

TEMA 5 - Resolução Espacial e Resolução de Intensidade

Resolução espacial:

- **Intuitivamente**, a resolução espacial pode ser entendida como **o menor detalhe discernível de uma imagem**.
- **Quantitativamente**, a resolução espacial pode ser determinada de várias maneiras. As mais comuns são:
 - O número de pares de linhas por unidade de distância e
 - *dots (pixels)* por unidade de distância.

A resolução espacial está associada à densidade de pixels da imagem. Quanto menor o intervalo de amostragem da imagem, ou seja, quanto maior a densidade de pixels em uma imagem, maior será a resolução da imagem. É importante notar que uma imagem contendo um grande número de pixels não necessariamente possui resolução espacial maior do que outra contendo menor número de pixels. A resolução espacial ideal para uma imagem é aquela que atende ao grau de detalhes que devem ser discerníveis na imagem para uma dada aplicação ou fim.

Seja, por exemplo, uma imagem $f(x,y)$ representando uma região de 400cm^2 , consistindo em 20 amostras uniformemente espaçadas na direção x e 20 amostras uniformemente espaçadas na direção y . Cada pixel possui uma dimensão de $1\text{cm} \times 1\text{cm}$. Detalhes presentes na imagem menores que a dimensão do pixel não serão **discerníveis!**

Dots por unidade de distância é uma medida de resolução de imagem usada comumente na indústria gráfica. Nos USA, esta medida é expressa como *dots per inch (dpi)*.

Para dar uma idéia de qualidade:

- Os jornais são impressos com uma resolução de 75 dpi,
- As revistas em 133 - 175 dpi e
- O livro do Gonzalez em 2400 dpi.

A figura seguinte ilustra de forma comparativa os efeitos da resolução espacial com respeito ao discernimento de detalhes contidos na imagem.



a b
c d

FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.

A amostragem é o fator determinante da **RESOLUÇÃO ESPACIAL** de uma imagem.

O exemplo a seguir ilustra o conceito de resolução espacial.

Exemplo1: A figura 2.19-DIP2E mostra uma imagem de tamanho 1024x1024 pixels cujos níveis de cinza são representados por 8 bits. As outras imagens mostradas nessa figura são resultantes da sub-amostragem da imagem de tamanho 1024x1024. A sub-amostragem foi realizada através da eliminação de um determinado número de linhas e colunas partindo-se da imagem original. Por exemplo:

- Imagem de 512x512 foi obtida eliminando-se linhas e colunas intercaladas da imagem original de 1024x1024;
- Imagem de 256x256 foi obtida eliminando-se linhas e colunas intercaladas da imagem de 512x512, e assim por diante;
- Em todas elas a escala de níveis de cinza foi mantida em 256;

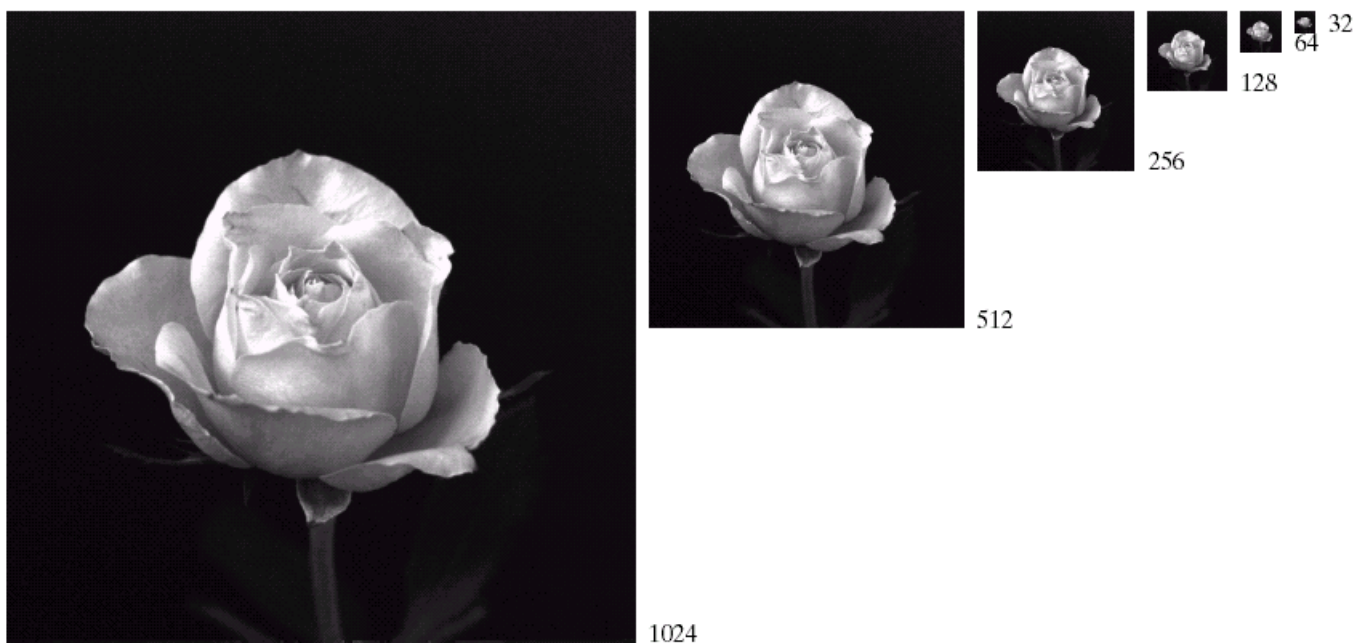
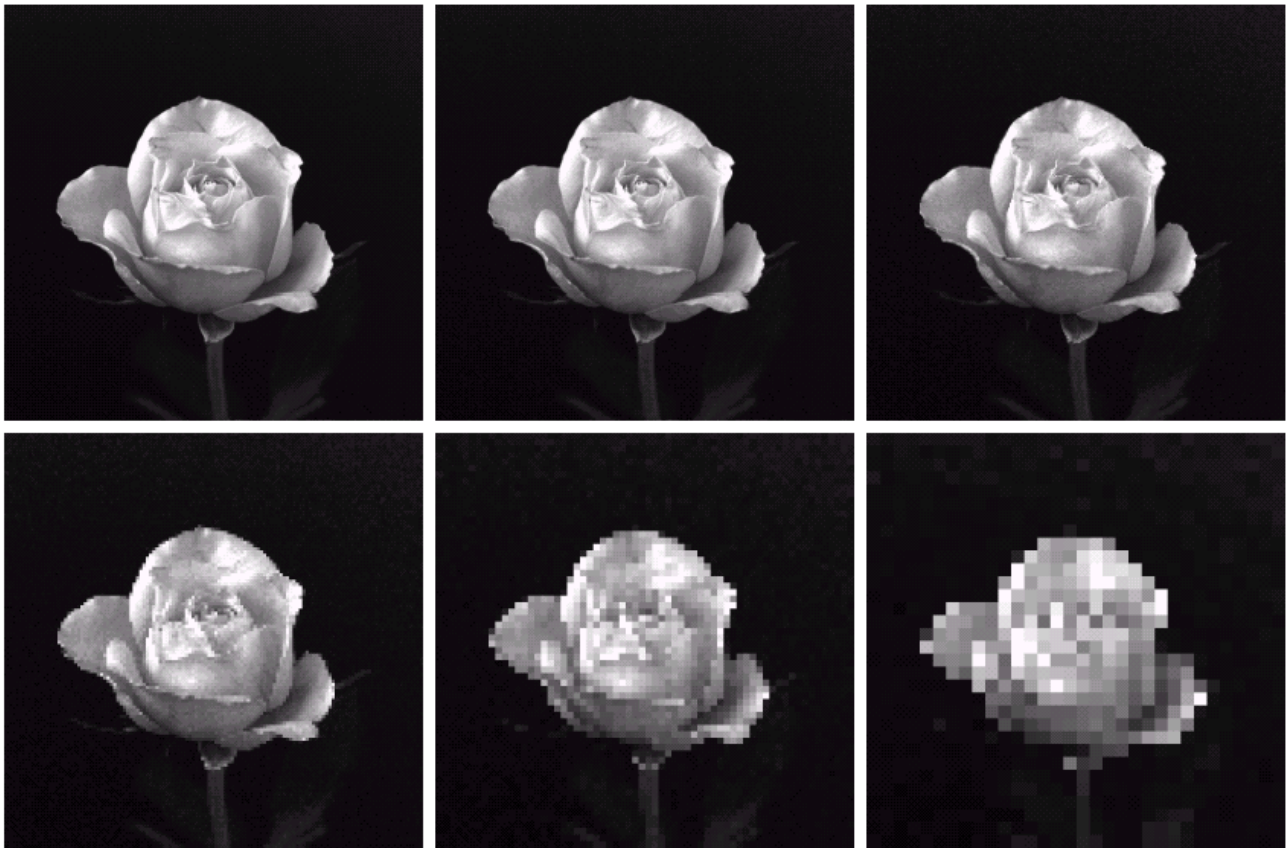


FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

As imagens da figura 2.19-DIP/2E mostram as proporções dimensionais entre várias densidades de amostragem. Entretanto, seus diferentes tamanhos dificultam a visualização dos efeitos da redução da resolução espacial (redução do número de amostras).

O modo mais simples de comparar os efeitos da **sub-amostragem** é fazer com que todas as imagens sub-amostradas tenham o mesmo tamanho da original, 1024x1024 pixels, através da replicação de linhas e colunas.

A figura a seguir (2.20 DIP/2E) mostra o resultado do processamento de replicação de pixels.



| | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

(shrinking_mod.m: reduz a imagem de um fator de 2) pela eliminação de linhas e colunas)

(zooming.m: ilustra a variação da resolução espacial- leva as imagens de diferentes resoluções espaciais para o mesmo tamanho)

(res_espacial.m: reduz a resolução de 1024×1024 a 32×32)

- É virtualmente impossível dizer que as imagens (a) e (b) diferem. O nível de detalhes perdido não é visível na página impressa;
- Na imagem de 256×256 já se percebe um padrão de tabuleiro de xadrez nas bordas entre as pétalas e o fundo preto e uma granularidade levemente pronunciada já começa a aparecer;
- Esses efeitos são mais visíveis na imagem de 128×128 na figura (d) e tornam-se ainda mais pronunciadas nas imagens de 64×64 (e) e 32×32 (f), respectivamente;

🔗 Implementação no Matlab: redução da resolução espacial por um fator de 2, através da eliminação de colunas e linhas

```
%=====
% redução de um fator de 2
%=====
I=imread('nome da imagem.xxx');
[M N]=size(I);
M1=M/2;
N1=N/2;
RC= im2uint8(zeros(M,N1));
S1=im2uint8(zeros(M1, N1));
%eliminando colunas pares:
for c=1:2:N
    cc=uint16(c/2);
    RC(:,cc)=I(:,c);
end
%eliminando linhas pares:
for r=1:2:M
    rr=uint16(r/2);
    S1(rr,:)=RC(r,:);
end
```

🔗 Implementação no Matlab: ampliação de um fator de 2 através da replicação de colunas e linhas

```
%=====
% ampliação de um fator de 2
%=====
I=imread('nome da imagen.xxx');
[M N]=size(I);
S= zeros(M,(2*N));
SS=zeros((M*2), (N*2));
%replicando colunas
for c=1:1:N
    S(:,2*c)=I(:,c);
    S(:,(2*c-1))=S(:,2*c);
end
%replicando linhas:
for r=1:1:M
    SS(2*r,:)=S(r,:);
    SS((2*r-1),:)=SS(2*r,:);
End
```


Resolução de Intensidade ou de profundidade ou de nível de cinza ou de contraste – De forma similar a conceituação de resolução espacial, a **Resolução de intensidade** refere-se a **menor mudança de intensidade discernível**.

*Há que se observar que, o discernimento de mudanças de intensidade é um processo altamente **subjetivo**!!*

Exemplo 2- Esse exemplo ilustra o conceito de resolução de intensidade. Nele, reduzimos o número de níveis de cinza da imagem de 256 até 2, em intervalos inteiros de potência de 2 ($2^8=256 \Rightarrow 2^7=128 \Rightarrow 2^6=64 \Rightarrow 2^5=32 \Rightarrow 2^4=16 \Rightarrow 2^3=8 \Rightarrow 2^2=4 \Rightarrow 2^1=2$). A resolução espacial (ou seja, o número de amostras) foi mantida constante e igual a 452x374 pixels.

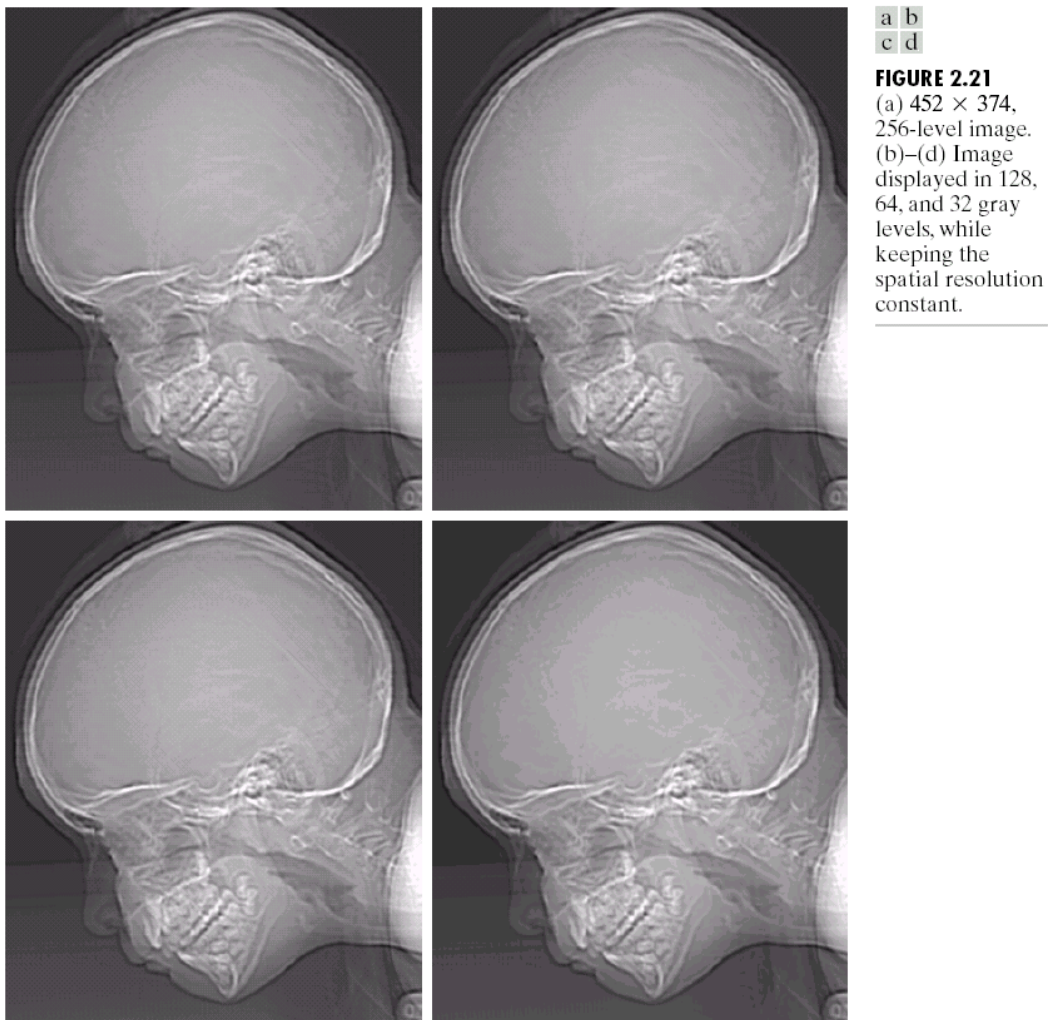
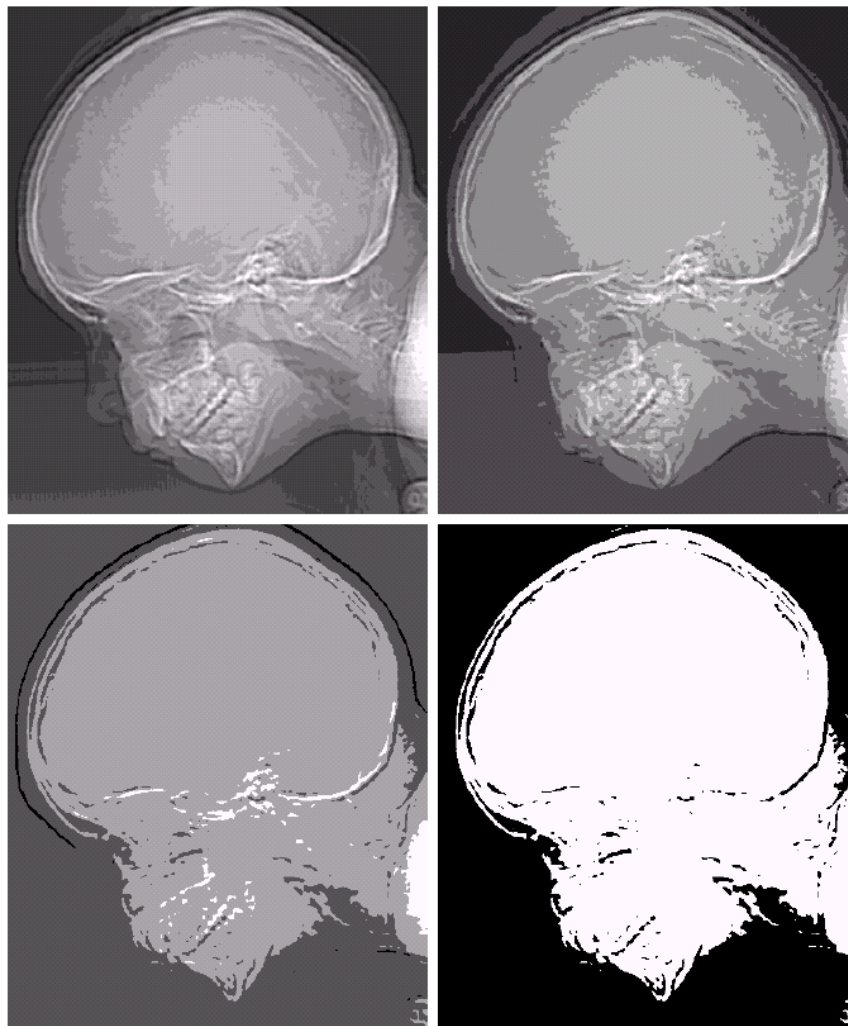


FIGURE 2.21
(a) 452 × 374, 256-level image.
(b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

- As imagens de 256 128 e 64 níveis de cinza são visualmente idênticas para todos os propósitos práticos;
- A imagem de 32 níveis de cinza desenvolveu um conjunto quase imperceptível de sulcos muito finos nas áreas de níveis de cinza suaves (área do crânio).

e f
g h

FIGURE 2.21
(Continued)
(e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



(res_profundidade.m: reduz a resolução de profundidade de 256 para 128,64,32,16,8,4,e 2, respectivamente)

- O leve efeito apresentado pela imagem de 32 níveis de cinza se acentua nas imagens de 16, 8, 4 e 2. Ele é causado por um número insuficiente de níveis de cinza em áreas “suaves” da imagem. Esse efeito é denominado de **falso contorno**. É mais visível em imagens que usam 16 níveis de cinza ou menos, como as imagens (e) e (h).

Para a resolução de intensidade não há mais muitas observações a serem feitas, a não ser que, baseado em considerações de hardware, os níveis de cinza são em geral um inteiro, potência de 2. O número mais comum é 8 bits (256 níveis), com 16 bits sendo usado em algumas aplicações específicas e 24 bits sendo utilizado raramente.

☞ Com regra geral, imagens de 256x256 pixels e 64 níveis de cinza apresentam os valores de resolução espacial e de nível de cinza limites para as quais se espera que estejam livres dos efeitos de tabuleiro de xadrez e de falso contorno.



Disciplina: Processamento Digital de Imagens
NOTAS DE AULA

👉 Implementação no Matlab: redução de nível de cinza de uma imagem pela metade

```
%=====
%redução de 256 níveis de cinza para 128
%=====
I=imread('ct_image.jpg');
[M N]=size(I);
S=im2uint8(zeros(M,N));
for r=1:M
    for c=1:1:N
        S(r,c)=I(r,c)/2;
    end
end
```

Referência bibliográfica:

Digital image processing – 3th edition – Gonzalez and Woods, 2008.