



# Universidade Estadual de Londrina

## Departamento de Computação

### **Módulo Extra: Ruídos - Processamento** **Digital de Imagens**

Autor: Rafael Lucien Bahr Arias

email: [rbarias@uel.br](mailto:rbarias@uel.br)

Prof. Dr. Alan Salvany Felinto

(2017)



# Sumário

- Introdução a ruídos e restauração
- Definição e modelos de ruídos
- Identificação e estimação de ruídos
- Restauração de imagens
- Métricas de qualidade de imagem
- Exercícios
- Referências Bibliográficas



# Ruído

- Degradação no sinal durante aquisição ou transmissão, causada por interferência externa.
- Variação aleatória nas informações de brilho ou cor da imagem.





# Ruído

- Modelagem de ruídos **aditivos**:

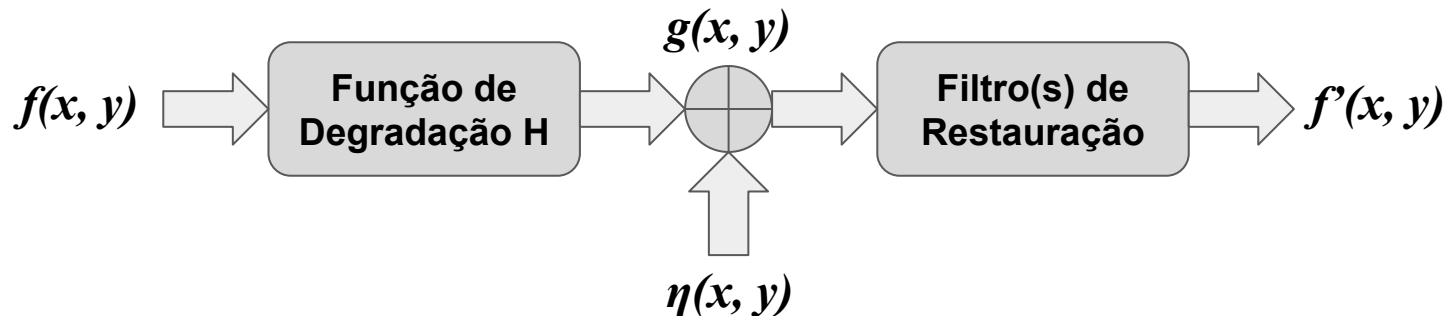
$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

- Formulação: função de degradação  $f(x, y)$ , com termo de ruído aditivo  $\eta(x, y)$ , transforma uma imagem de entrada em uma imagem degradada  $g(x, y)$ ;
- Pixel da imagem ruidosa é o pixel original somado a um componente de ruído.



# Ruído

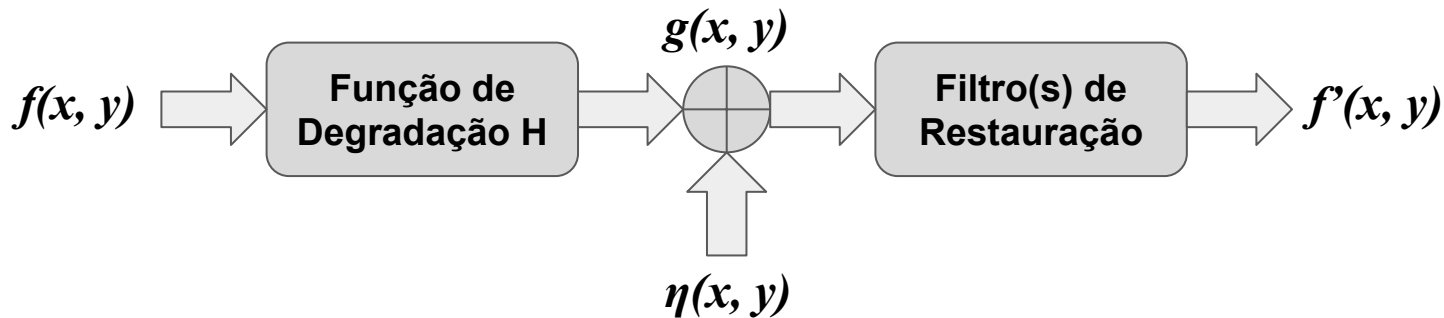
- Restauração: recuperação de uma imagem corrompida com base em um conhecimento prévio do fenômeno de degradação.
  - Pode incluir redução de ruído (*denoising*) e redução de borramento (*deblurring*).



- Objetivo: estimação do modelo de ruído presente pode ajudar a restaurar a imagem.
- Maior conhecimento da degradação permite a otimização da restauração.



# Ruído



- H: processo linear e invariante no domínio espacial;

Convolução no domínio do espaço:

$$g(x, y) = h(x, y) \star f(x, y) + \eta(x, y)$$

Multiplicação no domínio da frequência:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$$



# Ruído

- As principais fontes de ruído em imagens e vídeos digitais ocorrem durante a aquisição e transmissão.
- Aquisição: amostras afetadas por condições ambientais e qualidade dos sensores;
  - Iluminação e temperatura são fatores que afetam a quantidade de ruído nas imagens obtidas;
- Transmissão: diversas interferências nos canais utilizados para transmissão.
- Na maioria das aplicações práticas, o ruído é independente.



# Modelos de ruído

- Os ruídos que ocorrem na maioria dos casos possuem características específicas no comportamento estatístico dos valores de intensidade.
- Vários modelos diferentes para  $\eta(x, y)$ .
- Podem ser modelados ou aproximados em uma função densidade de probabilidade (PDF - *probability density function*):
  - Descreve a probabilidade de uma variável apresentar determinado valor;
  - Valores do intervalo no eixo x e probabilidade de ocorrência no eixo y;
  - Equivalente a um **histograma normalizado** entre zero e um.





# Modelos de ruído

- Ruído Branco: espectro constante, onde todos os valores possíveis no intervalo apresentam aproximadamente a mesma probabilidade de ocorrência.
  - Nome origina das propriedades físicas da luz branca, que contém todas as frequências no espectro visível nas mesmas proporções;
  - Modelagem de ruídos térmicos em dispositivos eletrônicos.

Aplicação em criptografia: fonte de entropia para geração de números aleatórios.



# Modelos de ruído

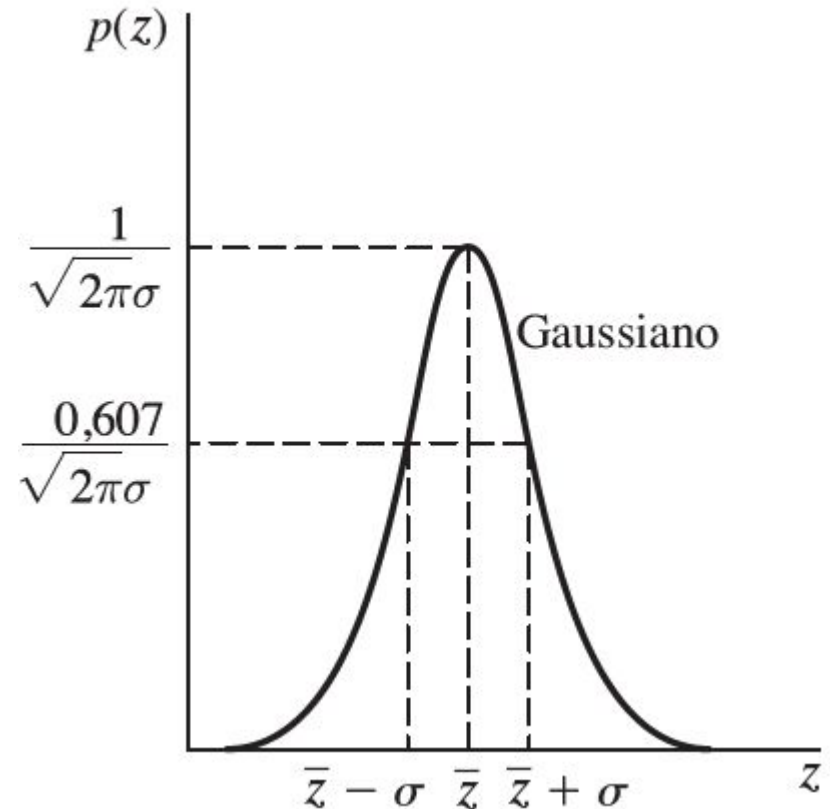
- Ruído Gaussiano (distribuição normal)
  - Problemas em circuitos eletrônicos e sensores;
  - Bastante utilizado pela capacidade de manipulação no domínio do espaço e da frequência.

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\bar{z})^2/2\sigma^2}$$

$z$ : nível de cinza

$\mu$ : média da variável aleatória  $z$

$\sigma^2$ : variância de  $z$





# Modelos de ruído

- Ruído Rayleigh

- Sistemas de imageamento de grande alcance (*range*) e satélites;

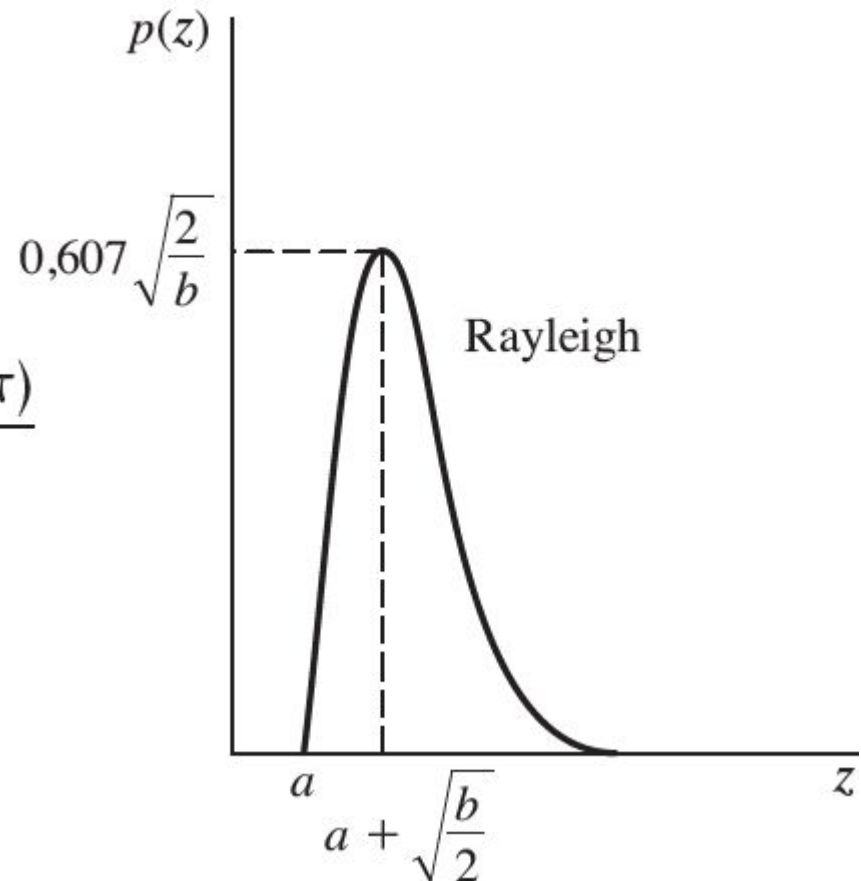
$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b} & \text{para } z \geq a \\ 0 & \text{para } z < a \end{cases}$$

$$\bar{z} = a + \sqrt{\pi b / 4} \quad \sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4}$$

$z$ : nível de cinza

$\bar{z}$ : média da variável aleatória  $z$

$\sigma^2$ : variância de  $z$





# Modelos de ruído

- Ruído Gama (Erlang)
  - Sistemas de imagens a laser ou radares;

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az} & \text{para } z \geq 0 \\ 0 & \text{para } z < 0 \end{cases}$$

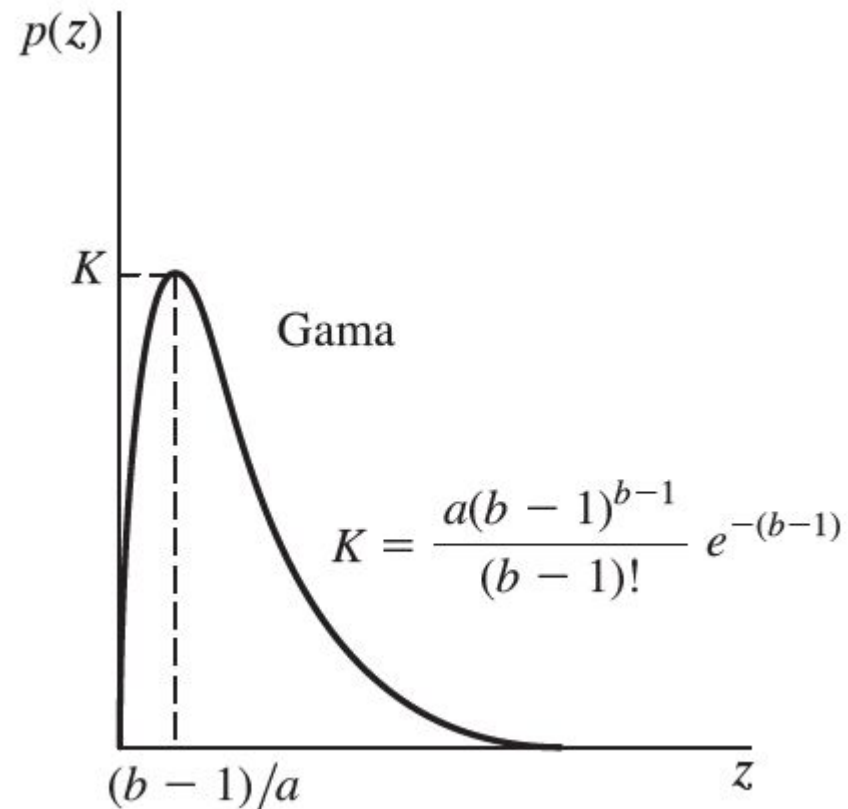
$z$ : nível de cinza

$\bar{z}$ : média da variável aleatória  $z$

$\sigma^2$ : variância de  $z$

$$\bar{z} = \frac{b}{a}$$

$$\sigma^2 = \frac{b}{a^2}$$





# Modelos de ruído

- Ruído Exponencial

- Caso especial da PDF de Gama (Erlang) com  $b = 1$ ;

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az} & \text{para } z \geq 0 \\ 0 & \text{para } z < 0 \end{cases}$$

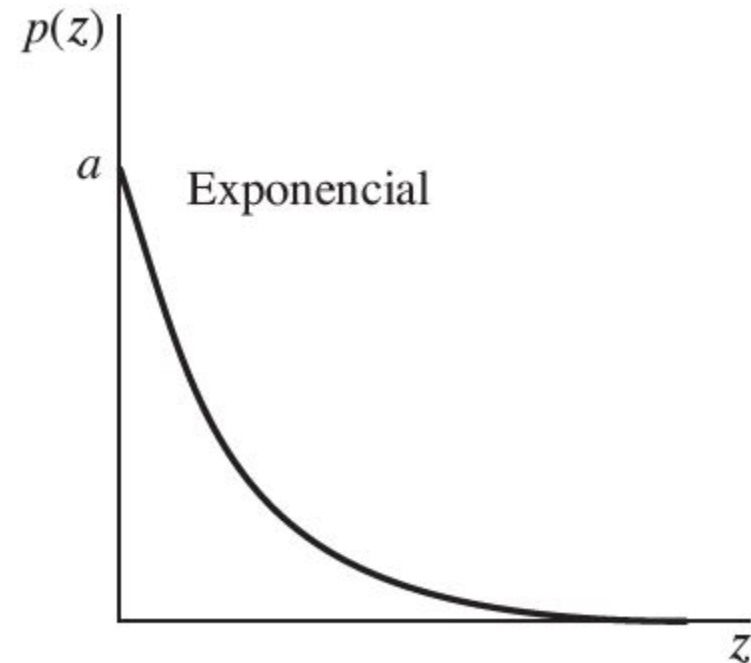
$$\bar{z} = \frac{1}{a}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{a^2}$$

$z$ : nível de cinza

$\bar{z}$ : média da variável aleatória  $z$

$\sigma^2$ : variância de  $z$





# Modelos de ruído

- Ruído Uniforme

- Processo de quantização da amplitude do sinal de imagens ou vídeos;
- Variável aleatória contínua;

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{se } a \leq z \leq b \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$$

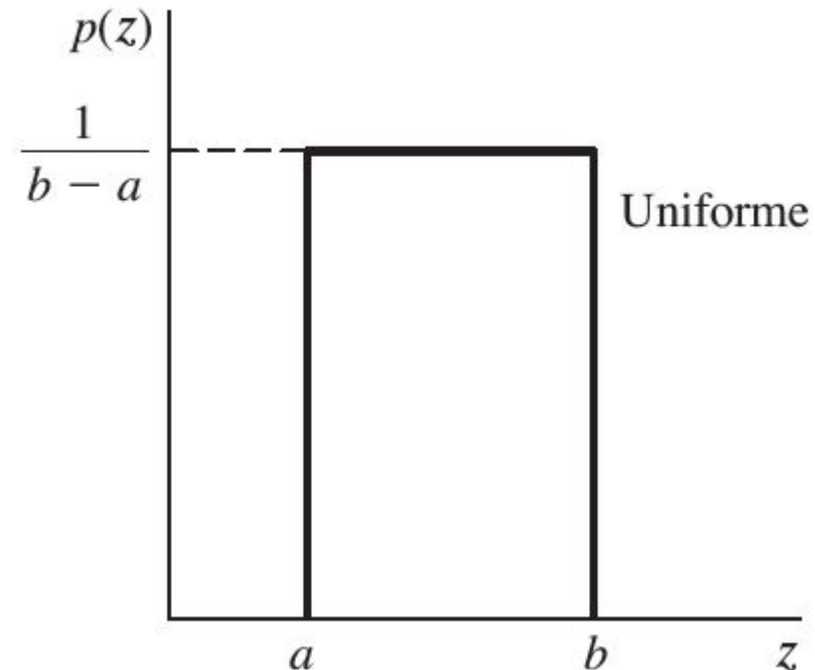
$$\bar{z} = \frac{a+b}{2}$$

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$$

$z$ : nível de cinza

$\bar{z}$ : média da variável  $z$

$\sigma^2$ : variância de  $z$





# Modelos de ruído

- Ruído Impulsivo

- Interferência eletromagnética durante a transmissão;
- Conversão de dados analógicos para digitais;
- Geralmente valores extremos (“saturados”) pela digitalização.

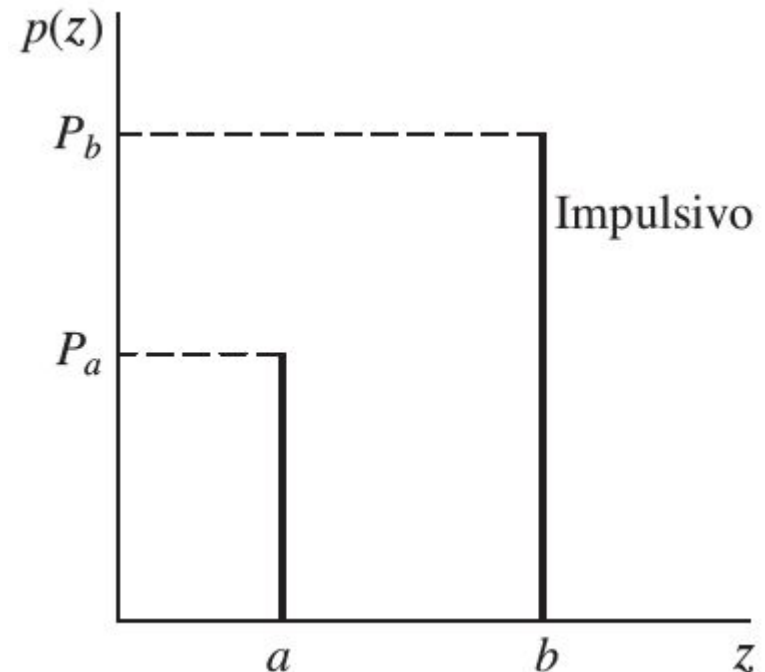
- PDF do ruído impulsivo bipolar (“sal e pimenta”):

$$p(z) = \begin{cases} P_a & \text{para } z = a \\ P_b & \text{para } z = b \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$$

$z$ : nível de cinza

$b$  é o ponto “claro” e  $a$  é o ponto “escuro”

$P_a = 0$  ou  $P_b = 0$ : ruído impulsivo *unipolar*.

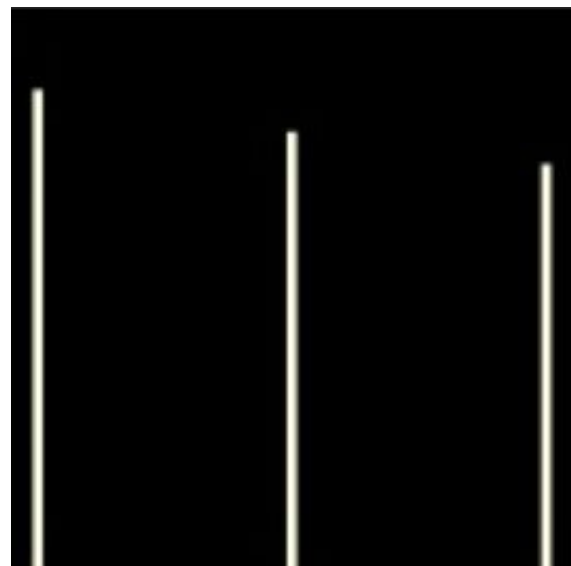




# Modelos de ruído



Imagem original

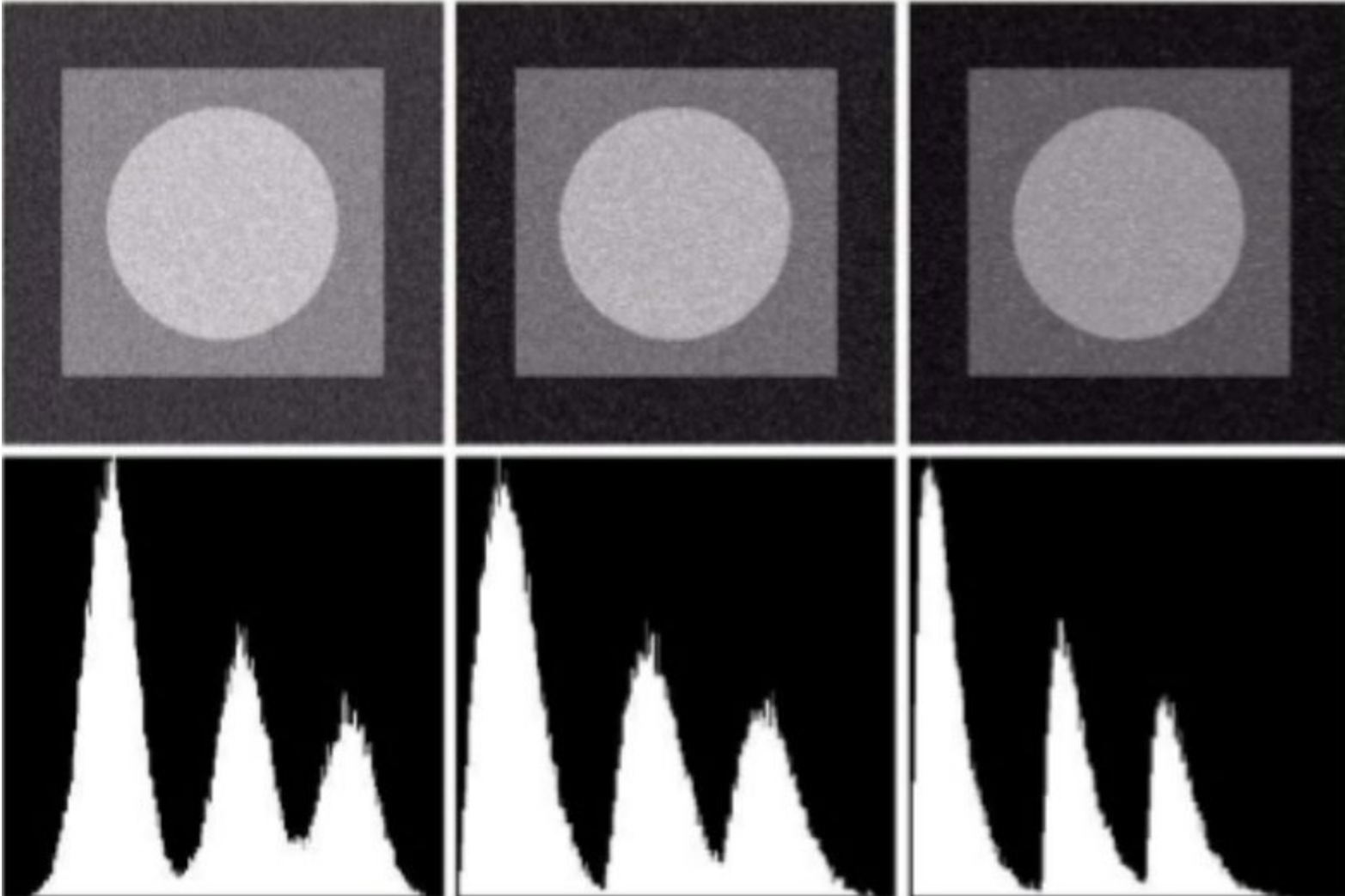


Histograma





# Modelos de ruído



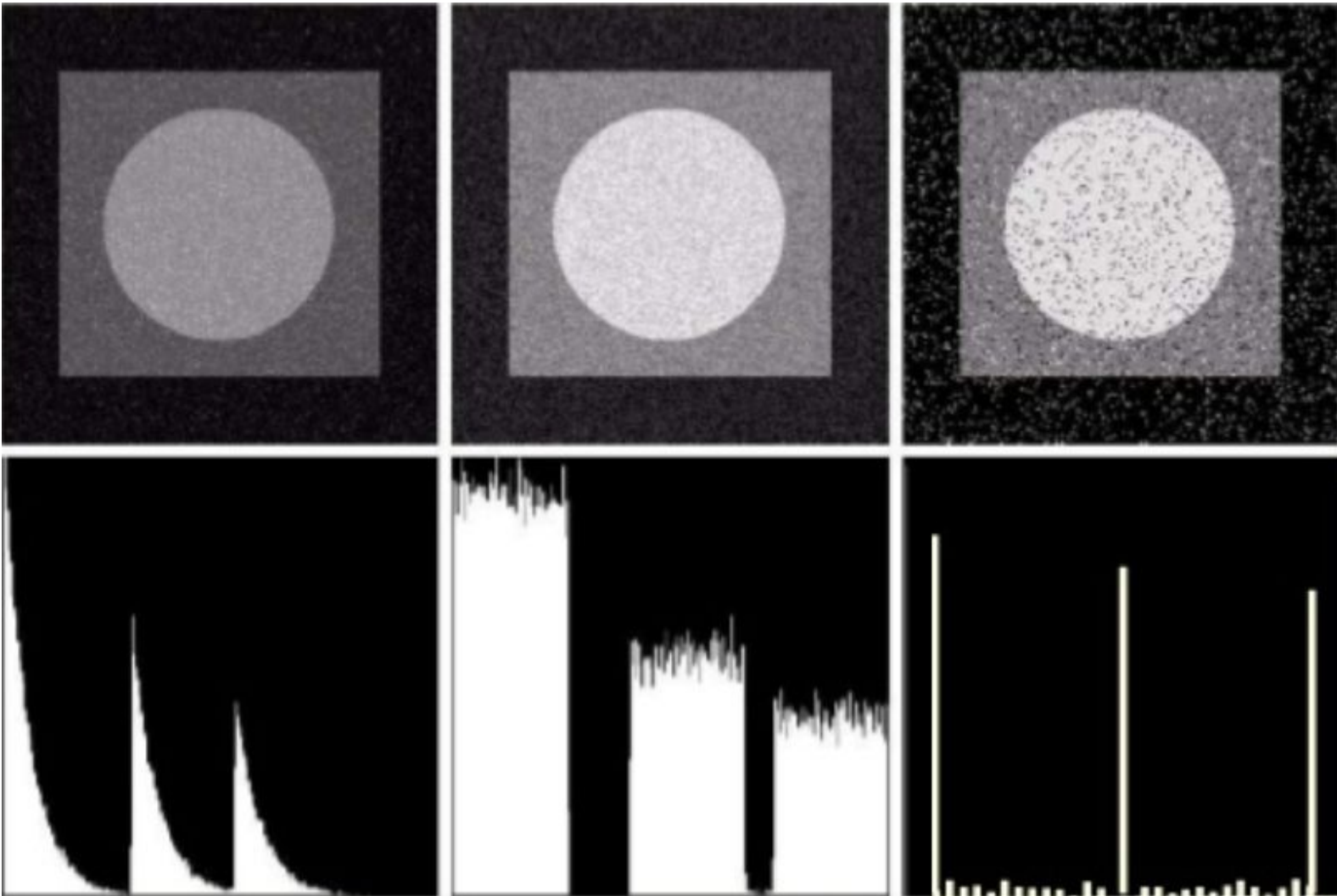
Gaussiano

Rayleigh

Gama



# Modelos de ruído



Exponencial

Uniforme

Impulsivo



# Modelos de ruído

- Ruído Poisson
  - Modelo comum em imagens de tomografia, raio x, etc.

$$p_k(\lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

- Probabilidade de que um valor de ruído  $x = k$ , onde  $\lambda$  é um parâmetro positivo.



# Modelos de ruído

- *Speckle noise* (ruído multiplicativo)
  - Diferente do ruído aditivo, os valores aleatórios do ruído são multiplicados pelos valores dos pixels da imagem;
  - Possui um componente aditivo e multiplicativo;
  - Aumenta a média dos níveis de cinza de maneira localizada.





# Modelos de ruído

- Ruído Periódico

- Interferência elétrica ou eletromagnética durante a aquisição;
- Picos de frequência: padrões de ruído regulares na imagem (que se repetem);
- Remoção no domínio da frequência é mais eficaz.





# Estimação de ruídos

- Estimativa do modelo de degradação para utilizar na restauração e imagens:
  - Observação: nenhuma informação da degradação; coleta e análise de informações em seções da imagem e processamento diferenciado em partes separadas (mais custoso).
  - Experimentação: estimativa com imagens a partir do mesmo sistema de aquisição disponível, utilizando as mesmas configurações;
    - Em alguns casos os sensores da aquisição podem fornecer parcialmente os parâmetros dos modelos de ruído;
    - Coleta de imagens pelo mesmo sistema de aquisição.
  - Modelagem matemática: dedução de um modelo para representar um fenômeno específico de degradação, podendo levar em conta as condições ambientais (Exemplo: turbulência atmosférica que interfere na transmissão).



# Estimação de ruídos

- Estimativa do modelo por observação:
  - Possível estratégia: estimar os parâmetros da PDF a partir de determinadas áreas do fundo da imagem, cujos valores de intensidade são aproximadamente constantes.
- Determinação da PDF aproximada: O formato do histograma de uma subimagem  $S$  identifica a melhor correspondência com uma PDF específica.
- A partir de  $S$  pode-se estimar a média e variância dos pixels, que podem ser utilizados para calcular os outros parâmetros  $a$  e  $b$ .

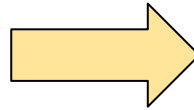
$$\bar{z} = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p_s(z_i) \quad \sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - \bar{z})^2 p_s(z_i)$$

- Ruído gaussiano só requer a média e variância para especificar a PDF.
- Ruído impulsivo: estimativa de  $Pa$  e  $Pb$  utilizando a mesma estratégia.



# Restauração de imagens

- Conceito: reconstruir ou recuperar a imagem degradada utilizando conhecimento do fenômeno de degradação.
- Abordagem: modelar a degradação e aplicar o processo inverso







# Restauração de imagens

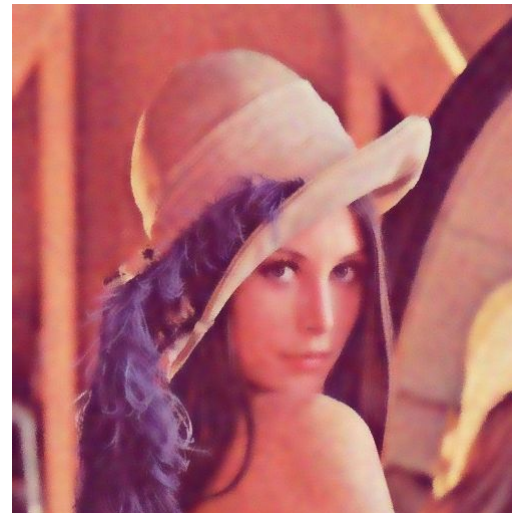
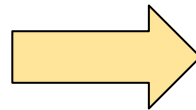
- Restauração pode ser no domínio do espaço ou da frequência:
  - Máscaras de convolução no domínio espacial são ideais para remoção dos ruídos aleatórios;
  - Domínio da frequência é ideal para redução de ruído periódico e degradação de borramento.
- Linearidade da filtragem:
  - Filtros lineares: causam borramento com atuação uniforme na imagem (Exemplo: filtro de média);
  - Filtros não lineares: atuação mais seletiva permitindo a redução de ruído com preservação de estruturas e bordas;
    - Filtro de Mediana: exemplo de filtro ideal para o ruído impulsivo, pois sua resposta a impulsos é sempre zero.



# Restauração de imagens

- Filtro Bilateral

- Filtragem não-linear: grande capacidade de borramento com preservação das bordas;
- Rejeita pixels com valores muito diferentes do pixel central;
- Pixel alvo calculado como a média ponderada dos pixels vizinhos:
  - Peso maior para proximidade da posição ( $\sigma_s$ );
  - Peso maior para proximidade de valor ( $\sigma_t$ );





# Métricas de qualidade de imagem

- Subjetivas e objetivas;
- Métricas objetivas com ou sem referência;
- Nas métricas sem referência apenas a imagem alvo é necessária;
  - Estimativas como a média, variância e desvio padrão;
  - Outras medidas e propriedades estatísticas como entropia e curtose.
- Referência completa: requerem uma imagem ou vídeo de referência para comparação;
  - Bastante utilizadas para avaliar a performance da filtragem de um modelo de ruído conhecido;
  - Podem ter maior ou menor correlação com a avaliação subjetiva (humana).



# Métricas de qualidade de imagem

- MSE (*mean squared error*):
  - Erro quadrático médio entre duas imagens;

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2$$

- PSNR (*peak signal-to-noise ratio*):
  - Similaridade ou fidelidade entre duas imagens;
  - Valores próximos da referência acima de 30 dB.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$





# Métricas de qualidade de imagem

- MSE e PSNR são métricas objetivas simples, mas ainda bastante utilizadas em artigos para comparar o desempenho na restauração.



PSNR = 40 dB



PSNR = 30 dB



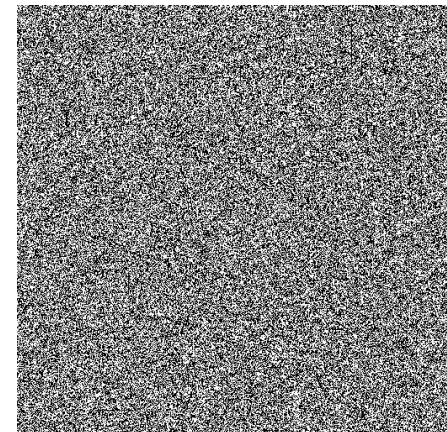
PSNR = 20 dB



PSNR = 15 dB



PSNR = 10 dB



PSNR = 5 dB



# Exercícios

- 1) Implemente para uma imagem em níveis de cinza os seguintes modelos de ruído aditivo:
  - a) Ruído aleatório:  $p = 0,95$ ; distribuição uniforme com valores entre -30 e 30.
  - b) Ruído uniforme:  $a = 85$ ;  $b = 100$ ;  $p = 1/(b - a)$ .
  - c) Ruído impulsivo (“sal e pimenta”):  $a = 0$ ;  $b = 255$ ;  $Pa = Pb = 0,1$ ; ( $Pa + Pb = 0,2$ ).Mostre as imagens degradadas resultantes (3).
- 2) Faça a filtragem das imagens com ruído do exercício 1 utilizando o filtro de mediana e bilateral. Apresente as imagens filtradas (6).
- 3) Verifique o valor da métrica PSNR para as imagens do exercício 1 e 2. Considere a imagem original como o parâmetro de referência da métrica. Mostre o valor resultante para cada caso (9), observando a melhora da pontuação após a filtragem.

OBS:

- Pode utilizar qualquer rotina da biblioteca do OpenCV nos exercícios.



# Questões de Implementação

```
void ex1a(Mat &imagem, float p = 0.95){  
    for(int i = 0; i < imagem.rows; i++)  
        for(int j = 0; j < imagem.cols; j++)  
            if((rand() / (float) 0x7fff) < p){  
                float r = rand() / (float) 0x7fff; // número pseudoaleatório entre 0 e 1  
                r -= 0.5; // valor entre -0.5 e 0.5  
                r *= 60; // valor entre -30 e 30  
                imagem.at<uchar>(i, j) =  
                    saturate_cast<uchar>(imagem.at<uchar>(i, j) + r); // valor entre 0 e 255  
            }  
}
```



# Questões de Implementação

- `int r = rand() % (b - a) + a; // número pseudoaleatório (inteiro) entre a e b`
- *saturate\_cast*:  
[https://docs.opencv.org/3.1.0/db/de0/group\\_\\_core\\_\\_utils.html#gab93126370b85fda2c8bfaf8c811faeaf](https://docs.opencv.org/3.1.0/db/de0/group__core__utils.html#gab93126370b85fda2c8bfaf8c811faeaf)
- Filtro de mediana:  
[https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group\\_\\_imgproc\\_\\_filter.html#ga564869aa33e58769b4469101aac458f9](https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group__imgproc__filter.html#ga564869aa33e58769b4469101aac458f9)
- Filtro bilateral:  
[https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group\\_\\_imgproc\\_\\_filter.html#ga9d7064d478c95d60003cf839430737ed](https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group__imgproc__filter.html#ga9d7064d478c95d60003cf839430737ed)
- PSNR:  
[https://docs.opencv.org/3.1.0/d2/de8/group\\_\\_core\\_\\_array.html#ga07aaf34ae31d226b1b847d8bcff3698f](https://docs.opencv.org/3.1.0/d2/de8/group__core__array.html#ga07aaf34ae31d226b1b847d8bcff3698f)





# Bibliografias

- Gonzalez, Rafael C., and Richard E. 1954- Woods. *Digital Image Processing*. 3rd ed, Chap. 5. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2008.
- Bovik, Alan C. Handbook of image and video processing. Academic press, 2010.
- Vaseghi, Saeed V. Advanced digital signal processing and noise reduction. John Wiley & Sons, 2008.
- Boyat, Ajay Kumar, and Brijendra Kumar Joshi. "A review paper: noise models in digital image processing." *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)* Vol 6, 2015.
- Szeliski, Richard. Computer vision: algorithms and applications. Springer Science & Business Media, 2010.
- Engelke, Ulrich, and Hans-Jurgen Zepernick. "Perceptual-based quality metrics for image and video services: A survey." *Next Generation Internet Networks*, 3rd EuroNGI Conference on. IEEE, 2007.