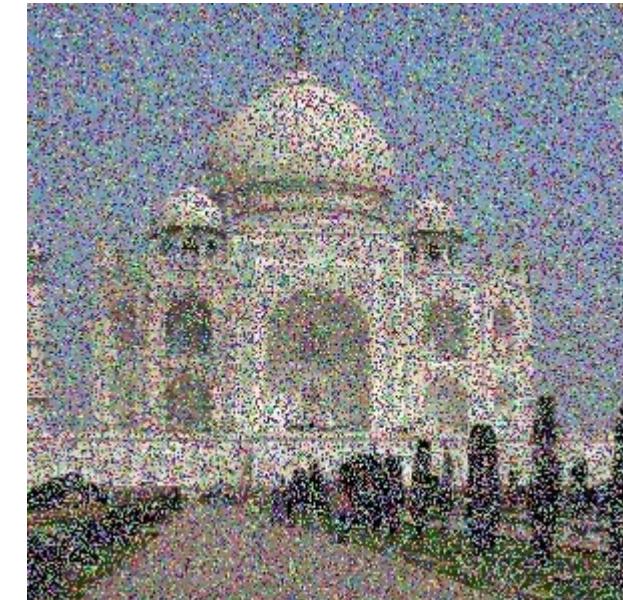
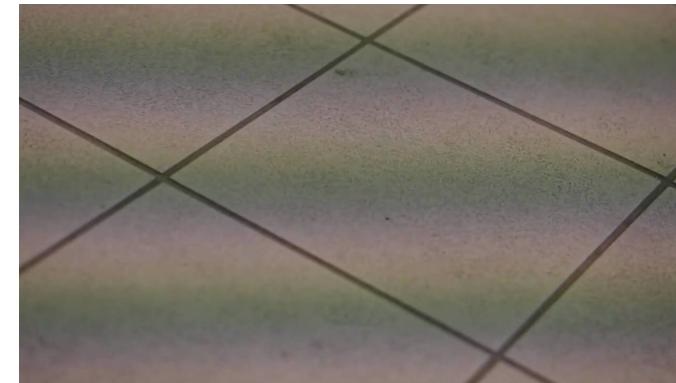
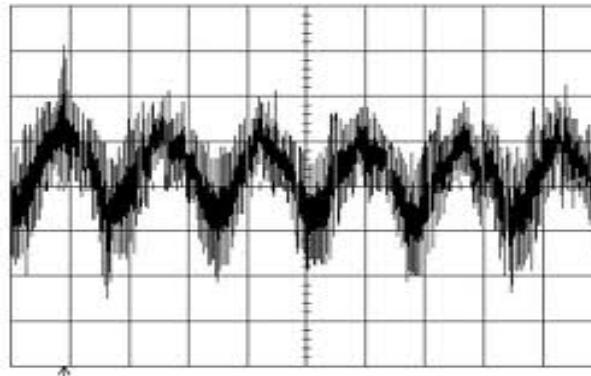


# 4. Ruído

Signal-to-Noise Ratio (SNR). Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Modelos de ruído aleatório (uniforme, gaussiano, impulsivo e multiplicativo). Padrão fixo. Banding. Blur.

# Ruído

- Num equipamento electrónico que transmite, ou recebe um sinal, está sempre presente um certo grau de ruído.



# Ruído

Em processamento digital de imagem, o termo “ruído” refere-se sobretudo a flutuações aleatórias no valor do tom de cinzento devido a perturbações ocorridas no processo de aquisição da imagem. No caso das câmaras digitais, o sinal consiste na luz que atinge o sensor nela instalado.

Apesar de, no processo de aquisição de imagem, a existência de ruído ser inevitável, pode ser de tal forma diminuto que aparente ser inexistente, quando comparado com o sinal captado.

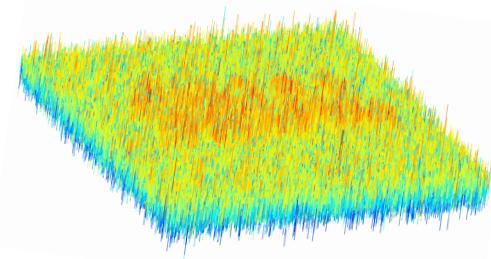
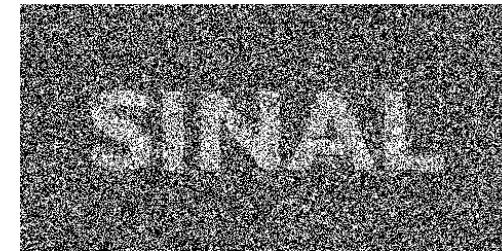
# Signal-to-Noise Ratio (SNR)

O conceito de “**Signal to Noise Ratio (SNR)**” (proporção Sinal-Ruído) é um indicador útil e universal de comparação das quantidades relativas de sinal e ruído existentes num sistema electrónico de aquisição de dados.

Proporções elevadas corresponderão à baixa existência de ruído visível, enquanto que baixas proporções corresponderão a existência significativa de ruído na imagem.

A sequência de imagens seguinte mostra representações 2D e 3D de uma imagem contendo a palavra SINAL, um pouco degradada (esquerda) e outra bastante mais degradada (direita).

# Signal-to-Noise Ratio (SNR)



A imagem da esquerda tem um SNR suficientemente alto para que a informação importante possa ser claramente separada do fundo de ruído. Por outro lado, à direita, um baixo SNR corresponderá a uma imagem onde o sinal e o ruído serão mais comparáveis e, como tal, difíceis de separar.

# Signal-to-Noise Ratio (SNR)

O SNR é usado para quantificar de quanto um sinal, obtido por um dispositivo electrónico, está corrompido por ruído, por comparação com a intensidade do sinal.

O SNR pode ter diversas definições. Comecemos por associar a quantidade de ruído ao valor do seu desvio padrão  $s_n$ .

A caracterização do sinal  $z$  pode ser feita de várias formas. Se o intervalo de representação do sinal é conhecido (sinal limitado),  $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ , então o SNR é definido como,

$$SNR\_0 = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{(z_{max} - z_{min})^2}{s_n^2} \right] = 20 \times \log_{10} \left[ \frac{z_{max} - z_{min}}{s_n} \right] (dB)$$

# Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Se não se sabe o intervalo de valores do sinal, mas conhece-se a sua distribuição estatística (sinal estocástico), então são estabelecidas duas outras definições para o SNR ( $m_z$  = média do sinal e  $s_z$  = desvio padrão do sinal):

$$SNR\_1 = 20 \times \log_{10} \left[ \frac{m_z}{s_n} \right] (dB)$$

(Sinal e Ruído inter-dependentes)

$$SNR\_2 = 20 \times \log_{10} \left[ \frac{s_z}{s_n} \right] (dB)$$

(Sinal e Ruído independentes)

**Critério de Rose (Albert Rose):** este critério estipula que um SNR de pelo menos 5 dB é necessário para que se possa distinguir os objectos de uma imagem com uma certeza de 100%. Um valor inferior significa uma certeza menor que 100% na identificação dos detalhes de uma imagem.

# Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Considere-se a imagem abaixo. O valor do SNR ( $= 11.5$  dB) pela expressão  $\text{SNR}_0$ , não é realista, se obtido a partir dos dados globais da imagem. O valor do desvio padrão  $s_n = 49.5$  não se deve a ruído, mas sim às variações de intensidade de várias regiões distintas.



Estatística	Imagen
Média	137.7
Desvio padrão	49.5
Mínimo	56
Mediana	141
Máximo	241
Moda	62
SNR	NA

Recorrendo a regiões de interesse (ROI) estima-se um SNR mais realista.

# Signal-to-Noise Ratio (SNR)

Seleciona-se uma ROI na imagem e determina-se o valor de  $s_{nROI}$  (= 4.0). Calcula-se o intervalo dinâmico de representação dos níveis de cinzento da imagem (= 241-56). O valor do SNR\_0 é então igual a 33.3 dB. Os pressupostos para este cálculo são os de (1) considerar que o sinal é aproximadamente constante na ROI e (2) mantém-se semelhante para outras ROIs da imagem. O desvio padrão é dado por  $s_n = S_{nROI} \cdot$



Estatística	Imagen	ROI
Média	137.7	219.3
Desvio padrão	49.5	4
Mínimo	56	202
Mediana	141	220
Máximo	241	226
Moda	62	220
SNR	NA	33.3

# Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

O termo PSNR é uma expressão para a razão entre a intensidade máxima possível de um sinal e a intensidade do ruído que afecta a qualidade de representação desse sinal.

Devido ao facto de muitos sinais digitais terem um intervalo dinâmico de representação bastante grande (razão entre o valor mais alto e o valor mais baixo de uma determinada quantidade variável), o PSNR é também expresso em termos de uma escala logarítmica, ou seja em decibeis.

O realce ou melhoramento da qualidade visual de uma imagem pode ser um facto subjectivo. Dizer que um dado método proporciona uma melhor qualidade visual varia de pessoa para pessoa.

# Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Por esta razão, é necessário estabelecer medidas quantitativas/empíricas para comparar os efeitos dos algoritmos de melhoramento da qualidade visual das imagens.

Usando um mesmo conjunto de imagens teste, podem ser sistematicamente testados e comparados diferentes tipos de algoritmos de melhoramento das imagens, para se identificar qual deles produz melhores resultados.

Por intermédio do indicador PSNR, pode-se aferir se um certo algoritmo ou conjunto de algoritmos, quando aplicados a uma imagem degradada, resulta ou não numa imagem mais próxima da imagem não degradada.

# Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Dada uma imagem monocromática  $A$  ( $m \times n$ ) sem ruído e uma imagem  $K$  correspondente a  $A$  corrompida com ruído, o Erro Médio Quadrático (EMQ) é definido como:

$$EMQ = \frac{1}{m \times n} \times \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [A(i, j) - K(i, j)]^2$$

O PSNR é dado por:

$$\begin{aligned} PSNR &= 10 \times \log_{10} \left[ \frac{(\max(A))^2}{EMQ} \right] = 20 \times \log_{10} \left[ \frac{\max(A)}{\sqrt{EMQ}} \right] = \\ &= 20 \times \log_{10} [\max(A)] - 20 \times \log_{10} [\sqrt{EMQ}] = \\ &= 20 \times \log_{10} [\max(A)] - 10 \times \log_{10} [EMQ] \end{aligned}$$

# Peak to Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

- Exemplo:

Inicial



Salt&Pepper programado



Salt&Pepper programado



$EMQ = 414.1$   
 $PSNR = 21.9 \text{ dB}$

$EMQ = 2098.7$   
 $PSNR = 14.9 \text{ dB}$

# Modelos de ruído aleatório

- A caracterização do ruído agrupa-se, de forma geral, em duas classes distintas:

**Ruído independente:** É frequentemente descrito por um modelo de ruído aditivo, onde a imagem registada  $s(x,y)$  é a soma da imagem verdadeira  $f(x,y)$  com o ruído  $r(x,y)$ .

$$s(x,y) = f(x,y) + r(x,y)$$

**Ruído dependente:** Está correlacionado com o conteúdo da imagem original. Os modelos deste tipo de ruído são multiplicativos, ou não-lineares. São modelos matematicamente mais complicados de elaborar e, por isso, o ruído é, sempre que possível, assumido como sendo independente do conteúdo da imagem.

# Modelos de ruído aleatório

O ruído pode ser caracterizado pela sua probabilidade de ocorrência em cada pixel da imagem. Isso é dado pela **Função Densidade de Probabilidade** (FDP) (*Probability Density Function*).

É o tipo de ruído mais difícil de eliminar por não se prever onde pode ocorrer. É necessário recorrer à aprendizagem e descrição posteriores do modelo aleatório que melhor se adequa ao ruído.

Certos pacotes de software de processamento de imagem contêm operadores para adicionar ruído artificial a uma imagem. Corromper uma imagem com ruído permite testar a resistência de um determinado operador de processamento de imagem ao ruído e avaliar o desempenho de determinados filtros.

# Modelos de ruído aleatório

**Exemplos** de algoritmos para a estimação do ruído:

- Realização de uma filtragem prévia, a partir da qual se obtém a variância do ruído através da diferença entre a imagem original e a imagem filtrada (naturalmente, as características do filtro utilizado influenciam o resultado que se irá obter).
- Cálculo da variância do ruído baseando-se no valor médio e na respectiva variância de blocos da imagem original.

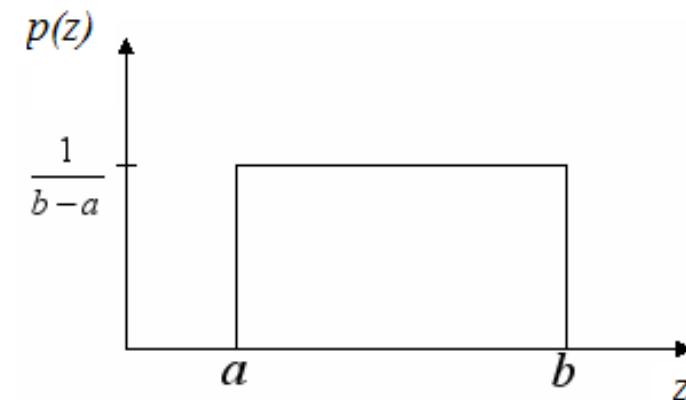
# Modelos de ruído aleatório

**Ruído Uniforme:** Gerado a partir de uma FDP uniforme.

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

$$r(x, y) = a + (b - a) \times \text{aleatório}$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$

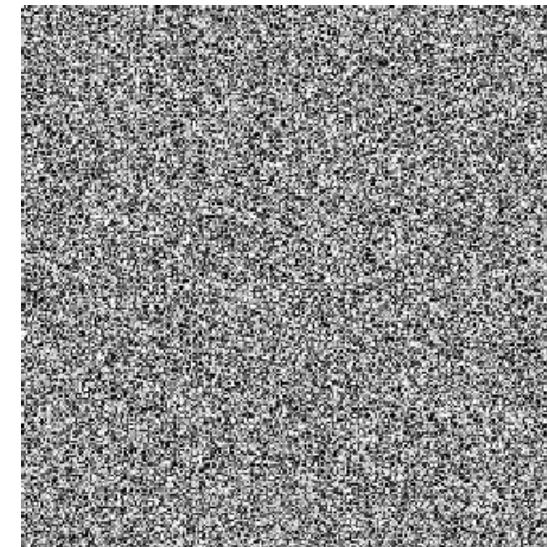


# Modelos de ruído aleatório

**Exemplo** de ruído uniforme:



$f(x,y)$



Ruído uniforme  $r(x,y)$



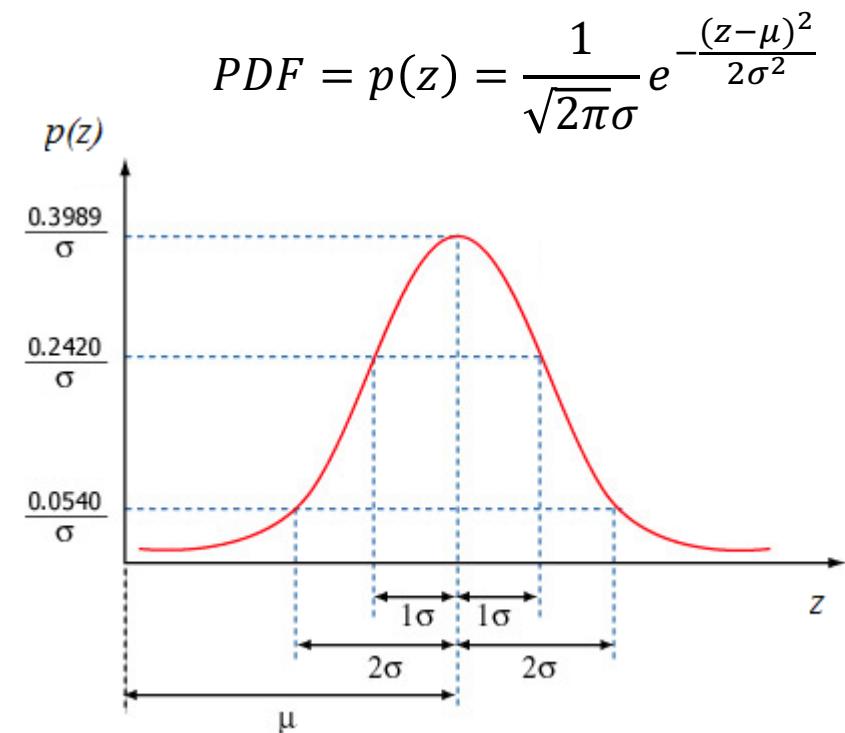
Imagen  $s(x,y)$  com ruído uniforme

# Modelos de ruído aleatório

**Ruído Gaussiano:** Gerado a partir de uma FDP gaussiana de média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ . O valor de  $\sigma$  controla a “concentração” do ruído em torno da média  $\mu$ .

$$r(x, y) = \sigma \times \text{aleatório} + \mu$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$



# Modelos de ruído aleatório

**Exemplo** de ruído gaussiano numa imagem:

$$s(x, y) = f(x, y) + r(x, y)$$



$f(x,y)$



$s(x,y)$ , com ruído gaussiano ( $\sigma^2 = 0.01$ )



$s(x,y)$ , com ruído gaussiano  $\sigma^2 = 0.05$

# Modelos de ruído aleatório

**Ruído Impulsivo (*Salt-and-Pepper*)**: Gerado com base em uma FDP uniforme discreta.

$$\begin{cases} \text{Se aleatório} < \frac{D}{2}, \text{então } r(x,y) = 0 \\ \text{Se } \frac{D}{2} \leq \text{aleatório} < D, \text{então } r(x,y) = 255 \end{cases}$$

$$0 \leq \text{aleatório} \leq 1$$

D: *Densidade*

$$PDF = p(z) = \begin{cases} P_a, \text{ se } z = a \\ P_b, \text{ se } z = b \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

# Modelos de ruído aleatório

**Exemplo** de ruído impulsivo numa imagem:



$f(x,y)$



$s(x,y)$  com ruído Salt-and-Pepper  
(Densidade = 0,02)

# Modelos de ruído aleatório

**Ruído multiplicativo (*Speckle*)**: Modelo de ruído não linear em que  $s(x,y)$  é a imagem degradada e  $f(x,y)$  é a imagem inicial;  $u(x,y)$  e  $\varphi(x,y)$  são respectivamente as componentes multiplicativa e aditiva do ruído *speckle*. É um tipo de ruído característico de diversas imagens, como por exemplo as imagens RADAR.

$$s(x,y) = f(x,y) \times u(x,y) + \varphi(x,y)$$

# Modelos de ruído aleatório

**Exemplo** de imagem com ruído multiplicativo:



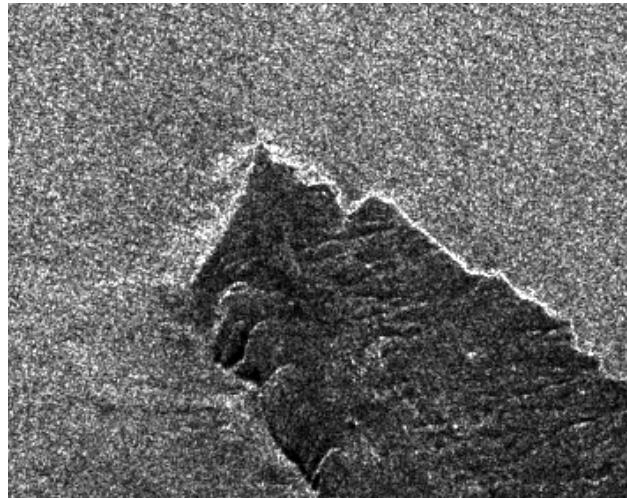
Original



*Speckle*

# Modelos de ruído aleatório

**Exemplos** de outras imagens com ruído multiplicativo:



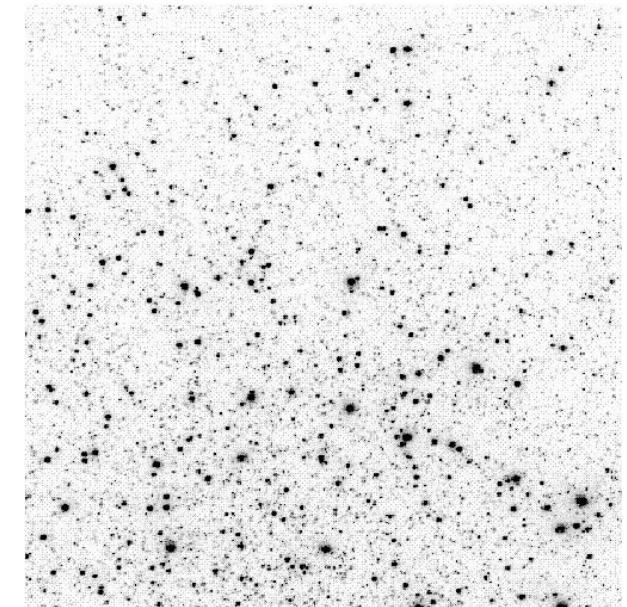
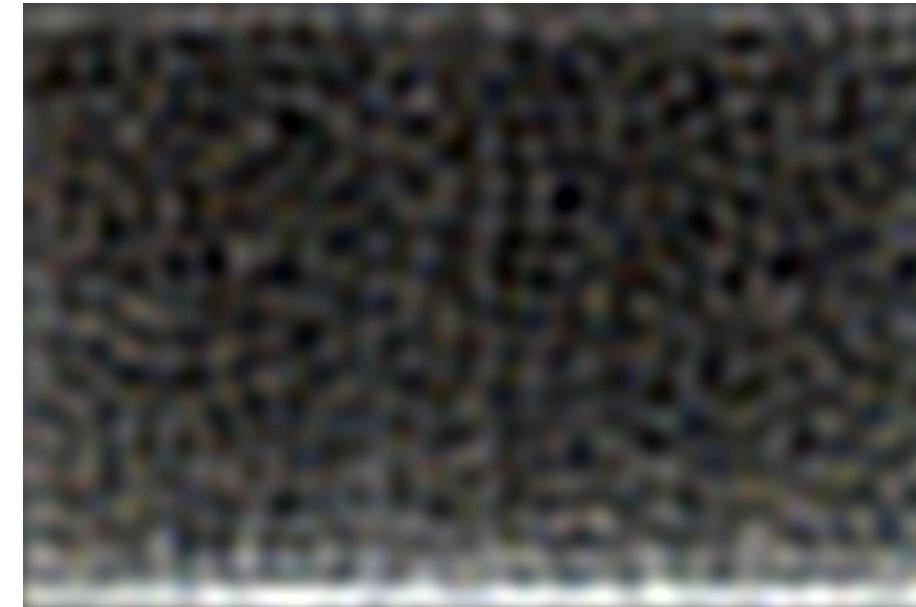
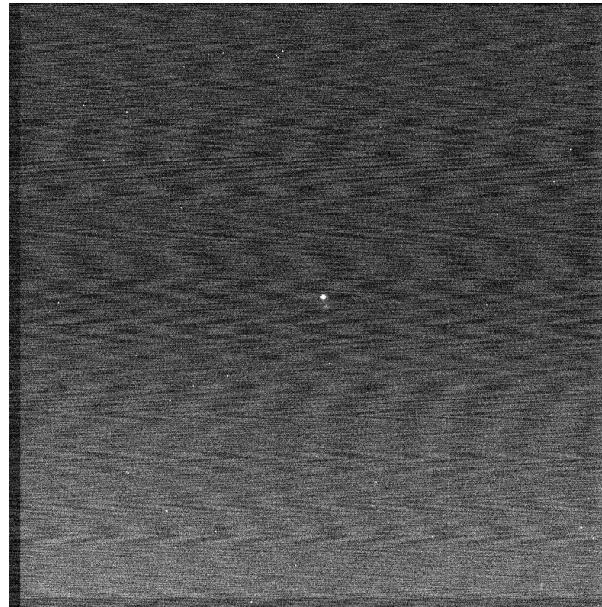
*Speckle* (ENVISAT)



*Speckle* (Ultrasons)

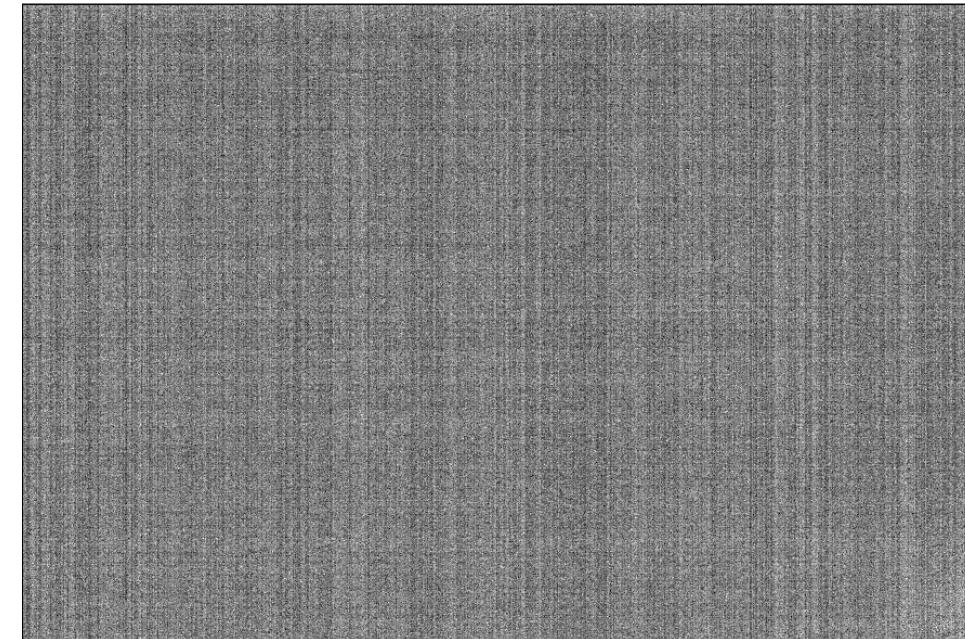
# Ruído de padrão fixo (não aleatório)

É um tipo de ruído em que certos grupos de pixels têm intensidade bastante diferente das restantes flutuações aleatórias de ruído. É o tipo de ruído mas fácil de eliminar uma vez realizada a aprendizagem do seu padrão (modelação do ruído).



# Ruído de *banding* (não aleatório)

É um tipo de ruído óbvio e bastante objectivo e é produzido pelo sensor da câmara digital. Consiste em padrões lineares segundo as linhas e/ou as colunas, em que a sua presença chama imediatamente à atenção. A sua redução acarreta geralmente um compromisso de redução da nitidez dos objectos.

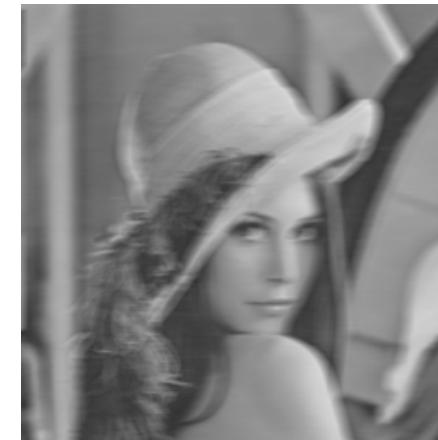


# Ruído de *blur* (não aleatório)

Consiste em uma aparente desfocagem devido ao movimento rápido de objectos durante a exposição (*motion blur*), ou quando a imagem a ser registada se altera devido ao movimento rápido da câmara, ou a longa exposição.



Original



Blur



É geralmente usado como uma das melhores formas se simulação de velocidade em imagens, ou jogos de video, pois confere realismo e sensação de movimento.