

0050707122

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Telecomunicações
e Controle

ISSN 1517-3550

BT/PTC/0001

Alguns Aspectos de Visão
Multiescala e Multiresolução

João E. Kogler Júnior

Márcio Rillo

São Paulo – 2000

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por João E. Kogler Júnior, sob orientação do Prof. Dr. Márcio Rillo.: "Alguns Aspectos de Visão Multiescala e Multiresolução", defendida em 27/11/98, na Escola Politécnica.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Kogler Júnior, João E

Alguns aspectos de visão multiescala e multiresolução / J.E. Kogler Júnior, M. Rillo. -- São Paulo : EPUSP, 2000.

12 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, BT/PTC/0001)

1. Visão artificial 2. Imagens – Processamento 3. Inteligência artificial I. Rillo, Márcio II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle III. Título IV. Série

ISSN 1517-3550

CDD 006.37
621.367
006.3

Alguns aspectos de visão multiescala e multiresolução

João E. Kogler Jr., Márcio Rillo

14 de Setembro de 1998

Resumo

Os métodos de análise de imagens em multiescala e multiresolução constituem metodologias de representação. Uma *representação* é um sistema formal construído de modo a tornar explícitos certos tipos de informação. A aplicação de uma dada representação produz uma *descrição*. Por exemplo, o espectro de um dado sinal constitui uma descrição do mesmo usando a representação provida pela análise de Fourier, que torna explícitas as periodicidades do sinal. O termo *processo* refere-se à execução de alguma transformação. No exemplo da análise de Fourier, refere-se à transformação de uma representação espacial, em uma representação no domínio das frequências. Seguindo o raciocínio apresentado por Marr, a análise de um processo envolve três níveis: (i) uma *teoria computacional*, (ii) uma *metodologia representacional* e (iii) uma *tecnologia de implementação*. A teoria computacional caracteriza o processo em termos pragmáticos, quanto aos seus objetivos e utilidade (por quê e para quê se efetua a computação envolvida no processo). A metodologia representacional se ocupa de prover representações para os objetos e as transformações envolvidas no processo (sobre o quê e como se faz a transformação). A tecnologia de implementação provê os meios para se realizar fisicamente o processo (refere-se ao engenho ou organismo que executa fisicamente o processo).

Neste artigo faremos uma breve revisão dos conceitos fundamentais na análise multiescala e multiresolução de informações visuais. Discutiremos inicialmente alguns aspectos práticos que conduzem a esse tipo de abordagem e, em seguida, faremos uma breve revisão dos conceitos de escala e resolução. Analisaremos, então, aspectos da amostragem de imagens à luz desses conceitos. Essa discussão serve de base para a introdução de idéias acerca de análise multiresolução e multiescala.

1 Considerações práticas

Este trabalho é dirigido para aplicações em visão de máquina; todavia, os conceitos através dele gerados aplicam-se, em princípio, à modelagem de visão biológica. Como exemplo de visão artificial, seja o caso de uma aplicação em que um robô executa a manipulação de um objeto. A figura 1.a representa uma situação típica, em uma célula flexível de montagem, utilizada em manufatura industrial. A figura 1.b mostra esquematicamente os elementos envolvidos nessa aplicação. O planejamento e controle da trajetória do braço manipulador envolvem o conhecimento da posição e orientação da peça a ser manipulada. As câmeras indicadas na fig. 1.a são as fontes de informações visuais, sendo uma delas fixa sobre a esteira e a outra dinamicamente posicionada por um braço robótico. As imagens fornecidas por essas câmeras são processadas separadamente. O problema visual a ser resolvido compreende a seleção dos atributos visuais interessantes e a sua fusão em uma descrição consistente, contendo as informações pertinentes à execução da tarefa de montagem.

A visão requer processamento de alto desempenho, geralmente em tempo real. Esse requisito é seriamente comprometido pela complexidade dos problemas, que pode ser analisada sob três aspectos: (i) complexidade espacial, (ii) complexidade temporal e (iii) complexidade estrutural. A complexidade espacial refere-se à armazenagem dos dados na memória. A complexidade temporal corresponde ao número de operações elementares sobre os dados na execução do algoritmo. A complexidade estrutural diz respeito à forma como os dados estão estruturados em função da organização espacial da informação. O conteúdo semântico de uma imagem é composto de elementos organizados segundo uma estrutura de ordem parcial e hierárquica. Essa hierarquia pode ser entendida decompondo-se a cena em objetos, estes em regiões e atributos visuais locais (texturas, bordas, etc), até se chegar aos componentes mais elementares da imagem (*pixels*). A complexidade estrutural advém do fato dessa decomposição não ser única, dependendo de uma série de fatores e critérios. A decomposição ótima, do ponto de vista de custo, busca minimizar as redundâncias. Essa é uma das metas dos métodos multiescala e multiresolução (MSMR).

Os algoritmos que manipulam dados circunscritos a pequenas vizinhanças, usando apenas conhecimento local são, geralmente, mais eficientes. O emprego de vizinhanças muito grandes, piora o desempenho ¹. Esse princípio é naturalmente satisfeito pelos algoritmos que extraem *atributos locais* da imagem (p.ex. bordas, texturas, tonalidade). Todavia, em geral o interesse maior recai sobre os ditos *atributos globais* dos objetos e regiões da imagem (p.ex. contornos, áreas, centróides, momentos, forma, etc). Em geral é difícil a inclusão de elementos globais em um modelo algorítmico projetado para operar com conhecimento estritamente local (e esse é o caso dos campos markovianos). Por exemplo, na construção um modelo de um contorno de um objeto a partir de bordas locais de intensidade, o grande desafio

¹A complexidade depende polinomialmente do tamanho da estrutura espacial de dados (Complexidade *PSPACE*) [10], [1].

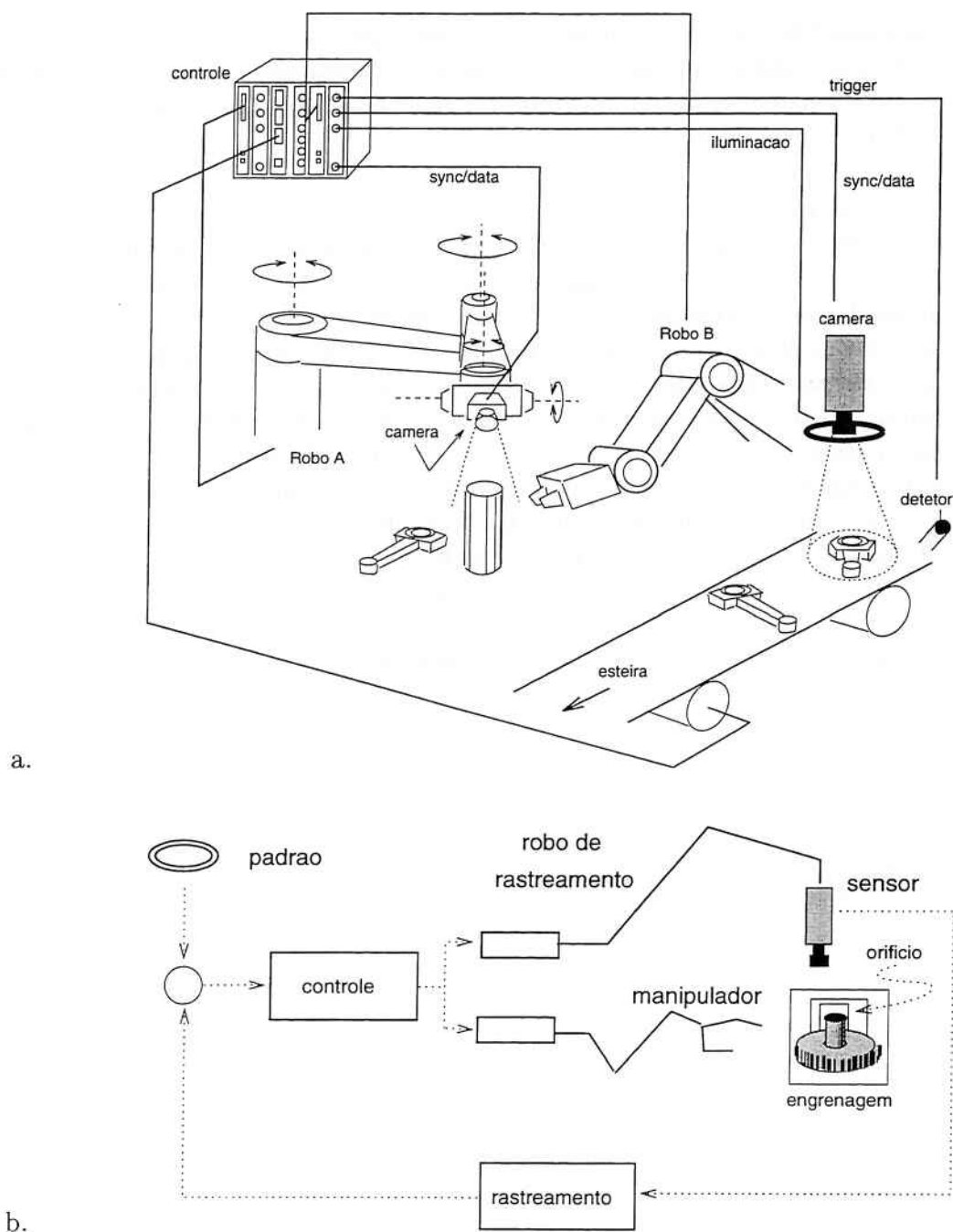


Figura 1: **Servo-visão em manipuladores robóticos.**(a) Uma célula flexível de montagem. O robô B executa as montagens e recebe informações visuais da câmera que se move com o robô A e do sistema de visão sobre a esteira. (b) Esquema do controle da trajetória do manipulador envolvendo o posicionamento dinâmico da câmera pelo robô A. O sistema recebe uma descrição de um padrão de referência a ser rastreado pela câmera (no caso a descrição do orifício vazado no eixo da engrenagem). Esse problema foi estudado por Nelson, Papanikopoulos e Khosla (1996) [7].

é como especificar o agrupamento dessas bordas de modo a refletir um contorno com as características globais esperadas. Um tipo de modelo que pode ser empregado

para esse fim é fornecer um molde, ou protótipo, do contorno, que possa ser deformado e ajustado às bordas locais. Entretanto, ainda assim haverá problemas quanto ao posicionamento inicial do protótipo, sua movimentação iterativa, sua aderência às bordas relevantes, etc.

As representações MSMR oferecem uma forma natural de integrar atributos locais e globais utilizando estruturas que empregam apenas conhecimento local, em diferentes escalas. Por exemplo, no caso da aplicação em montagem industrial, da figura 1, uma estratégia MSMR para orientar a navegação da garra do robô em direção ao objeto a ser manipulado, seria feita em duas etapas: (i) aproximação da garra para alcançar o alvo e, (ii) posicionamento fino da garra para estabelecer contacto físico com o objeto. Na etapa (i), utiliza-se imagens em escala grande e baixa resolução. Na etapa (ii) passa-se a uma escala pequena e alta resolução. A aproximação da garra não requer resolução muito grande, pois a precisão requerida é apenas o suficiente para permitir que o braço do robô desvie de obstáculos, tentando-se manter a garra a vários centímetros distante de outras superfícies. Já a fase de tocar o objeto requer contacto com outras superfícies, necessitando-se portanto de maior precisão posicional. Porém, nessa etapa usa-se imagens enquadrando apenas a região de aproximação imediata, trabalhando-se com uma escala suficientemente pequena.² (v. figura 2).

As abordagens MSMR implementam uma heurística de *divisão e conquista* (*divide-and-conquer*), com processos de computação descendente (*top-down*) e ascendente (*bottom-up*). No processo *top-down*, inicia-se a busca de um certo atributo visual na imagem de menor resolução, onde o número de pixels usados para descrevê-lo é menor. Obtendo-se uma estimativa grosseira do resultado, passa-se sucessivamente às imagens de resolução maior, refinando-se o resultado. Entretanto, como a cada passo se tem uma estimativa melhor do atributo procurado, o processamento poderá ser feito em regiões sucessivamente menores, tentando-se manter constante o número de pixels pesquisado em cada iteração. É o que ilustra a figura 2.

As representações MSMR usualmente empregam estruturas denominadas *pirâmides*, devido ao fato de se poder abstrair a representação pelo empilhamento de imagens de diferentes escalas e tamanhos, como formando uma pirâmide. A construção da pirâmide requer que se amostrasse as imagens em cada nível (patamar da pirâmide). Nesse processo de amostragens sucessivas, deve-se observar os preceitos de filtragem para evitar efeitos de recobrimento (*filtragem anti-aliasing*). Ocorre que essas filtragens sucessivas degradam a forma das regiões, sua textura e seus contornos (o aliasing pode produzir perda de dados e introdução de informação espúria). Portanto, para se rastrear um atributo visual através dos patamares da pirâmide, é necessário dispor de um modelo de como os atributos se transformam em função da escala.

²Cabe lembrar que, na prática, emprega-se adicionalmente outras fontes de informação sensorial, como *tato*, por exemplo, que auxiliam substancialmente a solução do problema.

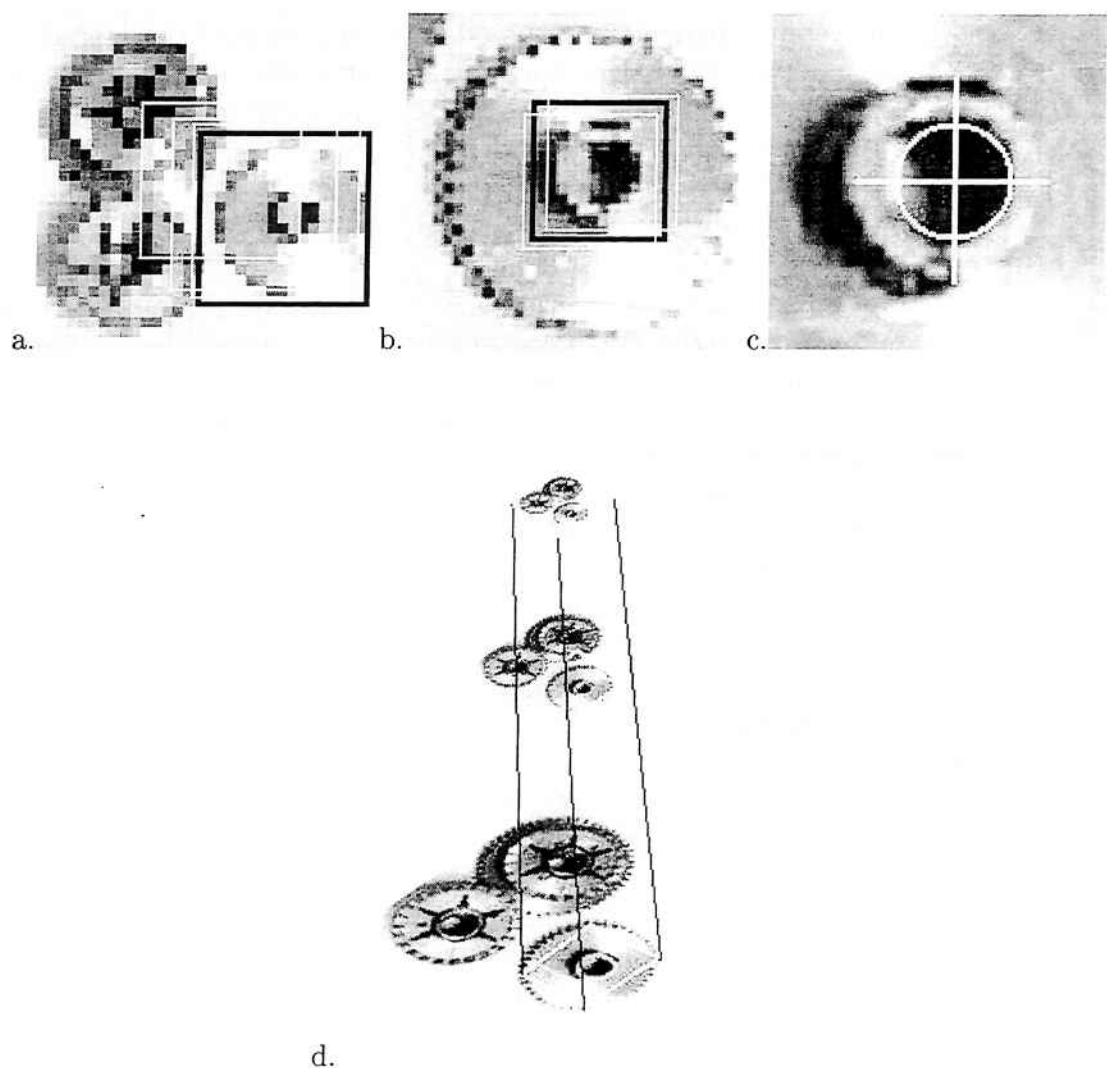


Figura 2: **Rastreamento (tracking) em MSMR**(multiescala e multiresolução). As imagens (a), (b) e (c) têm mesmo número de pixels, porém diferentes escalas e resoluções. Essa sequência mostra as etapas sucessivas de rastreamento multiescala e multiresolução do eixo de uma das engrenagens. Em (d) é mostrado um esquema da estratégia de busca em multiescala. Ela é empreendida de forma a enquadrar o eixo da engrenagem com resolução crescente.

2 Escala e Resolução

Os conceitos de escala e de resolução não são simples de se definir, apesar de serem facilmente apreendidos intuitivamente. Consideremos, para começar, o conceito mais amplo de escala. Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que a escala é um atributo de ordem; para que se possa falar em escala é preciso pressupor a existência de alguma forma de ordenação. O espaço de imagens $\mathcal{I}$ é um reticulado completo [2], [4]. O conceito de escala que nos interessa provém dessa estrutura de ordem.

Há uma série de parâmetros que podem ser usados para caracterizar objetos e regiões nas imagens. Há aqueles denominados *extensivos*, que dependem do tamanho, ou extensão, dessas entidades. O suporte da imagem em si constitui uma janela cuja extensão define sua *escala*. Koenderink [5], propõe o termo *escala exterior* para designar esse parâmetro. Definiremos, então, escala de uma imagem como sendo sua escala exterior, isto é, o tamanho de seu suporte

A *resolução* é, usualmente, interpretada como sendo um parâmetro que descreve a qualidade com que um sistema, processo, componente, material ou imagem, é capaz de reproduzir um detalhe (fisicamente) pequeno de um objeto [3]. Não há uma convenção pré-estabelecida para o que venha a ser “pequeno”; para fins práticos o contexto é quem define o padrão. Em geral, procura-se associar a resolução ao *limite de resolução*. Este é afetado por diversos componentes: (i) por limitações no processo físico de formação da imagem não amostrada, (ii) pelo intervalo de amostragem usado para produzir a imagem discreta e, (iii) pela quantização numérica na geração da imagem digital.

A resolução refere-se aos processos, não aos objetos (ou imagens): fala-se na resolução do imageamento, de um filtro, de um detetor, etc. Mesmo quando se associa a resolução ao meio físico de suporte da informação (ex. película fotográfica, tela de um monitor, sensor de captura de imagem), consideraremos que o registro da informação nesse meio é parte do *processo* de produção da imagem.

A *resolução* constitui um parâmetro *intensivo* da imagem, pois não depende da extensão da imagem, mas das transformações que a produzem. Parâmetros intensivos caracterizam o *estado* de um objeto e a *ação* (transformação) que promoveu esse estado. Koenderink [5] propõe o termo *escala interior* para designar a resolução. Como o termo “escala” sugere um parâmetro extensivo, vamos evitar seu uso para designar a resolução

3 Amostragem Espacial

Consideraremos inicialmente imagens definidas sobre suportes contínuos, que denominaremos *imagens contínuas*. A amostragem espacial é o processo de selecionar pontos da imagem que constituirão um conjunto representando a imagem contínua de forma discreta. Se a amostragem não for realizada de modo completamente periódico, ela é dita *não-uniforme*. A amostragem uniforme é modelada pela multiplicação do sinal de domínio bidimensional que traduz a imagem, por uma distribuição espacial periódica de pulsos unitários (idealmente, δ de Dirac):

$$\begin{aligned} \mathcal{A} : \mathbb{R}^2 &\longrightarrow \mathbb{R}^{\mathbb{Z}^2} \\ I(x, y) &\longmapsto I_{i,j}, \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2, \quad (i, j) \in \mathbb{Z}^2 \end{aligned} \tag{1}$$

$$I = \sum_i \sum_j I_{ij} \delta(x - iT_{s_x}, y - jT_{s_y}) = I(x, y) \text{III}(x, y) \quad (2)$$

onde T_{s_x} e T_{s_y} são os *períodos de amostragem* nas duas coordenadas espaciais, que consideraremos iguais a T_s , sem perda de generalidade. Nas somatórias em 2, os índices são tais que $(i, j) \in \mathbb{Z}^2 \cap \{(x, y) \in \mathcal{D}, D \subset \mathbb{R}^2\}$, sendo $\mathcal{D}$ o suporte contínuo da imagem. A intensidade I_{ij} no pixel de coordenadas discretas (i, j) é obtida por amostragem da versão contínua $I(x, y)$ pela expressão:

$$\begin{aligned} I_{ij} &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I(x, y) \delta(x - iT_{s_x}, y - jT_{s_y}) dx dy \\ &= I(iT_{s_x}, jT_{s_y}) \end{aligned} \quad (3)$$

Essa expressão representa um produto exterior entre uma função e uma distribuição. O conjunto dos pontos correspondentes às coordenadas espaciais discretas (i, j) forma o suporte da imagem amostrada e será chamado de *rede amostral*. O espaçamento entre os pontos na rede amostral é o correspondente ao períodos de amostragem. A expressão 2 traduz um produto de uma função por um trem de pulsos 2D³, na rede amostral. Tomando-se sua transformada de Fourier, obter-se-á o espectro definido sobre um domínio discreto, denominado de *rede recíproca* onde os pontos estão espaçados de $f_s = 1/T_s$, a *frequência de amostragem*. As redes amostral e recíproca são duais, com o produto em uma correspondendo à convolução na outra e vice-versa. Na rede recíproca a expressão 2 torna-se em sua transformada de Fourier:

$$\begin{aligned} \hat{I} = \mathcal{F}(I) &= \mathcal{F}(I(x, y)) \otimes \mathcal{F}\left(\sum_i \sum_j \delta(x - iT_{s_x}, y - jT_{s_y})\right) \\ &= \mathcal{F}(I(x, y)) \otimes \mathcal{F}(\text{III}(x, y)) \end{aligned} \quad (4)$$

onde $\otimes$ indica convolução. O retângulo definido por $T_{s_x} \times T_{s_y}$ na rede amostral, ou por $f_{s_x} \times f_{s_y}$ na rede recíproca, denomina-se *célula de amostragem*. Aqui consideraremos apenas células quadradas. Outros esquemas de amostragem uniforme podem ser adotados, resultando em formas para a célula de amostragem que não a retangular (por exemplo, hexagonal é bastante utilizada e interessante pelas suas propriedades de simetria espacial e densidade de empacotamento [9], [1], [8]). A célula de amostragem também é chamada de *célula de resolução* [3]; todavia, sua interpretação como unidade de resolução não é de todo correta, pois esta pode ser afetada por outros fatores, incluindo contraste e quantização. A amostragem uniforme é fruto de um processo mecânico e independe desses fatores. Entretanto, o termo *escala interior* proposto por Koenderink, 1984 [5], pode ser utilizado para qualificar a célula de amostragem, sendo entendido como a escala do menor objeto que pode ser representado na imagem. A figura 3 ilustra os conceitos relacionados com os requisitos de amostragem. Para que o sinal possa ser recuperado com suas características originais, deve-se observar dois requisitos: (i) o sinal deve ser de banda limitada e, (ii) a frequência de amostragem deve ser maior ou igual à *frequência de Nyquist* (que é o dobro da máxima frequência presente na banda do sinal). A banda do sinal reconstruído será metade da frequência de amostragem

³O trem de pulsos 2D é designado pela notação $\text{III}(x, y)$, que se lê *shah* de (x, y) .

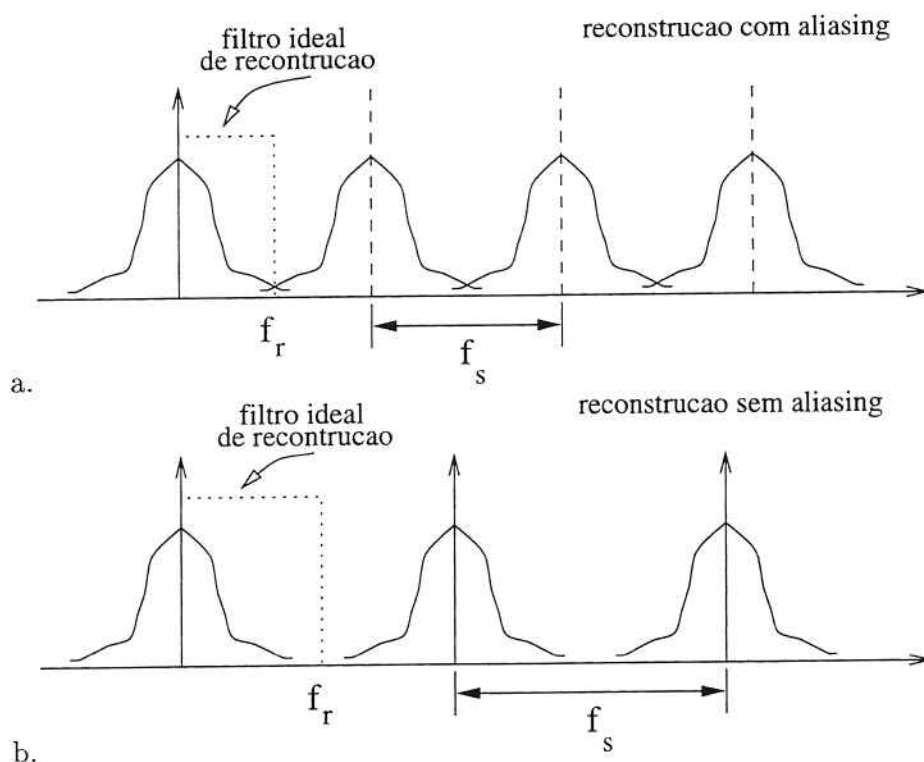


Figura 3: **Aliasing e reconstrução.** As figuras mostram espectros de amplitude de sinais unidimensionais amostrados (através da multiplicação com um trem de pulsos de frequência f_s). a. Banda-base do sinal e suas replicações devidas à convolução com o espectro do trem de pulsos. Nota-se *aliasing* resultante do entrelaçamento das bandas, devido a frequência de amostragem insuficiente. A frequência de corte do filtro passa-baixas ideal de reconstrução corresponde à metade da frequência de amostragem, definindo a banda-base reconstruída. b. Idem (a), porém com f_s suficientemente grande para que não haja o recobrimento.

empregada (é a chamada reconstrução em banda-base). Se a banda-base da reconstrução for menor que a do sinal original, ocorrerá recobrimento (*aliasing*). Quando a amostragem não satisfizer ao critério acima, diz-se que o sinal foi *sub-amostrado*.

A sub-amostragem pode levar à destruição ou à distorção do sinal. O primeiro efeito é resultante da mudança de uma topologia mais fina para uma mais grossa (*coarse topology*), o que resulta em perda de dados. Esse fenômeno ocorre na prática quando se re-amostra um sinal originalmente discreto. A distorção, devida ao *aliasing*, advém do entrelaçamento da banda do sinal original com as réplicas de amostragem, conforme a figura 3. O efeito resultante é o aparecimento de franjas na imagem, resultante da modificação de contraste, devido à redistribuição da potência no espectro. No caso de padrões periódicos de alta frequência, esse efeito resulta nas *franjas de Moirè*, fenômeno da mesma natureza que o *batimento* em sinais temporais. O entendimento claro desses efeitos nas imagens é vital para a avaliação visual das descrições multiescala e multiresolução. A figura 4 mostra os efeitos geométricos e topológicos da sub-amostragem, observados em imagens sintéticas. Essas imagens

são mais simples de se interpretar e servem de padrão de teste. A figura 5 mostra esses efeitos em uma imagem real. As franjas de altas frequências espaciais observadas promovem um pequeno aumento do contraste nas regiões de borda, que não deve ser interpretado como melhora na resolução. A presença das franjas aumenta a imprecisão na localização das bordas e, conseqüentemente, reduz a resolução. Observe-se nos espectros mostrados na figura 5.f que o *aliasing* não aumenta a energia do sinal nas altas frequências da banda-base; o que ocorre é uma modificação do peso relativo entre as frequências de modo que localmente o contraste parece maior.

4 Conclusão

Revimos brevemente alguns conceitos ligados à análise multiescala e multiresolução de imagens. Esses conceitos servem de base para a introdução de idéia sobre amostragem e interpolação, que constituem elementos fundamentais dessas análises.

Referências

- [1] Ron T. Bracewell. *Two-dimensional Imaging*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.
- [2] Jean Serra (editor). *Image Analysis and Mathematical Morphology: volume 2 - Theoretical Advances*. Academic Press, London, 1988.
- [3] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro. Glossary of computer vision terms. *Pattern Recognition*, 24(1):69–93, 1991.
- [4] Henk J.A.M. Heijmans. *Morphological Image Operators*. Academic Press, San Diego, CA, 1994.
- [5] Jan J. Koenderink. The structure of images. *Biological Cybernetics*, 50:363–370, 1984.
- [6] David Marr. *Vision*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, California, 1982.
- [7] Bradley J. Nelson, Nikolaos P. Papanikolopoulos, and Pradeep K. Khosla. Robotic visual servoing and robotic assembly tasks. *IEEE Robotics and Automatoin Magazine*, pages 23–31, June 1996.
- [8] Jean Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press, London, 1982.

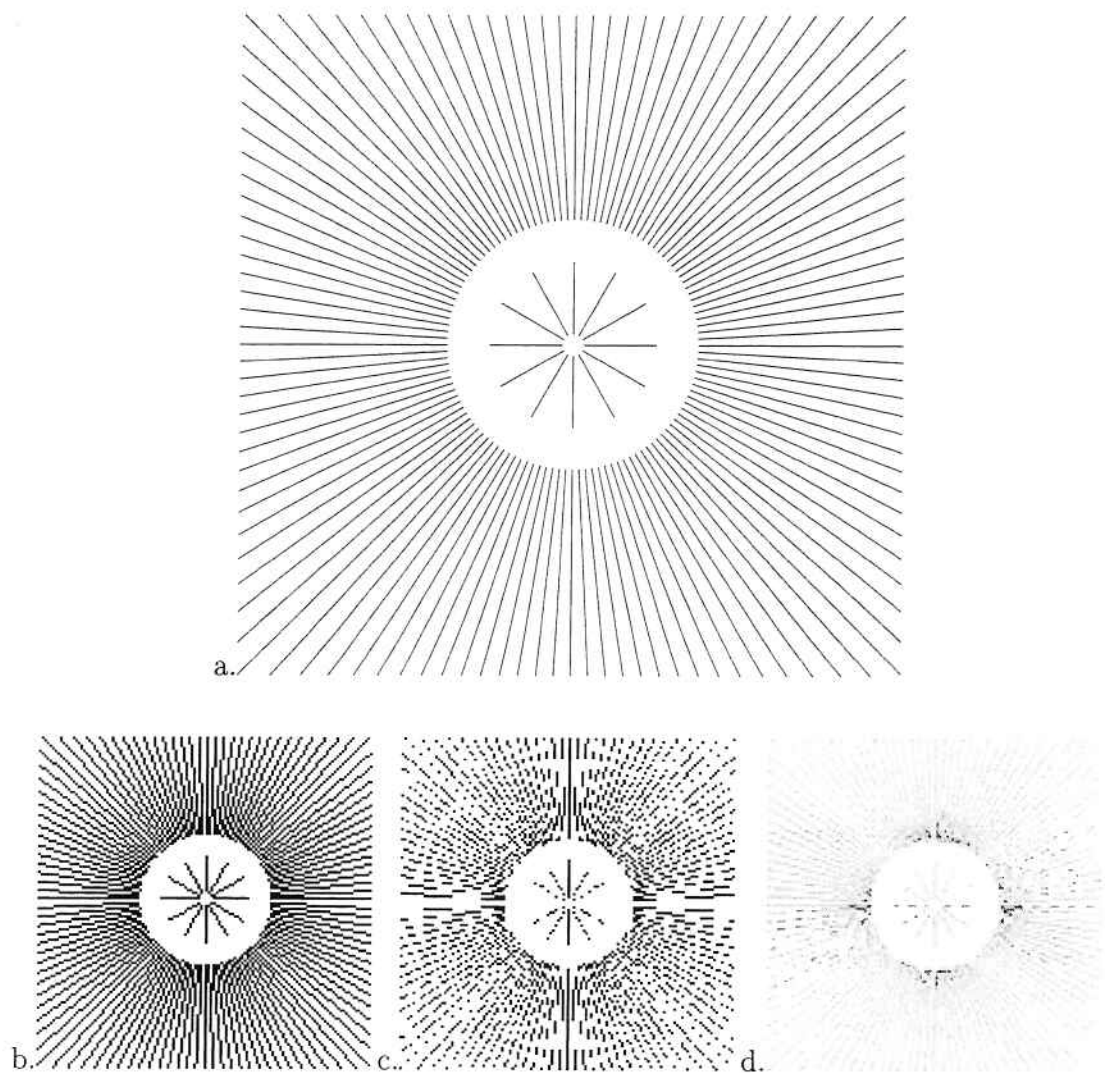


Figura 4: **Amostragem e aliasing.** a. Figura com 256x256 pontos, gerada por um programa escrito em linguagem PostScript. b. Figura reduzida para 135x135 pontos através de escalamento realizado com o PostScript (com interpolação dos pontos para rasterização). c. Figura reduzida para 128x128 pontos através de reamostragem sem interpolação. d. Idem (c), porém com pré-filtragem passa-baixas. Em (b) observa-se o efeito de rebatimento (aliasing), manifestado pela distorção geométrica, com o aparecimento de franjas. Em (c) observa-se considerável perda de dados devido à amostragem. Em (d) a filtragem passa-baixas consegue evitar razoavelmente o aparecimento dos efeitos observados em (b) e (c), às custas, porém, de perda do contraste.

[9] Andrew B. Watson and Albert J. Ahumada Jr. A hexagonal orthogonal oriented pyramid as a model of image representation in visual cortex. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 36(1):97–106, january 1989.

[10] Harry Wechsler. *Computational Vision*. Academic Press Inc., New York, 1992.

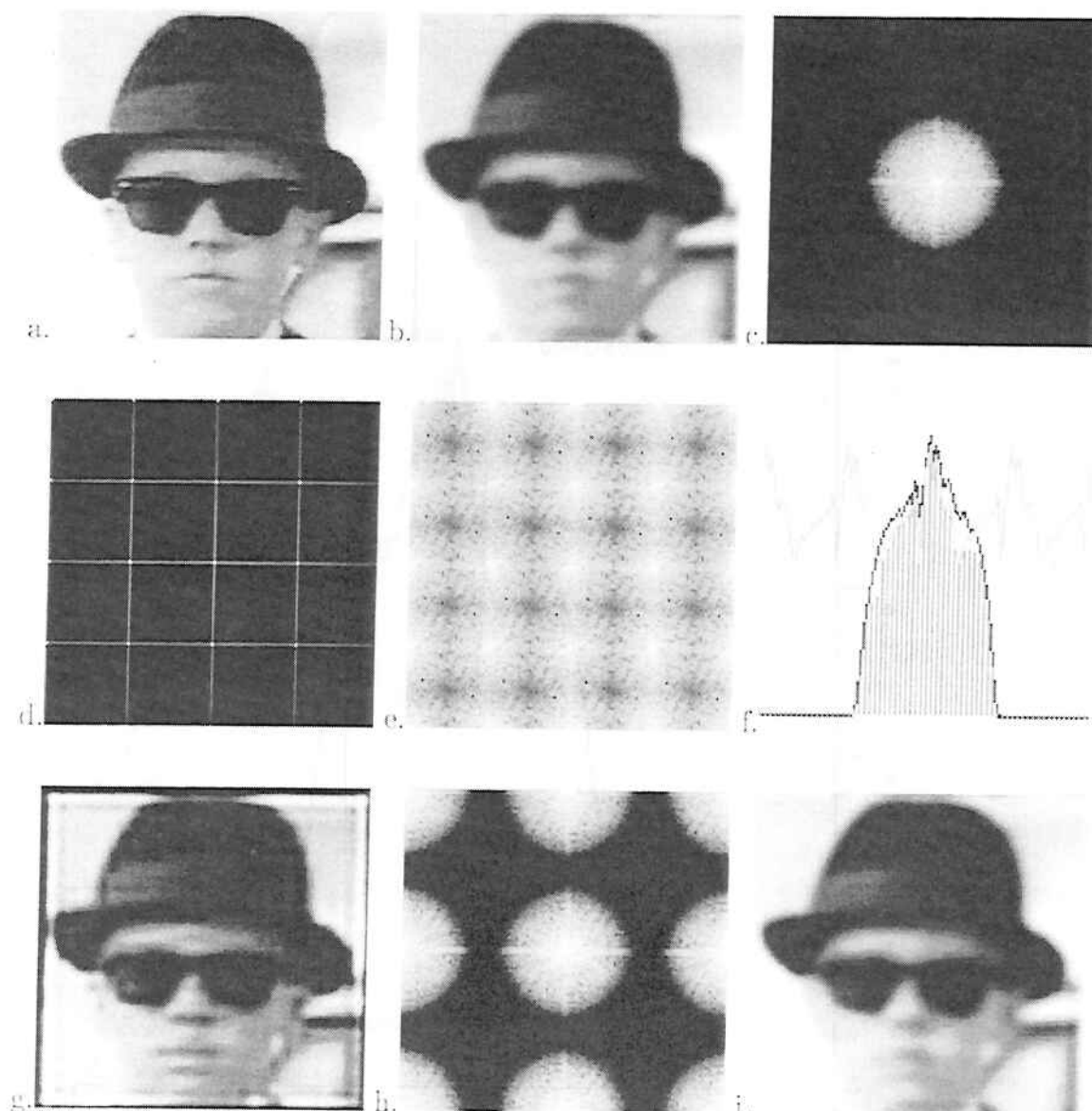


Figura 5: **Exemplo de amostragem e reconstrução.** a. Imagem original. b. Imagem após filtragem passa-baixas (com filtro Butterworth de sexta ordem, cortando em 25% da banda original) para limitar a banda convenientemente. c. Espectro de amplitudes da imagem (b), onde se pode ver o limite superior de frequências (banda-base) graças à filtragem anterior. d. Espectro de amplitude dos pulsos de amostragem. e. Convolução dos espectros (c) e (d), mostrando o entrelaçamento das bandas replicadas com a banda-base. f. Seção dos espectros de amplitude (escala logarítmica). Em linha cheia, o espectro de (b); em linha cinza, o espectro correspondente a (e); em barras, o espectro de (g), com aliasing. g. Reconstrução do espectro (e), exibindo *aliasing*. O aparente aumento de contraste é um efeito do aliasing. h. Idem (e), porém com taxa de amostragem duas vezes maior. Note-se que não mais há entrelaçamento de bandas. i. Reconstrução do espectro (h).

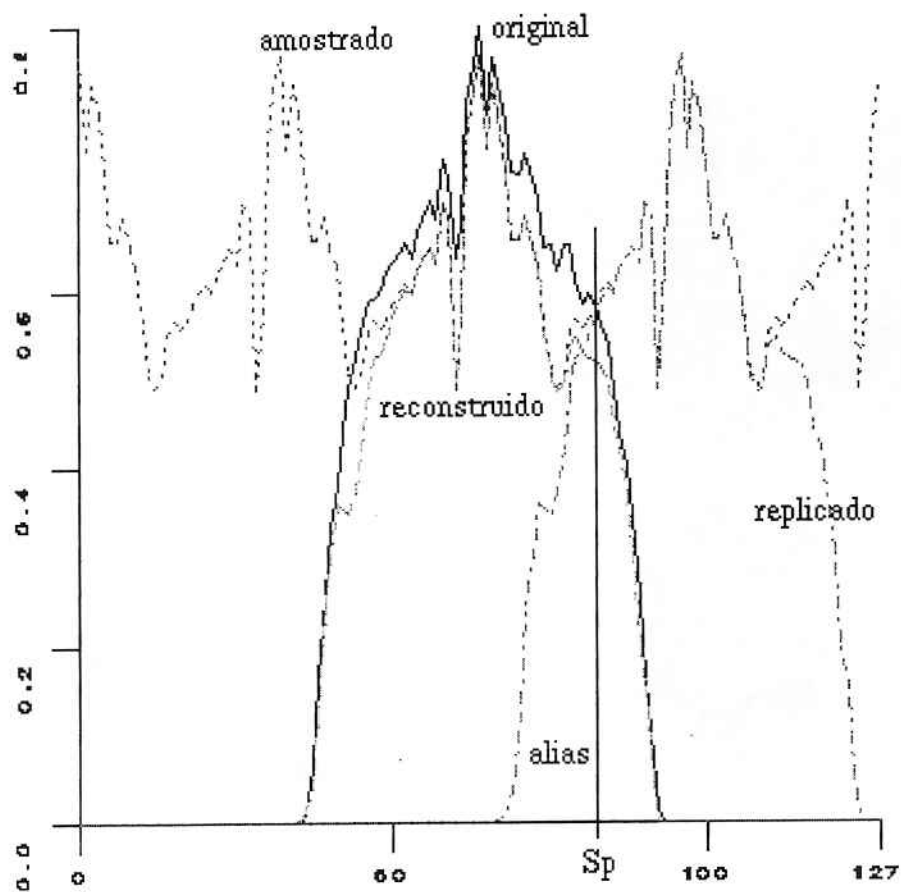


Figura 6: **Aliasing.** Os espectros de amplitudes acima são os mesmos da figura 5.f, vistos em maior detalhe. Os espectros de potência têm formas semelhantes a esses gráficos, respectivamente. As áreas sob as curvas da densidade espectral de potência fornecem as energias nos intervalos considerados. A energia contida sob o espectro do sinal reconstruído, à direita da frequência de amostragem S_p corresponde ao *aliasing*. A área sob o espectro replicado de primeira ordem à esquerda de S_p , também corresponde a *aliasing*. Subtraindo-se essas duas áreas da área total do espectro do sinal reconstruído, obtém-se sua energia.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PTC/9901 – Avaliação de Ergoespirômetros Segundo a Norma NBR IEC 601-1- MARIA RUTH C. R. LEITE, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE B. MORAES
- BT/PTC/9902 – Sistemas de Criptofonia de Voz com Mapas Caóticos e Redes Neurais Artificiais – MIGUEL ANTONIO FERNANDES SOLER, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/9903 – Regulação Sincronizada de Distúrbios Senodais – VAIDYA INÊS CARRILLO SEGURA, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/9904 – Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para Garantir um Determinado Nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos Presentes em Alimentos Industrializados – RUBENS GEDRAITE, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PTC/9905 – Modelo Operacional de Gestão de Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração de Equipamentos Eletromédicos – MANUEL ANTONIO TAPIA LÓPEZ, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PTC/9906 – Extração de Componentes Principais de Sinais Cerebrais Usando Karhunen – Loève Neural Network – EDUARDO AKIRA KINTO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/9907 – Observador Pseudo-Derivativo de Kalman Numa Coluna de Destilação Binária – JOSÉ HERNANDEZ LÓPEZ, JOSÉ JAIME DA CRUZ, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9908 – Reconhecimento Automático do Locutor com Coeficientes Mel-Cepstrais e Redes Neurais Artificiais – ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/9909 – Análise de Estabilidade e Síntese de Sistemas Híbridos – DIEGO COLÓN, FELIPE MIGUEL PAIT

