

# AVALIAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Pedro Luiz Sanchez  
Instituto Militar de Engenharia  
Seção de Sistemas e Computação  
Praça General Tibúrcio 80, 22293 - Rio de Janeiro - RJ

Guaraci José Erthal  
Julio César Lima d'Alge

Instituto de Pesquisas Espaciais  
Departamento de Processamento de Imagens  
Caixa Postal 515, 12201 - Sao José dos Campos - SP.

## RESUMO

O desenvolvimento científico e tecnológico verificado nas últimas três décadas, particularmente no campo da informática, veio a causar uma verdadeira "revolução da informação", à qual a Cartografia vem se adaptando. Este trabalho visa explorar os diversos passos envolvidos na tarefa de aquisição automática de documentos cartográficos utilizando dispositivos imageadores por varredura, que é a forma mais viável para executar a conversão para o formato digital, de todos os documentos existentes hoje no formato analógico, e que cobrem aproximadamente 70% do território brasileiro.

## ABSTRACT

The scientific development and the technology verified in the last three decades, particularly in the field of automation, have brought a truly "revolution of automation" in which Cartography is becoming adapted. This work aims to explore the different steps involved in the task of automated acquisition of cartographic data using scanners, which is the most feasible way to convert from all the existing documents in the analogic shape, and that cover approximately 70% of brasilian land, to the digital shape.

## 1. INTRODUÇÃO

O atual desenvolvimento da computação gráfica tem resultado na operacionalização de sistemas automáticos para digitalizar os mapas e desenhos existentes.

Intensos esforços têm sido dirigidos no sentido de acelerar e automatizar as tarefas de digitalização de cartas, desenhos e outros dados gráficos. A forma mais simples e mais empregada, ainda hoje, é a digitalização manual, em que o operador fixa em uma mesa digitalizadora o documento a ser trabalhado, e manualmente move o cursor até cada ponto  $P$  a ser digitalizado. Mediante um comando do operador o par de coordenadas  $(x,y)$  de  $P$  é transmitido e gravado automaticamente. Um par de pontos  $P(1), P(i+1)$

forma um segmento ou vetor, uma seqüência de segmentos forma uma linha ou arco. Por sua vez uma seqüência de arcos, representando um objeto, formará uma poligonal.

Este sistema apresenta grandes facilidades para prover métodos convenientes de armazenamento de dados espaciais para manuseio posterior, de acordo com o fim a que se desejar. Porém o processamento manual para o armazenamento de uma carta complexa constitui-se em uma barreira difícil de ser transposta, pois está limitado pela capacidade humana em realizar este trabalho e pela acurácia desejada no resultado. Várias tentativas de automação tem sido feitas no intento de diminuir a intervenção humana e acelerar a aquisição de dados, reduzindo assim, o custo desta operação.

Os dois processos automáticos correntemente usados para captura de dados são o de perseguição de linhas (line following) e o de varredura do mapa (map scanning). A técnica de perseguição de linhas apresenta um sucesso limitado em trabalhos cartográficos.

O outro, varredura do mapa, é o processo por meio do qual um instrumento controlado por computador, com ótica e detetores semelhantes aos dos sistemas de sensoriamento remoto tradicionais, cria uma imagem digital (Faust, 1987) quando a cabeça gravadora é passada sobre o documento a ser trabalhado. Este processo não só é mais rápido que os demais como também não está sujeito aos erros da digitalização manual.

É no estudo deste último processo, varredura do mapa, que se insere o presente trabalho.

## 2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE DADOS

A meta perseguida pela tecnologia de varredura é criar uma estrutura capaz de automaticamente alimentar um banco de dados cartográficos vetoriais, a partir das cartas já existentes. Este objetivo tem sido mais difícil de ser alcançado do que inicialmente pensavam os pesquisadores e as empresas que lidam no ramo. Um dos primeiros simpósios internacionais na área foi intitulado "An International Symposium on Digitizing Maps and Charts" (USGS-1969). Apesar de passados vinte anos, muitos dos problemas identificados naquela época, permanecem nos sistemas de produção correntes (Chrisman, 1987). Depois de passadas duas décadas de pesquisa neste sentido não se tem, pelo menos que se conheça, nenhum sistema que execute a tarefa de uma forma completamente automatizada. Existe uma grande lacuna entre a expectativa e a realidade em termos de funcionalidade e desenvolvimento requerido para o sistema (Glick, 1987).

O que tem possibilitado os estudos e os conseqüentes avanços no campo da aquisição automática de dados espaciais, foi o surgimento e o grau de desenvolvimento dos dispositivos imageadores por varredura (DIV), juntamente com o aprimoramento das técnicas de processamento de imagens digitais.

O novo contexto introduzido com a imagem digital é o fato dos dados produzidos por ela serem no formato matricial (raster), que diverge total-

mente da representação vetorial produzida pelos processos tradicionais e para a qual está dirigida a maioria dos sistemas em operação. A representação vetorial é ainda largamente utilizada, tendo em vista as facilidades oferecidas principalmente no que se refere ao espaço requerido para armazenamento dos dados, e pela sua flexibilidade para construção das relações topológicas entre as entidades, bastante restrita quando se usa a representação por varredura. Na maioria dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), os dados matriciais tem de ser convertidos para dados vetoriais estruturados. Esta necessidade de transformação e estruturação é um processo complexo e, até hoje, esta tarefa é objeto de pesquisa e desenvolvimento (Lichtner, 1982).

Os sistemas de aquisição automática de documentos cartográficos, possuem basicamente a mesma composição, podendo entretanto apresentarem diferentes organizações de suas funções. Neste ítem serão relatados separadamente, cada um dos módulos componentes de um sistema, de maneira a se ter uma visão pormenorizada das várias fases envolvidas.

Parte-se do pressuposto da disponibilidade de um documento base, cujas características atendam totalmente os requisitos de "hardware" e "software" disponíveis.

### 2.1 MÓDULO DE AQUISIÇÃO

É o módulo responsável pela conversão dos dados analógicos existentes no documento, para a forma digital.

Isto é realizado através da utilização de um dispositivo imageador por varredura (scanner) que possua precisão compatível com a desejada para o trabalho.

A escolha de um "scanner" que atenda os requisitos cartográficos, deve ser precedido de um estudo minucioso de suas características. Destas, as relativas à performance são as que merecem maior atenção.

Na fase de aquisição deve ser tomado um cuidado especial na seleção da resolução a ser utilizada, porque a eficiência e a eficácia de todo o sistema pode ser comprometida se esta escolha não for bem executada. Se a resolução for muito baixa, a precisão com certeza será prejudicada e o sistema não será eficiente. Por outro lado, uma resolução muito alta o

tornará lento, consumindo mais tempo na aquisição e no processamento, tornando o sistema pouco eficaz.

Para ser assegurado um bom desempenho deve-se, durante a seleção da resolução que melhor se adequa ao trabalho, analisar dois fatores no documento a ser digitalizado:

- a menor espessura dentre as feições e,

- o menor afastamento entre duas feições contíguas.

As taxas típicas de digitalização, para trabalhos com fins cartográficos, variam entre 10 e 40 pixels/mm, entretanto, um fator que deve ser considerado com cuidado nesta escolha, o espaço de memória requerido para o armazenamento destes dados.

Cabe salientar que, a seleção da resolução requerida para evitar conflitos, requer a atenção de um cartógrafo experimentado, definindo todos os parâmetros a serem utilizados, de maneira a se obter o melhor desempenho do sistema, considerando-se a relação custo/benefício, ou seja adotar uma resolução capaz de reproduzir com fidelidade os dados capturados, sem sobrecarregar o sistema com operações desnecessárias.

## 2.2 MÓDULO DE CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Este módulo tem por objetivo eliminar ou amenizar os efeitos inconvenientes do não balanceamento da média da imagem, devidos a fatores como: iluminação não uniforme, sistema ótico, etc... A realização desta fase pode ser fundamental para o sucesso da fase de segmentação se as distorções oriundas da aquisição forem consideráveis. A calibração pode ser efetuada através da subtração da imagem, pela mesma imagem convoluída com um filtro passa baixa (Erthal et al, 1989).

A imagem convoluída, que deve representar a imagem com o mínimo de informação, pode ser obtida através da análise da vizinhança de cada pixel na imagem original dentro de uma janela, normalmente 3x3, onde o valor desse pixel passa a ser o correspondente ao que melhor representar o fundo. Os estimadores normalmente usados são: a média, a mediana, o mínimo e o máximo, de acordo com as características do tipo de informação contida no documento original e também do equipamento utilizado na aquisição.

Se o filtro foi bem escolhido, ao subtrair-se da imagem original a respectiva imagem convoluída, a resultante estará praticamente balanceada.

## 2.3 MÓDULO DE SEGMENTAÇÃO

A fase de segmentação, também chamada de binarização, é responsável pela seleção e separação da informação.

A execução consiste da definição de um limiar capaz de separar tudo o que representa informação do fundo, associando o valor 1 (um) para o que é a informação e 0 (zero) para o fundo.

A seleção do limiar pode ser pré-definida, estabelecendo-se um valor percentual a ser aplicado ao histograma da imagem, ou pela intervenção direta do operador, que pode selecionar um limiar observando no monitor o valor que apresenta melhor resposta.

Existe uma proposta apresentada por Musavi et al (1988), do algoritmo de limiarização variável, onde se calcula o limiar baseado em características locais, utilizando valores da média e do desvio padrão da janela 3x3, envolvente de cada um dos elementos da imagem.

## 2.4 MÓDULO DE NAVEGAÇÃO DA IMAGEM

Uma característica da fase de aquisição (item 2.1) é a perda do referencial original de representação dos dados (coordenadas de projeção). A representação matricial da imagem permite referenciar um ponto apenas pelo par de coordenadas linha e coluna (L,C), que ocupa na mesma. Para que as informações extraídas da imagem possam ser representadas no sistema de coordenadas original, é preciso, portanto, determinar as relações entre as duas geometrias, definidas na forma:

$$X = f(L,C) \quad Y = g(L,C)$$

onde X e Y representam as coordenadas no sistema de projeção e f e g são funções em L e C, que devem modelar as distorções geométricas originadas pelo dispositivo imageador e pelo documento original.

Quando o modelo de distorções não é conhecido, funções polinomiais são utilizadas. O grau dos polinômios deve ser escolhido em função do nível de distorções geométricas presentes na imagem devido ao processo de aquisição.

Os coeficientes dos polinômios são determinados a partir de um conjunto de pontos de controle, que sejam bem definidos na imagem e no documento utilizado como entrada (Erthal et al, 1989).

## 2.5 MÓDULO DE REDUÇÃO DE DADOS

Redução de dados, geração de esqueleto (skeletonization) ou afinamento (thinning), é a fase em que todos os dados lineares serão afinados até atingirem uma espessura unitária, dentro da resolução selecionada, ou seja, terão no máximo a espessura de um pixel, que deve representar de forma fiel, a posição do centro da linha. Esta fase é também um dos mais importantes estágios de pré-processamento, para a extração de feições em muitos dos sistemas de reconhecimento de padrões.

Existe uma série de algoritmos que executam a redução de dados, erodindo progressivamente as bordas das linhas digitalizadas, através de passagens sucessivas pela imagem, até que todas as linhas remanescentes estejam com espessura unitária.

A lógica básica da maioria dos algoritmos conhecidos, consiste no exame dos pixels que circundam cada pixel contendo informação (1), para determinar se deve ou não ser deletado da linha (trocado seu valor para 0). Isto só ocorrerá se ele pertencer à borda da linha e sua remoção não alterar a conectividade da mesma.

A maneira prática de se implementar essa lógica é a comparação com uma tabela de decisão (lookup table) contendo a resposta mantém ou deleta para cada uma das 256 configurações possíveis de vizinhança-oito de uma matriz 3x3, que é usada como filtro (Peuquet et al 1984). Esta linha é seguida por alguns autores, que utilizam tabelas de decisão de maneira explícita, sem no entanto definir as regras seguidas para a elaboração das mesmas.

Outros autores fazem a tomada de decisão através de determinadas regras estabelecidas para a análise da vizinhança do ponto.

Um algoritmo que serve de exemplo para estes, é o de Zhang e Suen (1984), no qual o teste de vizinhança é feito pelo número de vizinhos diferentes de zero e do número de transições de pontos brancos para escuros (0 para 1) ao se percorrer a vizinhança-oito do

ponto analisado, e de dois testes realizados para verificar a posição da vizinhança-quatro, determinando assim se um pixel pode ou não ser deletado da imagem. Este algoritmo, apesar de apresentar alguma vulnerabilidade em situações especiais, como a eliminação quase que completa de linhas diagonais com espessura de dois pixels, tem despertado grande interesse na comunidade que estuda o assunto.

Atualmente a proliferação de artigos em revistas especializadas, apresentando tentativas visando melhorar a eficiência dos algoritmos existentes, prenunciam estar próximo de ser encontrado um algoritmo ou uma combinação de algoritmos que venha a satisfazer aos quatro maiores problemas encontrados na tarefa de redução de dados (Peuquet et al, 1984):

- 1) Manter a conectividade das linhas originais;
- 2) Conservar os pontos extremos (end points), isto é, evitar o encurtamento das linhas originais;
- 3) Encontrar o verdadeiro ponto médio da linha, independente da direção da inclinação das linhas; e
- 4) Encontrar a representação acurada da linha em junção de linhas espessas.

Esta fase é normalmente demorada, consumindo muito tempo de processamento, pois é composta de operações que são repetidas até ser encontrado o "esqueleto" da imagem. O número de iterações depende diretamente da espessura das linhas originadas na fase de aquisição, reforçando-se assim, a importância da escolha adequada da resolução de maneira a não sobrecarregar ainda mais esta fase.

Algumas vezes, anterior a esta fase é necessário que se faça uma operação de preenchimento, cuja finalidade é eliminar pequenos vazios que por ventura tenham surgido nos elementos representantes da informação, em qualquer uma das fases anteriores ou até mesmo por deficiência do documento original.

Para este propósito, pode ser criado um módulo que possibilite ao operador efetuar as devidas correções iterativamente ou então serem definidas regras de maneira que isto seja feito automaticamente.

## 2.6 MÓDULO DE VETORIZAÇÃO

Todos os dados manipulados pelo sistema, até o momento, estão no formato matricial. Este módulo é o responsável em efetuar a conversão, propriamente dita, destes dados para o formato vetorial, é conhecido como processo de conversão varredura-vetor ("raster to vector").

Esta transformação deve ser executada, em virtude de que a maioria das técnicas de manipulação de dados, comumente utilizadas na cartografia assistida por computador, estão desenvolvidas para o uso de dados no formato vetorial. Também devido aos sistemas de aquisição automática estarem direcionados para alimentarem bancos de dados de SIG que trabalham com estas técnicas, dadas as vantagens que elas oferecem, das quais a mais importante é a capacidade de memória requerida para o armazenamento dos dados.

Na execução deste processo podem ser usados dois métodos. O de perseguição de linhas (line following) e o de varredura do mapa (map scanning). Ambos apresentam pontos favoráveis e desfavoráveis. O primeiro é de implementação mais simples, porém consome mais tempo de computação, enquanto o segundo é bastante rápido, mas a sua implementação é mais complexa.

## 2.7. MÓDULO DE RECONHECIMENTO DE SÍMBOLOS E CARACTERES

Os documentos cartográficos apresentam, além das feições lineares, uma variedade de informações codificadas que devem, quando se desejar um sistema automático completo, ser também interpretadas. Para que isso seja possível, é necessário um módulo interligado a um sistema especialista capaz de reconhecer cada símbolo ou caracter, bem como se é uma palavra ou número, juntamente com a informação de posição, incluindo características de localização como orientação, sinuosidade, etc...

Técnicas estão sendo desenvolvidas no campo da inteligência artificial (IA) com o ideal de oferecer a captura de dados automática.

Dentro da literatura pouco se consegue de informação sobre sistemas que possuem esta capacidade, que em virtude da sua importância, são considerados como segredo industrial.

## 2.8 MÓDULO DE RECONSTRUÇÃO TOPOLÓGICA

A reconstrução topológica consiste em se estabelecer todos os relacionamentos de vizinhança e pertinência entre os diversos elementos existentes na imagem. Assim teremos relacionamentos entre nós e nós, nós e arcos, arcos e arcos, nós e polígonos, arcos e polígonos, e polígonos e polígonos.

## 2.9 MÓDULO DE EDIÇÃO

Durante a execução de todos os processos anteriores, inconsistências, tanto geométricas como topológicas, serão inevitavelmente geradas. Uma rotina para checar estas inconsistências, bem como de detectar possíveis anomalias surgidas, se faz necessária afim de assegurar a continuidade das linhas e remover pontas (spikes) e preencher vazios (gaps) indesejáveis.

O objetivo deste módulo é justamente executar essa tarefa, garantindo total fidelidade dos dados gerados com os fins a que eles se destinam, que normalmente será o de integrar um banco de dados cartográfico ou geográfico.

Neste módulo também pode ser feita uma suavização das linhas, com a finalidade de amenizar a angulosidade dos dados provenientes da conversão dos mesmos do formato matricial para o vetorial, que normalmente apresentam uma aparência "denteada" e ponteaguda, o que não é desejável. Também tem por finalidade eliminar redundâncias, como como a de pontos alinhados. Uma das técnicas mais utilizadas neste propósito é a interpolação por uma spline cúbica.

## 3. CONCLUSÃO

O sistema apresentado desponta como solução eficaz para resolver o problema da aquisição automática de documentos cartográficos; trata-se entretanto, de um campo muito vasto e que se encontra atualmente em verdadeira ebulição, onde a cada dia surgem novas propostas para otimizar os resultados obtidos e tentativas para solucionar algumas das restrições ainda existentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHRISMAN, N.R. Efficient Digitizing Through the Combination of Appropriate Hardware and Software for Error Detection and Editing, International Journal Geographic Information Systems, 1(3), 1987.
- ERTHAL, G.J.; BINS, L.S.; MONTEIRO, A.M.V.; VELASCO, F.R.D. Um Protótipo para Aquisição Semi-Automática de Mapas, XIV Congresso de Cartografia, 1989.
- FAUST, N.L. Automated Data Capture for Geographic Information Systems: a Commentary, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(10), 1987.
- FISCHER, E.U. Digitalização Automatizada a Partir de Imagens Discretas, XIV Congresso de Cartografia, 1989.
- GLICK, B.J. Towards the Automatic Generation of GIS Data Bases from Maps: Research Issues and Status, International Geographic Systems (IGIS) Symposium: The Research Agenda, 2, 1987.
- LICHTNER, W. Automatic Digitization of Conventional Maps and Cartographic Pattern Recognition, V International Symposium on Computer-Assisted Cartography, AUTOCARTO 5, Proceedings, 1982.
- MUSAVI, M.T.; SHIRVAIKAR, M.V.; RAMANATHAN, E.; NEKOVEI, A.R. A Vision Based Method to Automate Map Scanning, Pattern Recognition, 21(4), 1988.
- PEUQUET, D.J.; BOYLE, A.R. Raster Scanning, Processing and Plotting of Cartographic Documents, Williams-ville, NY, SPAD Systems Inc, 1984.
- ZHANG, T.Y. ; SUEN, C.Y. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns, Communications of ACM, 27(3), 1984.