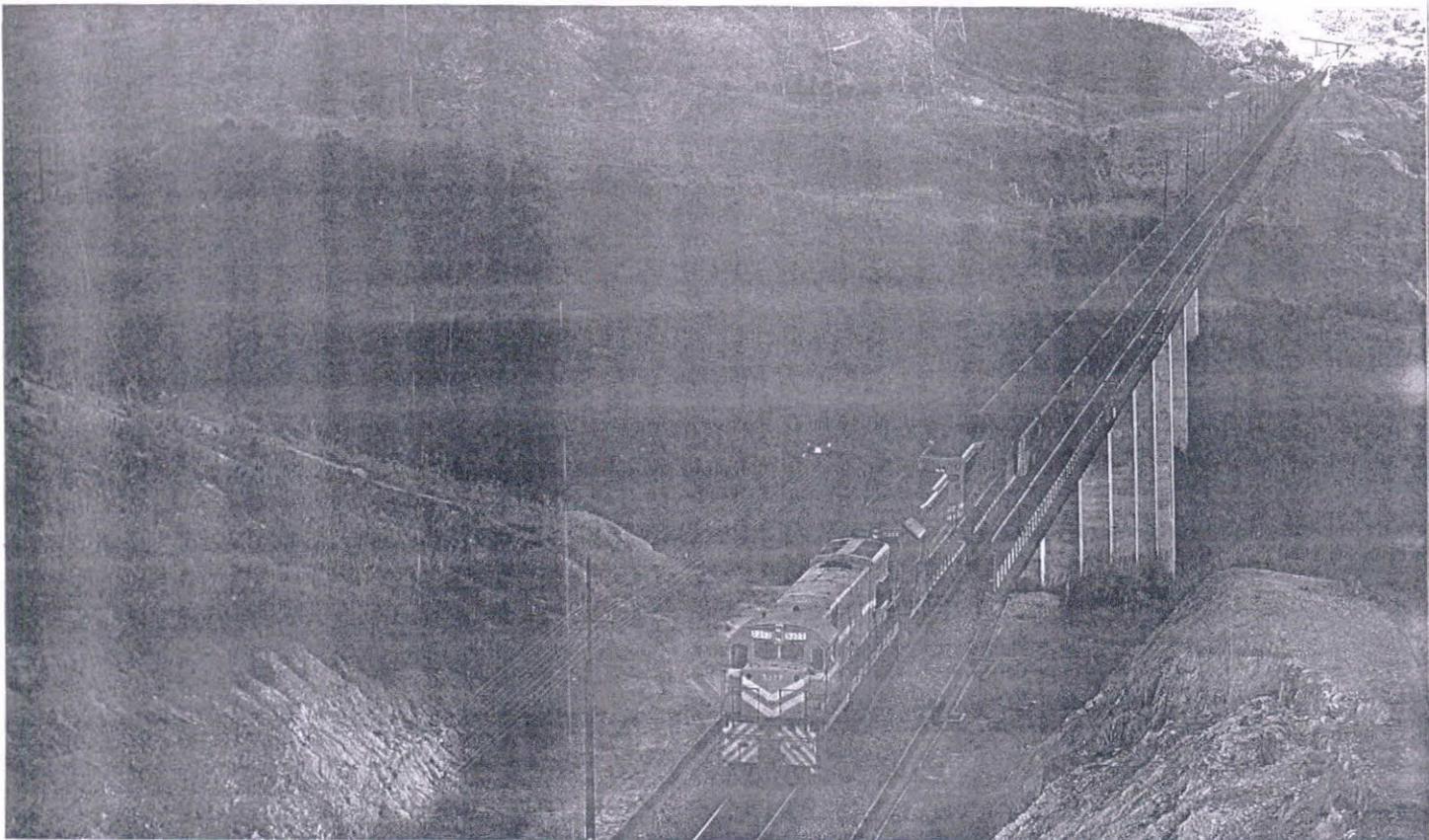


LÁ VAI A REDE.



Vai, Rede Ferroviária Federal.
Vai de S. Luís até Santa Maria.
Do Crato até Ouro Preto, de Livramento a Apucarana. Vai
Brasil afora.

Vai levando essas tuas toneladas de responsabilidade. 87 milhões
de toneladas transportadas em 1986.

Vai e leva o cimento, o minério de ferro, os fertilizantes, a soja,
o trigo, o carvão mineral, o farelo e os derivados do petróleo.

Corre com os teus 43 mil vagões pelos 23.000 quilômetros de malha ferroviária,
do campo ao porto, da fábrica aos consumidores.

Vai, que a gente precisa de você. A gente brasileira
quer um país mais rico, mais forte e muito melhor de viver.

Vai, Rede, vai. A gente vai junto com você até esse
futuro melhor. 30 anos.

A Rede vai longe.

Governo José Sarney
 **RFFSA**
REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A.
Ministério dos Transportes.



Curvas de nível da região de Cubatão geradas a partir do modelo digital de elevação. A cada intervalo de altitude atribuiu-se aleatoriamente uma cor.



**Luiz Alberto Vieira Dias, Gilberto Câmara Neto,
Junior Barrera, Ricardo Cártaxo M. Souza**

Departamento de Processamento de Imagens, Instituto de Pesquisas Espaciais

IMAGENS E COMPUTADORES O OLHO QUE TUDO VÊ

O homem primitivo tentava circunscrever, organizar e dominar seu mundo através dos desenhos que fazia nas cavernas. Milênios depois, o homem contemporâneo, ampliando a mesma busca, tem com seu antepassado pelo menos uma afinidade: a percepção de que uma imagem pode resumir descobertas. Aos traços feitos na rocha, sobrepõem-se os pontos coloridos de uma tela eletrônica. Mas a procura — arte ou ciência — continua.

que têm em comum uma pintura, um fotograma, um desenho, uma amostra examinada em microscópio, um trecho do céu observado em telescópio, uma região da Terra vista de um avião ou de uma sonda espacial, uma chapa de raios X? Todos eles são exemplos de um conceito intuitivo, a imagem, e reúnem os três elementos primitivos que a constituem: cor, posição e forma. Esses elementos se harmonizam e podem ser traduzidos em dados, sensações, emoções. Em suma, em informação e conhecimento.

É justamente a riqueza contida pelas imagens que tem motivado um número cada vez maior de especialistas a estudá-las por meio de computadores. São muitas as facilidades oferecidas pelos sistemas computacionais dedicados a essa tarefa: armazenamento de informação visual em banco de dados de rápido acesso, realce de certas características de interesse, extração automática de informação, correlação dos dados extraídos com outros conhecidos *a priori*.

A grande quantidade de informação visual transmitida pelas primeiras sondas espaciais fez surgir os sistemas pioneiros de processamento de imagens. Na década de 1960, o programa de exploração espacial não tripulado da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) deu grande impulso ao desenvolvimento dessa tecnologia, então embrionária. A disponibilidade desses sistemas motivou outras áreas a utilizá-los. Assim, ainda na mesma década, foram feitos a primeira ra-



Fig. 2. Ampliação de 128×128 pixels da figura 1. A quantização espacial (descontinuidade) das imagens fica perceptível quando se usa uma resolução maior que a do olho humano.

diografia digital e o primeiro cariótipo (apresentação ordenada de fotomicrografias de cromossomos de um indivíduo, utilizada para diagnósticos) automático.

A década de 1970 assistiu a uma verdadeira explosão no processamento digital de imagens. Entraram em cena os satélites de sensoriamento remoto. E o uso dos com-

putadores, agora já melhores e mais baratos, se expandiu para um grande número de disciplinas, inclusive as artes plásticas e a publicidade. Reforçada pelo advento dos microcomputadores — alguns com arquitetura não convencional, dedicados ao processamento das informações visuais — e pelo desenvolvimento de periféricos adequados, essa tendência ao crescimento prosseguiu nos anos 80. Popularizaram-se os robôs voltados para a automação industrial, dotados de dispositivos de visão, enquanto entravam em atividade os primeiros sistemas especialistas dedicados à interpretação de imagens.

A imagem é uma reprodução de cenas do mundo físico, sejam elas paisagens, textos, rostos ou quaisquer outras, efetuada por sensores que captam a luz refletida pelos objetos componentes dessas cenas e a transformam em um sinal elétrico. É o que fazem, por exemplo, o olho humano ou as câmaras de TV. Mas existem, ainda, sensores especiais, capazes de detectar informações que escapam ao sistema visual humano. Esses dispositivos são sensíveis a outras faixas do espectro eletromagnético, como a ressonância magnética nuclear (RMN), ou a ondas de outra natureza, como as microondas ou o ultrassom.

Uma imagem pode ser representada por uma função matemática f de duas variáveis, onde $f(x,y)$ — o valor da função no ponto de coordenadas espaciais (x,y) — é o brilho ou o nível de cinza, no caso mais



Fig. 1. Imagem Landsat TM, soma das bandas 2, 3 e 4, cada uma das quais associada a uma cor primária. Composição colorida de 512×512 pixels obtida a 900 km de altitude.

simples de uma imagem em preto e branco.

Uma mesma cena pode ser reproduzida por sensores que respondem a diferentes intervalos de frequência, ou bandas. Enquanto um deles é sensível, por exemplo, ao intervalo de 0,4 a 0,6 micrometro (μm), o outro o será ao de 0,5 a 0,8 μm . Nesse caso é necessário uma função $f(x,y)$ para cada sensor.

A imagem digital é representada por uma função $f(x,y)$ discretizada (representada por valores inteiros) tanto no domínio espacial quanto no brilho. Pode-se também considerar uma imagem digital como uma matriz, cujos índices de linhas e colunas identificam espacialmente um ponto, e o valor inteiro do elemento correspondente, na matriz, identifica seu nível de cinza.

Os elementos dessa matriz são chamados elementos de imagens ou *pixels* (do inglês *picture element*). Embora o tamanho da

matriz possa variar segundo o campo da aplicação (sensoriamento remoto, medicina, robótica e outros), geralmente ela possui 512 linhas \times 512 colunas. Cada elemento pode assumir 256 níveis de cinza. A visão humana não consegue distinguir mais de 512 *pixels* contidos linearmente em 30 cm, ou numa tela de TV observada a um metro de distância. Desse ponto de vista, os *pixels* individuais não são distinguíveis e a imagem parece contínua.

A figura 1 mostra uma imagem do centro da cidade do Rio de Janeiro obtida pelo *Land Satellite* (Landsat) com o sensor *Thematic Mapper* (TM), bandas 2, 3 e 4, formando uma composição colorida. Essa imagem tem 512 \times 512 *pixels*. Na da figura 2 foi feito um *zoom* (ampliação) de 128 \times 128 *pixels* da área de Lagoa Rodrigo de Freitas e do Jôquei Clube, no qual se podem observar os *pixels* individuais.

Note-se a nuvem no meio da Lagoa. Os sistemas de processamento de imagem têm a capacidade de alterar de forma sistemática cada *pixel* e, portanto, de tratar ou processar uma imagem.

Enquanto a visão humana só consegue perceber, no máximo, 32 níveis de iluminação, os sensores especiais podem ultrapassar, em muito, esse limite. Na série da figura 3, observam-se imagens monocromáticas com 256, 64, 16 e quatro níveis de cinza. Com três bandas da mesma cena, atribuindo-se a cada uma as cores primárias aditivas (vermelho, verde e azul), obtém-se uma imagem de falsa cor, em que as cores observadas não correspondem às reais, ou cores da cena.

Nas análises por computador, é muito comum extrair alguns parâmetros que caracterizam a imagem a partir do seu histograma, gráfico cartesiano cujo eixo hori-

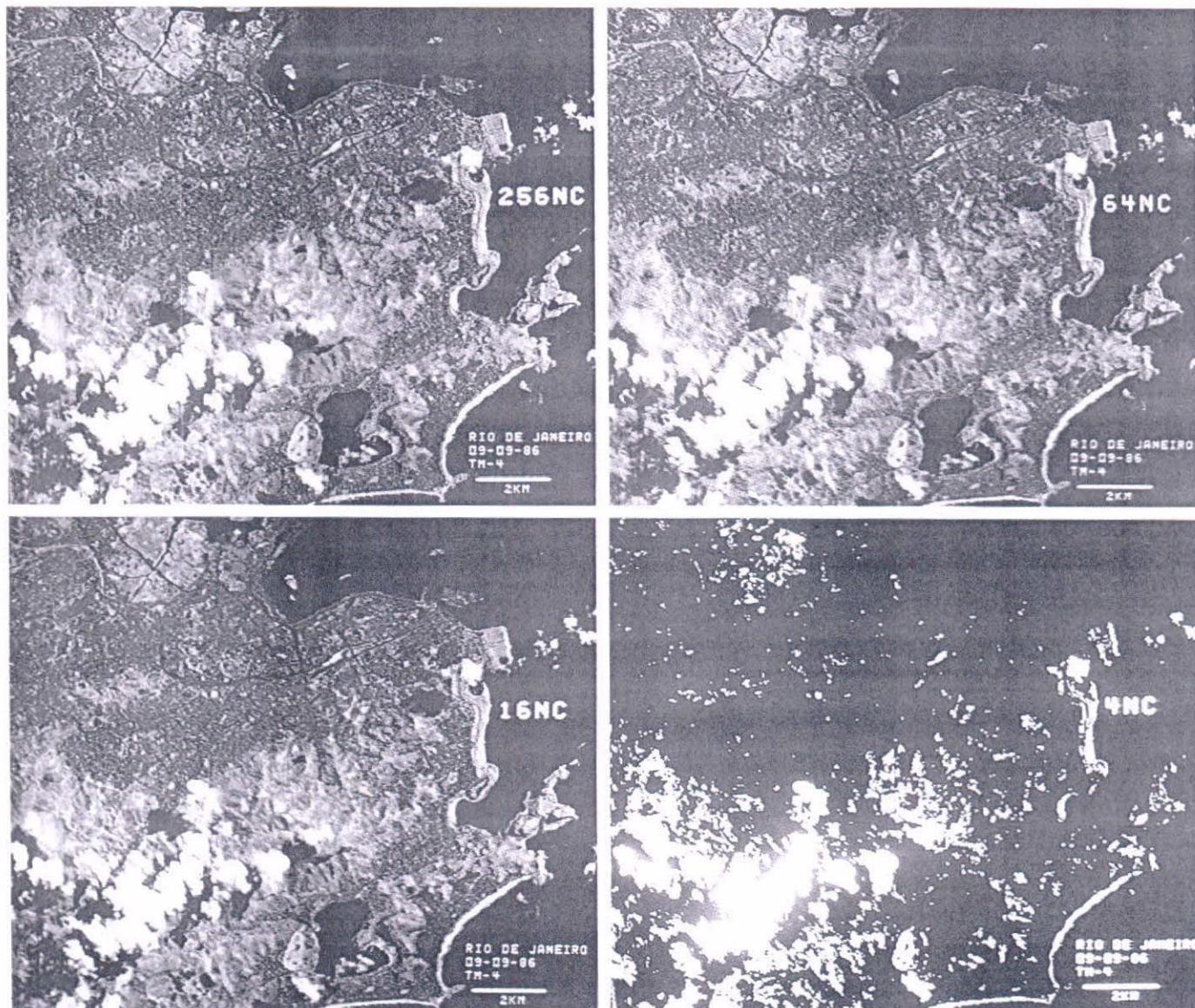


Fig. 3. Imagens monocromáticas nas quais aparece o efeito da quantização radiométrica, isto é, a transformação em valores inteiros (discretos) da intensidade radiométrica captada pelos sensores e perceptível nos diferentes níveis de cinza (NC).

zontal é o número correspondente aos níveis de cinza e cujo eixo vertical é o número de *pixels* com um determinado nível de cinza (figura 4).

No processo de análise de imagens, a aquisição destas é um passo decisivo, pois as informações que se desejam extrair têm que advir de computações realizadas sobre a massa de dados disponível, a qual é obtida a partir de sensores. Estes, no caso de aplicações em sensoriamento remoto, são câmaras que, colocadas a bordo de satélites, detectam e registram a energia refletida pelo alvo. Os elementos que definem as cenas imageadas por essas câmaras estão na figura 5. A radiação eletromagnética (REM) emitida pela fonte (Sol), após atravessar a atmosfera (trajetória), irradia a superfície (alvo) e é por ela refletida; parte dessa energia atravessa novamente a atmos-

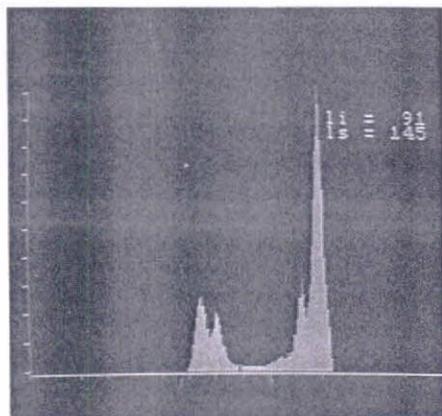


Fig. 4. Histograma de uma imagem. Trata-se de um gráfico que relaciona os níveis de cinza dos *pixels* com a frequência de sua ocorrência.

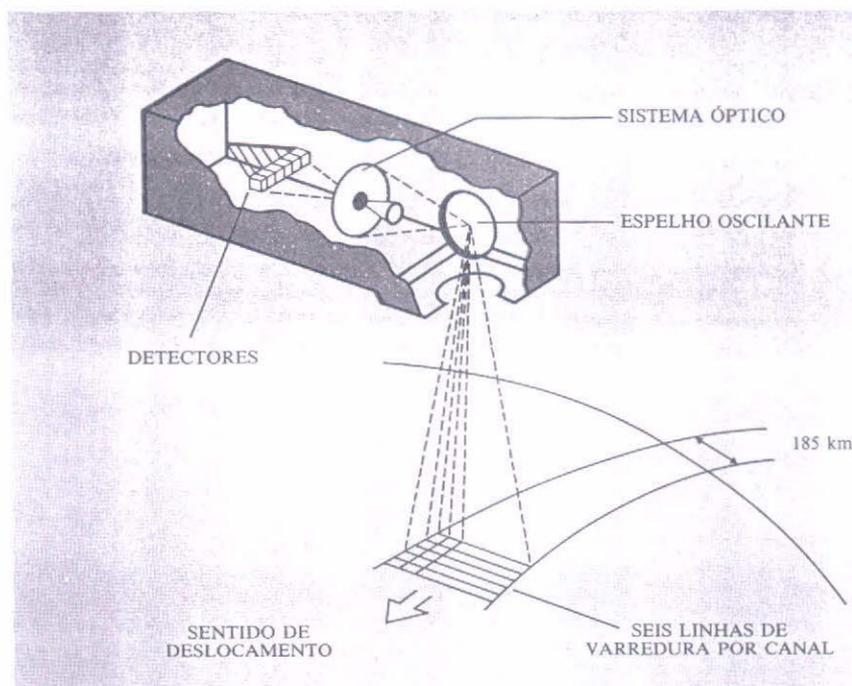


Fig. 6. Configuração de um sistema imageador da série Landsat.

fera e é coletada pelo sistema sensor, onde é detectada e registrada.

No sistema imageador da série Landsat (figura 6), um espelho oscilante, com um campo de visada (campo de observação) de $11,6^\circ$, realiza uma varredura perpendicular à trajetória do satélite. O sistema permite a obtenção de linhas de varredura, na superfície observada, de aproximadamente 185 km. Após a reflexão no espelho oscilante, a radiação proveniente da cena é focalizada pelo sistema óptico sobre uma

matriz de terminais de fibras ópticas. Cada terminal recebe o fluxo de radiação proveniente de uma área de 30×30 m na superfície, denominada elemento de resolução (menor área que o sensor pode observar) no terreno. Conduzido pelas fibras, o fluxo de radiação é então decomposto, por meio de filtros, em sete conjuntos, nas seguintes faixas espectrais (ou canais), medidas em micrometros (μm):

- canal 1 - 0,45 a 0,52 μm
- canal 2 - 0,52 a 0,60 μm
- canal 3 - 0,63 a 0,69 μm
- canal 4 - 0,76 a 0,90 μm
- canal 5 - 1,55 a 1,75 μm
- canal 6 - 2,08 a 2,35 μm
- canal 7 - 10,3 a 12,5 μm

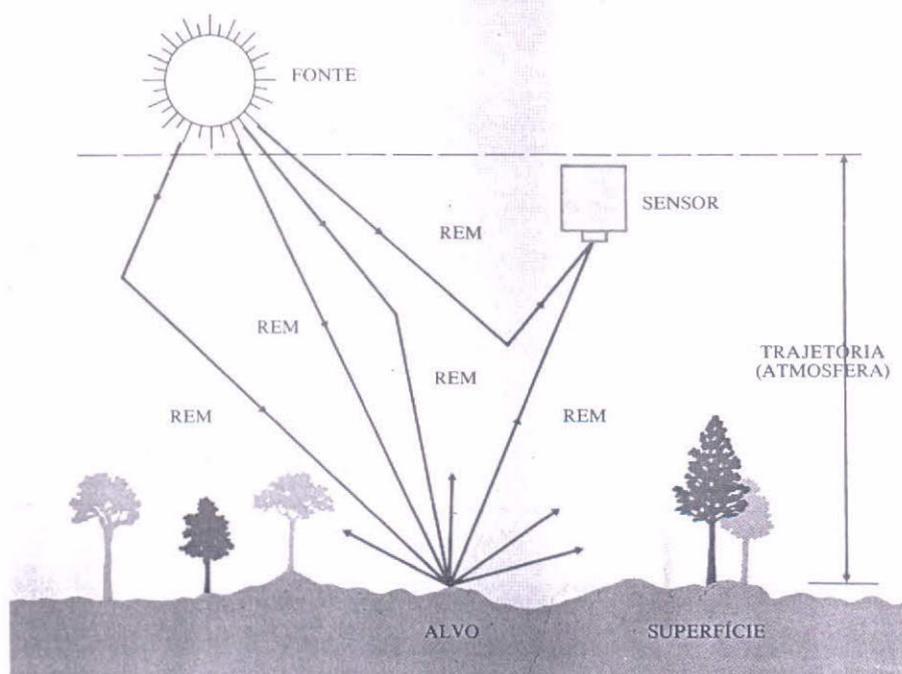


Fig. 5. Elementos presentes em uma cena imageada por satélite.

Quando atinge, a seguir, os detectores de cada canal, a radiação é convertida em um sinal elétrico de intensidade proporcional à radiância (densidade do fluxo luminoso) da porção da superfície imageada. O sinal é então digitalizado e, em seguida, transmitido à Terra.

Para aquisição de imagens, podem-se usar câmaras de TV ou câmaras CCD (da expressão inglesa *charged coupled devices*), possivelmente acopladas a outros instrumentos ópticos, como microscópios ou telescópios. Nas câmaras CCD, a coleta de luz é feita por semicondutores em que a liberação de carga elétrica é proporcional à intensidade da luz incidente. Outros equipamentos aquisidores são mesas digitalizadoras, sensores de RMN, de ultra-som e raios X.

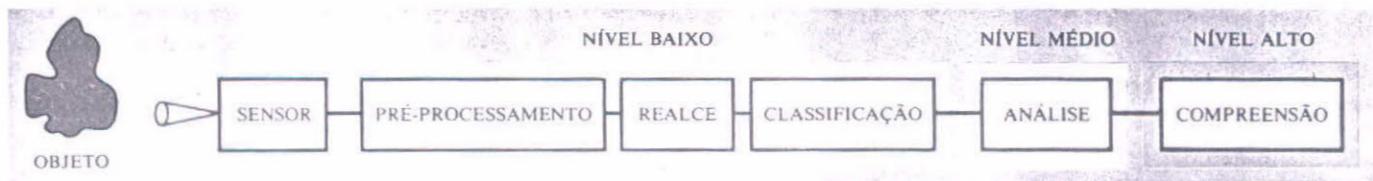


Fig. 7. Fluxo de trabalho do tratamento computacional de imagens. Notem-se os níveis baixo, médio e alto.

Armazenadas finalmente em um computador, as imagens serão agora tratadas digitalmente. O fluxo de trabalho inclui o pré-processamento, o realce, a classificação, a análise e a compreensão, distribuídos progressivamente em três níveis de abstração: baixo, médio e alto (figura 7).

Pré-processamento é o tratamento inicial que se dá a uma imagem. Ele permite, por exemplo, reduzir o ruído, isto é, o conjunto dos defeitos provocados por influência da atmosfera ou por imperfeições do sistema sensor. Ruídos típicos que se podem atenuar são o chuvisco e as listras, faixas artificiais que se devem a pequenas diferenças de calibração entre os detectores do satélite. O pré-processamento também possibilita efetuar correções geométricas e radiométricas.

A figura 8 mostra uma imagem do centro do Rio de Janeiro, obtida a 900 km de altitude pelo satélite Landsat 5 com o sensor TM, e pré-processada com supressão de ruído e expansão do histograma. Vêem-se claramente a ilha do Fundão, o aeroporto Santos Dumont, a ponte Rio-Niterói, o Pão de Açúcar, a praia de Copacabana, o Jôquei Clube e outros pontos característi-

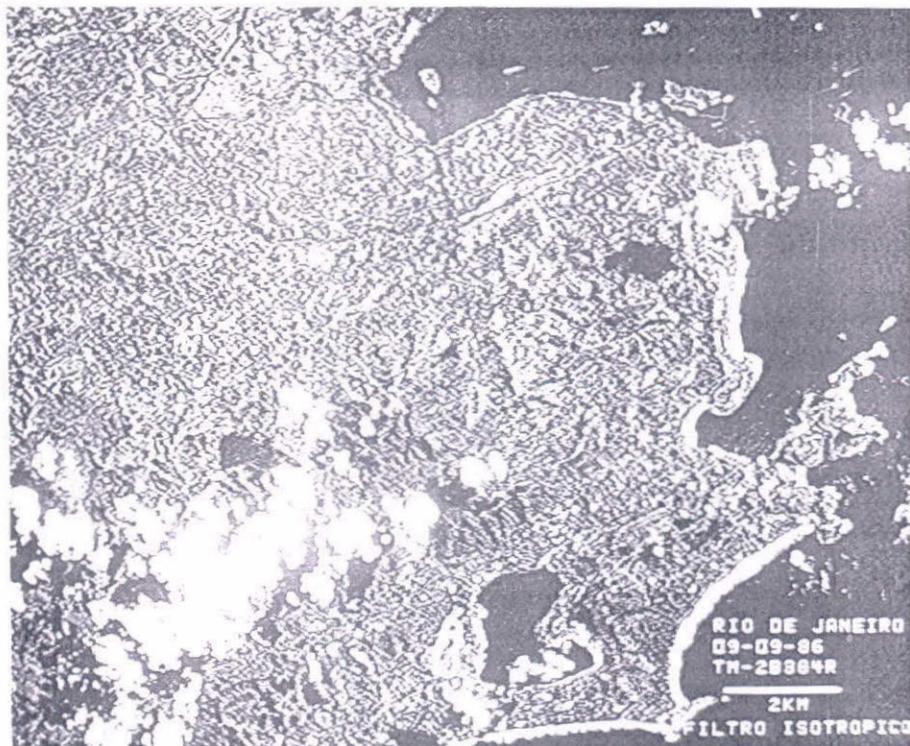


Fig. 9. Realce da imagem da figura 8, processada por filtro isotrópico, tratamento que afeta em todas as direções e da mesma forma.

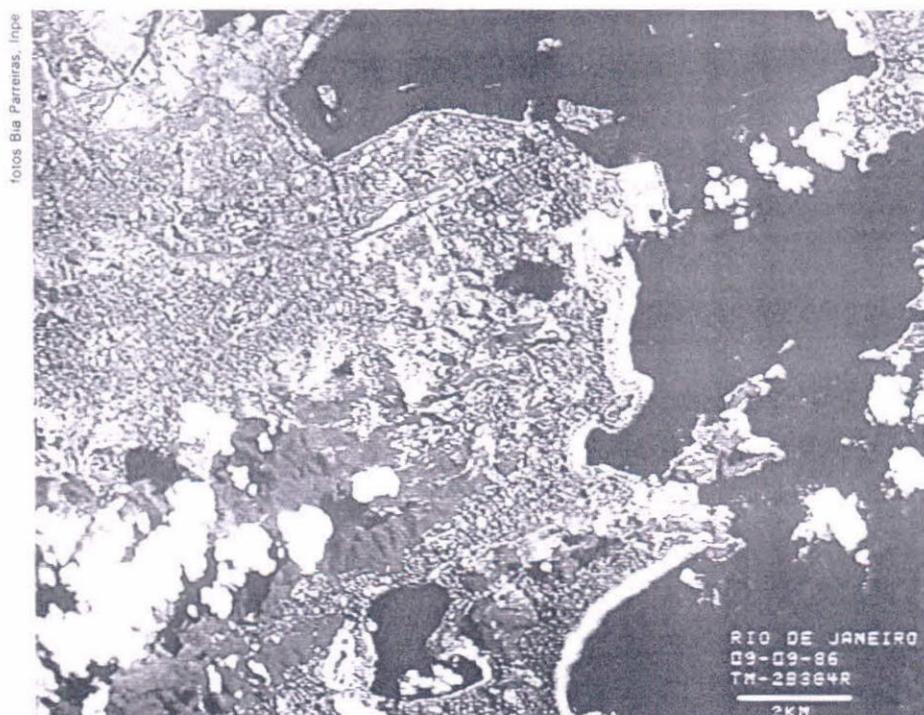


Fig. 8. Imagem TM do Rio de Janeiro pré-processada. Foi efetuada a eliminação de ruído.

cos. Na parte superior, notam-se vários navios ancorados na baía de Guanabara. É possível observar também certa poluição, principalmente na área do cais do porto.

O realce corresponde a um conjunto de técnicas destinadas a melhorar a discriminação visual dos objetos presentes nas cenas. Seu objetivo é sempre o de produzir uma imagem com maior conteúdo de informação para o interpretador. Um exemplo simples desse tratamento seria o aumento de contraste. A figura 9 mostra o resultado da aplicação de técnicas de contraste à imagem da figura 8.

A classificação dos objetos presentes em uma imagem, isto é, sua associação a uma classe (tema) ou a um padrão conhecido — rio, mata, cana-de-açúcar, por exemplo — é uma informação freqüentemente desejada. Para isso, utiliza-se um conjunto de métodos denominado classificação de padrões.

Um objeto natural emite radiação em todos os comprimentos de onda. O receptor capta a informação em algumas bandas estreitas, no espectro de freqüências. A classificação será feita pela comparação dessa

informação, chamada espectral. Se cada elemento do conjunto de dados pode ser definido por duas variáveis, a identificação das classes pode ser feita pela análise visual de gráficos em duas dimensões. Na figura 10, a reflectância (razão da energia incidente pela energia refletida) espectral da cobertura vegetal, num comprimento de onda, é representada graficamente *versus* a reflectância espectral em outro comprimento de onda, em que a vegetação rala e a vegetação densa podem ser identificadas como classes distintas.

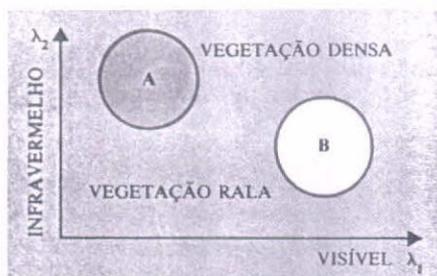


Fig. 10. Elementos de características espectrais semelhantes podem ser agrupados em classes. A identificação automática destas é chamada classificação de imagens.

Os algoritmos de classificação se dividem em dois tipos: o estatístico e o determinístico. O primeiro tipo supõe que a informação espectral dos objetos tenha um comportamento aleatório e, portanto, seja descritível por funções de distribuição de probabilidade. O segundo presume que o comportamento dessa informação não seja aleatório e possa ser descrito por funções que assumem valores bem definidos de acordo com a classe. Na imagem da figura 11, escolheu-se um classificador de tipo estatístico.

Processamentos de um nível de abstração superior aos mencionados seguem-se à classificação da imagem em temas. Há técnicas que permitem descrever a morfologia e a topologia das cenas. Podem-se, por exemplo, comparar parâmetros de forma e posição dos objetos, identificar grupos de objetos semelhantes, analisar a posição relativa destes etc. Essas técnicas são conhecidas como algoritmos de análise de imagens.

Após a análise, dispõe-se de processamentos de um nível de abstração ainda maior. A descrição paramétrica de que se falou acima pode ser cruzada com informações conhecidas sobre a cena, e esses dados ganham significado qualitativo. Por exemplo: sabendo-se que a cena imageada é composta por objetos dispostos sobre uma prancheta de desenho, o objeto alongado de 5 cm de comprimento e 2 cm de largura passa a ser a borracha. O objeto arredondado de 10 cm de diâmetro passa a ser o transferidor. Essa etapa do processamento é conhecida como compreensão de

imagens. Ela ainda é alvo de intensa pesquisa e está intimamente ligada à área de inteligência artificial. Nessa linha, vêm ganhando destaque nos últimos anos os chamados sistemas especialistas.

A passagem pelos três níveis crescentes de abstração no tratamento digital das imagens implica uma redução progressiva das informações manipuladas. Imagens coloridas são reduzidas a imagens binárias, isto é, com dois níveis de brilho. Imagens binárias convertem-se em uma lista de parâmetros. Tabelas transformam-se em conceitos.

O tratamento e a análise de imagens por computador, além de já constituírem uma relevante tecnologia para o aperfeiçoamento de várias atividades industriais, como o controle de qualidade ou o reconhecimento de peças, são também importantes instrumentos para a realização de pesquisas científicas nas mais diversas áreas do conhecimento contemporâneo. Entre outras, a medicina, a meteorologia, a biologia, a geologia ou a física.

Nos últimos cinco anos, o sensoriamento remoto da Terra vem experimentando um acentuado desenvolvimento. Os sensores evoluíram tanto em resolução espacial quanto em resposta espectral. Enquanto a resolução espacial dos primeiros satélites da série Landsat era de 80×80 m, a do francês *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT), lançado em fevereiro de 1986, pode ser de até 10×10 m. As imagens do Landsat eram representadas inicialmente

por 64 níveis de cinza; já as do SPOT se compõem de 256. No Landsat TM, mais recente, a resolução espectral se faz em sete bandas, desde o azul até o termal (região do espectro correspondente à faixa do infravermelho e onde o sinal é proporcional à temperatura dos corpos). Também cresceu sensivelmente a frequência temporal, número de imageamento de um ponto da superfície da Terra em um dado intervalo de tempo. E já é possível, através do recurso de visada lateral do SPOT, captar imagens estereoscópicas, isto é, em perspectiva.

Tudo isso propiciou um considerável aumento da informação pictórica sobre o planeta, no que se refere a reservas minerais, a regiões agrícolas ou a áreas urbanas. Essa evolução, aliada ao desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens mais sofisticadas e eficientes, transforma o sensoriamento remoto em um valioso instrumento para a análise e o planejamento macroeconômicos.

Em muitas áreas do conhecimento humano, como a citologia ou a metalografia, é necessário efetuar medidas sobre objetos microscópicos. Contudo, os processos tradicionais de aferição dessas medidas, lentos e limitados em muitos casos, nem sempre satisfazem os especialistas. A automação desse processo pelo acoplamento de uma câmara de televisão a um microscópio e o tratamento das imagens adquiridas por um sistema de processamento abrem novas perspectivas para a microscopia. Com esses recursos, é possível localizar re-

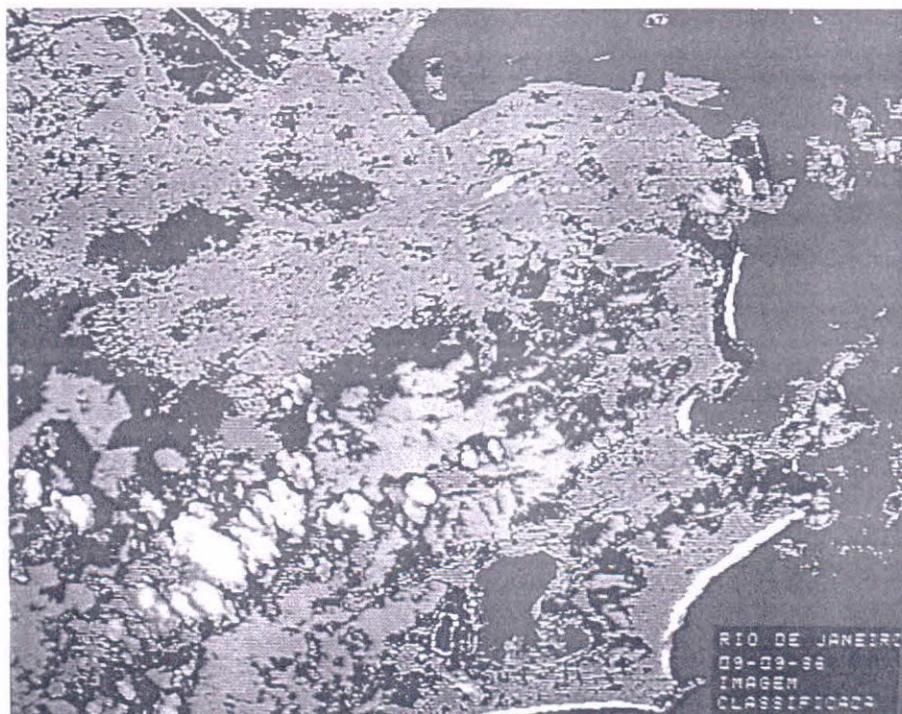


Fig. 11. Imagem do Rio de Janeiro (figura 8) classificada. Foram escolhidas quatro classes: água, praias (areia), zonas edificadas e vegetação.

Fotos Bia Parreiras, Inpe

giões homogêneas que possuem características de interesse e extrair delas atributos que as representem. Tais atributos podem ser de caráter topológico, caso em que informam sobre a organização dos objetos na imagem, ou, simplesmente, constituir medidas individuais — especialmente forma e tamanho — relativas a cada partícula. Se o microscópio for substituído por um telescópio, o mesmo sistema se revela de grande utilidade para os astrônomos, já que permite, por exemplo, a identificação automática de galáxias.

No que se refere a máquinas, vive-se agora o momento da segunda revolução industrial. As da primeira, embora possam executar tarefas de maneira mais rápida e precisa do que a oferecida pelas técnicas manuais, têm capacidade limitada de tomar decisões ou de se adaptarem a alterações do ambiente. Requerem, portanto, constante observação dos operadores. O que distingue as novas máquinas — os controladores da fábrica moderna — é, exatamente, a capacidade de superar essas limitações, graças aos desenvolvimentos em sensores e em computação. Nesse contexto, os sistemas de processamento de imagens ganham relevância, uma vez que podem funcionar como um subsistema — a visão — dos chamados robôs industriais. Nesse caso, a informação extraída da análise da imagem é colocada à disposição do sistema de controle do robô e pode ser usada para dirigir sua ação.

Em clínica médica, a aplicação das técnicas de processamento de imagens exige o emprego de sensores adequados, pois os órgãos ou a atividade fisiológica que os médicos precisam observar são internos ao organismo. Raios X, raios gama e ultra-som são três formas de imageamento normalmente empregadas nesse caso. Cada uma apresenta informações distintas sobre o interior do corpo humano. Imagens de raios X são mapas de atenuação que dependem, principalmente, da composição química do meio. O ultra-som funciona de maneira análoga à do sonar de um navio: emite ondas acústicas e capta as ondas refletidas. As imagens assim formadas dependem, portanto, das propriedades mecânicas distintas dos tecidos do corpo. Tanto as imagens de raios X como as de ultra-som proporcionam informações morfológicas sobre os órgãos (figura 12). Já as imagens de medicina nuclear mostram a circulação de material radioativo dentro do corpo. Elas exibem a função fisiológica diretamente, e é a observação dessa função, normal ou anormal, que é útil para o clínico.

A combinação dessas técnicas de imageamento com sofisticados algoritmos matemáticos criou condições para a existência de um importante aliado da medicina moderna: o tomógrafo computadorizado. O

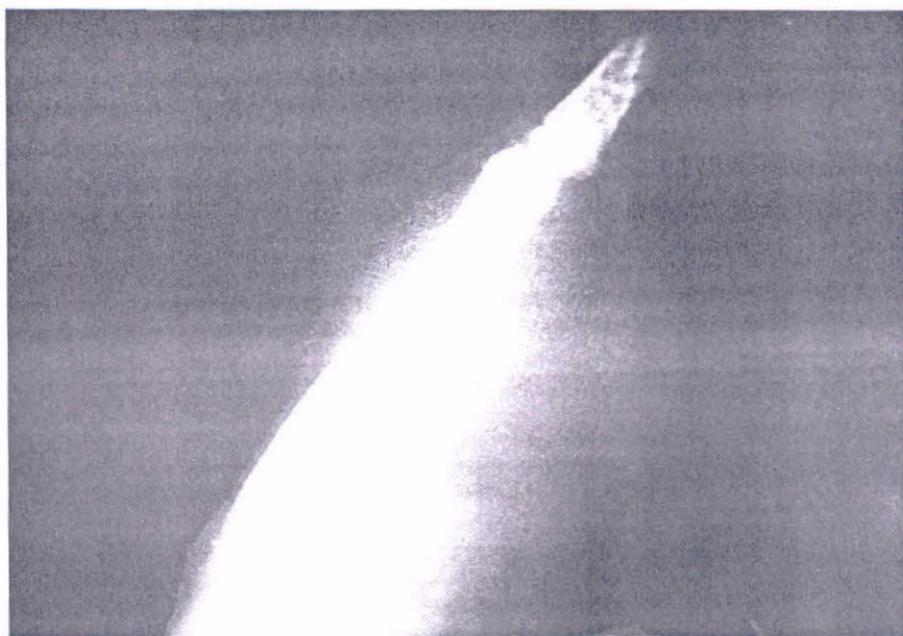


Fig. 12. Radiografia digital do polegar de um paciente.

problema principal em tomografia é a reconstrução de imagens, a criação de uma imagem tridimensional pela composição de cortes do objeto. Assim, o paciente é submetido a dosagens de raios X segundo vários ângulos que atravessam uma fatia de seu corpo. A partir dos dados obtidos, é possível reconstruir a densidade do tecido naquela fatia. O empilhamento das sucessivas fatias bidimensionais permite a reconstrução do volume (ver "As seções indiscretas", "Novas imagens do corpo: tomografia por ressonância magnética nuclear", em *Ciência Hoje* n.º 15 e 20, e "Campos ultrabaixos favorecem difusão da RMN", em *Ciência Hoje* n.º 27, p.10).

grande potencial de imagens de satélite como fontes de dados atualizados sobre os recursos naturais vem aumentando o interesse em relacioná-los com mapas, documentos cartográficos, resultados de censos e de levantamentos em campo. Para isso, é preciso criar uma base de dados geocodificada que os integre. O sistema computacional que realiza essa tarefa é chamado sistema geográfico de informações (SGI).

Um SGI se destina a dar apoio à decisão, em aplicações que envolvam regiões geográficas. Sua principal característica reside na possibilidade de reunir, num mesmo referencial geográfico, diferentes informações sobre a área de estudo, tais como variáveis biológicas, geofísicas, sócio-econômicas e populacionais. Tal integração pode fornecer ao interessado um quadro mais completo do que o oferecido pelas variáveis tomadas isoladamente. Além disso, é bastante vantajosa a capacidade de um SGI de ter acesso a informações basea-

das em localizações geográficas, pois muitas são coletadas dessa maneira circunscrita. O resultado da análise de um SGI pode ser mostrado em forma de mapas ou de gráficos, o que ilustra visualmente a comparação entre os diversos fenômenos.

Numa aplicação típica, o usuário disporia de um conjunto de indicações em formatos distintos, provenientes de um sistema computacional capaz de criar, manipular e mostrar resultados numa base de dados geocodificada, e de um modelo de análise que lhe permitiria formular hipóteses e extrair conclusões.

Por exemplo, um geólogo interessado em prospecção de mineralizações de sulfetos poderia integrar informações de imagens orbitais, mapas geofísicos (aeromagnetométricos), mapas geoquímicos (teor de cobre, chumbo e zinco em partes por milhão) e mapas de lineamentos (linhas paralelas visíveis nas imagens) extraídos visualmente (mapas de fraturas e falhamentos). Após a criação da base de dados, é necessária a hipotetização de um modelo que leve em conta o conhecimento geológico e que explique ocorrências conhecidas de um determinado mineral. A aplicação desse modelo indicará sítios potenciais de mineralização, reduzindo o custo de uma pesquisa exaustiva em campo.

É oportuno ressaltar que esses sistemas devem ser entendidos como instrumentos de apoio à decisão. A formulação de modelos e a análise dos dados cabem a um especialista. A grande vantagem do SGI consiste em permitir aplicações de modelos quantitativos, de menor subjetividade, em contraste com a abordagem não computacional, que se vale de modelos qualitativos. Entre os usuários potenciais desse sis-

tema encontram-se empresas de mineração (mapeamento geológico), institutos fundiários (cadastro rural), prefeituras (cadastro urbano) e órgãos de planejamento (levantamentos regionais).

O advento dos sistemas computadorizados para tratamento de informações geocodificadas é bastante recente, tendo sido iniciado em meados da década de 1960. O campo está em grande expansão, tanto na pesquisa teórica quanto em desdobramentos tecnológicos. O Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe) vem desenvolvendo seu próprio sistema geográfico de informações, o Sginpe (figura 13), para atender aos objetivos acima descritos. Ele se baseia nos recursos materiais (*hardware*) desenvolvidos para a família Sistema de Tratamento de Imagens (Sitim) e permite realizar comparações de áreas de porte regional (ver "A família de sistemas do Inpe").

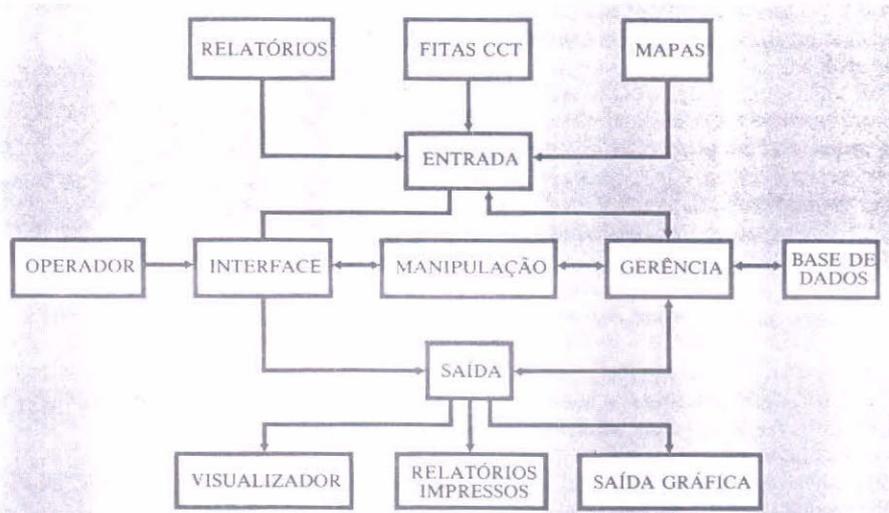


Fig. 13. Sistema geográfico de informações desenvolvido no Inpe. Fitas CCT (da expressão inglesa *computer compatible tapes*) são as compatíveis com computador.

A família de sistemas do Inpe

Desde 1975, o Inpe vem aplicando esforços na área de processamento digital de imagens. Eles incluem a pesquisa e o desenvolvimento de equipamentos e de algoritmos e, entre seus resultados, está o lançamento, em 1975, do primeiro sistema brasileiro de processamento de imagens, o Sitim-110. A seguir, a equipe pretende criar toda uma família de sistemas, em várias configurações e com diferentes relações preço/desempenho. O objetivo é o de possibilitar a disseminação dessa tecnologia por todo o país, abrindo caminho para a utilização de técnicas até o momento não disponíveis.

Os dois primeiros membros dessa família, o Sitim-110 e o Sitim-150 (figura 14), já são produtos acabados e estão sendo comercializados pela Empresa de Engenharia para Aplicações Espaciais (Engespaço). O terceiro, o Sitim-200, entrou

em fase de projeto. As características dos três estão resumidas na figura 15. Atualmente, também faz parte das atividades do grupo o desenvolvimento de pesquisas em arquiteturas não convencionais, com o objetivo de dar subsídios para a definição de um quarto membro da família, o Sitim-300. Esse sistema deverá contar com um módulo especial de pro-

cessamento de imagens que terá uma arquitetura sistológica, isto é, na forma de matrizes de processadores básicos, cada um dos quais é responsável pelo processamento de um *pixel*. Duas propriedades da família Sitim que ainda merecem destaque são a possibilidade de aquisição de imagem colorida e a compatibilidade com aparelhos de videocassete.

	Sitim-110	Sitim-150	Sitim-200
UCP	PC-XT	PC-XT	PC-AT
Visualização	512 × 512 × 4	1.024 × 1.024 × 4	1.024 × 1.024 × 4
Capacidade disco	60 MB	60 MB	309 MB
Software	Sitim	Sitim/Anima/SGI	A definir
Previsão	1985	1987	1988

Fig. 15. Características da família de sistemas criada no Inpe. Os softwares Sitim e Anima (da expressão análise de imagens) se destinam, respectivamente, ao sensoriamento remoto e à microscopia.

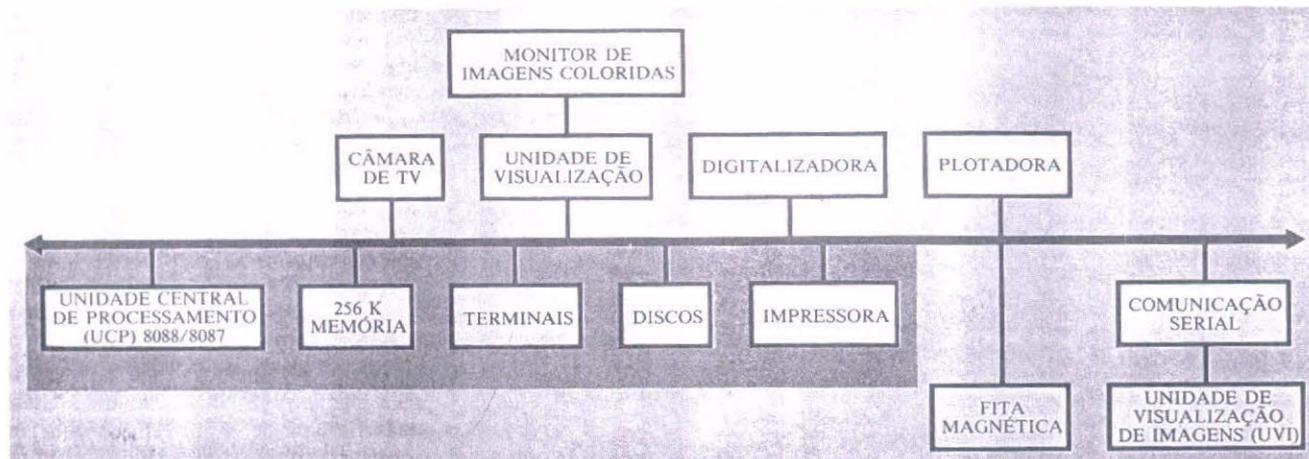
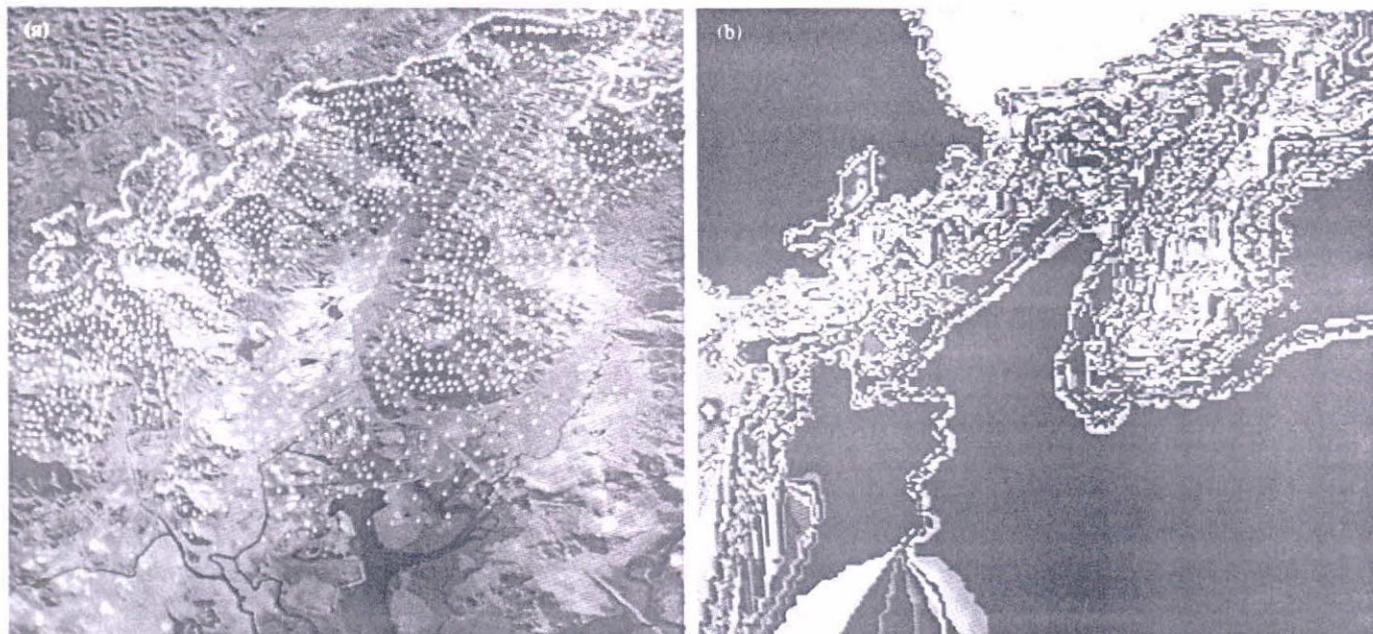


Fig. 14. Arquitetura dos sistemas Sitim-110 e Sitim-150.



Um exemplo das possibilidades do Sginpe é apresentado na série da figura 16. Inicialmente, tomou-se uma imagem Landsat TM da região de Cubatão (SP) e um mapa topográfico da mesma região. No mapa topográfico, foram identificados pontos com altitude conhecida, mostrados na figura 16a, sobre fundo branco e preto da banda TM 4 da imagem Landsat. Na figura 16b, indica-se o resultado do processamento da interpolação, ao qual foram associadas cores indicativas de altitude relativa. Neste caso, à cota mínima (zero metro) foi atribuída a cor preta e à cota máxima (1.000 m), a cor sépia. Na figura 16c, exibe-se o resultado da combinação desse processamento com uma imagem Landsat TM, em composição colorida — bandas 3, 4 e 5 —, para a geração de um modelo topográfico tridimensional do terreno.

Os sistemas de processamento de imagens se destinam ao armazenamento e à manipulação de dados no formato de imagens, isto é, conjuntos finitos de pontos dispostos sob a forma de matrizes regulares homogêneas, todas com o mesmo número de linhas e colunas. Esses sistemas devem poder armazenar e manipular, além de imagens, outros tipos de dados com elas relacionados. Tais dados, de natureza simbólica (conceitos, classes de equivalências, por exemplo) ou numérica (estatísticas, parâmetros de forma e de tamanho, entre outros), podem ser conhecidos *a priori*, extraídos das imagens nos processamentos efetuados ou provenientes da interpretação de resultados, isto é, do cruzamento das informações disponíveis.

Existem diferenças entre a organização de um sistema de processamento de ima-

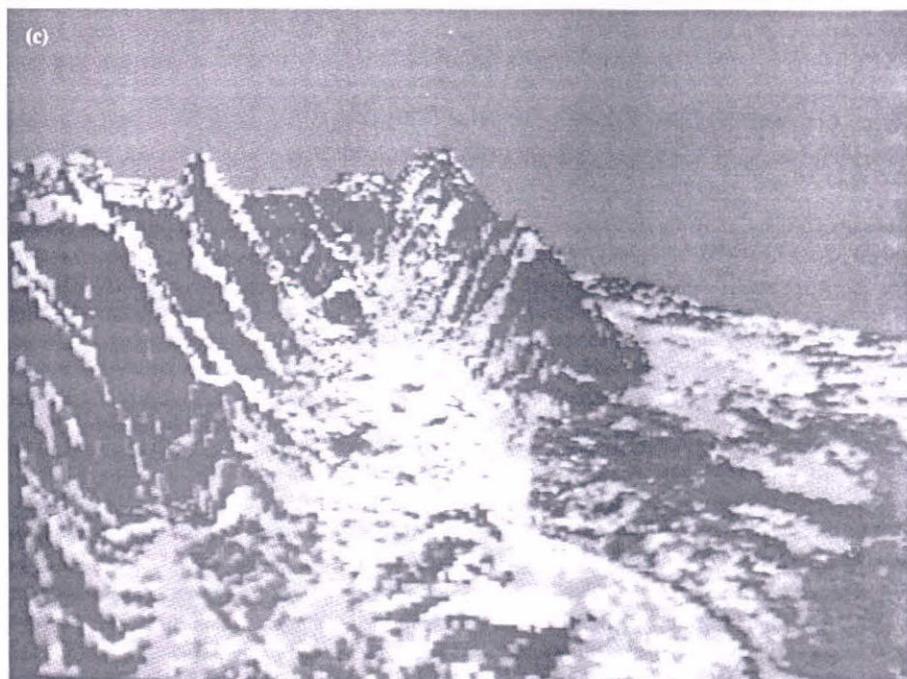


Fig. 16. Exemplo de como gerar um modelo digital de elevação. Em (a), imagem TM de Cubatão (SP), com pontos de altitude conhecida superpostos. Em (b), modelo digital de terreno (DTM, da expressão inglesa *digital terrain model*) de (a), que mostra as curvas de nível. À cota mínima (zero metro) atribuiu-se a cor preta e à cota máxima (1.000 m), a cor sépia. Em (c), combinação de uma imagem TM, em composição colorida, com o modelo digital de terreno, vista em perspectiva. É possível simular movimento pela passagem sucessiva de várias imagens, com o observador em diferentes posições.

gens e a de um sistema de processamento de dados de propósito geral. O primeiro apresenta recursos materiais e recursos lógicos, chamados *software*, especializados para o tratamento de dados com aquele formato. Caracteriza-se por necessitar de dispositivos de aquisição de imagens, de um meio poderoso de armazenamento de dados (memória de massa) e de mecanismos que facilitem ao máximo a transferência destes, em razão de seu grande volume. Em

geral, os sistemas de processamento de imagens são interativos: um operador humano, usualmente um especialista em uma das áreas de aplicação, participa de seu fluxo de informações. Portanto, eles devem dispor de meios de comunicação com o especialista, os quais compreendem tanto dispositivos físicos — visualizadores, terminais de vídeo — como linguagens adequadas para a comunicação entre o homem e a máquina.

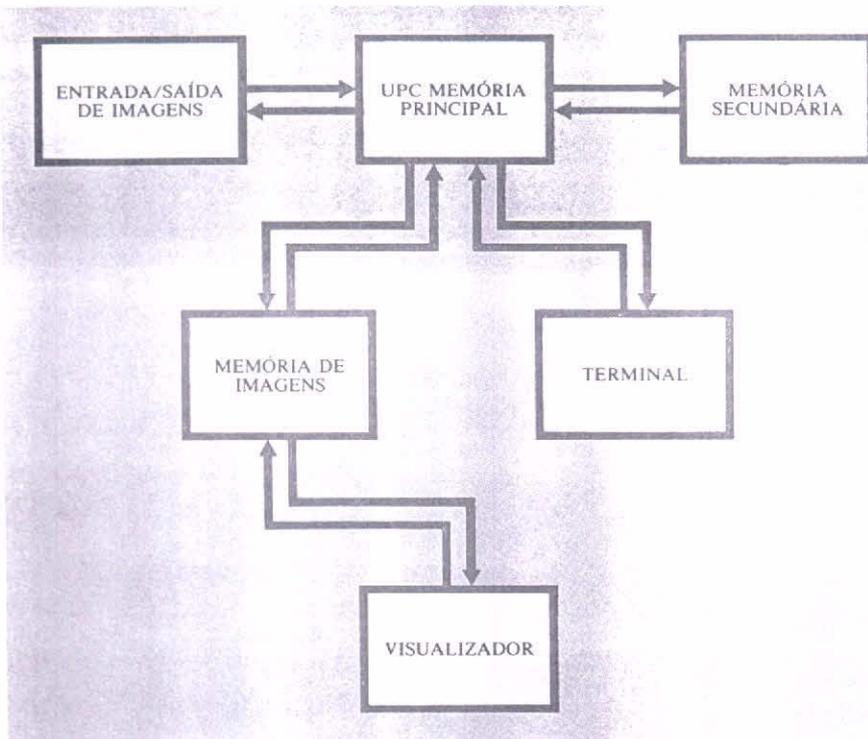


Fig. 17. Configuração do hardware de um sistema de processamento de imagens.

A figura 17 mostra uma possível configuração do hardware de um sistema de processamento de imagens. A unidade de visualização conta com um monitor de televisão que mostra a imagem, ou parte dela, armazenada na memória de imagens, especializada na guarda de dados pictóricos. A câmara de TV, que pode ser acoplada a dispositivos como microscópio, telescópio e outros, e a mesa digitalizadora são exemplos de periféricos para a entrada de imagens. Estas podem, ainda, ser fornecidas ou recuperadas por fita magnética. O processamento e o controle do tráfego de informações é feito por meio do conjunto formado pela unidade central de processamento (UCP) e pela memória principal. A memória do computador e a da unidade de visualização, de acesso rápido, são consideradas memórias de trabalho e não de arquivo. Na memória secundária armazenam-se imagens recentemente processadas ou em processamento, além de programas e de outros dados. O visualizador permite o monitoramento do resultado das operações. A comunicação com o usuário se faz por meio deste e do terminal.

Uma tendência tecnológica atual é a de que os sistemas de processamento de imagens tenham flexibilidade de configuração para operarem tanto isoladamente (*stand-alone*) quanto conectados a outros computadores. A evolução dos microcomputadores verificada no início da década de 1980 permitiu reduzir bastante o custo desses sistemas, anteriormente baseados em mini-computadores, e aumentou sua dissemina-

ção na comunidade. A perspectiva presente é a da constituição de uma rede de sistemas pequenos conectada a um outro de grande porte, que supre a deficiência dos microcomputadores no que se refere ao armazenamento de imagens e ao poder computacional exigido pela crescente demanda dos usuários e pela própria evolução dos sistemas imageadores.

A eficiência dos sistemas pode crescer também graças a outras inovações. O problema do armazenamento e do poder computacional pode ser resolvido com o desenvolvimento da tecnologia de discos ópticos e dos processadores especializados em imagens. Discos ópticos digitais se mostram extremamente úteis para a montagem de arquivos visuais pela garantia de integridade dos dados, característica essencial, por exemplo, para um sistema de armazenamento e comunicação de imagens. Esse sistema, que tem aplicação em medicina, constitui-se em um grande banco de dados no qual se arquivam e de onde se recuperam facilmente, através de terminais especiais, imagens de raios X, ultra-som, gamagrafia etc. Processadores baseados em componentes de altíssima integração (VLSI, da expressão inglesa *very large scale integration*) e arquiteturas paralelas começam a sair dos centros de pesquisa para o setor industrial. Já são oferecidos como equipamentos periféricos dos microcomputadores mais utilizados em nível internacional. Esse fato torna viável a idéia de sistemas computacionais de baixo custo e alto desempenho.

Os componentes lógicos de um sistema de processamento de imagens são um conjunto de programas de computador que fazem uso de componentes materiais do sistema. Como este deve ser interativo, o *software* precisa ser concebido para cumprir tal função. Duas são as maneiras clássicas de realizar a comunicação nos sistemas do tipo interativo: linguagem de comando ou cardápio. Com a primeira, o usuário digita um determinado comando para solicitar uma ação. O segundo se compõe de uma lista de itens que apresentam opções. O usuário interage com o cardápio selecionando um dos itens, o qual produz a ação desejada.

O *software* de tratamento e interpretação de imagens é parte fundamental nesse tipo de processamento. Sem os algoritmos adequados para a extração de informações, todo o ambiente de hardware, por mais sofisticado que seja, torna-se impotente. Um sistema ideal deveria contar com módulos capazes de executar operações nos níveis baixo, médio e alto de abstração e com algoritmos gráficos que permitissem superpor às imagens informações gráficas e legendas. Ele seria organizado segundo uma arquitetura de *software* modular, com um núcleo básico de operações bem definido e com as demais operações compostas pelo encadeamento dessas funções simples. Desse modo, elevar-se-ia ao máximo a portabilidade do sistema, isto é, sua independência em relação ao ambiente de hardware. Os aplicativos específicos seriam então desenvolvidos no ambiente assim definido.

No que se refere às operações de alto nível de abstração, uma perspectiva promissora se descortina atualmente. Uma área bastante estudada é a compreensão de imagens. Técnicas de inteligência artificial estão sendo usadas para a interpretação de informações integradas a um conhecimento apriorístico da cena. Um exemplo disso é a identificação automática de deficiência cardíaca pela análise de uma seqüência de imagens de um coração.



SUGESTÕES PARA LEITURA

- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Manual de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, 1986.
- MACOVSKI A., *Medical imaging*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1983.
- MASCARENHAS N.D.A. e VELASCO F.D.R., "Processamento digital de imagens". *IV Escola de Computação*, USP, 1984.
- NEWMAN W.M. e SPROULL R., *Principles of interactive computer graphics*. Nova Iorque, MacGraw-Hill, 2ª ed., 1979.
- PRATT W.K., *Digital image processing*. Nova Iorque, John Wiley and Sons, 1978.
- SERRA J., *Image analysis and mathematical morphology*. Nova Iorque, Academic Press, 1982.