuidades



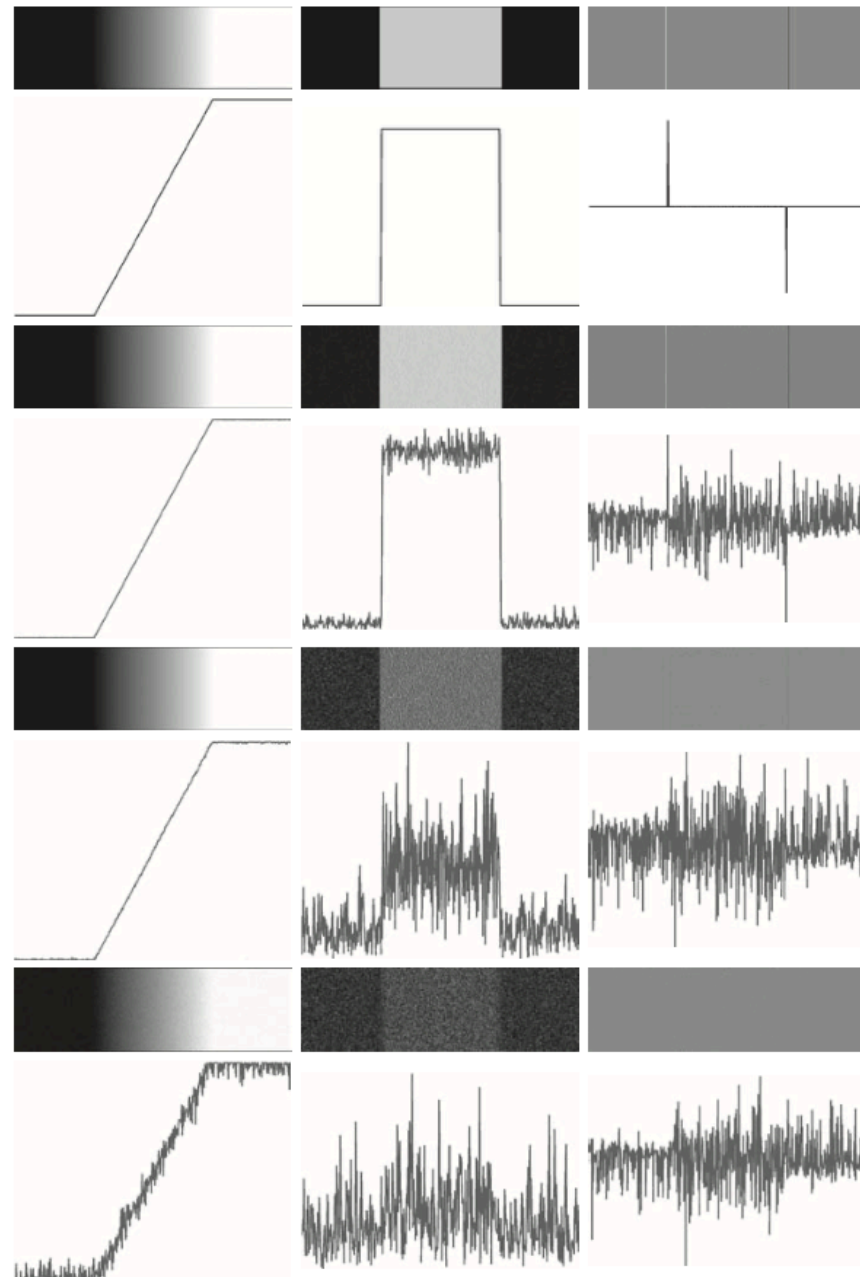


**Figura 10.5** (a) Imagem original. (b) Imagem resultante do filtro laplaciano; a seção ampliada mostra o efeito de linha dupla positivo/negativo característico do filtro laplaciano. (c) Valor absoluto do filtro laplaciano. (d) Valores positivos do filtro laplaciano.

## Detecção de bordas na presença de ruído

### Solução:

- Filtrar o ruído antes da detecção de bordas;
- Usar limiarização após a detecção;
- Preferência por filtros de primeira derivada.



**FIGURE 10.11** First column: 8-bit images with values in the range  $[0, 255]$ , and intensity profiles of a ramp edge corrupted by Gaussian noise of zero mean and standard deviations of 0.0, 0.1, 1.0, and 10.0 intensity levels, respectively. Second column: First-derivative images and intensity profiles. Third column: Second-derivative images and intensity profiles.



<http://setosa.io/ev/image-kernels/>

# FIM