

**O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade do(s) autore(s).**  
**(The contents of this report are the sole responsibility of the author(s).)**

**Cartas náuticas eletrônicas:  
Operações e estruturas de dados**

*Cleomar M. M. de Oliveira   Neucimar J. Leite*

**Relatório Técnico IC-96-03**

**Maio de 1996**

# Cartas Náuticas Eletrônicas : Operações e Estruturas de Dados\*

Cleomar Márcio Marques de Oliveira \* Neucimar Jerônimo Leite \*

18 de dezembro de 1995

## Sumário

Neste trabalho nós abordamos alguns problemas relativos ao desenvolvimento de um sistema de cartas náuticas eletrônico, através de uma abordagem das suas funções básicas e das estruturas de dados associadas. Com a utilização de cartas náuticas impressas como fonte primária de dados, apresentamos uma seqüência de operações a serem realizadas durante as fases de digitalização, pré-processamento e processamento das imagens. São analisados, ainda, esquemas de representação, considerando as características particulares dessas imagens e as operações a serem realizadas sobre as mesmas.

## 1. Introdução

Dentre as diversas aplicações que manipulam dados espaciais, caracterizadas como aplicações espaciais, estão aquelas ligadas à cartografia, no desenvolvimento de cartas náuticas, e a aplicações que se utilizam dessas cartas, processando os dados cartográficos para obter outras informações.

Essas aplicações podem beneficiar-se largamente da utilização de estruturas de dados para a representação e suporte a operações sobre os dados, possibilitando a realização de buscas por diversos atributos ou acesso aos mesmos de maneira eficiente, em termos de tempo de pré-processamento. Há também vantagens em termos de quantidade de memória necessária para armazenar a estrutura pré-processada para dar suporte a recuperação desses dados, visando a aplicação de funções sobre os mesmos em memória principal que, por serem mais rápidas, permitem um desempenho melhor do sistema, uma vez que esse tipo de aplicação envolve um grande volume de dados [Fil94, II82].

Neste trabalho, nós analisamos os requisitos funcionais de uma aplicação relacionada com a implementação de cartas náuticas eletrônicas ou, mais especificamente, com um Sistema de Informação e Apresentação de Cartas Eletrônico (SIACE), manipulando eletronicamente imagens do tipo cartas náuticas. A partir do estabelecimento de funções para esta aplicação, abordamos estruturas de dados para atender os requisitos e demais necessidades de um tal sistema. Como veremos, esta abordagem está associada a um módulo de funções de Processamento Digital de Imagens (PDI) suportando, entre outras, estruturas de dados necessárias à representação e manipulação de imagens de cartas náuticas [Oli95].

---

\* Este trabalho está inserido no contexto do projeto **Geoprocessamento : Sistemas e Técnicas** - GEOTEC, no âmbito do PROTEM - CC.

\* UNICAMP - Departamento de Ciência da Computação - Caixa Postal 6101 13081 Campinas, SP, Brasil - marques@dcc.unicamp.br , neucimar@dcc.unicamp.br

## 2. Cartas Náuticas

Assim como os mapas, as cartas náuticas representam parte da superfície terrestre. Entretanto, nas cartas náuticas, essas superfícies caracterizam-se por serem cobertas por água, sendo então representadas as profundidades e feições desse ambiente. Modernamente, seu propósito principal é servir como instrumento básico e fundamental para a segurança da navegação, além de fonte de dados para pesquisas e análises do ambiente por ela representado.

Não existe diferença rígida entre os conceitos de mapas e cartas. O estabelecimento de uma separação definitiva do significado de cada conceito torna-se difícil, sendo atualmente utilizados por motivos históricos e também subordinados à idéia de escala.

A palavra **mapa** teve origem na idade média e era empregada exclusivamente para designar as representações terrestres. Após o século XIV, os mapas marítimos passaram a ser denominados cartas como, por exemplo, as conhecidas cartas de marear dos portugueses.

Atualmente, podemos aceitar a definição de **mapa** como sendo a representação da Terra nos seus aspectos geográficos - naturais ou artificiais - destinados a fins culturais, ilustrativos ou mesmo comerciais. O mapa não tem caráter científico especializado e, geralmente, é construído em escala pequena, cobrindo um território mais ou menos extenso.

**Carta** é a representação dos aspectos naturais ou artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes. Muitos dos detalhes e informações hoje disponíveis nas cartas náuticas devem ser registrados em outras publicações, evitando o excesso de informações nas mesmas. Por exemplo, detalhes de faróis são encontrados na Lista de Faróis.

Podemos concluir, assim, que a carta é uma representação similar aos mapas, mas de caráter especializado, confeccionada geralmente em escalas grandes. A ciência que modernamente trata da construção de cartas é a cartografia, definida como a arte, ciência e tecnologia de construção de mapas, juntamente com seu estudo como documento científico e trabalho artístico [SE90].

Com o propósito de servir de ferramenta à navegação, as cartas náuticas estão associadas a um sistema de coordenadas que permite a obtenção da localização de qualquer ponto que represente. Esse sistema de coordenadas utilizado denomina-se Sistema de Coordenadas Geográficas e sua unidade de medida são graus, minutos e décimos de minutos. Esse sistema divide a superfície da Terra em uma malha, onde o eixo horizontal é o Equador e o eixo vertical é o meridiano de Greenwich. Para a sua construção, as cartas náuticas utilizam um sistema de projeção, representando o espaço tridimensional no espaço bidimensional. Nas cartas brasileiras, o sistema de projeção utilizado é a Projeção de Mercator, cuja característica principal é a de ser conforme. Isso significa que as pequenas áreas representadas nas cartas náuticas mantêm semelhança com as entidades do mundo real. Outro aspecto importante para a navegação, devido à característica de conformidade dessa projeção, é a de representar as loxodromias<sup>1</sup>, fig. 2.1, como linhas retas nas cartas, fazendo ângulos, **a1** e **a2**, constantes com os meridianos, **m1**, e com os paralelos, **p1**, que corta. Isso facilita bastante a atividade de planejamento e execução da navegação.

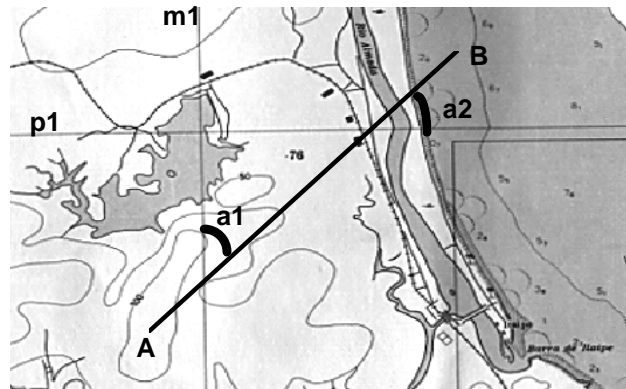
Apesar de todas essas características, as cartas náuticas impressas são eminentemente estáticas, sendo todas as operações realizadas manualmente sobre as mesmas. As aplicações que se utilizam de cartas náuticas impressas como ferramentas para o seu desenvolvimento, principalmente aquelas que necessitam extrair ou controlar informações em tempo real, como é o caso da navegação, ressentem-se muito da forma como essas

---

<sup>1</sup> percurso que um navio descreve para ir de um ponto a outro na superfície da Terra, conservando o mesmo rumo.

operações são realizadas, não sendo automatizadas ou sem o suporte de algum sistema eletrônico. Além da baixa velocidade decorrente da operação manual nessas cartas náuticas, outros problemas ocorrem :

- a confiabilidade das informações obtidas torna-se baixa por depender exclusivamente do operador;
- o cansaço provocado pelo trabalho contínuo e repetitivo leva o operador a cometer erros;
- o processo manual gera grandes imprecisões;
- a velocidade na obtenção e o controle das informações depende exclusivamente do operador, muitas vezes não satisfazendo as necessidades práticas;
- apesar do grande volume de correções, a atualização das cartas náuticas também é um processo manual e rudimentar, além de ter um controle pouco eficiente, deixando-se muitas vezes de serem realizadas atualizações importantes nas mesmas.



**Figura 2.1** Segmento de reta representando uma Loxodrômica.

### 3. Cartas Náuticas Eletrônicas

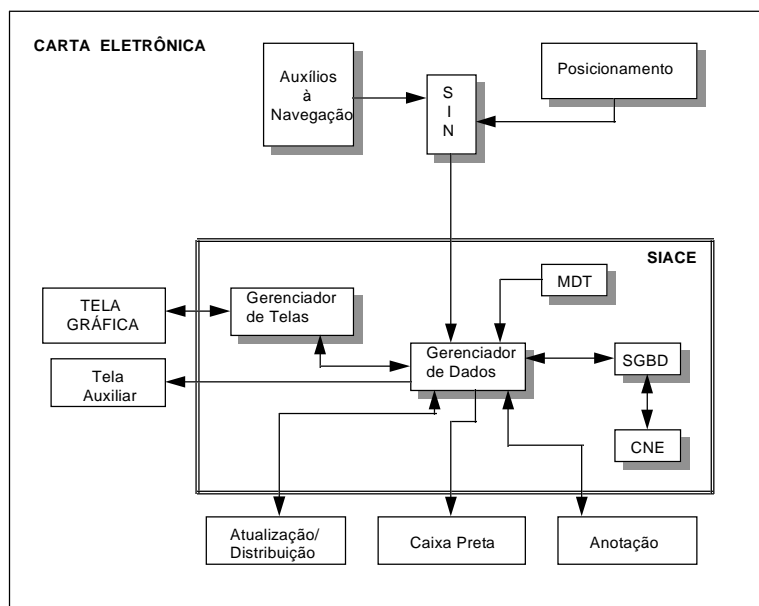
Carta Eletrônica é definida como um sistema que integra as informações da carta, informações de posição e outros parâmetros tais como rumo, velocidade e profundidades. A integração da carta a outros sistemas eletrônicos ou sensores possibilita a utilização das mesmas em diferentes tipos de embarcações, com finalidades diferentes.

Uma das principais características de uma carta náutica eletrônica é a de ser um sistema em tempo real que elimina, por exemplo, a forma antiga de obter e plotar a posição do navio. No processo tradicional, logo após a obtenção das referências para se determinar essa posição, as mesmas são traçadas na carta impressa e só em seguida é feita a identificação da posição do navio em coordenadas de latitude e longitude. Naturalmente, da obtenção das referências para essa posição até a obtenção de suas coordenadas, um determinado período de tempo tem decorrido, com o navio se encontrando em outra posição diferente dessa última. Isso significa que sempre estamos analisando uma posição passada [GM86].

Um outro enfoque importante dado às cartas eletrônicas é a integração a outros sistemas, com a preocupação de se especificar o que é integrado e o tipo de sistema a ser utilizado, visando-se obter respostas rápidas tanto em relação às consultas à base de dados como ao processamento das informações. Essas considerações não serão elaboradas neste trabalho específico.

Nesse âmbito, a carta eletrônica e os diferentes módulos que compõem o sistema podem ser ilustrados através do diagrama da fig. 3.1.

Nesta figura, os módulos Tela Gráfica e Tela Auxiliar constituem os principais módulos de saída do sistema. O módulo Tela Gráfica está associado também a dispositivos de entrada, como o teclado e o “mouse”. Esses módulos constituem a interface do usuário com o sistema. O módulo SIN (Sistema Integrado de Navegação) integra as informações oriundas de diversos equipamentos que auxiliam na navegação e os envia ao módulo Gerenciador de Dados. Esse módulo tem a função de controlar todas as informações que entram e saem do sistema, além do fluxo interno de dados. Controla, por exemplo, as consultas ao módulo CNE e ainda não atendidas. O módulo CNE (carta de navegação eletrônica) é a base de dados local do sistema, onde estão armazenadas as imagens que serão exibidas na Tela Gráfica, bem como outros dados, como informações textuais específicas de entidades representadas nas cartas náuticas. O módulo Gerenciador de Telas possibilita a realização de operações sobre as imagens exibidas na Tela Gráfica, como o planejamento da derrota de navios. O módulo Atualização/Distribuição permite o recebimento e envio de dados para/do sistema, visando a atualização, por exemplo. O módulo caixa preta armazena os principais eventos ocorridos na operação do sistema, permitindo a reconstrução dos mesmos posteriormente, permitindo análises e auditoramento. O módulo Anotação está relacionado a dispositivos de saída do tipo impressora e plotter, possibilitando a geração de relatórios, por exemplo. O módulo MDT (modelo digital de terreno) traça linhas isobatimétricas<sup>2</sup> e, para isso, dispõe de métodos de interpolação de profundidades e de um conjunto de pontos relativos à batimetria da área que representa.



**Figura 3.1**

**Blocos da Carta Eletrônica.**

**Diagrama de**

<sup>2</sup> linhas que unem os pontos de igual profundidades no mar.

### 3.1 Considerações Sobre o Desenvolvimento do Sistema

O desenvolvimento de sistemas de Carta Náutica Eletrônica encontra-se ainda numa fase muito primária, tendo-se em uso pelo mundo algumas implementações para atender a diversas aplicações específicas, com necessidades limitadas, como em embarcações de pesca e recreio [Eat90, ML88].

Evidentemente, a normatização desses sistemas, com a especificação de categorias e requisitos que devam ser atendidos, deverá ser estabelecida por um órgão internacional, única forma de infundir-lhes o necessário crédito indispensável à aceitação dos mesmos pelos diferentes países, uma vez que sua implantação representa gastos consideráveis e investimentos em um sistema adequado para a sua manutenção, por parte dos órgãos hidrográficos competentes, que deverão ser os responsáveis pela correção das informações dos bancos de dados da carta eletrônica. O órgão que atualmente desempenha esse papel é a Organização Hidrográfica Internacional (OHI), órgão assessor da Organização Marítima Internacional (OMI), que vem mantendo equipes para estudos, pesquisas e divulgação das normas necessárias ao aperfeiçoamento desses sistemas que, num futuro não muito distante, serão de uso obrigatório nas embarcações [Deh90, ML88].

Devido ao pouco tempo de uso dos sistemas hoje em serviço, sua robustez ainda não está comprovada, nem conclusões definitivas sobre concepções ou linhas de pesquisas prioritárias foram estabelecidas.

## 4. Estruturas de Dados Aplicadas às Cartas Náuticas

As estruturas de dados são classificadas em função de diferentes fatores. Eles influenciam o seu projeto e desenvolvimento, o que repercute diretamente no desempenho. Alguns exemplos desses fatores são :

- tipos de dados que suportam
- tamanho dos dados
- distribuição dos dados
- dinâmica dos dados

Quanto ao **tipo de dados**, as estruturas podem ser divididas em duas categorias principais : para dados convencionais e para dados não convencionais. A primeira é aquela que dá suporte a operações com dados alfanuméricos (números e cadeias de caracteres). As aplicações mais comuns que utilizam esse tipo de estruturas são : computação científica em conjuntos estáticos, como cálculos de matrizes; aplicações comerciais, como geração de relatórios, processamento “batch” e cálculos analíticos com a manipulação de dados em arquivos diversos; processamento de transações interativas, como em bancos, com acessos por diferentes atributos (nome, conta, ...) e representação do conhecimento, como em rede semântica em inteligência artificial.

As estruturas de dados que, além de darem suporte aos tipos de dados convencionais, também suportam novos tipos de dados como imagens, pontos ou sólidos no espaço, fazem parte da segunda categoria. Alguns exemplos de aplicação desses tipos de dados são : CAD/CAM ( projeto e fabricação assistidos por computador); aplicações geográficas e cartográficas; aplicações com imagens e inteligência artificial.

No objeto de estudo deste trabalho, a carta náutica, existem dados alfanuméricos (números e cadeias de caracteres) e dados espaciais (pontos, linhas, regiões). Aplicações que utilizam esses tipos de dados são designadas **aplicações geográficas**. Os dados espaciais, diferentemente dos tipos de dados alfanuméricos, exigem novos requisitos para o projeto, implementação e estruturas de dados para bancos de dados de imagens.

Várias diferenças existem entre sistemas de banco de dados convencionais, onde os problemas de gerenciamento do armazenamento são relativos àqueles tipos de dados, e sistemas de banco de dados geográficos, onde o gerenciamento dos dados deve ser bem mais extensivo [MZ91]. Essas diferenças incluem modelagem de dados, otimização de consultas, estratégias de indexação, controle de concorrência e gerenciamento de armazenamento.

Tratando mais especificamente da representação dos dados, uma classificação dos dados geográficos é apresentada na fig. 4.1 [Lu<sup>+</sup>91].

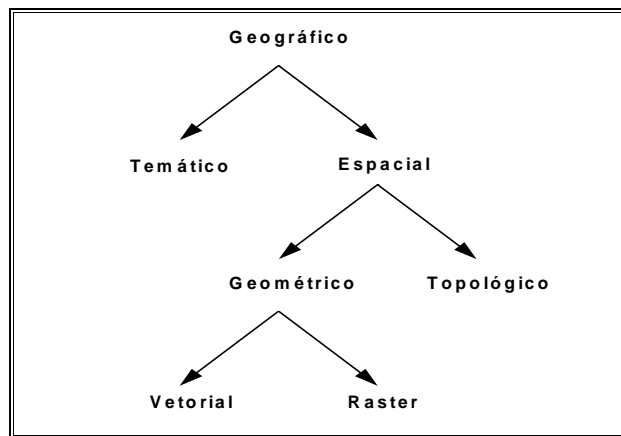
Os dados geográficos podem ser classificados em dois tipos : espacial e temático. Dados temáticos são dados alfanuméricos (convencionais) associados a entidades gráficas. Exemplo : população de uma cidade e distribuição de renda por região geográfica.

O dado espacial consiste de duas partes: dado geométrico e dado topológico. Dado geométrico é a descrição de objetos espaciais, que podem estar nos formatos raster ou vetorial. Dados topológicos são relacionamentos espaciais entre dados geométricos . Os dados geométricos no formato vetorial podem ser de três tipos genéricos : pontos, linhas e regiões.

Uma linha consiste de um ou mais conjuntos colineares de segmentos de retas conectados representados por um par de pontos. Uma região é representada por um conjunto de segmentos de retas conectados. Ambos os formatos, raster e vetorial, podem ser usados para representar os dados espaciais.

O dado geométrico no formato vetorial é mais adequado para a recuperação baseada em características, enquanto o formato de dado raster é baseado em imagens e conseqüentemente mais difícil de instanciar relacionamentos, a não ser que sofra um pré-processamento. Dessa forma, o dado no formato vetorial é geralmente usado para manipulação, enquanto o formato raster é mais usado para a visualização.

Os dados topológicos são raramente armazenados explicitamente devido a sua grande cardinalidade, entretanto, de uma maneira geral, esses dados, podem ser derivados dinamicamente.



**Figura 4.1**

**geográficos.**

**Classificação dos dados**

## **4.1 Grupos de Estruturas de Dados Espaciais**

Consideraremos, basicamente, três grupos distintos de estruturas de dados espaciais:

- **derivadas de árvores binárias** : aquelas estruturas que estendem o funcionamento das árvores binárias, caracterizando-se por terem nós de baixo “fan-out”<sup>3</sup>, serem predominantemente estáticas e pouco adequadas ao gerenciamento de dados em memória secundária por causarem várias “page-faults”<sup>4</sup>.

- **derivadas de estruturas “hash”** : aquelas estruturas que foram projetadas exclusivamente para o gerenciamento de dados em memória secundária, dispostos em páginas de disco denominadas “buckets”. Essas estruturas provêm um mapeamento dos dados no espaço multidimensional para os “buckets” onde são armazenados (espaço unidimensional). Na prática, elas podem ser caracterizadas por dividirem um conjunto de dados em grupos, de forma que a busca de um determinado elemento pode ser realizada apenas dentro do grupo a que ele pertence [Cas73].

- **derivadas de “multiway tree” (árvores multiárias)** : aquelas estruturas onde, a partir de um determinado nó, existem mais de dois caminhos possíveis de serem percorridos. Enfim, é uma generalização de uma árvore binária de pesquisa.

## 4.2 Principais Estruturas de Dados Espaciais

Na literatura encontram-se dezenas de estruturas de dados desenvolvidas para as mais diferentes finalidades, atendendo requisitos dos mais variados. Alguns exemplos dessas estruturas serão apresentados a seguir a título de ilustração, com considerações acerca de seu funcionamento.

**Árvore Binária de Busca** : apresentada em [Knu73], é mais utilizada em memória principal, pois em memória secundária apresenta uma baixa utilização do espaço de armazenamento, causando fragmentação da informação e apresentando baixo desempenho. É uma estrutura de dados estática.

**KD Tree** : derivada da árvore binária de busca, com a diferença que, em cada nível, discrimina uma dimensão. É eficiente para “range queries” e sua utilização também se restringe mais à memória principal pelos mesmos motivos já apresentados. É também uma estrutura estática [Ben75].

**MX-CIF Quadtree** : efetua uma decomposição regular do espaço. É adequada para representar coleções de pequenos retângulos. Não suporta bem as “range queries”. MX é devido a “matrix” e CIF advém de “Caltech Intermediate Form” [Sam90].

**QuadTree** : derivada das árvores binárias, é utilizada para representar pontos ou o espaço bidimensional, particionando-o recursivamente em quatro quadrantes, o que implica na existência sempre de 4 nós filhos. Possui, ainda, diversas variantes, em função de vários aspectos, como tipo e tamanho de dado que representa. É também uma estrutura de dados basicamente estática [Sam90]. Quando utilizada para representar pontos recebe a denominação de Point Quadtree e, na representação do espaço bidimensional, é designada Region Quadtree.

**Octree** : possui o mesmo princípio de funcionamento da quadtree, com a diferença de ter sido desenvolvida para representar o espaço tridimensional. Ou seja, é uma generalização das KD Trees para 3 dimensões [Fil94, Sam90].

**Range Tree** : baseada na árvore de segmentos, onde um domínio linear é particionado hierarquicamente. Cada partição do domínio corresponde a um nível em uma árvore de segmentos. Essas últimas são utilizadas pelas “Range Trees” para realizar buscas em várias dimensões [Ben80, Fil94].

**R Tree** : apresentada em [Gut84], é uma generalização das árvores binárias, onde, a partir de cada nó, mais de dois caminhos são possíveis de serem seguidos. São bastante adequadas ao gerenciamento de dados

---

<sup>3</sup> número de apontadores ou filhos de um nó.

<sup>4</sup> ocasionam requisição de páginas que não estão na memória.



em memória secundária, com economia na utilização do espaço de armazenamento. É bastante eficiente para “range queries”, tendo um dos melhores desempenhos entre as estruturas de dados. É uma estrutura dinâmica e utiliza a estratégia MBR<sup>5</sup>.

**Grid File** : proposta por Nievergelt [NHS84], associa os dados às páginas de discos através de um mapeamento. Para isso, realiza uma divisão do espaço k-dimensional onde estão os dados, em um conjunto de retângulos de k-dimensões. Esse espaço dividido é então chamado de “Grid Directory”.

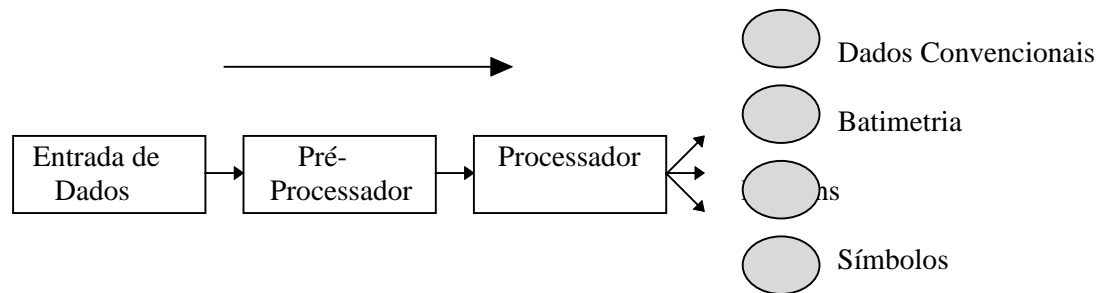
## 5. Uma Análise da Aquisição e Processamento dos Dados de Imagens de Cartas Náuticas.

Antes dos dados estarem disponíveis para serem manipulados pelo sistema, deverão sofrer um tratamento adequado visando sua utilização efetiva. O objetivo desse tratamento é adequar os dados ao processamento a que serão submetidos posteriormente.

A adequação dos dados ao sistema se dá, basicamente, em três fases :

- 1 - digitalização;
- 2 - pré-processamento; e
- 3 - processamento.

A fig. 5.1 ilustra essas 3 fases, mostrando também o processo paralelo de entrada de dados convencionais do sistema, como as informações de manuais e informações sobre a simbologia da carta náutica.



**Figura 5.1 Fases de tratamento dos dados no sistema.**

<sup>5</sup> estratégia para representar objetos de formas irregulares. Cada objeto é representado pelo menor retângulo k-dimensional que consegue contê-lo em sua totalidade [Cox91].

Nessas fases, é levado em consideração a forma como os dados captados são manuseados e como são derivadas, das imagens digitalizadas, as informações necessárias a nossa aplicação específica. Os processos ocorridos em cada uma dessas fases são descritos seqüencialmente nesta seção.

## 5.1 Entrada de Dados

As cartas náuticas impressas constituem a base de dados do sistema. Essas são digitalizadas através de dispositivos do tipo “scanner”, por exemplo. As vantagens de se usar esse processo, comparado à digitalização em mesas digitalizadoras são a maior simplicidade, maior rapidez e custos relativos menores. Além desses fatores, esses dispositivos oferecem bons resultados na digitalização das cartas náuticas, reproduzindo com fidelidade todos os seus aspectos. A maior dificuldade desse método está na precisão e correlação da posição geográfica das componentes da imagem [PM90, SE90].

No manuseio desses dados pictoriais, é necessário definir claramente quais características específicas são importantes e que deverão, portanto, ser preservadas no processo de digitalização. As imagens de cartas náuticas assim obtidas devem possuir as seguintes características, a serem preservadas durante o processo de digitalização :

- **Orientação Norte-Sul** - para possibilitar uma correspondência entre as coordenadas geográficas e as posições relativas das diferentes componentes da imagem, o processo de digitalização deve garantir que os meridianos da imagem estejam posicionados verticalmente, assim como os seus paralelos devem estar posicionados horizontalmente. Essa característica depende dos cuidados no momento de se posicionar a carta náutica a ser digitalizada e da qualidade do hardware e software utilizados para essa finalidade, que precisam evitar ou corrigir quaisquer distorções na imagem;

- **Caráter Multiespectral** - as cores originais existentes nas cartas náuticas devem ser preservadas, distinguindo, além das regiões que representam, toda a sua simbologia. Normalmente 16 cores, incluindo o preto e o branco são julgadas necessárias e suficientes para satisfazerem essa exigência. Equipamentos de digitalização que atendam esse requisito são facilmente encontrados no mercado, atualmente;

- **Resolução** - para representar os dados do mundo real utilizando-se o formato raster, um dos maiores problemas que se observa é, justamente, a precisão. Para se conseguir uma boa representação das propriedades geométricas das entidades do mundo real, como o seu contorno, por exemplo, uma aproximação deve ser feita, caso esse contorno não coincida com o formato e tamanho dos pixels utilizados para representá-lo. Uma solução para esse problema é aumentar a resolução, isto é, cada pixel representa uma área menor do mundo real. Considera-se que um ponto no mundo real deva ter o pixel de tamanho máximo igual à metade desse ponto para representá-lo de forma aceitável. Devido à necessidade de uma representação adequada dos dados reais, a resolução a ser utilizada na digitalização dessas imagens, assim como a sua captação e exibição na TG, é um dos muitos problemas considerados pela OHI. É oportuno lembrar que não se obtém vantagens em gerar imagens com resoluções altas se a tela não tiver capacidade compatível para exibi-las.

- **Outras Propriedades** - no processo de digitalização, não devem ser introduzidos quaisquer outras variáveis que possam modificar as propriedades da imagem original. Os principais aspectos a serem considerados nesse sentido são a distorção, a conexidade de pontos vizinhos, o tamanho das células utilizadas no formato raster (pixels) para representar os dados e, ainda, a resolução utilizada na digitalização.

A entrada dos dados textuais relativos às informações da simbologia da carta náutica, por exemplo, e que estejam disponíveis em manuais e em outras publicações é representada pela seta maior na fig. 5.1. Esta representação indica que este processo é paralelo e independente dos processos existentes nas fases de tratamento da imagem.

## 5.2 A Função Imagem

Uma imagem consiste na representação bidimensional do espaço. Quando esse espaço é dividido em células, estas são designadas pelo termo *formato raster*. Cada uma dessas células corresponde a uma área específica do espaço geográfico e é denominada pixel (de “picture element”) ou ponto. Dessa forma, cada célula representa uma porção do espaço. As células consideradas normalmente são aquelas que têm formato regulares, como as células quadradas e retangulares, fig. 5.2, mas também existem células de uso menos comum como nos formatos triangulares e hexagonais [PM90].

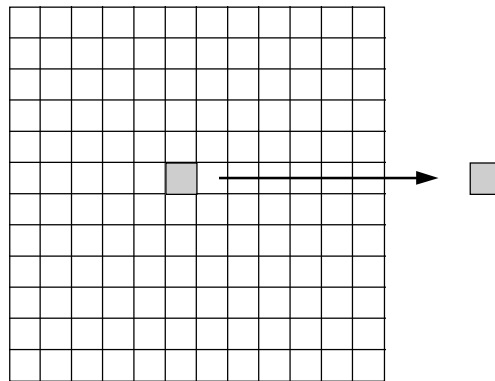


Figura 5.2 Espaço

quadradas.

dividido em células

O valor de cada um dos pixels individualmente corresponde ao seu brilho ou intensidade. Nesse contexto, uma imagem é representada por uma função  $f(x,y)$ . O valor dessa função define o brilho (k-tuplas de valores) da imagem. Para uma imagem binária, esses valores podem ser 0 ou 1, indicando o preto e o branco, respectivamente. Para imagens na escala de cinza, esses valores podem variar entre 0 e 255, por exemplo. Para imagens coloridas, utiliza-se geralmente a função RGB (“Red-Green-Blue”), onde uma combinação de intensidade de cada espectro resulta em diferentes cores. Cada cor básica do espectro tem seus valores variando entre 0 e 255 [RK82].

A matriz da fig. 5.3 ilustra a representação de uma imagem  $f(m,n)$ , onde  $m$  varia de  $1 \dots M$  e  $n$  varia de  $1 \dots N$ . Os pontos dessa imagem constituem as suas células. A estrutura mais comumente empregada para representar esses dados é a matriz, pois ela permite a obtenção da posição relativa de cada pixel na imagem. Além desse fator, ela permite o acesso individual a cada pixel e a aplicação direta e intuitiva dos conceitos de vizinhanças 4 e 8-conectadas,[RK82].

$$\begin{array}{l}
 \text{imagem } f(m,n) \\
 m : 1 \dots M \\
 n : 1 \dots N
 \end{array}
 \quad [f] = \quad
 \left( \begin{array}{cccc}
 f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\
 f(2,1) & & & \\
 f(3,1) & & & \\
 \dots & & & \\
 f(M,1) & & \dots & f(M,N)
 \end{array} \right)$$

**Figura 5.3 Imagem representada por uma matriz.**

Através da aplicação de funções de PDI, aspectos isolados dessas imagens podem ser obtidos quando necessário. Por exemplo, os contornos e as linhas da costa podem ser definidos através da segmentação das diferentes componentes da imagem.

### 5.3 Representação Raster

Na representação raster, a extensão espacial de uma entidade é representada por pixels [GB90]. Além da qualidade de exibição das imagens, da aquisição relativamente barata e simples, o formato raster permite que todos os detalhes existentes nas cartas náuticas sejam preservados e exibidos na TG, mantendo a qualidade e a quantidade suficientes de informações que garantam a segurança da navegação.

O formato de dados raster vem difundindo-se cada vez mais em função de novas tecnologias para a aquisição de dados para SIG aliadas à redução de seus custos. Esses sistemas caracterizam-se por operar com uma grande variedade de tipos e formatos de dados de entrada e é uma das áreas em que ocorrem inúmeros problemas operacionais [SE90].

Uma das fontes de dados para SIG é a tecnologia de sensoriamento remoto, produzindo atualmente um volume considerável de dados raster, da ordem de terabytes/dia, com utilização em diversas áreas de aplicação, além de SIG. Aerofotogrametria, scanner multiespectral, satélites meteorológicos, satélites do projeto Landsat e satélites do programa Seasat são alguns exemplos de fontes de dados hoje disponíveis [Cam<sup>92</sup>, EEB89, SE90].

Técnicas modernas para visualização de terreno atualmente integram diferentes áreas, como Sensoriamento Remoto, PDI, SIG e Computação Gráfica, construindo mapas raster multiresolução. Para destacar os pontos de maior interesse, essas técnicas procuram obter um contraste através da utilização de imagens montadas (mosaicos) com regiões em diferentes resoluções [Gra<sup>94</sup>].

Não obstante, o formato raster apresenta algumas desvantagens :

- 1 - o dado raster depende de uma projeção específica. Assim, problemas ocorrem quando são combinados mapas raster de diferentes fontes;
- 2 - um banco de dados independente de escala não pode ser construído usando essa representação;
- 3 - aspectos nos mapas raster normalmente não são manipulados individualmente. Dessa forma, um suporte através de estruturas de dados é mais difícil;
- 4 - a geometria de entidades fica restrita aos limites das células; e

5 - adicionalmente, dados raster são bem mais volumosos.

#### 5.4 Fase de Pré-Processamento das Imagens

O propósito dessa fase é garantir a qualidade das imagens obtidas pelo processo de digitalização. Os erros ocorridos nesta fase podem originar uma imagem de má qualidade, o que obriga a sua correção ou, eventualmente, nova digitalização [LRO94].

Todos os métodos de entrada de dados espaciais inserem algum tipo de erro na informação gerada e, posteriormente, utilizada para processamento, análise ou visualização. O tipo e a intensidade do erro inserido nesse processo determina a qualidade do dado espacial obtido. Outros fatores também são determinantes da qualidade desses dados, como o armazenamento, manipulação, conversão e os próprios procedimentos de controle de qualidade dos mesmos [Int95].

A necessidade de um pré-processamento das imagens advém das características peculiares da sua forma de obtenção. A opção de se obter os dados a partir das cartas náuticas impressas, justificada pela qualidade com que as mesmas são confeccionadas e pela rapidez na transformação do dado analógico para dado digital, implica na utilização de sofisticados algoritmos associados aos equipamentos do tipo “scanner”.

Um dos problemas que surge é a deformação na imagem, problema esse já ocorrido devido à passagem dos dados do espaço **3D** para o espaço **2D**, quando foram parcialmente contornados pelo método de projeção. Dessa forma, para se ter uma representação fiel dos aspectos do mundo real, deve-se evitar que novas deformações ocorram no processo de digitalização. Outros fatores a serem verificados para garantir a boa qualidade das imagens obtidas são a **acurácia** da posição dos dados da carta náutica, sua **completitude**, sua **exatidão** e **integridade**.

Nesse contexto, esses fatores são definidos da seguinte forma :

- **acurácia** da posição é definida como a real correspondência entre os dados representados na imagem em relação à sua posição, forma e extensão e as entidades do mundo real. Esse fator é importante devido à utilização que se vai fazer da informação. Por exemplo, em um cabo telefônico submarino, tem-se o maior interesse na precisão de sua localização geográfica, para impedir, por exemplo, que navios possam fundear no local. Já em um cabo telefônico aéreo, o interesse maior é identificar, por exemplo, as suas conexões, como caixas, ramais e sub-ramais a que se liga;
- **completitude** dos dados pode ser definida como a medida da quantidade de componentes existentes na imagem analógica e na imagem digital, verificando-se a supressão de algumas dessas componentes ou a introdução de outras inexistentes originadas durante o processo de digitalização.
- **exatidão** pode ser estabelecida como sendo a avaliação de quão bem os dados da imagem correspondem às entidades do mundo real como, por exemplo, a forma de uma ilha.
- **integridade** pode ser definida como sendo o relacionamento espacial entre os elementos de dados das cartas náuticas.

Para a verificação desses fatores e validação da imagem, pode ser prevista a participação do operador. Embora já existam softwares que possam verificar alguns dos fatores apresentados, a alta complexidade limita a sua utilização [Int95, SE90]. Além dessa última consideração, avaliamos que um operador experiente possa apresentar resultados mais imediatos nesse trabalho, como tomada de decisão mais rápida, baseado em sua experiência [LRO94].

#### 5.5 Fase de Processamento das Imagens

Para se proceder à análise de uma imagem, é necessário, inicialmente, identificar e isolar as diferentes componentes da mesma [RK82]. Uma imagem de uma carta náutica possui algumas componentes com uma padronização específica. Por exemplo, as linhas contínuas podem ser classificadas em finas, médias e grossas. Essas linhas representam limites de regiões homogêneas, servem como fronteira entre regiões diferentes, como as linhas da costa que separam regiões de terra de regiões do mar. Representam também contornos, tanto de símbolos quanto de regiões, como as ilhas. Apesar de desejável, essas linhas não têm sempre os mesmos atributos, os quais variam em função de sua utilização específica dentro da carta náutica. Torna-se necessário, então, que esse conjunto de atributos seja identificado para cada tipo de componente da imagem, bem como a maneira como interagem. Esse procedimento de classificação das diferentes linhas da imagem requer técnicas específicas de PDI.

A seqüência de algumas operações de PDI, associadas à presente aplicação, será abordada nos itens seguintes.

**Deteção e Afinamento de Componentes da Imagem :** As principais componentes da imagem a serem identificadas nesta fase são as linhas, os contornos das regiões, os caracteres alfanuméricos, a simbologia e a batimetria.

**Segmentação das Componentes :** Esta fase de decomposição da imagem em regiões, através da segmentação de suas diferentes componentes, visa possibilitar a escolha de um esquema de representação das mesmas, permitindo uma economia de espaço e facilidades de processamento.

**Correlacionamento da Posição Geográfica :** A imagem obtida, por si só, ainda é pouco útil em termos de aplicação prática devido aos pixels não estarem correlacionados ao posicionamento geográfico. Assim, esse correlacionamento torna-se obrigatório, devendo ser conseguido através de um processo que garanta a manutenção da precisão da carta náutica original.

## 5.5 Esquemas de Representação de Imagens

O propósito de se buscar um esquema de representação das imagens é a economia de espaço de armazenamento e a adequabilidade ao processamento. Uma vez que na fase de pré-processamento várias componentes, tais como textos e símbolos, são extraídas da imagem, deixando-as mais “limpas”, as regiões que permanecem nas mesmas, após esse pré-processamento, tornam-se bastante homogêneas. Estas regiões podem ser identificadas como :

- regiões representativas do mar ;
- regiões representativas de terra ( ilhas, ... ) ;
- regiões representativas de lagos, lagoas, mangues, rios; e
- linhas de contornos e linha da costa.

Assim, um esquema de representação dessas regiões pode ser utilizado tirando vantagem das características de homogeneidade dos seus pixels. Os esquemas de representação de imagens bidimensionais existentes na literatura podem ser divididos nos grupos da tabela 5.1 [Cha89, RK82, Sam90a, Sil94].

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colunas <ul style="list-style-type: none"> <li>runs</li> <li>árvores binárias</li> </ul> </li> <li>• Blocos <ul style="list-style-type: none"> <li>mat (transformada do eixo medial)</li> <li>quadrees</li> </ul> </li> <li>• Contornos</li> <li>• Aproximada <ul style="list-style-type: none"> <li>array</li> <li>blocos</li> <li>bordas e curvas</li> </ul> </li> </ul>
---

**Tabela 5.1 Esquemas de Representação de Imagens.**

Cada tipo de representação oferece vantagens e desvantagens, em função do tipo de imagem utilizada. Como as imagens de cartas náuticas são relativamente simples, principalmente após a fase de pré-processamento, o esquema para a sua representação deve ser eficiente em relação a suas características particulares.

Dentre os esquemas apresentados na tab. 5.1, a representação aproximada implica em perda de informação, o que, nesta aplicação, é algo indesejável. Em função das características das imagens, após as fases de tratamento a que foram submetidas, constituindo regiões extensas e homogêneas, consideramos que o esquema de representação por contornos, como veremos a seguir, seja a forma mais simples e econômica para representá-las.

## 5.6 Representação das Cartas Náuticas por Contornos

Seja  $\Sigma$  a imagem da carta náutica já pré-processada, subdividida em  $m$  regiões homogêneas,  $S_i$ , definidas na fase de processamento, onde  $S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_m = \Sigma$ , ( $1 \leq i \leq m$ ). As regiões homogêneas aqui identificadas são, essencialmente :

- região representativa do mar;
- região representativa de terra e ilhas;
- região representativa de lagos, lagoas, mangues e rios; e
- linhas de costa e linhas de contorno.

Devido a sua grande extensão, a região representativa do mar pode ser considerada como o “background” da imagem, sobre o qual serão dispostas as outras regiões da mesma. Considerando-se o caso 8-conectado, uma forma bastante adequada para se representar essas regiões é através de seus **contornos**, com a utilização de **chain codes**, tirando vantagem do caráter homogêneo de cada região da imagem, onde os pixels têm valores constantes.

Além da sua simplicidade, esse esquema de representação também permite realizar uma interpretação sobre a forma das regiões como, por exemplo, o seu perímetro, a sua extensividade, etc . Também, com essa representação codificada em “chain codes” , operações de casamento de imagens (“matching”) podem ser realizadas diretamente sobre a representação lógica, sem a necessidade da sua reconstrução. A determinação, por exemplo, da existência de mudança de direção em um contorno pode ser realizada diretamente sobre a sua representação [SHB93].

Considerando a região da fig. 5.5, essa componente pode ser descrita pelo seu contorno, através da utilização de chain code. Conforme as direções estabelecidas, obtemos a seguinte seqüência de movimentos (partindo-se do ponto indicado por \* ) :

- 55555777777711111777722223333

Para reconstruir a região  $S_1$  da fig. 5.5, a partir desta codificação, basta conhecer as coordenadas do pixel inicial e seguir as direções indicadas no código. A seguir a região interior ao contorno deve ser preenchida para que tenha as mesmas características de cor da região original.

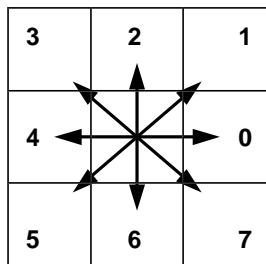
Para o estabelecimento do primeiro pixel da borda, tornando essa representação independente da orientação da imagem, várias soluções podem ser adotadas. Uma possibilidade é encontrar um pixel na borda cuja codificação resulte em uma seqüência de números que forme o menor inteiro entre todas as possíveis codificações dessa borda [SHB93]. No nosso caso, no entanto, devido à orientação Norte-Sul das imagens, o primeiro pixel da borda será o primeiro a ser encontrado durante o processo de varredura das linhas da imagem.

A codificação do contorno pode ainda ser otimizada, utilizando-se uma “compressão” da codificação. Por exemplo, a codificação da fig. 5.5 pode ser reduzida a :

6(5)8(7)5(1)4(7)5(2)5(3)

Os números fora dos parênteses representam o número de ocorrências dos valores dentro dos parênteses, que indicam direções, conforme estabelecido pelo código de Freeman, fig. 5.4.

Com essa codificação, cada carta náutica pode ser armazenada através do conjunto de contornos das regiões  $S_i$ , além dos outros arquivos necessários aos textos e símbolos, todos correlacionados à sua posição original na imagem.



**Figura 5.4 Código de Freeman, representando diferentes direções.**



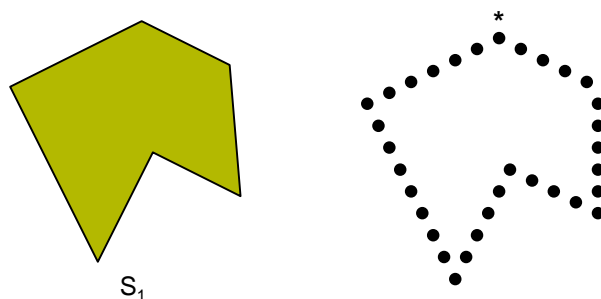


Figura 5.5 Região  $S_1$  de uma imagem e os pontos de seu contorno.

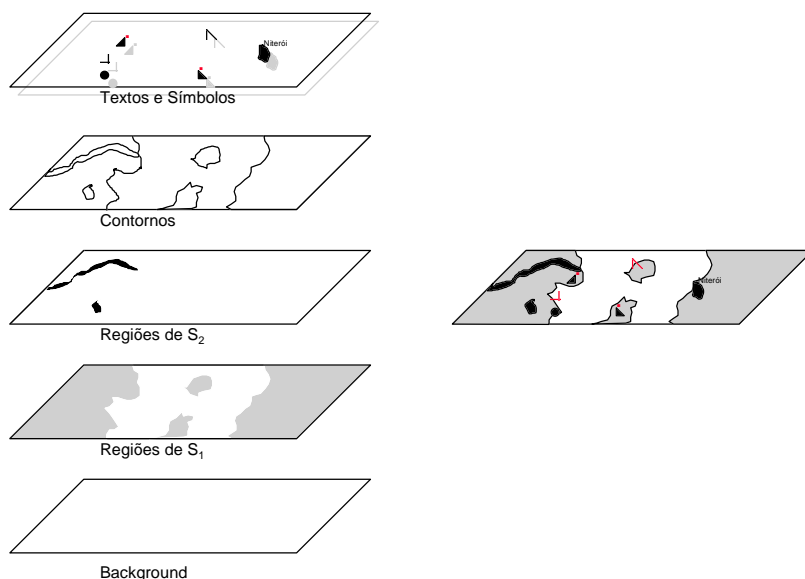
## 5.7 Reconstrução das Imagens

Obtidos os arquivos dos subconjuntos  $S_i$  da imagem  $\Sigma$ , as seguintes etapas são ser consideradas na reconstrução da mesma, **nesta ordem**, fig. 5.6:

1. o “background” da imagem é considerado como sendo a região representativa do mar. Logo, essa região não necessita ter seu contorno codificado. Na matriz em memória principal, todos os pixels que não forem modificados serão considerados como pertencentes a essa região;
2. devem ser adicionadas, na matriz, as regiões representativas de terra e ilhas;
3. em seguida, são adicionadas as regiões representativas de rios, lagos, lagoas, etc ;
4. na seqüência, são adicionados os contornos e linhas de costa; e
5. finalmente, são adicionados os símbolos e os textos, além de linhas isobatimétricas e curvas de nível indicadas pelo operador.

A fig. 5.6 ilustra esse processo de reconstrução. A seqüência de operações constitui uma superposição de camadas, cada uma representando uma região distinta da imagem.

É conveniente relembrar que a determinação dos símbolos e linhas a serem adicionados à imagem inicial é um problema que precisa ser avaliado cuidadosamente, procurando-se selecionar aqueles que confirmam garantia de uma navegação segura. Essa questão é considerada pela OHI, onde critérios para determinar quais aspectos são imprescindíveis estão sendo analisados. A definição e padronização desses critérios e a sua conseqüente adoção é um fator essencial para conferir confiabilidade aos SIACE, sendo um passo importante nas considerações legais para a sua utilização comercial.



**Figura 5.6** Seqüência de reconstrução de uma imagem.

## 6. Funções do Sistema e Estruturas de Dados Associadas

Os módulos do sistema devem dispor de diversas funções de PDI para a execução de várias operações. Essas funções estão agrupadas em um único módulo, devendo, basicamente :

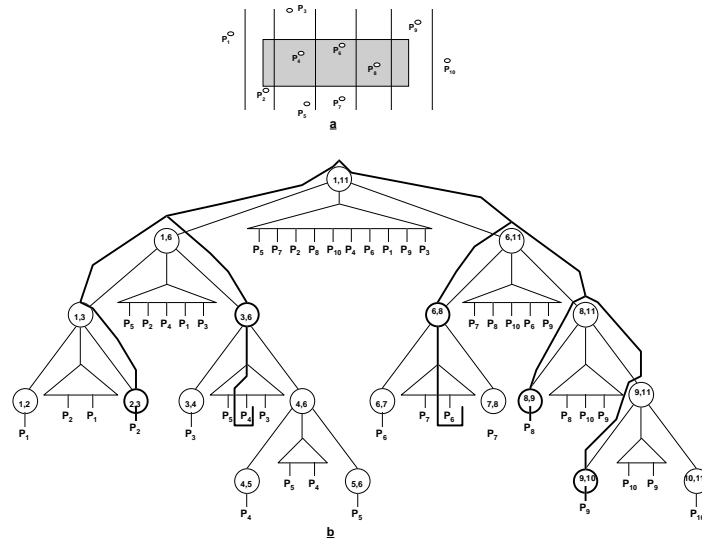
- prover uma interface com o usuário através da Tela Gráfica e de outros dispositivos de entrada do sistema,
- permitir a realização de operações sobre as imagens,
- exibir informações recebidas de outros módulos.

O conjunto de algumas funções básicas do sistema são :

**Modelo Digital de Terreno (MDT)** : uma tendência atual de vários Serviços Hidrográficos é a de associar informações locais de profundidades que necessitam de uma interpretação do operador em função dos valores de profundidades dos pontos vizinhos, às linhas isobatimétricas. Neste caso, o mais natural é utilizar as linhas isobatimétricas que conferem mais semântica à imagem, além de deixar a TG mais “limpa”.

O modelo escolhido para a computação e apresentação dessas linhas e pontos de indicação de profundidades é o MDT. Um modelo que representa a superfície da terra por um **conjunto de dados digitais**, onde cada dado contém as coordenadas  $x, y$  e  $z$  dos pontos em  $R^3$  e uma função que possibilita a obtenção de novos pontos intermediários através da interpolação das profundidades dos pontos existentes. Podemos concluir que, quanto maior o número de pontos digitalizados no banco de dados, mais precisa será a representação das linhas isobatimétricas na TG. Entretanto, será em função da escala da carta que se utilizará maior ou menor quantidade de pontos, devendo-se estabelecer um bom compromisso entre **custo de obtenção dos dados** e **representatividade da região pela carta náutica**.

Duas estruturas de dados principais podem ser utilizadas para a representação desse conjunto de pontos : R\* Tree e a Range Tree, fig. 6.1, considerando o problema bi ou tridimensional.



**Figura 6.1 Range Tree representando o espaço bidimensional.**

**Computação Dinâmica de Relacionamentos Espaciais :** a cardinalidade das informações topológicas em sistemas de bancos de dados pictoriais é muito grande para que sejam explicitamente armazenadas no banco de dados, devendo as mesmas serem obtidas dinamicamente. Nesse âmbito, essas operações podem ser divididas nos grupos a seguir, onde alguns exemplos de operações de cada grupo são apresentadas :

1. operações pontuais

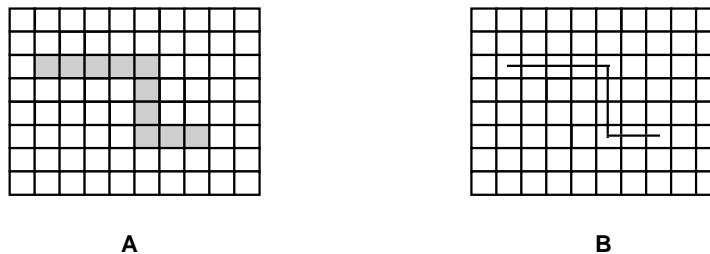
- ⇒ dado um ponto, determinar a sua categoria : Essa operação possibilita que o operador “aponte” para um determinado ponto na imagem, como o símbolo de um farol, por exemplo, e tenha as informações sobre o mesmo apresentadas na TG ou TA. A obtenção das coordenadas de um determinado ponto pode-se dar da mesma forma. O caso contrário também é possível, localizando-se pontos na imagem através de suas coordenadas.
- ⇒ dados dois pontos, traçar uma reta entre ambos : o traçado de segmentos retilíneos na carta é outra atividade básica de qualquer navegador. Para a realização dessa operação, o operador pode indicar os pontos extremos desses segmentos e os pixels pertencentes a esse segmento têm os seus atributos de brilho mudados para a cor estabelecida para o segmento de reta. Essa operação é básica para o planejamento de derrotas, onde o operador indica os seus pontos intermediários. Esses pontos intermediários são então ligados entre si, formando a derrota. A obtenção de distâncias entre esses pontos, bem como o azimute entre cada par de pontos são informações que permitem, por exemplo, o cálculo de consumo de combustível.



A fig. 6.2a contém uma imagem com diferentes regiões, onde os pixels de cada região têm as mesmas características. A fig. 6.2b, ilustra a Quadtree representando esta região e a área calculada.

### 3. operações globais

⇒ vetorização da imagem : Muitas vezes, por questão de maior velocidade de processamento ou economia de memória, deseja-se exibir os dados no formato vetorial. Para isso, deve ser considerada uma conversão da imagem do formato raster para o formato vetorial. Algumas abordagens para essa operação são apresentadas na literatura [Sam90a, SE90, Sil94].



**Figura 6.3 Conversão do formato raster para formato vetor.**

A conversão de dados raster para vetor envolve vários problemas com níveis de complexidade razoáveis. Inicialmente, são examinados os contornos das regiões, onde a situação ideal é quando os mesmos têm um pixel de largura. Entretanto, essa situação não é comum, sendo necessário executar um afinamento desses contornos. Um exemplo simples de conversão, considerando-se a imagem da fig. 6.3, é representar cada segmento de reta através dos seus pontos extremos. Nesse caso, basta ligar esses pontos para se construir cada segmento. Naturalmente, no caso de imagens complexas, a obtenção de um segmento reto necessita da utilização de algoritmos de aproximação poligonal mais elaborados [SE90].

⇒ histograma da imagem : O histograma é uma operação global utilizada, por exemplo, em segmentação de imagens. Na carta náutica, podemos estabelecer faixas de valores para regiões de terra, mar e demais regiões, representando cada uma por um único valor. O histograma de imagens pode ser usado, aqui, para facilitar a detecção de componentes através de um processo simples de limiarização [Cha89].

### 4. operações geométricas

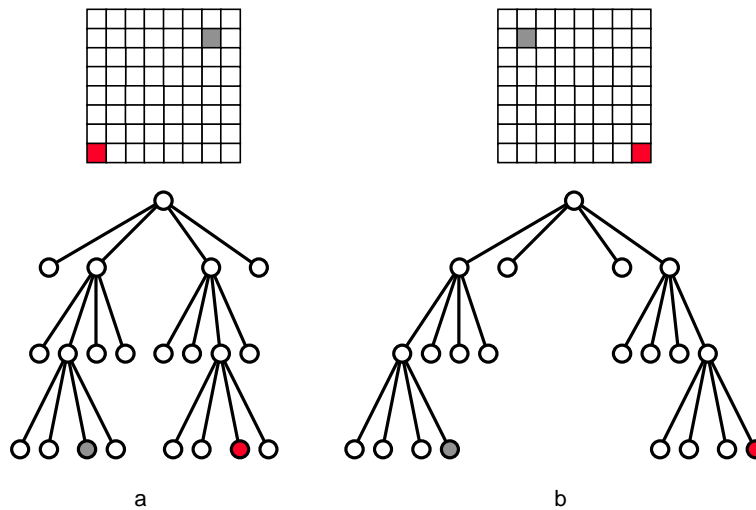
⇒ rotação da imagem : na manipulação de imagens, o que inclui a rotação, é necessária a aplicação de transformações geométricas apropriadas às coordenadas dos seus pontos. Apesar de ser uma transformação básica, métodos diferentes podem ser utilizados para esse fim [GW92, HB86, SHB93].

O processo de rotação de uma imagem requer um ponto origem em relação ao qual os outros pontos são transformados. Esse ponto, geralmente, é a origem do sistema de coordenadas da imagem, sendo o sistema de coordenadas cartesianas o mais comum.

No âmbito da carta náutica eletrônica, a manutenção da precisão da imagem original é fundamental para a navegação. Dessa forma, uma rotação em ângulo variável da imagem, podendo provocar distorções e conseqüentes imprecisões ou erros nas operações, não pode ser considerada nessa aplicação. Naturalmente, a rotação da imagem de 90° elimina esses problemas e, neste caso, o sistema pode dispor facilmente dessa

funcionalidade. Para ilustrar a aplicação dessa operação, considere o caso em que um conjunto de navios desloca-se no sentido Leste e o operador, situado no último navio, deseja vê-los na TG na mesma posição relativa que os vê do passadiço do seu navio. Uma rotação da imagem de 90°, no sentido anti-horário, possibilita tal visualização.

Uma estrutura de dados que, devido as suas características, provê uma ótima solução para essa transformação é a Quadtree [Sam90a]. A codificação das Quadtrees permite uma grande economia de espaço para imagens do tipo cartas náuticas. Por essas imagens possuírem poucas sub-regiões de cores homogêneas, normalmente apenas um número reduzido de nós é, então, necessário para representar cada uma dessas sub-regiões homogêneas, fig. 6.4 [HB86].



**Figura 6.4 Rotação**

**de imagem em uma Quadtree.**

⇒ mudança de escala da imagem : Consiste em alterar homoteticamente as componentes da imagem segundo um fator de escala preestabelecido [HB86, SE90].

Todas essas operações conferem uma ampla funcionalidade à carta eletrônica, possibilitando a realização de algumas operações necessárias à atividade de navegação. Uma estrutura de dados que, apesar de não ser teoricamente a melhor em todos os casos, provê um generalidade para a manipulação dos dados pictoriais é a matriz. Nessa estrutura, os pixels são acessados distintamente, podendo a imagem ser enviada diretamente para os dispositivos de exibição, que utilizam normalmente essa estrutura em seus buffers frame [HB86]

⇒ Sobreposição de Imagens Radar : a possibilidade de sobrepor imagens obtidas de radares à carta náutica possibilita uma melhor informação sobre a posição do navio. Esse processo aumenta a confiabilidade da derrota, além de proporcionar o acompanhamento do movimento de outros navios em tempo real, aumentando a segurança da navegação.

## 7. Conclusão

A motivação e a justificativa para o desenvolvimento de um Sistema de Carta Náutica Eletrônico altamente interativo, dinâmico e num ambiente propício ao aumento da segurança da navegação foi apresentado. Através da abordagem das funções básicas e das estruturas de dados de um tal sistema, discutimos os problemas relativos ao seu desenvolvimento, apresentando algumas soluções para a obtenção dos dados e representação de imagens de cartas náuticas.

## Referências

- [ACL75] C. Arcelli, L. Cordella, S. Levialdi. *Parallel Thining of Binary Pictures*. Electronic Letters, vol. 11, nr. 7, Apr. 1975.
- [AK87] T. J. Amim, R. Kasturi. *Map Data Processing: Recognition of Lines and Symbols*. Optical Engineering, vol. 26, nr. 4, Apr. 1987.
- [AS94] Jean T. Anderson, Michael Stonebraker. *SEQUOIA 2000 Metadata Schema for Satellite Images*. SIGMOD RECORD, vol. 23, nr. 4, dec. 1994.
- [Ben75] J. L. Bentley. *Multidimensional Binary Search Trees Used For Associative Searchig*. Commun. ACM, vol. 18, nr. 9, 1975 , pp. 509-517.
- [Ben80] Jon Louis Bentley. *Multidimensional Divide-and-Conquer*. Communications of the ACM, vol. 23, nr 4, april 1980, pp. 214-229.
- [Cam+92] G. Câmara, R. C. M. Souza, U. M. Freitas, M. A. Casanova. *SPRING : Processamento de Imagens e Dados Georeferenciados*. Anais SIBGRAPI V, 1992, pp. 233-242.
- [Cas73] R. G. Casey. *Design of Tree Structures for Efficient Querying*. Com. of the ACM, vol. 16, nr. 9, sept 1973, pp. 549-556.
- [Cha89] Shi-Kuo Chang. *Principles of Pictorial Information Systems Design*. Prentice Hall International, Inc. 1989.
- [Cox91] Frederico S. Cox Junior. *Análise de Métodos de Acesso a Dados Espaciais Aplicados a Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1991.
- [Deh90] H. Deheinzelin. *Necessidades dos Usuários*. Navigation, nr. 151, 1990.
- [DH72] R. O. Duda, P. E. Hart. *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. Com. of ACM, nr. 1, vol. 15, Jan. 1972.
- [Eat90] R. M. Eaton. *GPS and the Electronic Chart will go a long way towards Preventing Tanker Grounding* Lighthouse, Edition 41, Spring 1990, pp. 27-33.

- [EEB89] M. Ehlers, G. Edwards, Y. Bedard. *Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems : A Necessary Evolution*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, nr. 11, nov 1989, pp. 1619-1627.
- [Fil94] Renato Fileto. *Busca em Subespaços em Várias Dimensões*. Dissertação de Tese de Mestrado, Departamento de Ciência da Computação - UNICAMP, 1994.
- [GB90] O. Gunther, A. Buchmann. *Research Issues in Spatial Databases*. SIGMOD RECORD, vol. 19, nr. 4, Dec., 1990, pp. 61-68.
- [GM86] Stephen J. Glavin, David Monahan. *Cartographic Design Considerations For the Electronic Chart*. Lighthouse, Edition 33, April, 1986, pp. 10 - 13.
- [Gra+94] K. C. Graf, M. Suter. *Perspective Terrain Visualization - A Fusion of Remote Sensing, GIS, and Computer Graphics*. Comput. & Graphics, vol. 18, nr. 6, 1994, pp. 795-802.
- [GW92] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [Gut84] A. Guttman. *R-Trees : A Dynamic Index Structure for Spatial Searching*. In Proceedings of ACM SIGMOD Conference on Management of Data, Jun , 1984, pp. 599 - 609.
- [HB86] Donald Hearn, Pauline Baker. *Computer Graphics*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [II82] Mitsuo Ishii, Yasushi Inamoto. *Memory Structures for an Image Processing System*. Notes and Reports in Computer Science and Applied Mathematics. Warner Rheinboldt, eds. University of Pittsburgh - Academic Press, Inc. 1982, pp. 353 - 371.
- [Int95] Internet. WWWTEXT, USGS, 1995, 1-37.
- [JC92] B. K. Jang, R. T. Chin. *One-Pass Parallel Thinning : Analysis, Properties, and Quantitative Evaluation*. IEEE Trans. on Pattern Ana. and Mach. Int., vol. 14, nr. 11, Nov. 1992.
- [Knu73] D. E. Knuth. *The Art of Computer Programming*. Addison-Wesley Publishing Co., volume 3, 1973.
- [LLS92] L. Lam, S. W. Lee, and C. Y. Suen. *Thinning Methodologies - A Comprehensive Survey*. IEEE Trans. on Pattern Ana. and Mach. Int., vol. 14, nr. 9, Sep. 1992.
- [LRO94] Neucimar J. Leite, Marcus V. S. Roberto, Cleomar M. Marques de Oliveira. *Um Sistema de Extração de Informações de Cartas Náuticas*. GIS Brasil 94, Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, Curitiba, Out., 1994.



- [Lu+91] H. Lu, B. C. Ooi, A. D'Souza, C. C. Low. *Storage Managment in Geographic Information Systems*. Advances in Spatial Databases, O. Gunther, H. J. Schek, editors, 2nd Symposium SSD'91, pp. 450 - 471.
- [ML88] Peter W. Mushkat, Cynthia Lamson. *Electronic Chart Display Information Systems : Operational, Policy and Legal Issues*. Oceans' 88 - A Partnership of Marine Interests. Baltimore, 31, oct - 2 Nov 1988, pp. 1589 - 1593.
- [MZ91] Claudia Bauzer Medeiros, Roberto Zicari. *Direções de Pesquisa em Bancos de Dados para Suporte a Novas Aplicações*. Revista de Informática Teórica e Aplicada, vol. 1, nr.4, Dez., 1991, pp. 5 - 22.
- [NHS84] J. Nievergelt, H. Hinterberger, K. C. Sevcik. *The Grid File : An Adaptable, Symmetric Multikey File Structure*. ACM Trans. on Database Systems, vol. 9, nr. 1, March 1984, pp. 38 - 71.
- [Oli95] Cleomar M. Marques de Oliveira. *Cartas Náuticas Eletrônicas : Operações e Estruturas de Dados*. Dissertação de Tese de Mestrado - DCC - Unicamp , Nov, 1995.
- [PM90] Donna J. Peuquet, and Duane F. Marble, editors. *Introductory Readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, 1990.
- [RK82] Azriel Rosenfeld, Avinash C. Kak. *Digital Picture Processing*. vols. 1 and 2. Academic Press, INC. Sec. Edition, San Diego, Ca., 1982.
- [Sam90] Hanan Samet. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- [Sam90a] Hanan Samet. *Applications of Spatial Data Structures*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- [SE90] J. Star, John Estes. *Geographic Information Systems - An Introduction*. Prentice Hall, Inc., 1990.
- [SHB93] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Chapman & Hall Computing, 1993.
- [Sil94] Ardemirio B. Silva. *Sistemas Georeferenciados de Informação : Uma Introdução*. Unicamp, Out 1994.

*Instituto de Computação*  
*Universidade Estadual de Campinas*  
*Caixa Postal 6176*  
*13083-970 Campinas, SP*  
*BRASIL*  
`reltec@dcc.unicamp.br`