

# **SI040: Computação Gráfica**

## Aula 10 – Dithering

**Vicente H. F. Batista**

Sistemas de Informação  
Faculdade Paraíso do Ceará  
Juazeiro do Norte, 2011

# Andamento do curso

- Introdução à Computação Gráfica
- Fundamentos de cor
- Sistemas e dispositivos gráficos
- Representação vetorial e matricial
- Introdução ao processamento de imagens digitais
- Geometria euclideana, afim e projetiva
- Representação de objetos gráficos
- Modelos de iluminação
- Traçado de raios
- Visualização
- Recorte
- Visibilidade
- Rasterização
- Métodos de colorização
- Mapeamento de textura

# Andamento do curso

- Introdução à Computação Gráfica
- Fundamentos de cor
- Sistemas e dispositivos gráficos
- Representação vetorial e matricial
- **Introdução ao processamento de imagens digitais**
- Geometria euclideana, afim e projetiva
- Representação de objetos gráficos
- Modelos de iluminação
- Traçado de raios
- Visualização
- Recorte
- Visibilidade
- Rasterização
- Métodos de colorização
- Mapeamento de textura

# Motivação

O processo de quantização provoca o aparecimento de descontinuidades acentuadas entre tons diferentes na imagem

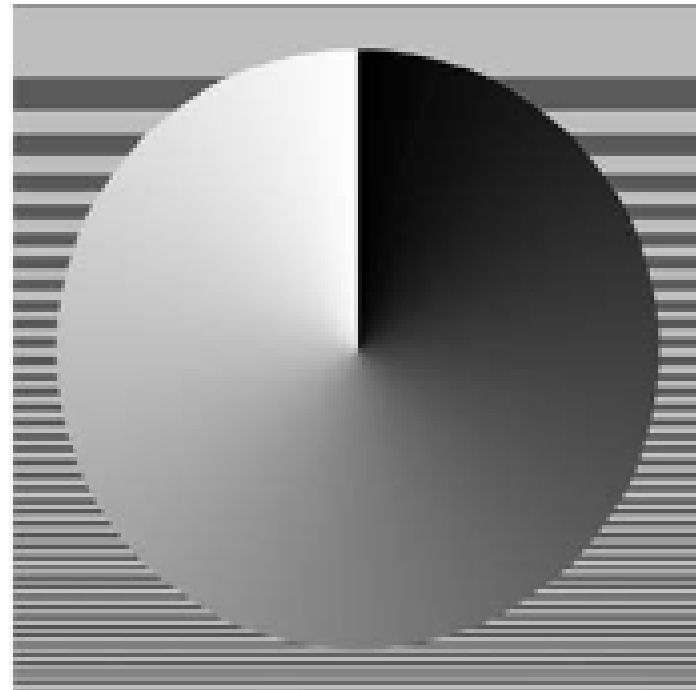
Isto fica ainda mais perceptível em quantizações em 2 níveis

# Motivação

O processo de quantização provoca o aparecimento de descontinuidades acentuadas entre tons diferentes na imagem

Isto fica ainda mais perceptível em quantizações em 2 níveis

- Como possibilitar a representação de gradientes de intensidades?



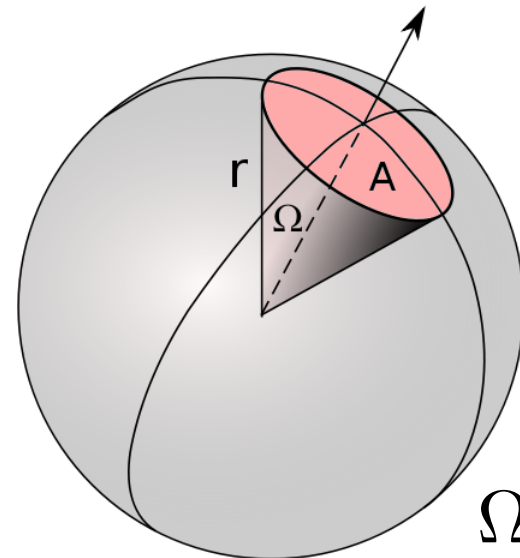
# Dithering: ilusão de ótica?

O campo de visão humano é de  $150^\circ$  na horizontal e de  $120^\circ$  na vertical

# Dithering: ilusão de ótica?

O campo de visão humano é de  $150^\circ$  na horizontal e de  $120^\circ$  na vertical

Nosso sistema visual faz uma média das cores dentro de um ângulo sólido de  $1/60^\circ$  (*ângulo de acuidade visual*)



$$\Omega = A/r^2$$

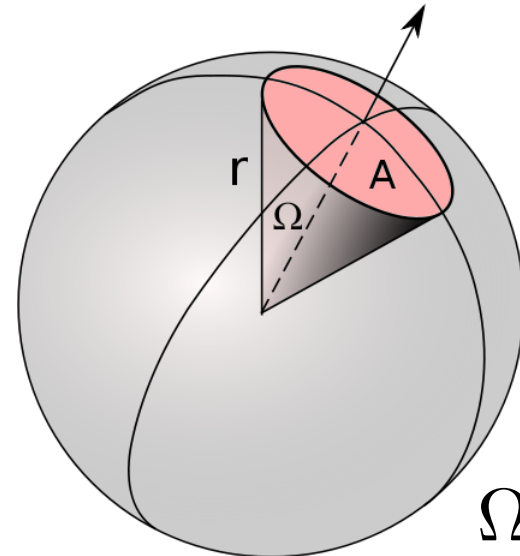
# Dithering: ilusão de ótica?

O campo de visão humano é de  $150^\circ$  na horizontal e de  $120^\circ$  na vertical

Nosso sistema visual faz uma média das cores dentro de um ângulo sólido de  $1/60^\circ$  (*ângulo de acuidade visual*)

Assim, é possível perceber cores inexistentes, de modo individual, em uma cena

Logo, o importante é o *meio tom*



$$\Omega = A/r^2$$



# Dithering: ilusão de ótica?

A percepção de detalhes em uma imagem depende então de 3 parâmetros:

- Distância da imagem ao olho
- Densidade de resolução
- Abertura do olho

# Dithering: ilusão de ótica?

Fisicamente, o que podemos fazer para aumentar a resolução perceptual?

# Dithering: ilusão de ótica?

Fisicamente, o que podemos fazer para aumentar a resolução perceptual?

- Exibir a imagem em dispositivo com maior densidade de resolução (ppi: **p**ixels **p**er **i**inch)

# Dithering: ilusão de ótica?

Fisicamente, o que podemos fazer para aumentar a resolução perceptual?

- Exibir a imagem em dispositivo com maior densidade de resolução (ppi: **p**ixels **p**er **i**inch)
- Observar a imagem a uma distância maior

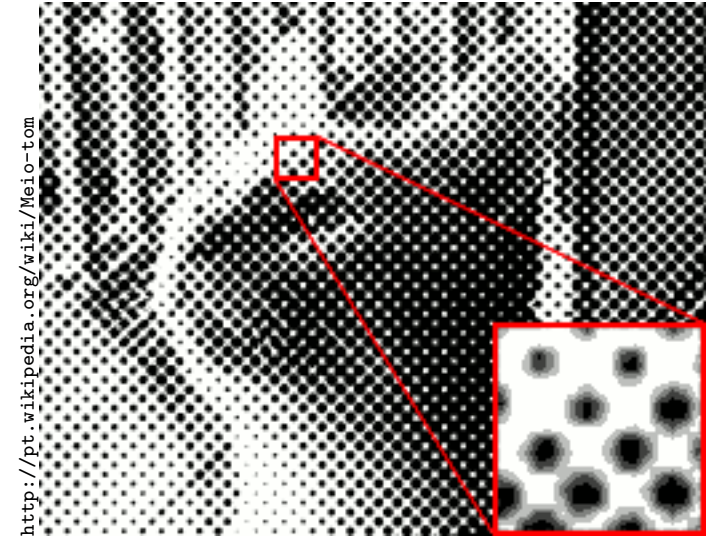
# Dithering: ilusão de ótica?

Fisicamente, o que podemos fazer para aumentar a resolução perceptual?

- Exibir a imagem em dispositivo com maior densidade de resolução (ppi: **p**ixels **p**er **i**inch)
- Observar a imagem a uma distância maior
- Observar a imagem com o olho um pouco mais fechado

# Origens

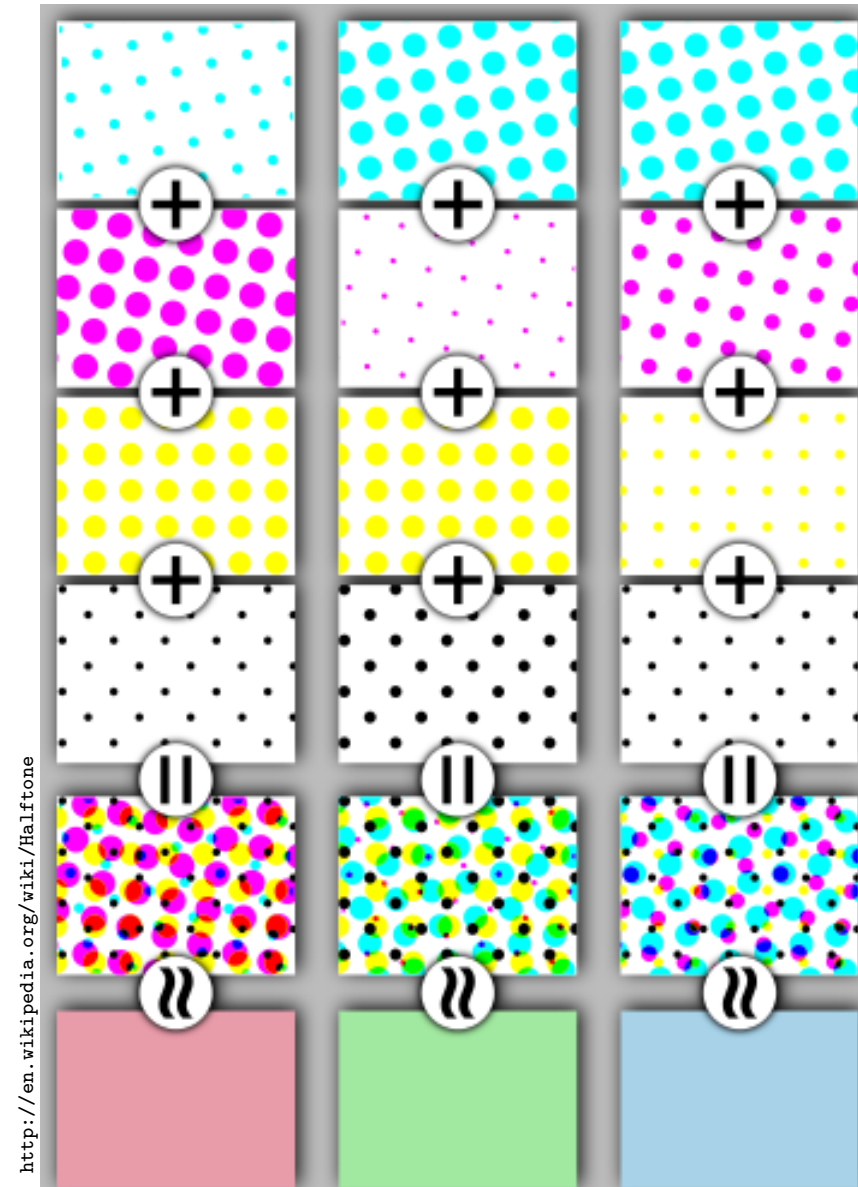
Desde o século passado, a ideia de usar o meio tom para reproduzir escalas contínuas de cinza tem sido utilizada pela indústria de impressão (jornais, revistas, etc.)



# Origens

Desde o século passado, a ideia de usar o meio tom para reproduzir escalas contínuas de cinza tem sido utilizada pela indústria de impressão (jornais, revistas, etc.)

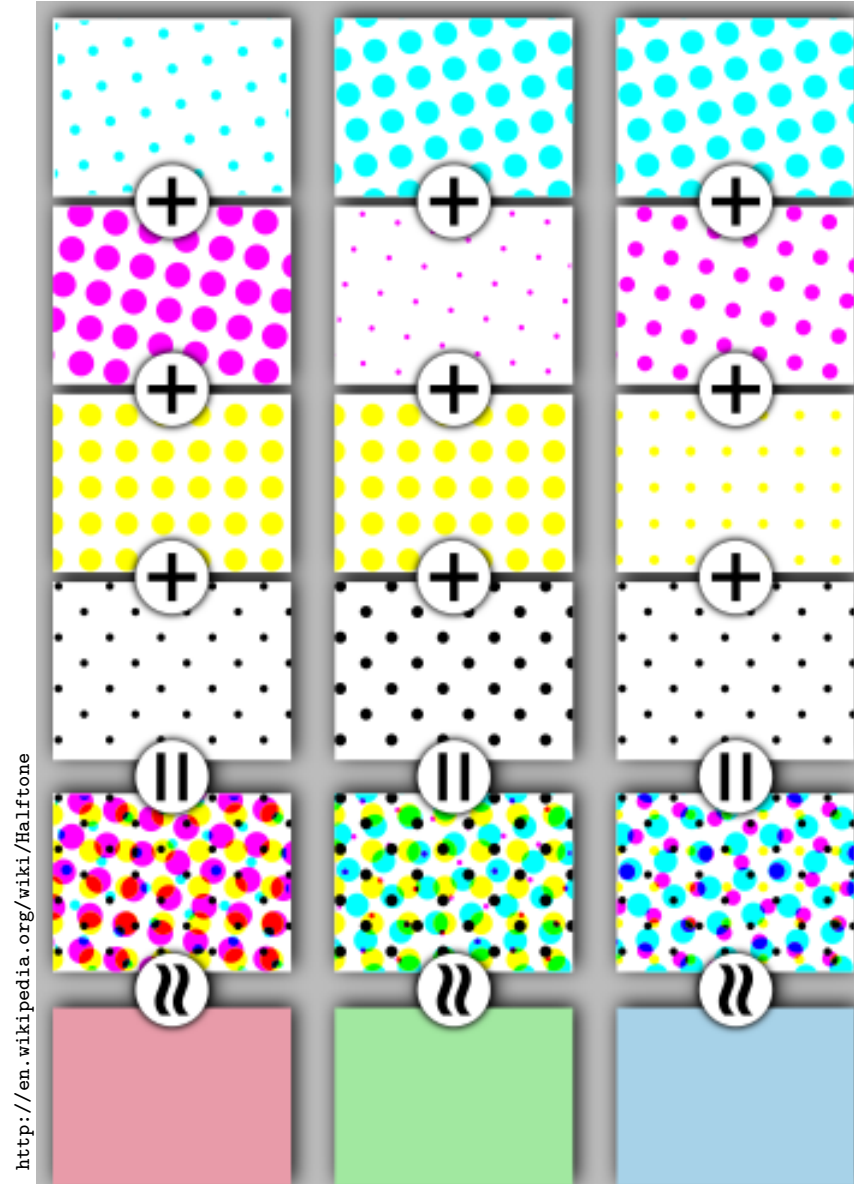
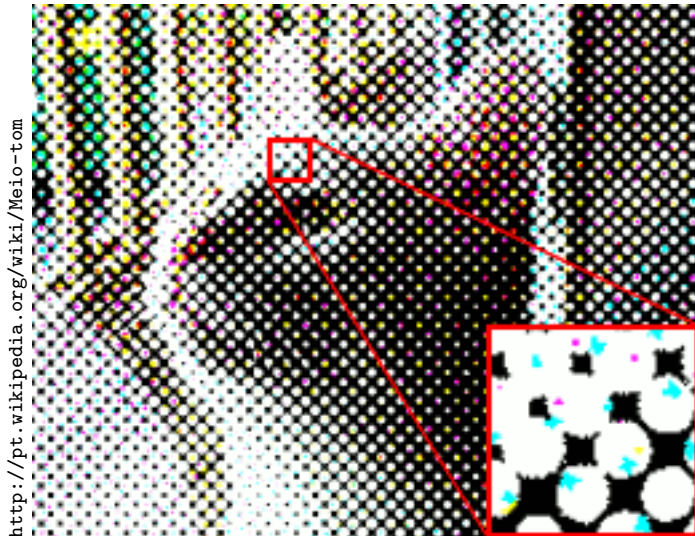
Para imagens coloridas, as cores primárias são sobrepostas em ângulos diferentes



# Origens

Desde o século passado, a ideia de usar o meio tom para reproduzir escalas contínuas de cinza tem sido utilizada pela indústria de impressão (jornais, revistas, etc.)

Para imagens coloridas, as cores primárias são sobrepostas em ângulos diferentes





# Métodos de dithering

Um método de *dithering* é caracterizado por uma função limiar  $L(x, y)$  cujo valor **não** é constante no interior da imagem

Realizar uma quantização de 8 *bits* em escala de cinza para dois níveis com limiar constante é equivalente a fazer  $L(x, y) = k$ , para  $k \in \{0, 1, \dots, 255\}$  fixo:

# Métodos de dithering

Um método de *dithering* é caracterizado por uma função limiar  $L(x, y)$  cujo valor **não** é constante no interior da imagem

Realizar uma quantização de 8 *bits* em escala de cinza para dois níveis com limiar constante é equivalente a fazer  $L(x, y) = k$ , para  $k \in \{0, 1, \dots, 255\}$  fixo:



# Métodos de dithering

Os métodos de dithering podem ser classificados segundo o tipo de sua função limiar:

- Determinístico ou aleatório
- Com aglomeração ou com dispersão
- Periódico ou aperiódico

# Modulação aleatória

Este método consiste em inserir uma perturbação na função limiar

# Modulação aleatória

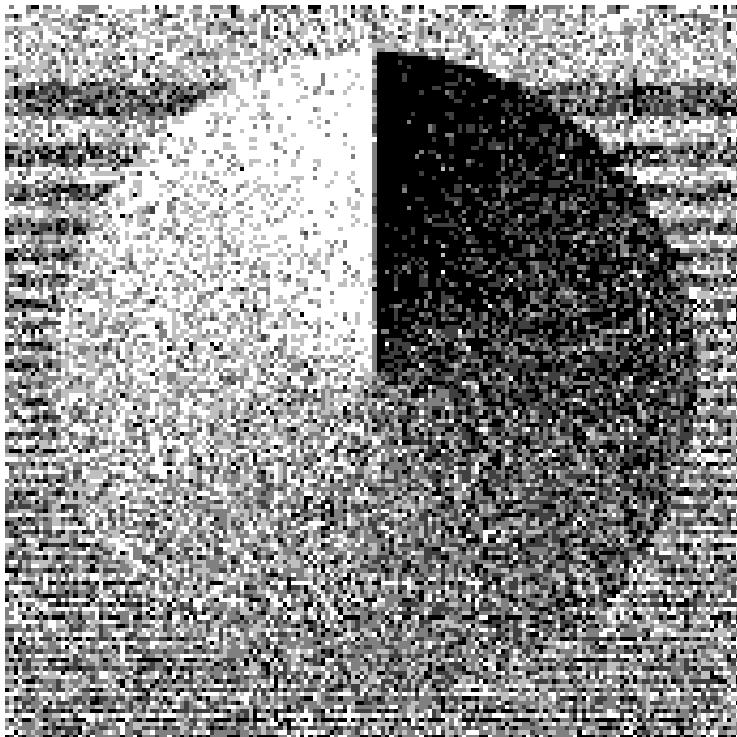
Este método consiste em inserir uma perturbação na função limiar

O valor da perturbação é escolhido uniformemente no intervalo de intensidades da imagem

# Modulação aleatória

Este método consiste em inserir uma perturbação na função limiar

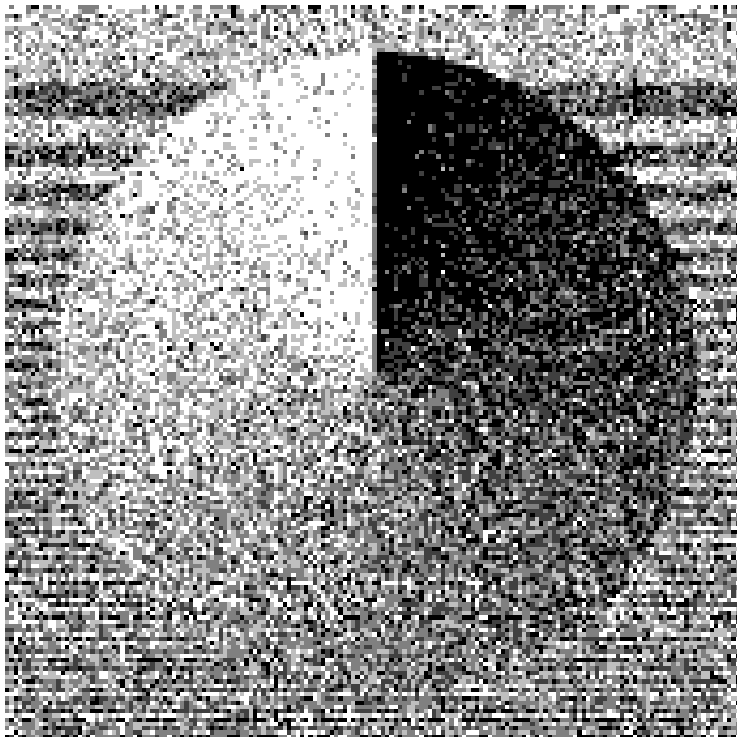
O valor da perturbação é escolhido uniformemente no intervalo de intensidades da imagem



# Modulação aleatória

Este método consiste em inserir uma perturbação na função limiar

O valor da perturbação é escolhido uniformemente no intervalo de intensidades da imagem



Introduz um ruído branco

# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*



# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*

Uma célula com  $n \times n$  *pixels* consegue representar  $n^2 + 1$  níveis de cinza

# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*

Uma célula com  $n \times n$  *pixels* consegue representar  $n^2 + 1$  níveis de cinza

35	30	18	22	31	36
29	15	10	17	21	32
14	9	5	6	16	20
13	4	1	2	11	19
28	8	3	7	24	25
34	27	12	23	26	33

35	30	18	22	31	36
29	15	10	17	21	32
14	9	5	6	16	20
13	4	1	2	11	19
28	8	3	7	24	25
34	27	12	23	26	33

37 níveis  $(\frac{0}{36}, \frac{1}{36}, \dots, \frac{36}{36})$  e valor médio 17,5

# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*

Uma célula com  $n \times n$  *pixels* consegue representar  $n^2 + 1$  níveis de cinza

35	30	18	22	31	36
29	15	10	17	21	32
14	9	5	6	16	20
13	4	1	2	11	19
28	8	3	7	24	25
34	27	12	23	26	33

35	30	18	22	31	36
29	15	10	17	21	32
14	9	5	6	16	20
13	4	1	2	11	19
28	8	3	7	24	25
34	27	12	23	26	33

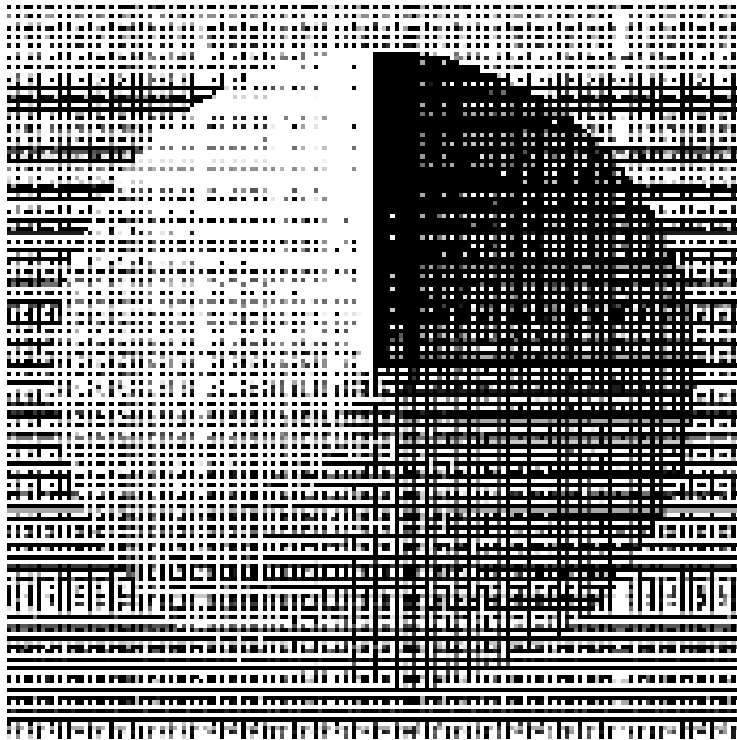
Comparar  
intensidades  
normalizadas  
entre 0 e 1

37 níveis  $(\frac{0}{36}, \frac{1}{36}, \dots, \frac{36}{36})$  e valor médio 17,5

# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*



# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*

A densidade de células, denominada *frequência de tela*, é medida em *linhas por polegada* (lpi)

Bons resultados são alcançados com 120 e 150 lpi

# Periódico com aglomeração

Também conhecido por *dithering ordenado* com aglomeração

Particiona a imagem em blocos contíguos de ordem  $n$ , as *células de dithering*

A densidade de células, denominada *frequência de tela*, é medida em *linhas por polegada* (lpi)

Bons resultados são alcançados com 120 e 150 lpi



5 lpi



10 lpi



20 lpi

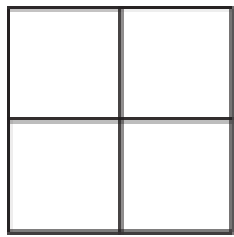
# Periódico com dispersão

Conhecido como dithering de Bayer

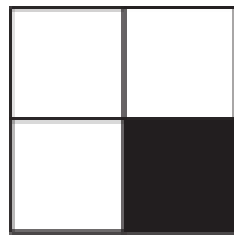
# Periódico com dispersão

Conhecido como dithering de Bayer

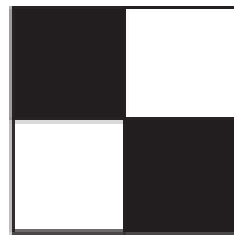
A célula de Bayer de ordem 2 possui 5 níveis



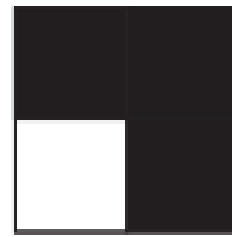
0



1



2



3



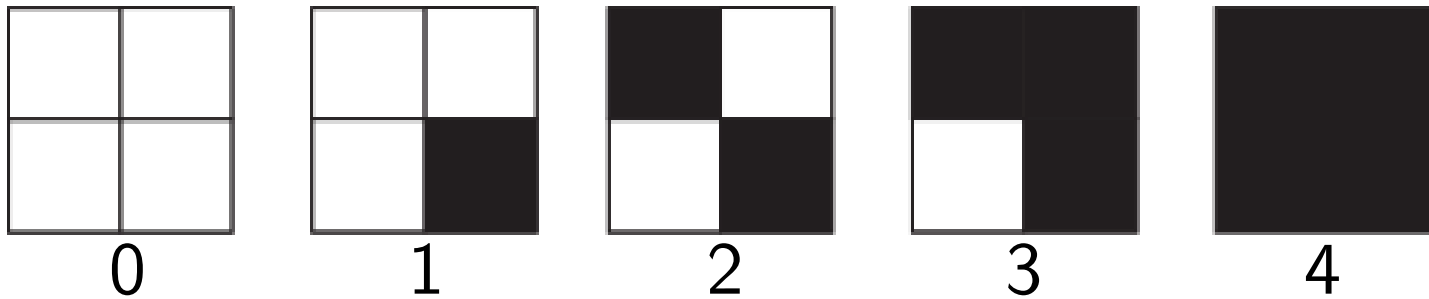
4



# Periódico com dispersão

Conhecido como dithering de Bayer

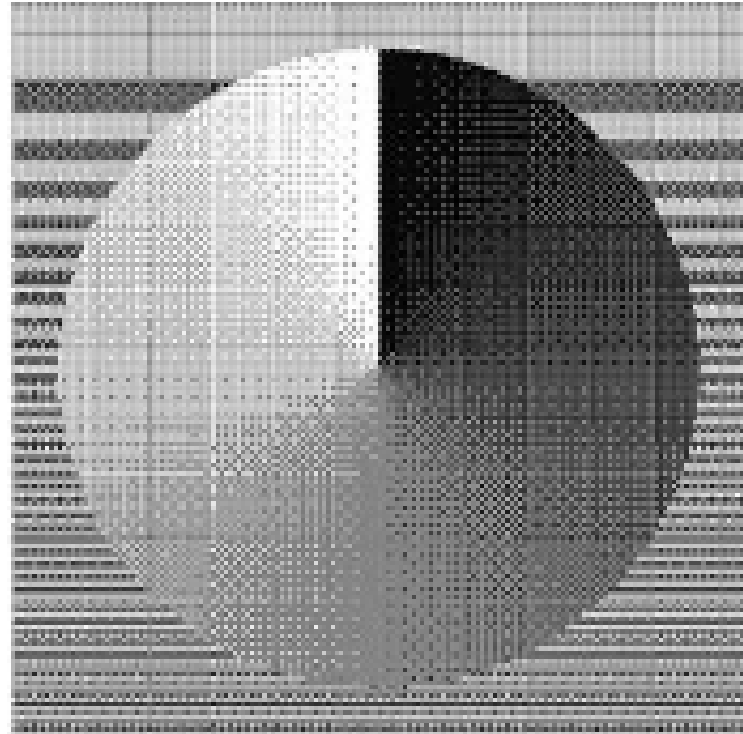
A célula de Bayer de ordem 2 possui 5 níveis



Por exemplo, uma intensidade normalizada com valor de 1,7 deverá ser quantizada para a célula 2

# Periódico com dispersão

Conhecido como dithering de Bayer



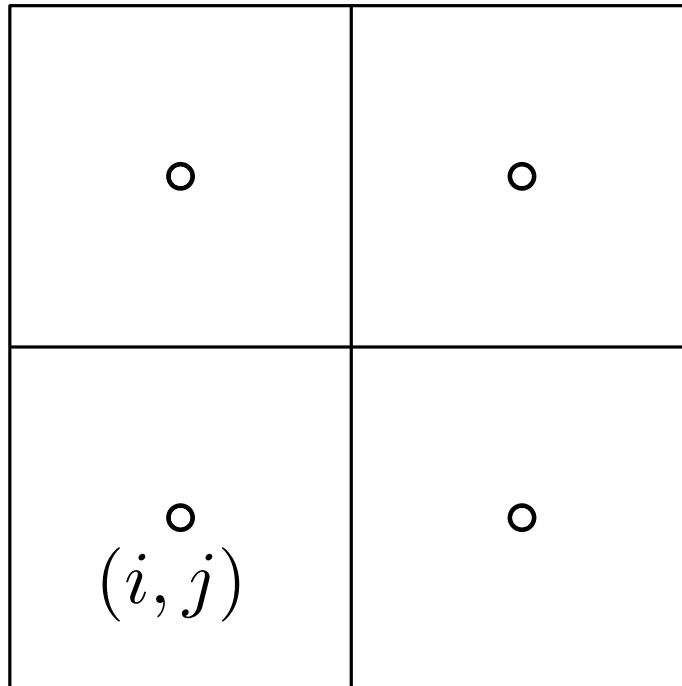
# **Não-periódico com dispersão**

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)

# Não-periódico com dispersão

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)

Busca minimizar o erro global de quantização por meio da propagação de erro aos pixels vizinhos



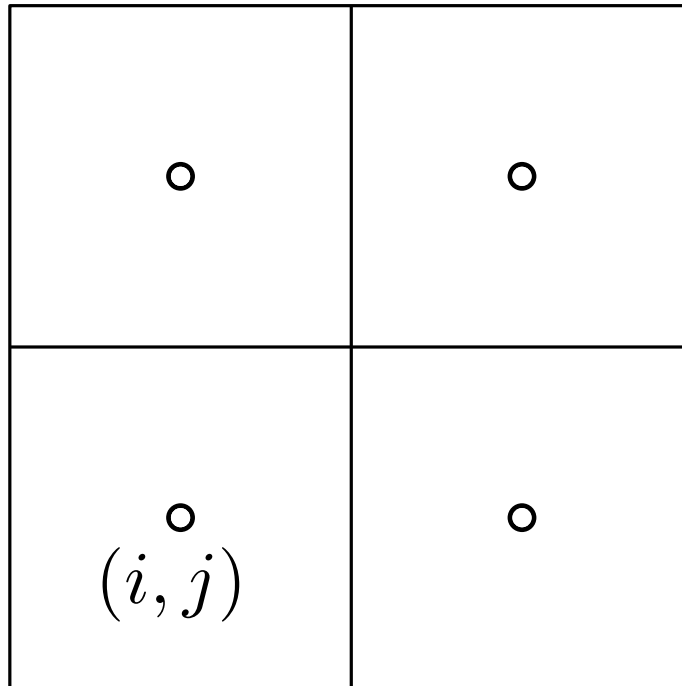
# Não-periódico com dispersão

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)

Busca minimizar o erro global de quantização por meio da propagação de erro aos pixels vizinhos

$$c = f(i, j)$$

$$\epsilon = c - q(c)$$



# Não-periódico com dispersão

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)

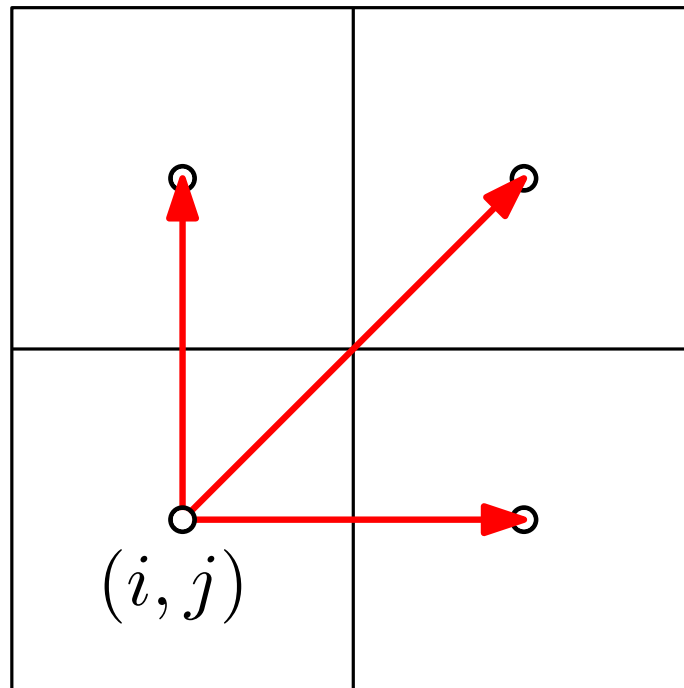
Busca minimizar o erro global de quantização por meio da propagação de erro aos pixels vizinhos

$$f(i, j + 1) = f(i, j + 1) + \frac{3}{8}\epsilon$$

$$f(i + 1, j + 1) = f(i + 1, j + 1) + \frac{2}{8}\epsilon$$

$$c = f(i, j)$$

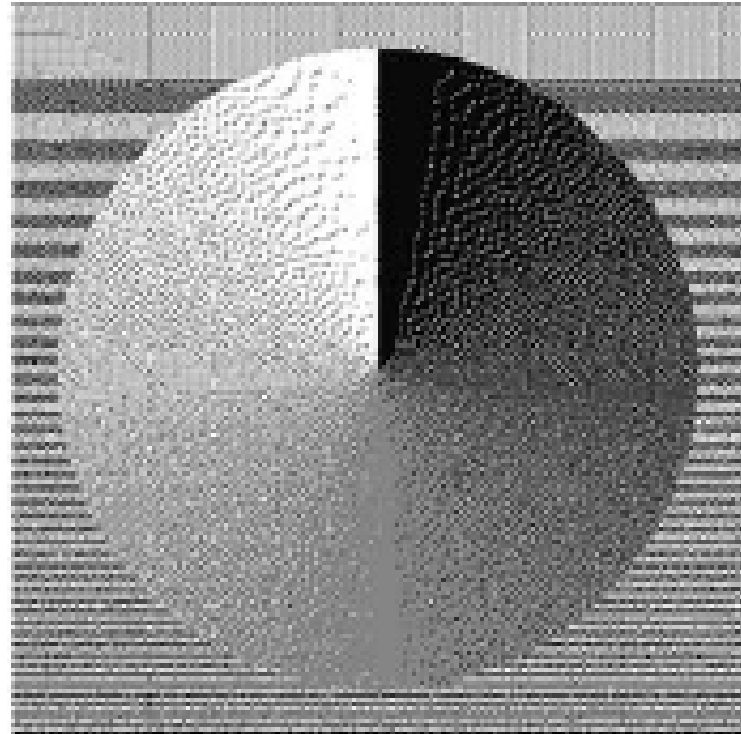
$$\epsilon = c - q(c)$$



$$f(i + 1, j) = f(i + 1, j) + \frac{3}{8}\epsilon$$

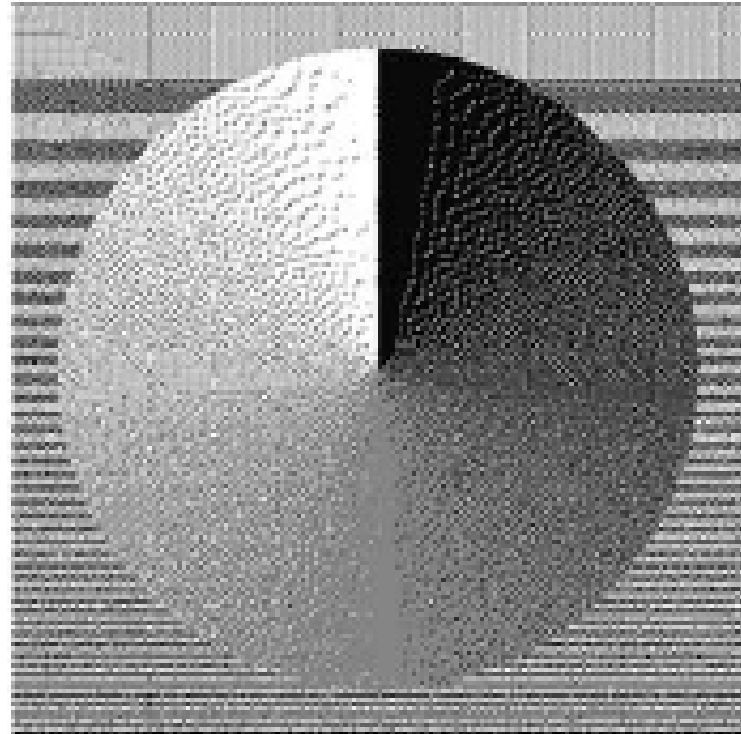
# Não-periódico com dispersão

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)



# Não-periódico com dispersão

Conhecido como algoritmo de Floyd-Steinberg (1975)



A propagação do erro na diagonal provoca o aparecimento de um padrão nesta direção



# Comparação dos métodos

original



# Comparação dos métodos

original



constante



# Comparação dos métodos

original



constante



aleatório



# Comparação dos métodos

original



constante



aleatório



periódico c/  
aglomeração

# Comparação dos métodos

original



constante



aleatório



periódico c/  
aglomeração



Bayer

# Comparação dos métodos

original



constante



aleatório



periódico c/  
aglomeração



Bayer



Floyd-  
Steinberg