



Instituto Federal da Paraíba  
Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Elétrica  
Disciplina: Processamento Digital de Imagens

Nayana Priscylla Nery dos Santos  
Jônatas Mendes da Cruz  
Sérgio Ricardo Maciel Pedrosa

Relatório  
Atividade Avaliativa da Aula 3

João Pessoa - PB  
Setembro de 2023

Instituto Federal da Paraíba  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica  
Disciplina: Ferramentas para Análise e Processamento de Sinais  
Nayana Priscylla Nery dos Santos  
Jônatas Mendes da Cruz  
Sérgio Ricardo Maciel Pedrosa

Relatório  
Atividade Avaliativa da Aula 3

Relatório apresentado ao professor Carlos Danilo Miranda Régis, referente a atividade avaliativa da terceira aula da disciplina de Processamento Digital de Imagens, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Orientador: Carlos Danilo Miranda Régis, Dr.

João Pessoa - PB  
Setembro de 2023

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Imagens em RGB . . . . .	10
Figura 2 – Imagens em escala de cinza . . . . .	11
Figura 3 – Imagens resultantes da aplicação do filtro de <i>Sobel</i> com as respectivas Informações Espaciais (SI) . . . . .	11
Figura 4 – Tela do ambiente <i>Google Colab</i> ) . . . . .	12
Figura 5 – Imagem original <i>cairn</i> em escala de cinza e o respectivo Histograma . .	13
Figura 6 – Imagem original <i>runner</i> em escala de cinza e o respectivo Histograma .	13
Figura 7 – Imagem original <i>shutters</i> em escala de cinza e o respectivo Histograma	14
Figura 8 – Imagem original <i>swan</i> em escala de cinza e o respectivo Histograma . .	14
Figura 9 – Imagem <i>cairn</i> em transformação por <i>Gamma Correction</i> . . . . .	15
Figura 10 – Imagem <i>runner</i> em transformação por <i>Gamma Correction</i> . . . . .	16
Figura 11 – Imagem <i>shutters</i> em transformação por <i>Gamma Correction</i> . . . . .	16
Figura 12 – Imagem <i>swan</i> em transformação por <i>Gamma Correction</i> . . . . .	17
Figura 13 – Imagem <i>cairn</i> em transformação por métodos de binarização . . . . .	17
Figura 14 – Imagem <i>runner</i> em transformação por métodos de binarização . . . . .	18
Figura 15 – Imagem <i>shutters</i> em transformação por métodos de binarização . . . . .	18
Figura 16 – Imagem <i>swan</i> em transformação por métodos de binarização . . . . .	19
Figura 17 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Swan com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados. . . . .	20
Figura 18 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Runner com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados. . . . .	21
Figura 19 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Shutters com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados. . . . .	22
Figura 20 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Cairn com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados. . . . .	22
Figura 21 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Swan com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados. . . . .	23
Figura 22 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Runner com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados. . . . .	23
Figura 23 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Shutters com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados. . . . .	24
Figura 24 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Cairn com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados. . . . .	24
Figura 25 – Gráficos de PSNR e SSIM das imagens com LSBs e MSBs zerados. . .	26

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Tabela com as métricas PSNR e SSIM após modificação de <i>bits</i> menos e mais significativos . . . . .	25
--	----

## Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	6
2.1	Transformação de Intensidade - Correção <i>gamma</i> . . . . .	6
2.2	Histograma . . . . .	6
2.3	Binarização . . . . .	6
2.3.1	Limiar . . . . .	6
2.3.2	Otsu . . . . .	6
2.4	<i>bits</i> menos significativos (LSB) e <i>bits</i> mais significativos (MSB) . . . . .	7
2.5	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i> (PSNR) . . . . .	7
2.6	<i>Structural Similarity Index</i> (SSIM) . . . . .	8
3	METODOLOGIA . . . . .	10
3.1	Imagens . . . . .	10
3.2	Recursos Computacionais . . . . .	10
4	RESULTADOS . . . . .	13
4.1	Apresentação dos Histogramas das imagens selecionadas . . . . .	13
4.2	Transformação de Intensidade - Correção <i>gamma</i> . . . . .	13
4.3	Binarização . . . . .	15
4.4	Modificação de <i>bits</i> menos e mais significativos . . . . .	19
4.4.1	Comparação dos histogramas das imagens com LSBs zerados . . . . .	19
4.4.2	Comparação dos histogramas das imagens com MSBs zerados . . . . .	20
4.4.3	Análise das métricas objetivas das imagens com LSBs e MSBs zerados	20
5	CONCLUSÕES . . . . .	26
	REFERÊNCIAS . . . . .	27
A	APÊNDICE A . . . . .	28
B	APÊNDICE B . . . . .	29

## 1 Introdução

As imagens digitais nem sempre são objetos triviais de se analisar. Muitas vezes, informações importantes podem passar despercebidas e isso pode ocorrer propositalmente ou não. Para resolver esse problema, diferentes técnicas podem ser aplicadas sobre a imagem para que detalhes ocultos venham à tona.

Informações importantes podem ser extraídas por meio da visualização do histograma de uma imagem, e este também pode ser utilizado por algoritmos de filtragem para a aplicação de correções e transformações sobre a imagem alvo. A correção *Gamma* permite que áreas escuras de uma imagem sejam clareadas para que detalhes escondidos possam ser visualizados, e da mesma forma, permite que áreas claras sejam escurecidas, aumentando o destaque das informações ofuscadas pela claridade.

Outra técnica importante é a binarização, que retira todos os detalhes desnecessários de uma imagem, dividindo-a em regiões pretas ou brancas. Algumas vezes, no entanto, o que se deseja não é a visualização de informações ocultas e sim a ocultação de informações em uma imagem. Esse objetivo pode ser alcançado por meio das técnicas de LSB e MSB, dessa forma, informações como textos, imagens ou até áudios podem ser transportadas através de *bits* específicos de cada *pixel* de uma imagem.

A atividade proposta tem como objetivo testar todas as técnicas descritas anteriormente, a fim de demonstrar a sua utilidade para a área de processamento de imagens digitais e visão computacional.

Etapas da atividade:

1. Apresentar o Histograma das imagens selecionadas em aulas anteriores;
2. Clarear e escurecer as imagens (usando dois valores de *gamma*), apresentando também o histograma;
3. Binarizar as imagens originais e transformadas, por limiar e *Otsu*;
4. a) Apresentar as imagens com os *bits* mais e menos significativos;  
 b) Substituir com zeros os bits menos significativos e avaliar com as métricas objetivas.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Transformação de Intensidade - Correção *gamma*

As transformações de intensidade e filtragem espacial cobrem uma ampla variedade de aplicações. Nesta atividade específica a aplicação é o realce de imagens, que é o processo de manipular uma imagem de forma que o resultado seja mais adequado do que o original para um determinado fim.

As transformações de potência apresentam a forma básica (GONZALEZ; WOODS, 2009):

$$s = cr^\gamma \quad (2.1)$$

sendo  $c$  e  $\gamma$  constantes positivas.

### 2.2 Histograma

O histograma é um gráfico de distribuição de frequências, onde em uma dimensão desse gráfico estão os valores que se deseja analisar a frequência e em outra estão as frequências desses valores. O histograma de uma imagem digital representa a frequência de cada nível de intensidade que um *pixel* pode ter, sendo que essas frequências são a quantidade ou a porcentagem de *pixels* que possuem determinada intensidade.

### 2.3 Binarização

A binarização é uma técnica que permite a segmentação de áreas de interesse em uma imagem digital por meio da transformação das tonalidades dos *pixels* da mesma para preto (todos os *bits* são zero) ou branco (todos os *bits* são um).

#### 2.3.1 Limiar

A técnica de binarização utiliza-se de um limiar (*threshold*), que define um ponto de corte para a classificação dos *pixels* de acordo com o seu valor. Os *pixels* que possuem um valor maior do que o limiar tornam-se brancos e os que possuem um valor menor ou igual tornam-se pretos.

#### 2.3.2 Otsu

O método *Otsu* é uma forma de encontrar um limiar de forma dinâmica. Este método utiliza-se do histograma da imagem para encontrar as duas intensidades com

maior frequência e a partir delas calcular o melhor limiar para a binarização da imagem. O método de *Otsu* se caracteriza por sua natureza não paramétrica e não supervisionada de seleção de limiar e tem certas vantagens desejáveis, o processo como um todo é muito simples são utilizados somente os momentos cumulativos zero e de primeira ordem do histograma de níveis de cinza; viabilizando a análise de outros aspectos importantes, tais como estimativa dos níveis médios das classes e, separabilidade das classes. Um limiar ótimo (ou conjunto de limiares) é selecionado de forma automática e estável, não baseado na diferenciação (uma propriedade local como um vale) mas sim na integração (propriedade global) do histograma.

#### 2.4 bits menos significativos (LSB) e bits mais significativos (MSB)

As imagens digitais são representadas por *pixels*, que nada mais são do que uma sequência de bits que podem ser armazenados e manipulados. Os bits de uma sequência podem ser classificados em dois grupos, os *bits* mais significativos (*Most Significant Bit* – MSB) e os *bits* menos significativos (*Least Significant Bit* – LSB) (ADONIAS et al., 2017).

Os *bits* menos significativos são aqueles que exercem uma menor influência sobre a informação e que não causam mudanças extremas caso sejam modificados. Os *bits* mais significativos, por sua vez, exercem grande influência sobre a informação e podem causar ruídos muito perceptíveis quando alterados.

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

A PSNR e o *Mean Square Error* (MSE) são métricas comuns na literatura para mensurar a qualidade entre duas imagens. O PSNR indica a semelhança entre duas imagens e é recíproco ao MSE, sendo o PSNR uma representação logarítmica do MSE.

O MSE é calculado a partir do valor médio dos erros quadráticos entre os *pixels* da imagem original e da imagem modificada que está sendo confrontada, sendo definido como:

$$MSE(f, h) = \frac{1}{R \cdot C} \sum_{x=1}^C \sum_{y=1}^R (f(x, y) - h(x, y))^2, \quad (2.2)$$

onde  $R$  é o número total de linhas,  $C$  é o número total de colunas e  $f(x, y)$  e  $h(x, y)$  são os níveis de intensidade de luminância em que  $x$  e  $y$  representam as coordenadas espaciais de um *pixel*. Quanto melhor a imagem avaliada em relação à original, menor é o valor do MSE (REGIS et al., 2015).

A PSNR, medida em decibéis (dB), é inversamente proporcional ao MSE e é definida como

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{MAX^2}{MSE(f, h)} \right] dB, \quad (2.3)$$

em que  $MAX = 2^b - 1$  é o valor máximo da escala de níveis de cinza construída com  $b$  bits. Quanto maior o valor da PSNR, maior é a semelhança entre a imagem original e a imagem confrontada.

Sua popularidade se dá devido a facilidade de implementação e rapidez no processamento, porém, a PSNR se baseia em uma comparação *byte* a *byte* dos dados, desconsiderando o que eles realmente representam.

## 2.6 Structural Similarity Index (SSIM)

O SSIM é uma métrica que utiliza a estatística da imagem para avaliação da qualidade. É construído como um modelo multiplicativo que é constituído de atributos da semelhança estrutural e de informações da luminância e contraste da imagem.

Sejam dois sinais representados por  $f = \{f_i | i = 1, 2, \dots, P\}$  e  $h = \{h_i | i = 1, 2, \dots, P\}$ , sendo  $f$  a imagem original e  $h$  a imagem confrontada, define-se SSIM como

$$SSIM(f, h) = l(f, h)^\alpha \cdot c(f, h)^\beta \cdot s(f, h)^\gamma, \quad (2.4)$$

em que  $l(\cdot)$ ,  $c(\cdot)$  e  $s(\cdot)$ , indicam luminância, contraste e atributos de semelhança estrutural, respectivamente, e os expoentes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são parâmetros utilizados para ajustar a importância de cada atributo e, para efeitos de simplificação, são considerados iguais a 1.

A luminância mede a intensidade média de cada pixel ( $\mu$ ) entre  $f$  e  $h$ , e é calculada por

$$l(f, h) = \frac{2\mu_f\mu_h + K_1}{\mu_f^2 + \mu_h^2 + K_1} \quad (2.5)$$

em que a constante  $K_1$  é inserida para evitar instabilidade nos valores como, por exemplo, se o denominador tiver um valor próximo de zero.

Analogamente, a análise do contraste é dada por

$$c(f, h) = \frac{2\theta_f\theta_h + K_2}{\theta_f^2 + \theta_h^2 + K_2} \quad (2.6)$$

em que o  $\theta$  é o desvio padrão.

Por fim, a análise entre as estruturas é dada por

$$s(f, h) = \frac{2\theta_{fh} + K_3}{\theta_f + \theta_h + K_3} \quad (2.7)$$

assim como  $K_1$ , as constantes  $K_2$  e  $K_3$  são inseridas para evitar instabilidades nos valores.

A técnica SSIM é utilizada para encontrar artefatos em imagens desde que haja outra imagem considerada como referência. Em comparação com a PSNR que estima apenas erros absolutos, o SSIM considera a degradação da imagem como uma alteração na informação estrutural.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Imagens

Para realização da atividade proposta, foram utilizadas 4 imagens escolhidas aleatoriamente no portal pexels.com, conforme Figura 1.

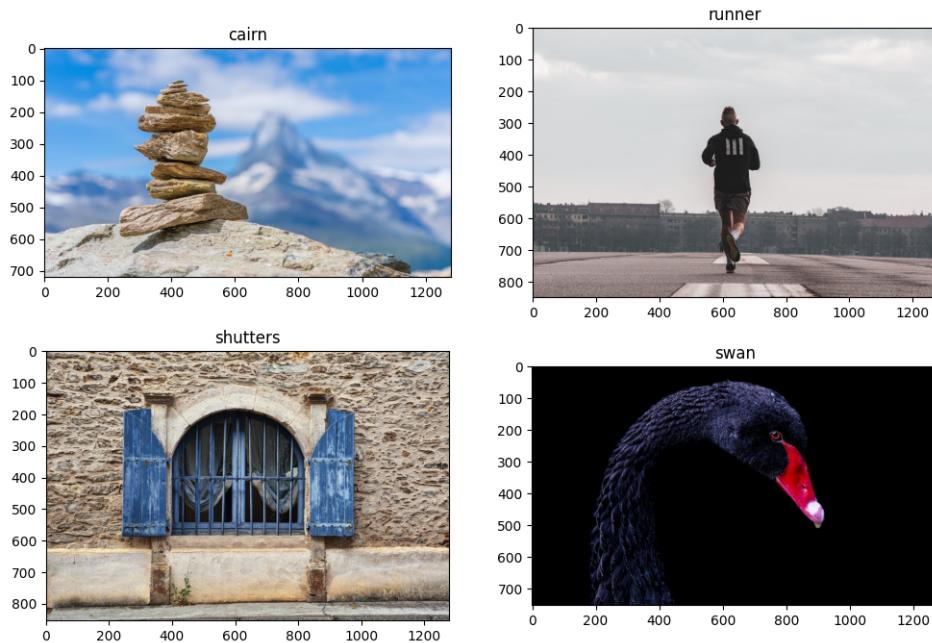


Figura 1 – Imagens em RGB

As imagens selecionadas foram pré-processadas e transformadas em escala de cinza, conforme apresentadas na Figura 2, para viabilização das transformações propostas e análise dos resultados obtidos.

Para um melhor entendimento e interpretação dos resultados, tendo como linha de base as características pertinentes às imagens originais, foram extraídas as informações espaciais das imagens em escala de cinza e exibidas na Figura 3: desvio padrão e as imagens resultantes da aplicação do Filtro de *Sobel*.

#### 3.2 Recursos Computacionais

Para a realização desta atividade avaliativa, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento colaborativo *Google Colab* (Figura 4). A linguagem de programação adotada foi *Python* e as bibliotecas especializadas utilizadas neste trabalho de acordo suas aplicações, foram:

- **OpenCV (cv2)** - Manipulação e processamento das imagens;

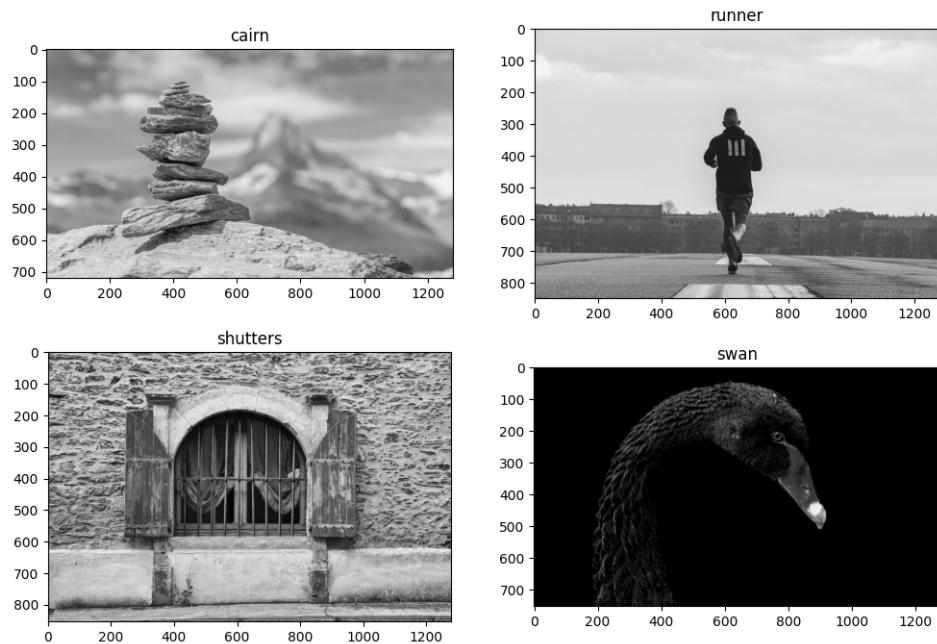
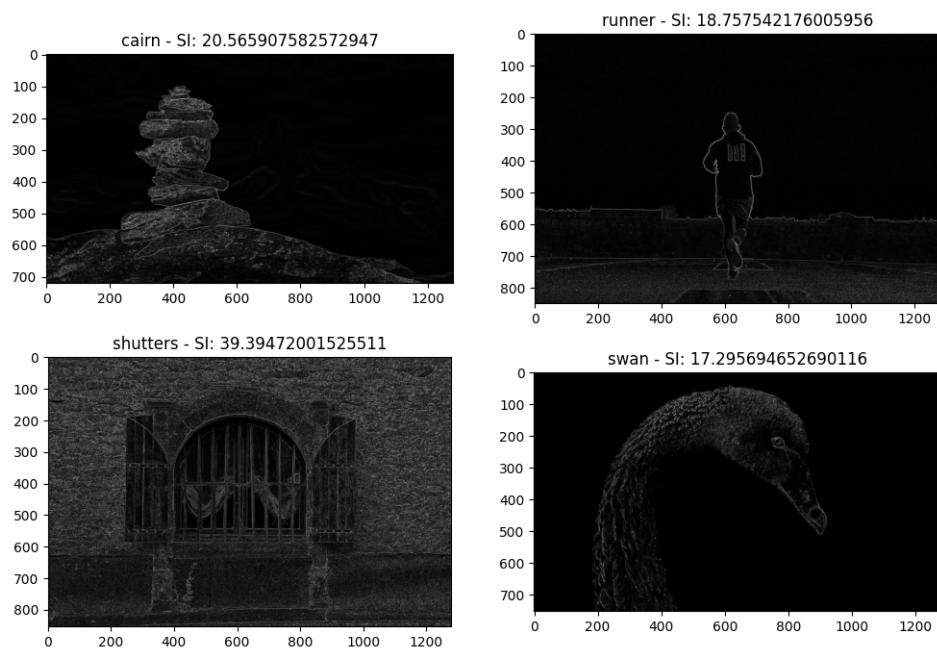


Figura 2 – Imagens em escala de cinza

Figura 3 – Imagens resultantes da aplicação do filtro de *Sobel* com as respectivas Informações Espaciais (SI)

- **NumPy** (numpy) - Funções matemáticas e operações com vetores e matrizes;
- **scikit-image** (skimage) - Processamento das métricas dos resultados;
- **os** (os) - Interação com o sistema operacional no que tange a manipulação dos arquivos de imagens armazenados no sistema de arquivos;
- **Matplotlib** (matplotlib) - Criação dos gráficos e visualização das imagens e dados.

The screenshot shows a Google Colab interface. At the top, there's a browser-like header with tabs for 'pdi\_projeto02.ipynb - Colab' and a link to 'https://colab.research.google.com/dri...'. Below the header is a toolbar with various icons. The main area is a Jupyter notebook titled 'pdi\_projeto02.ipynb'. The notebook has a menu bar with 'Arquivo', 'Editar', 'Ver', 'Inserir', 'Ambiente de execução', 'Ferramentas', 'Ajuda', and 'Salvando...'. On the left, there's a sidebar with sections for '+ Código' and '+ Texto'. The code editor contains the following Python code:

```
import cv2 # OpenCV
import numpy as np
from skimage.metrics import structural_similarity as ssim
from skimage.metrics import peak_signal_noise_ratio as psnr
import os
from matplotlib import pyplot as plt
from google.colab.patches import cv2_imshow
```

Below the code editor, there are two code cells:

```
[1] from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

Mounted at /content/drive
```

```
[3] imgs_dir = '/content/drive/MyDrive/PDI/projeto01/imagens/originais/'
```

```
[4] #função de Informação Espacial
def Inf_spatial(img_grayscale):
    sh = cv2.Sobel(img_grayscale, cv2.CV_64F, 1, 0, ksize = 1)
    sv = cv2.Sobel(img_grayscale, cv2.CV_64F, 0, 1, ksize = 1)
```

The status bar at the bottom right indicates '0s conclusão: 14:50'.

Figura 4 – Tela do ambiente *Google Colab*)

## 4 Resultados

### 4.1 Apresentação dos Histogramas das imagens selecionadas

Os Histogramas das 4 imagens selecionadas possuem distribuições de valores de *pixels* consideravelmente distintas entre si, como pode ser visualizado nas Figuras 5 a 8. Destacam-se os Histogramas das imagens *shutters* e *swan*, Figuras 7 e 8, respectivamente, por apresentar: a primeira, uma distribuição ao longo de todos valores de *pixels*, sem pico prevalente; a segunda, em oposição àquela, baixa ou nenhuma distribuição, prevalecendo no valor zero, em conformidade com o que é visto na imagem.

### 4.2 Transformação de Intensidade - Correção *gamma*

Conforme o proposto, foram realizadas duas transformações de intensidade para cada imagem, variando o valor de *gamma* e observados os efeitos que cada aplicação de valor provocou nas imagens. Foram escolhidos: um valor menor que 1 para provocar um deslocamento da distribuição de valores de *pixels* à esquerda, em direção ao zero, resultando em um escurecimento da imagem; e um valor maior que 1 para fazer o deslocamento à

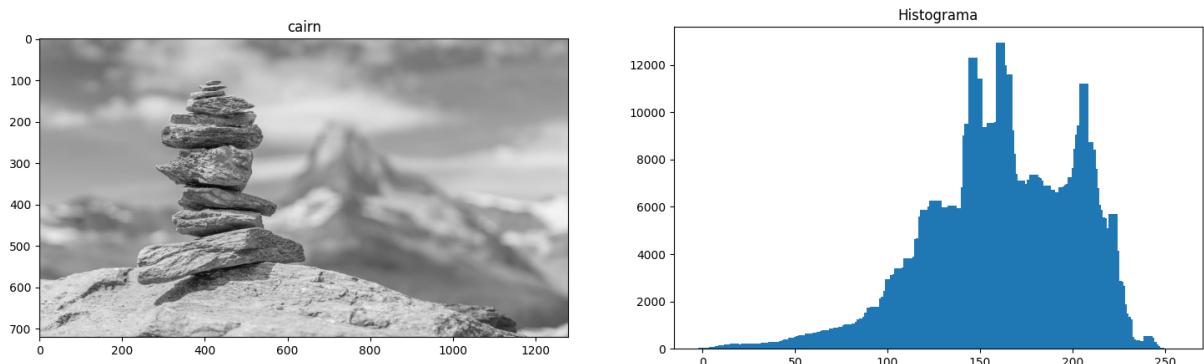


Figura 5 – Imagem original *cairn* em escala de cinza e o respectivo Histograma

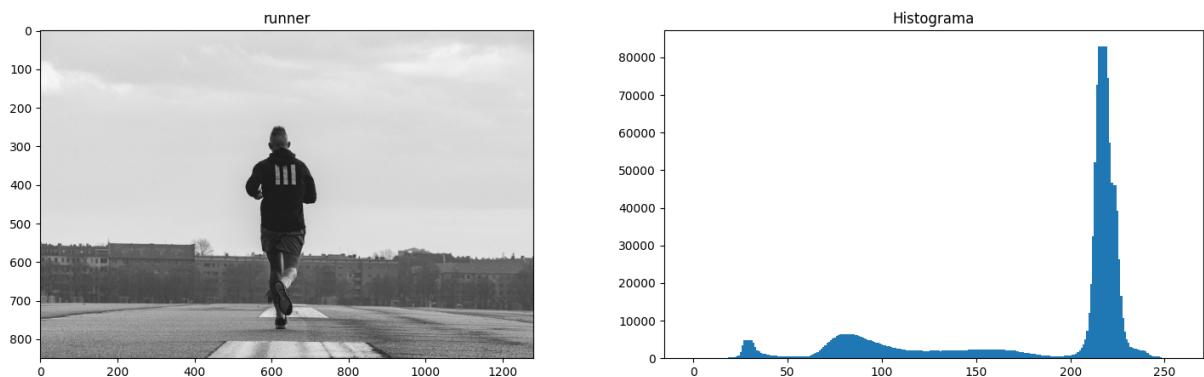


Figura 6 – Imagem original *runner* em escala de cinza e o respectivo Histograma

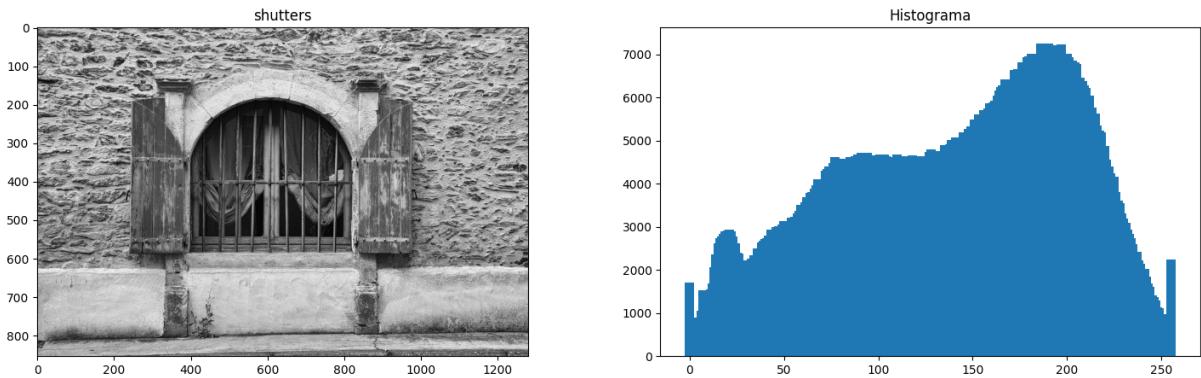


Figura 7 – Imagem original *shutters* em escala de cinza e o respectivo Histograma

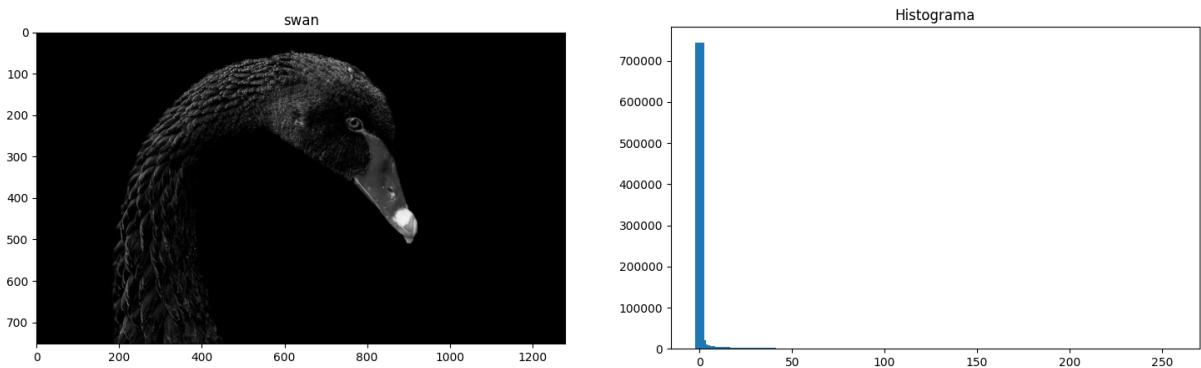


Figura 8 – Imagem original *swan* em escala de cinza e o respectivo Histograma

direita, em direção ao 255, resultando por conseguinte, em um clareamento da imagem.

As imagens resultantes e seus respectivos Histogramas estão apresentados para visualização e análise nas Figuras 9 a 12. Cada figura contém também a imagem e seu Histograma original para confrontação.

Dos resultados esperados e em conformidade com a transformação realizada, visualiza-se em destaque:

- O surgimento de um pico de concentração no escurecimento da imagem *runner* (Figura 10);
- Na mesma imagem citada no item anterior, no resultado do clareamento, observa-se no Histograma uma separação na distribuição entre os valores de pixel 100 e 150;
- Uma forte concentração de valores no escurecimento da imagem *shutters* (Figura 11), uma vez que originalmente esta imagem possui uma distribuição ao longo de toda a escala de valores;
- No escurecimento da imagem *swan* (Figura 12), que originalmente já possui uma concentração predominante em um pico no valor zero, provocou um deslocamento dos poucos valores diferentes de zero, transformando a imagem para quase totalmente zero (preto), fazendo desaparecer a ave objeto da imagem;

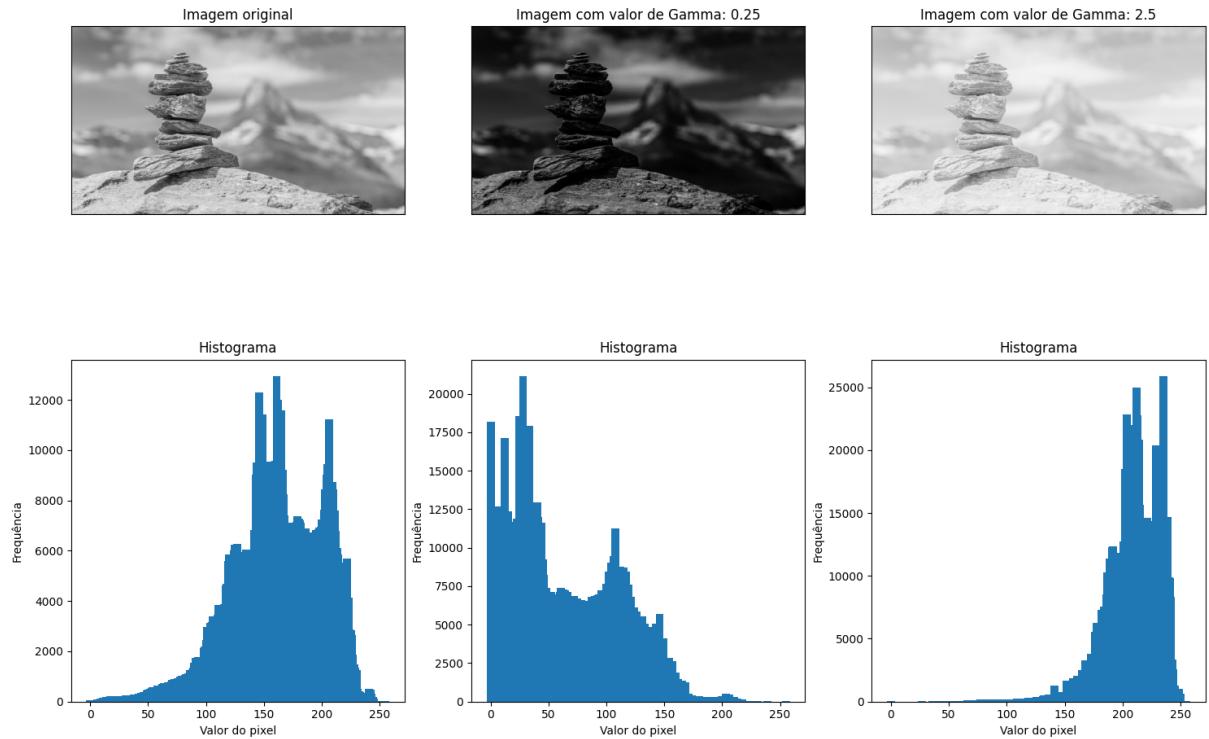


Figura 9 – Imagem *cairn* em transformação por *Gamma Correction*

- Em contrapartida, na mesma imagem citada no item anterior, o clareamento provocou um melhor contorno do objeto da imagem, efeito refletido no respectivo Histograma, através de uma separação observada na distribuição de valores entre os *pixels* de intensidade zero e aproximadamente 30.

#### 4.3 Binarização

A binarização da imagem *cairn* original e com os valores de *gamma* 0.25 e 2.5 utilizando o limiar 127 e o método *Otsu* 157.0, 67.0 e 200.0. Conforme Figura 13, podemos observar que na redução *gamma* o resultado é uma imagem mais escura quando o valor de *gamma* é 0.25 e sendo o oposto quando o valor de *gamma* é 2.5.

A binarização da imagem *runner* original e com os valores de *gamma* 0.25 e 2.5 utilizando o limiar 127 e o método *Otsu* 154.0, 75.0 e 199.0. Conforme Figura 14, podemos observar que na redução *gamma* o resultado é uma imagem mais escura quando o valor de *gamma* é 0.25 e sendo o oposto quando o valor de *gamma* é 2.5.

Temos neste exemplo a imagem *shutters* original e com os valores de *gamma* 0.25 e 2.5 utilizando o limiar 127 e o método *Otsu* 130.0, 70.0 e 178.0. Conforme Figura 15, observamos que na redução *gamma* o resultado é uma imagem mais escura quando o valor de *gamma* é 0.25 e sendo o oposto quando o valor de *gamma* é 2.5.

A binarização da imagem *swan* original e com os valores de *gamma* 0.25 e 2.5 utilizando o limiar 127 e o método *Otsu* 37.0, 58.0 e 76.0. Conforme Figura 16, podemos

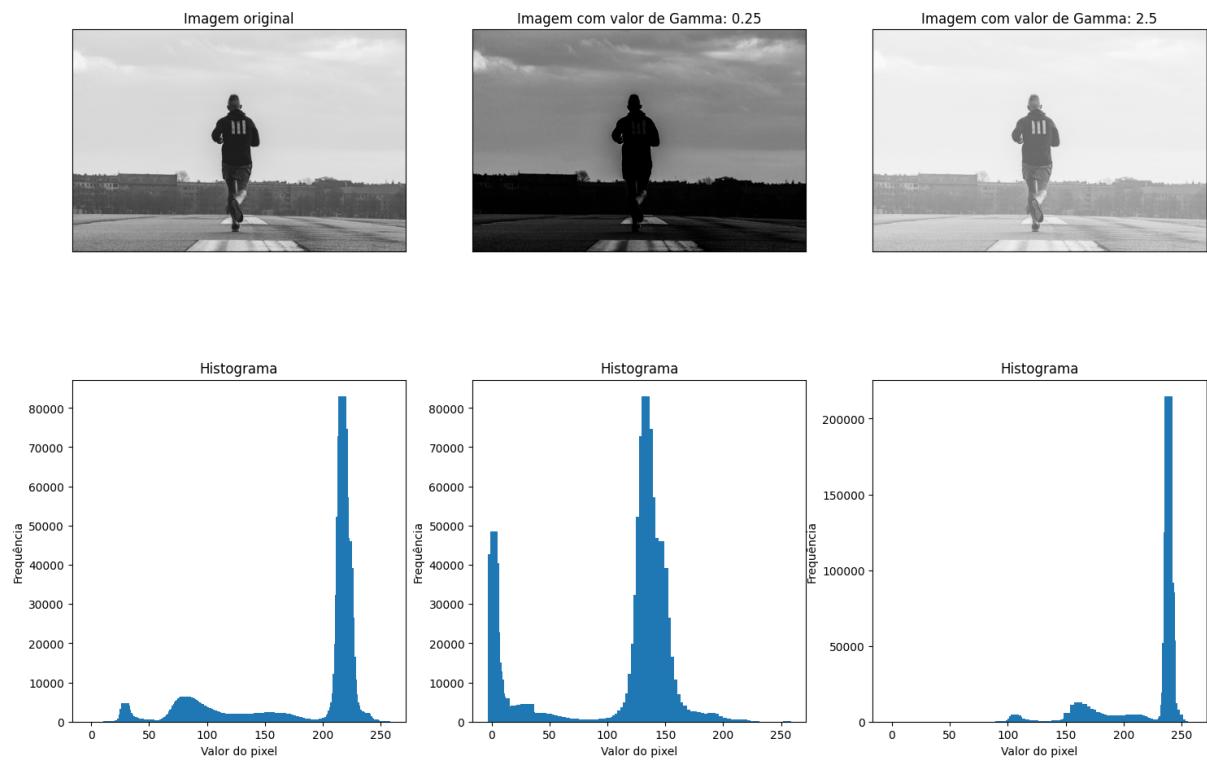


Figura 10 – Imagem *runner* em transformação por *Gamma Correction*

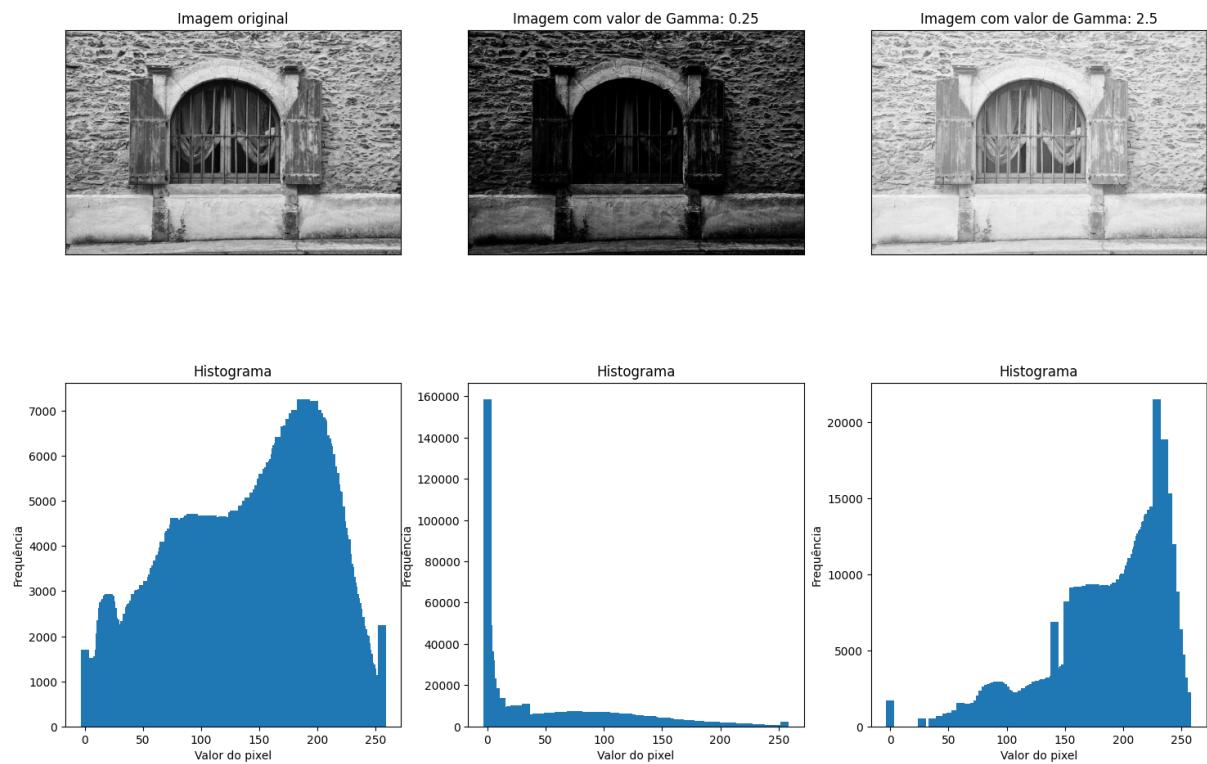
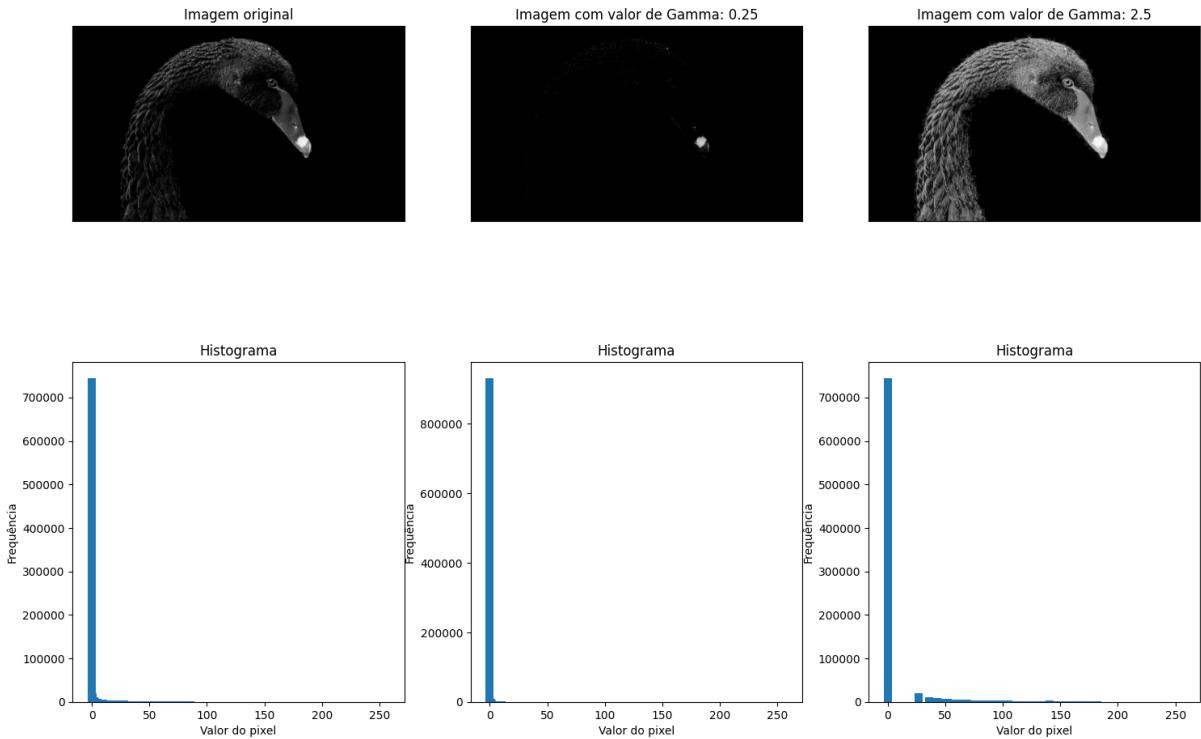
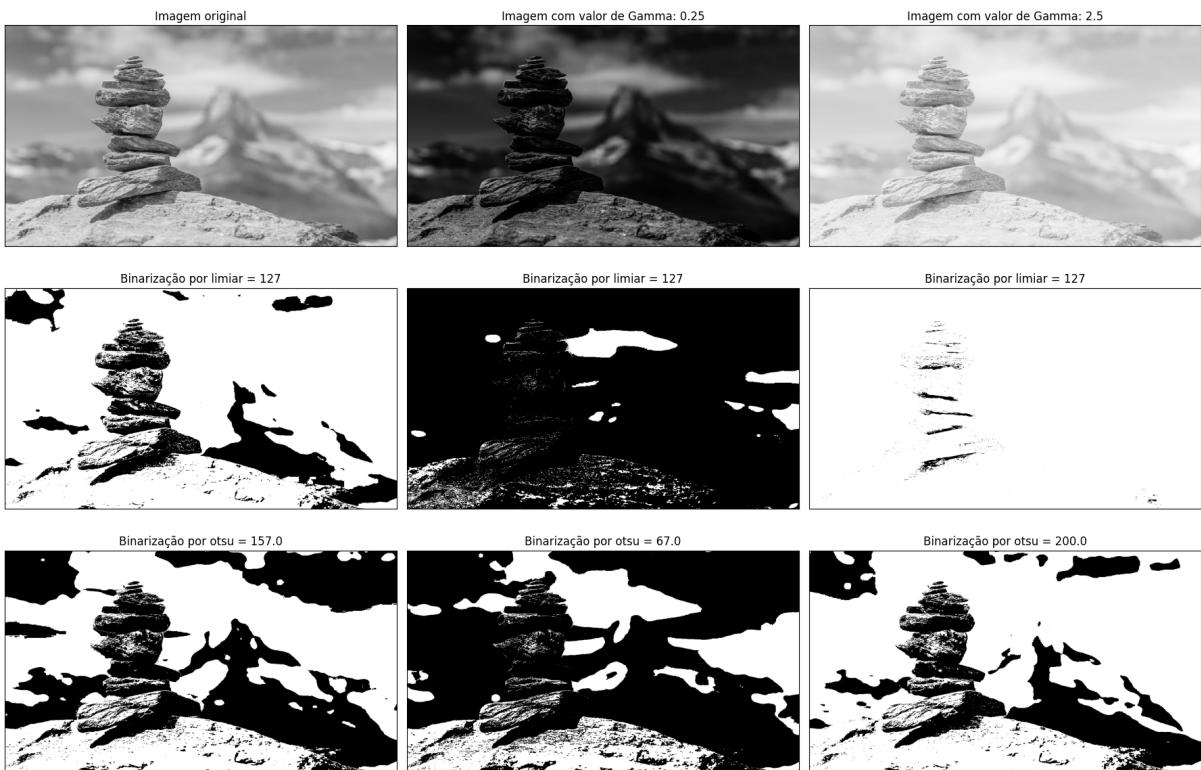


Figura 11 – Imagem *shutters* em transformação por *Gamma Correction*

Figura 12 – Imagem *swan* em transformação por *Gamma Correction*Figura 13 – Imagem *cairn* em transformação por métodos de binarização

observar que na redução *gamma* o resultado é uma imagem mais escura quando o valor de *gamma* é 0.25 e sendo o oposto quando o valor de *gamma* é 2.5.



Figura 14 – Imagem *runner* em transformação por métodos de binarização



Figura 15 – Imagem *shutters* em transformação por métodos de binarização

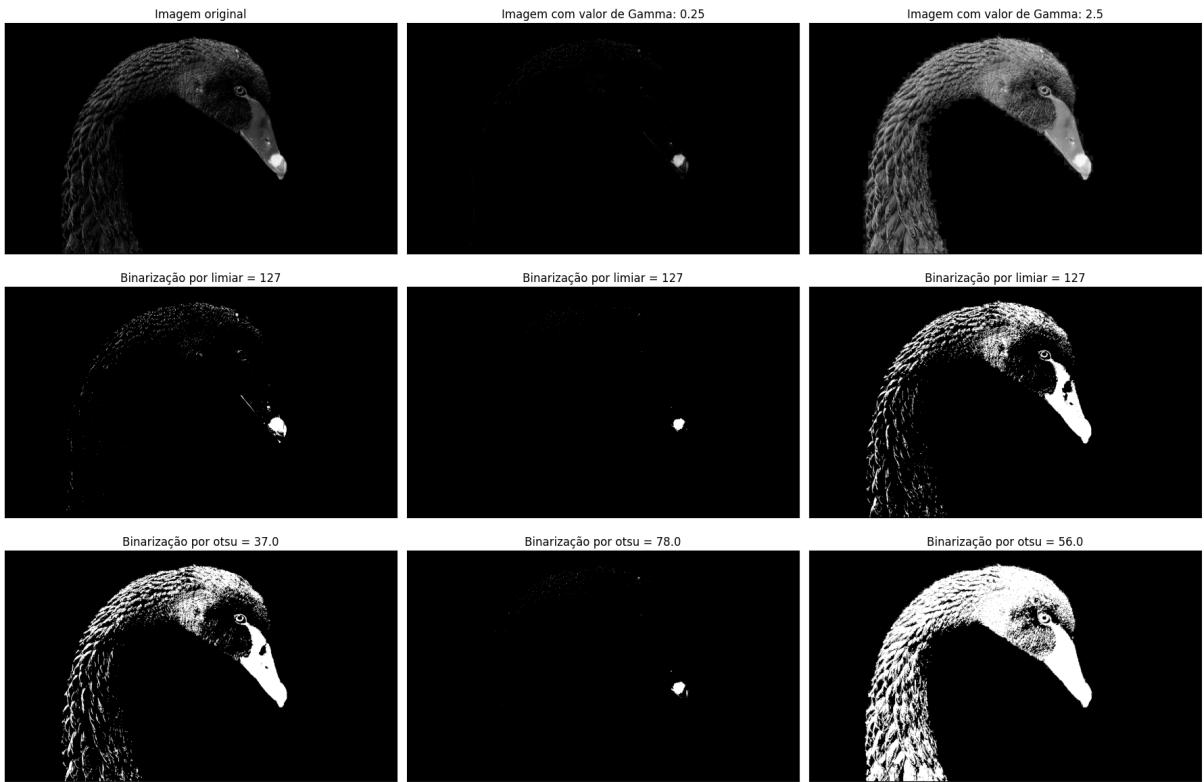


Figura 16 – Imagem *swan* em transformação por métodos de binarização

#### 4.4 Modificação de *bits* menos e mais significativos

Conforme proposto, foram zerados os LSBs e os MSBs das imagens utilizadas nesta atividade a fim de realizar análises acerca da quantidade máxima de *bits* mais e menos significativos que podem ser utilizados para a ocultação de informações.

##### 4.4.1 Comparação dos histogramas das imagens com LSBs zerados

As imagens com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs (Figuras 17 a 20) foram dispostas lado a lado. Ao lado de cada imagem está o seu histograma, por meio do qual pode-se observar a diminuição do número de tonalidades conforme a quantidade de LSBs aumenta.

Ao observar os histogramas da imagem *swan* (Figura 17), percebe-se que a diminuição da quantidade de tonalidades não é tão notável como nas demais imagens, isso ocorre pois a imagem original não apresenta grande variação em seus níveis de cinza, além de apresentar uma única tonalidade com frequência muito alta do que as demais.

Ao realizar uma análise subjetiva das imagens modificadas, percebe-se que todas as imagens, com exceção da imagem *shutters* (Figura 19), não apresentam ruídos visualmente perceptíveis quando se utiliza até 4 LSBs para ocultação de informações. A imagem *shutters*, por sua vez, não apresenta grandes distorções utilizando até 5 LSBs.

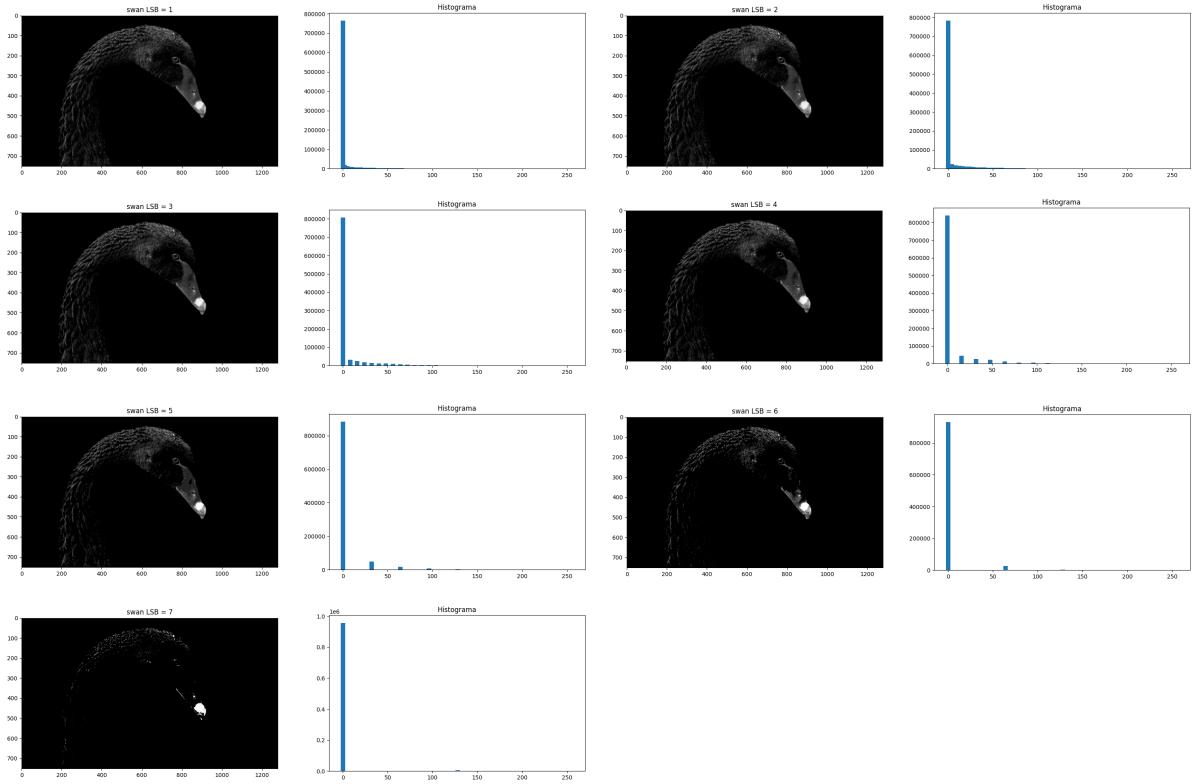


Figura 17 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Swan com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados.

#### 4.4.2 Comparação dos histogramas das imagens com MSBs zerados

Semelhante ao que foi feito nos experimentos com os LSBs, as imagens com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs (Figuras 21 a 24) foram dispostas lado a lado. Ao lado de cada imagem está o seu histograma, por meio do qual pode-se observar a diminuição do número de tonalidades conforme a quantidade de MSBs aumenta.

Percebe-se que a quantidade de ruídos apresentada é muito maior mesmo quando apenas um MSB é zerado. Isso ocorre porque, diferentemente dos LSBs, os MSBs têm grande influência sobre a informação. Dessa forma, quando o *bit* mais significativo de um *pixel* foi zerado, a quantidade de tonalidades possíveis para aquele *pixel*, caiu pela metade.

#### 4.4.3 Análise das métricas objetivas das imagens com LSBs e MSBs zerados

A Tabela 1 permite, por meio das métricas objetivas PSNR e SSIM, a análise da quantidade máxima de LSBs e MSBs que podem ser utilizados para ocultar informações em cada imagem. Todas as imagens que utilizaram até quatro LSBs apresentaram um SSIM acima de 0.9, o que indica um nível alto de semelhança com a imagem original.

Somente a imagem *swan* com 1 e 2 MSBs (Figura 21) apresentou um SSIM acima de 0.9 quando os MSBs foram zerados. Isso ocorre devido ao fato de que a imagem *swan* original é rica em tons escuros. Os tons escuros são representados por valores próximos a

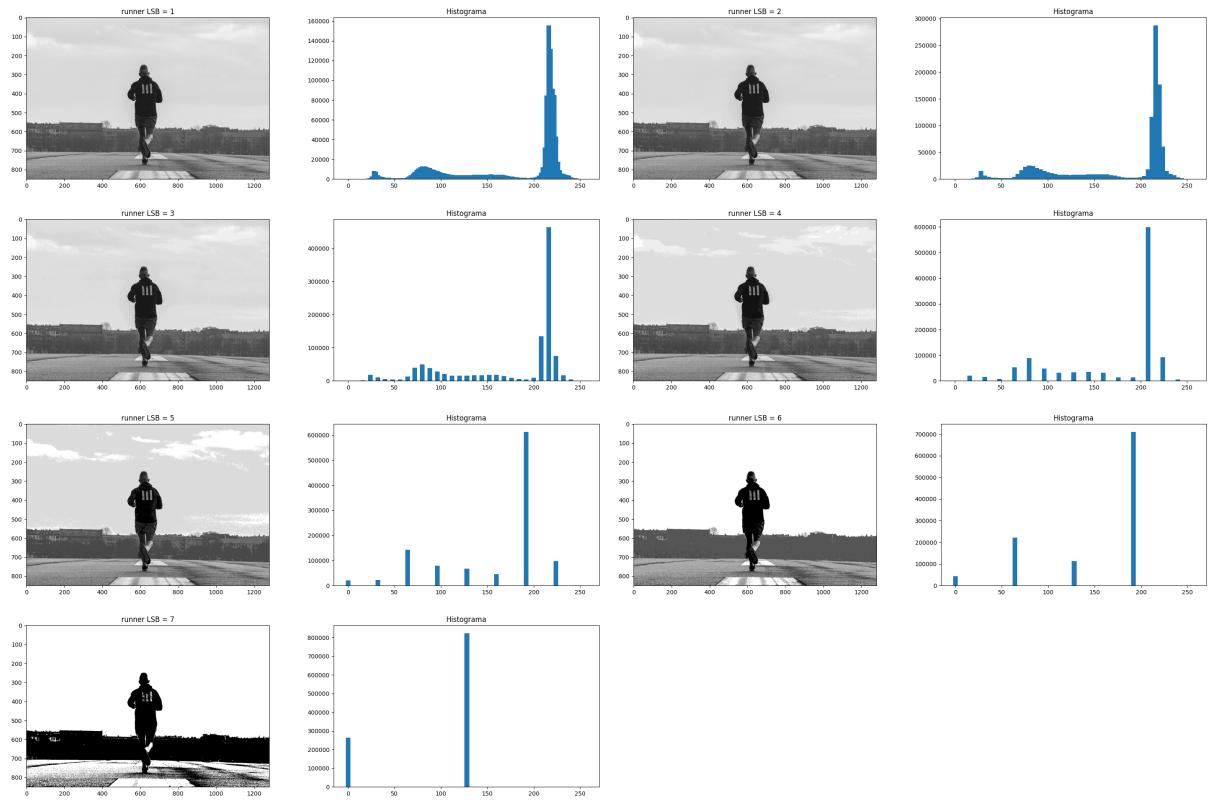


Figura 18 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Runner com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados.

zero, o que faz com que o *bit* mais significativo dos *pixels* mais escuros já seja zero.

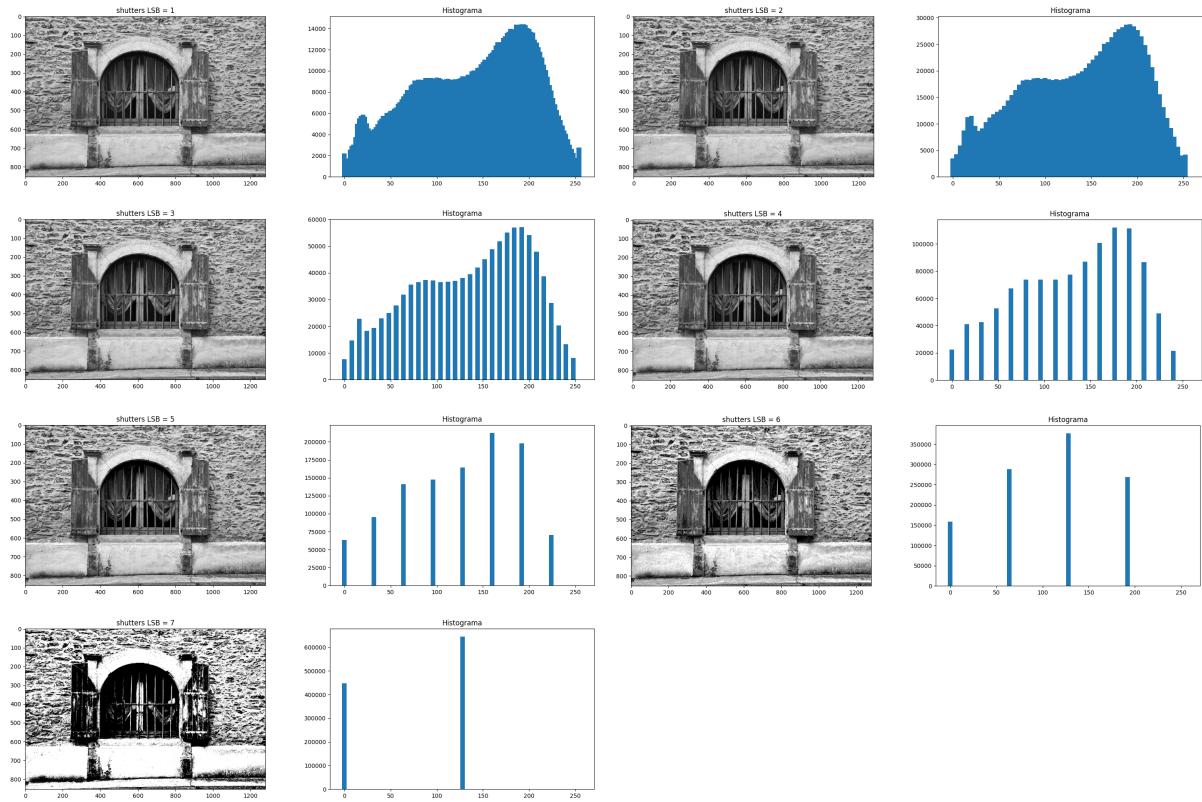


Figura 19 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Shutters com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados.

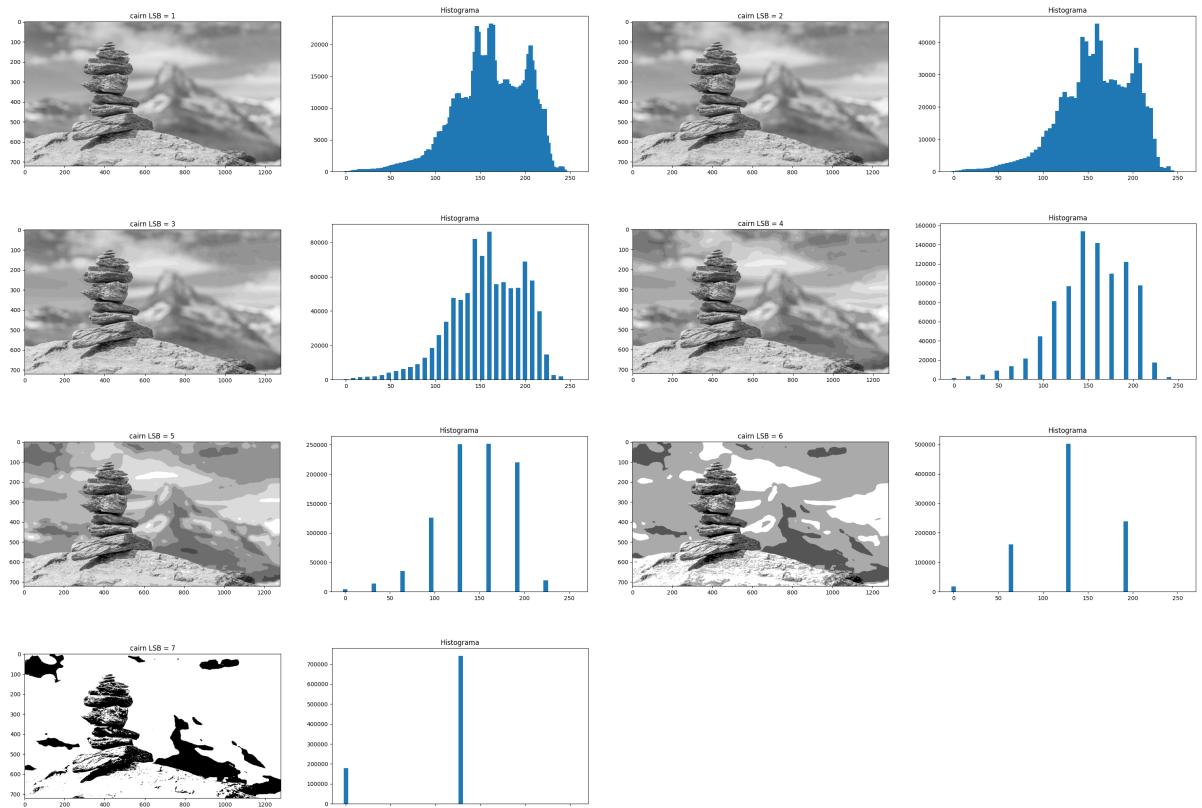


Figura 20 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Cairn com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 LSBs zerados.

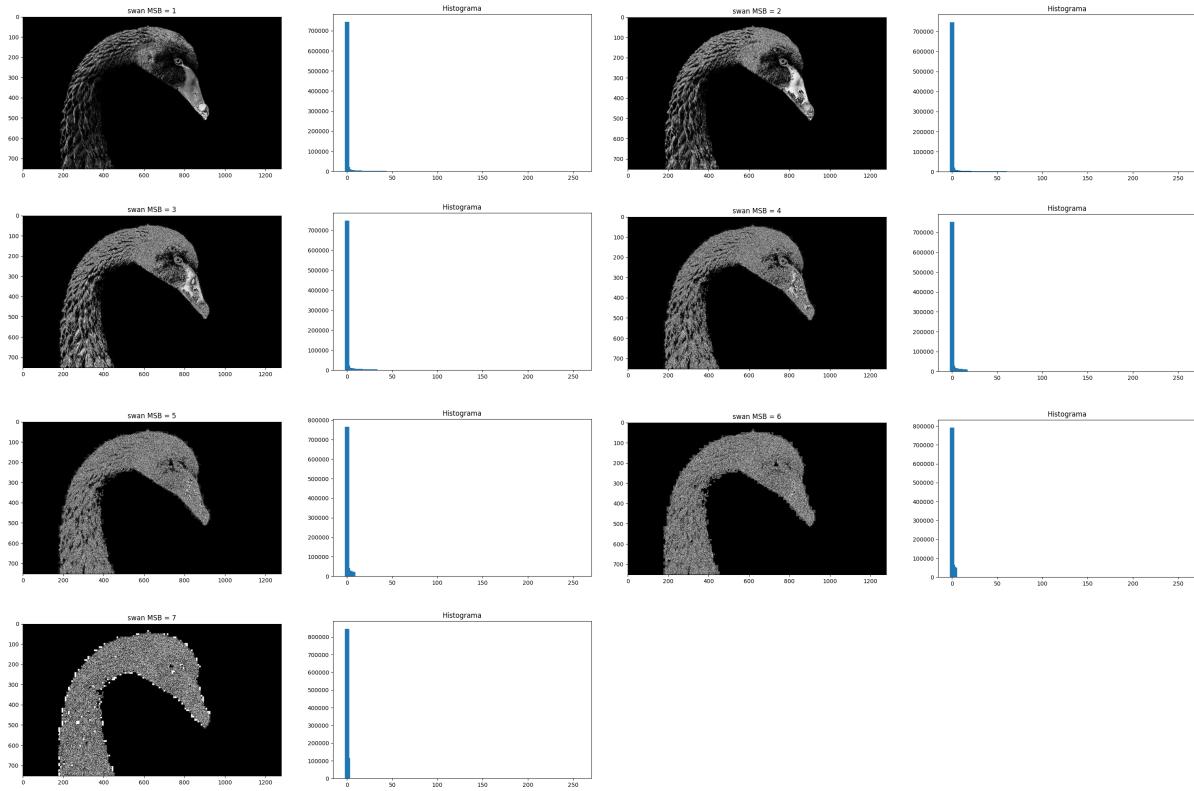


Figura 21 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Swan com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados.

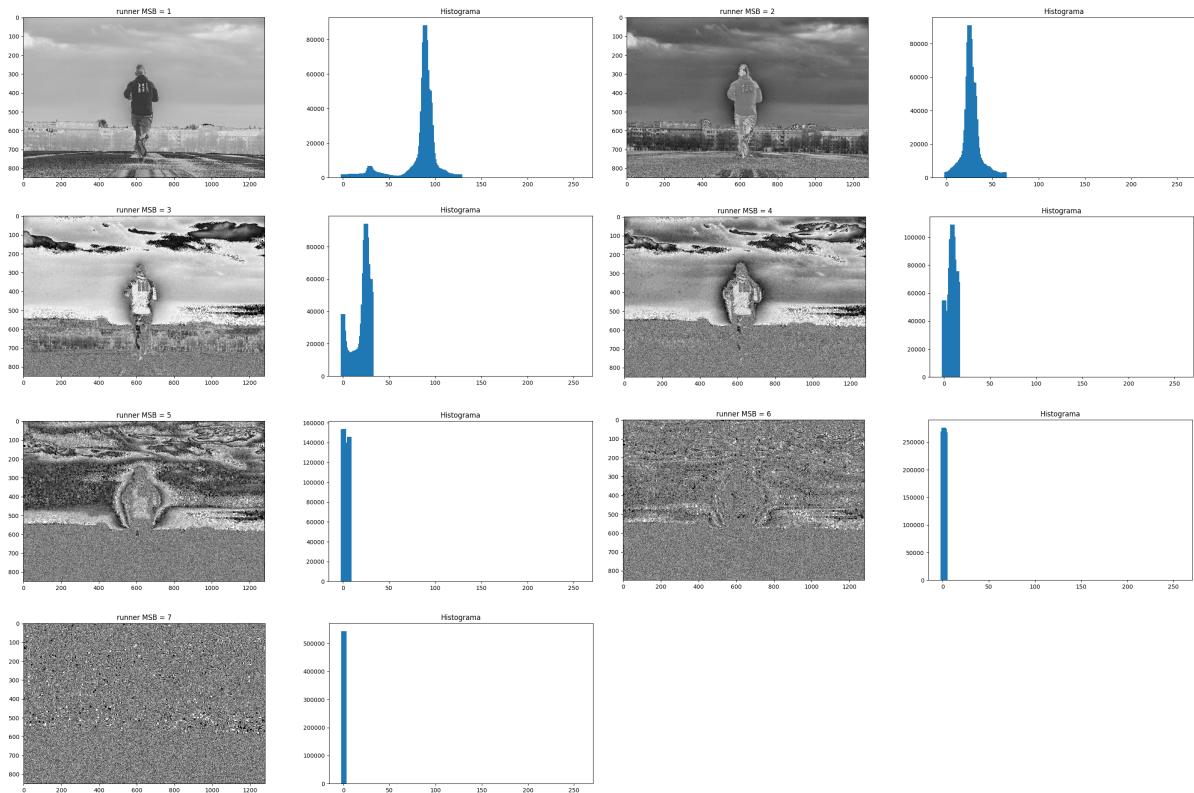


Figura 22 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Runner com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados.

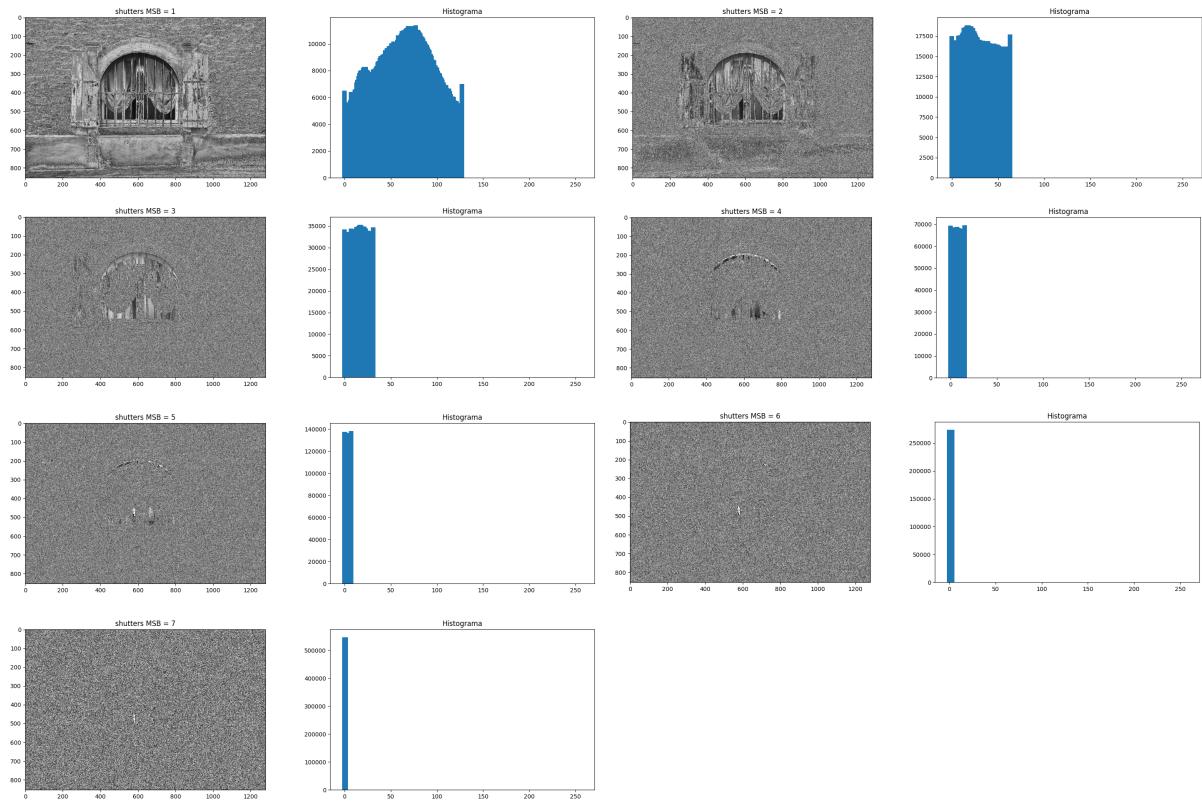


Figura 23 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Shutters com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados.

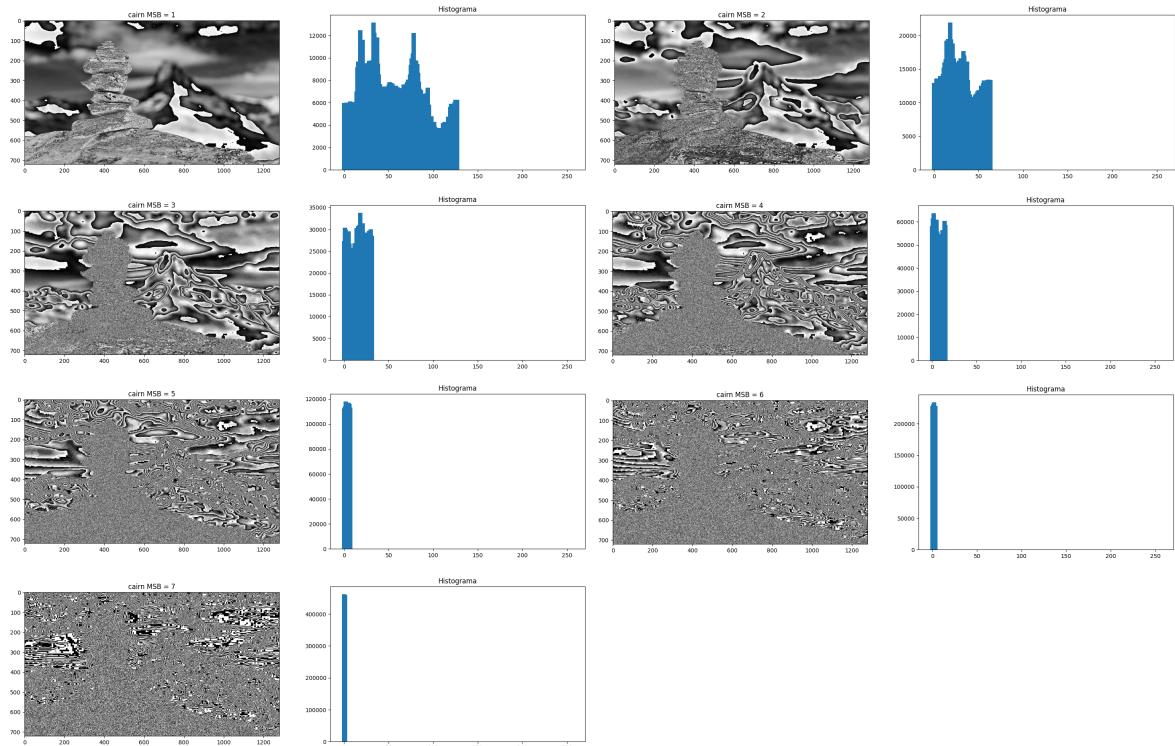


Figura 24 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo temos: Imagem Cairn com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 MSBs zerados.

	cairn		runner		shutters		swan	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
LSB 1	51.1575	0.9974	51.1388	0.9971	51.1370	0.9997	57.3143	0.9985
LSB 2	42.6962	0.9881	42.7157	0.9862	42.6864	0.9985	49.3048	0.9943
LSB 3	35.6999	0.9601	35.7731	0.9508	35.6897	0.9935	42.6692	0.9811
LSB 4	29.3002	0.9016	28.6152	0.9076	29.2425	0.9745	36.6770	0.9489
LSB 5	22.9212	0.8368	21.1971	0.7985	23.0121	0.9097	30.9843	0.8891
LSB 6	17.2683	0.7523	18.8059	0.7843	17.0194	0.7504	25.9452	0.8202
LSB 7	11.5796	0.5277	9.4766	0.5577	11.0111	0.3688	22.6162	0.7695
MSB 1	6.9259	0.4390	7.1952	0.6076	8.2724	0.2938	28.5954	0.9780
MSB 2	5.2902	0.2337	3.8795	0.2474	6.1461	0.0507	24.5492	0.9166
MSB 3	4.5613	0.1089	3.5696	0.1169	5.2922	0.0205	22.8298	0.8587
MSB 4	4.1211	0.0347	2.9918	0.0351	4.8618	0.0030	21.9574	0.8102
MSB 5	3.9201	0.0099	2.7581	0.0037	4.6506	0.0003	21.5006	0.7812
MSB 6	3.8171	0.0018	2.6761	0.0007	4.5456	0.0000	21.2674	0.7628
MSB 7	3.7659	0.0001	2.6324	0.0000	4.4935	0.0000	21.1479	0.7510

Tabela 1 – Tabela com as métricas PSNR e SSIM após modificação de *bits* menos e mais significativos

## 5 Conclusões

Notou-se que nas regiões com predominância de tons mais escuros, a alteração dos MSBs para zero causa poucos ruídos. Já nas regiões mais claras, o ato de zerar os MSBs causa distorções muito perceptíveis, a depender da quantidade de MSBs zerados e das tonalidades predominantes naquela região.

Por meio da análise do SSIM das imagens modificadas, percebeu-se que um número maior de LSBs puderam ser zerados sem grandes consequências nas imagens que apresentam um maior valor de informação espacial, como é o caso das imagens *shutters* e *cairn*. Este comportamento não ocorreu ao utilizar os MSBs.

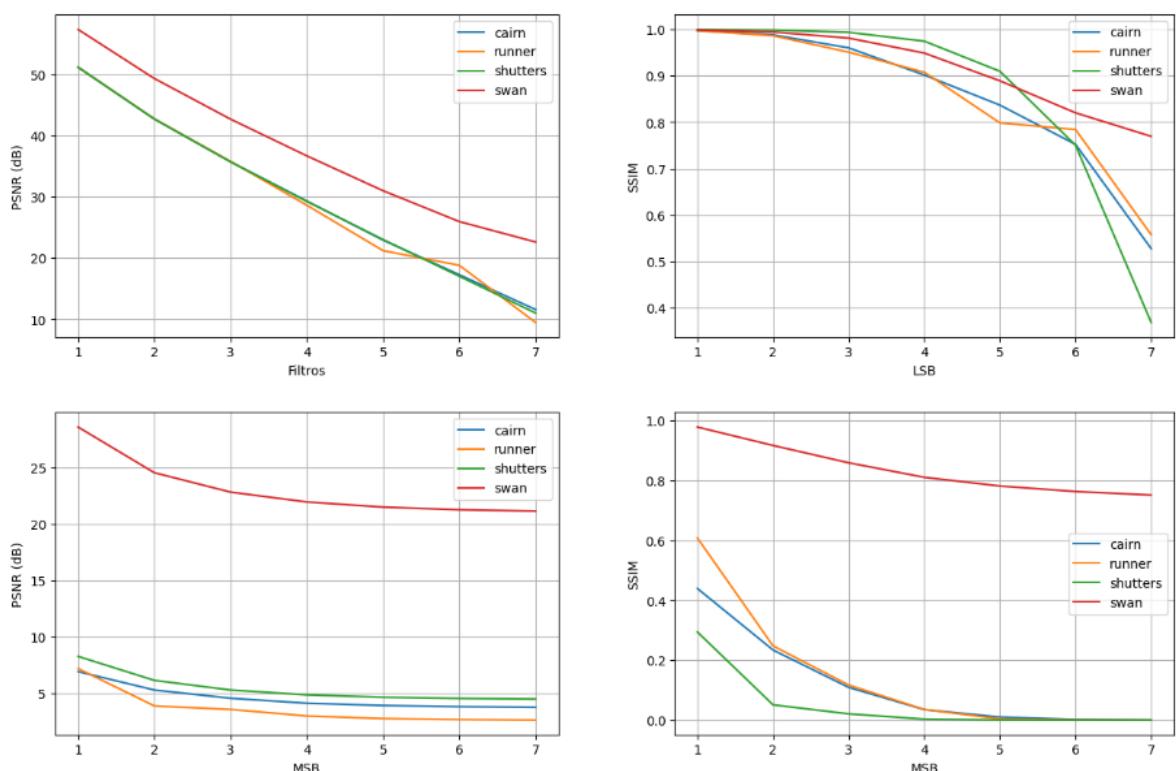


Figura 25 – Gráficos de PSNR e SSIM das imagens com LSBs e MSBs zerados.

## Referências

- ADONIAS, G. et al. Análise objetiva do número de bits menos significativos em esteganografia de imagens digitais. *iSys - Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, v. 10, p. 24–35, 09 2017. Citado na página 7.
- GONZALEZ, R.; WOODS, R. *Processamento Digital De Imagens*. ADDISON WESLEY BRA, 2009. ISBN 9788576054016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=r5f0RgAACAAJ>>. Citado na página 6.
- REGIS, C. D. de M. et al. Design of objective video quality metrics using spatial and temporal informations. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, v. 13, n. 3, p. 790–795, 2015. Citado na página 7.

## A Apêndice A

## B Apêndice B