

MAPAS ESCANEADOS COMO FONTES DE DADOS PARA GEOPROCESSAMENTO

Eugênio P. Fernandes LEITE (1); Jussara Severo da SILVA (2); Giseliane Silva GOMES (3)

(1) Coordenação de Meio Ambiente - CEFETPB, e-mail: eupaf@cefetpb.edu.br, Av. 1 de Maio, 720 -
Jaguaribe, João Pessoa /PB CEP 58.015-430 Tel: (83) 3208-3065

(2) Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento - CEFETPB, e-mail: jussarasevero@yahoo.com.br

(3) Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento - CEFETPB, e-mail: giseliane_jp@yahoo.com.br

RESUMO

Tradicionalmente, os mapas em papel são introduzidos em ambiente computacional via digitalização em mesa, implicando na aquisição de equipamentos e em demora para obtenção do produto final. Tendo em vista ampliar as possibilidades de uso de dados cartográficos analógicos em ambiente computacional, este trabalho apresenta metodologia para vetorização de mapas escaneados utilizando o SIG GRASS (Geographic Resources Analysis Support System). Os dados utilizados no trabalho, uma carta na escala 1:10.000 e uma ortofotocarta (1:2.000), envolvem setores do município de João Pessoa-PB. Os procedimentos observados constaram da remoção de sombreamentos, refino de grade e de linhas, vetorização e pós-processamento do dado vetorial obtido. Os resultados avaliados pela apreciação visual dos vetores sobrepostos à imagem de origem, apresentaram-se satisfatórios para os dois mapas utilizados. O Erro Quadrático Médio entre 20 posições geradas aleatoriamente sobre cada dado raster e respectivas posições no dado vetorial, apresentaram valor próximo a zero. Os mapas podem ser georrefenciados antes ou depois da vetorização e, a partir de imagens coloridas, é possível realizar a vetorização, separando feições em camadas, de acordo com atributo de cor. O aumento da resolução dos mapas escaneados, no próprio ambiente SIG, possibilitou, também a melhoraria do procedimento.

Palavras-chave: GRASS, mapas escaneados, vetorização.

1. INTRODUÇÃO

Dados geográficos, em formato digital, para serem utilizados em atividades que envolvem o Geoprocessamento, ainda não são facilmente encontrados no Brasil. O fato é agravado quando se trata de material cartográfico de grande escala e, quando soma-se a isto, o crescimento contínuo do volume de informações geográficas, que necessitam ser armazenadas e processadas, com as mais diversas finalidades.

Contudo, algumas empresas privadas e instituições públicas contam, não raro, com acervo cartográfico em formato analógico, passíveis de utilização em sistemas de informação geográfica (SIGs). A dificuldade reside, quando o acervo cartográfico existe, na transposição de formato analógico para digital, condição básica para inserção de dados em ambiente computacional.

Tradicionalmente, os mapas em papel são introduzidos em ambiente computacional via digitalização em mesa, implicando na aquisição de equipamentos específicos e em demora para obtenção de um produto final. Todavia é possível lançar mão da vetorização automática de mapas escaneados, obtendo produtos de qualidade, como alternativa à digitalização em mesa, utilizando ferramentas computacionais que estão prontamente disponibilizadas para uso.

Este trabalho apresenta uma metodologia para vetorização automática de mapas escaneados, como fonte de dados para geoprocessamento, utilizando o SIG GRASS - Geographic Resources Analysis Support System. Para isto foram usados dois produtos cartográficos correspondendo a mapas, em grande escala, de setores do município de João Pessoa-PB. Os mapas foram escaneados com diferentes resoluções e não receberam qualquer tratamento gráfico antes de serem inseridos no referido SIG. Todos os procedimentos observados foram executados no próprio GRASS.

A metodologia apresentada busca a automatização do processo de conversão de dados analógicos para meio digital, visando o aumento da eficiência desse procedimento, geralmente observado em projetos executados com o Geoprocessamento, que se constitui na etapa de aquisição e entrada de dados.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Geoprocessamento, SIG e modelos de estruturas de dados

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível, ainda, automatizar a produção de documentos cartográficos (Câmara et al, 2001). De acordo com Rosa (2004), o sistema de informação geográfica, é composto por cinco componentes ou subsistemas: de entrada de dados, de armazenamento de dados, de gerenciamento de dados, de análise e manipulação de dados e de saída e apresentação dos dados (relatórios, gráficos, mapas, etc.).

A entrada de dados em um SIG constitui-se em um processo de transformação dos dados capturados fisicamente em estruturas numéricas passíveis de armazenamento. Constitui-se em uma das fases mais importantes e complexas para a montagem de um banco de dados georreferenciados e é a etapa que mais consome tempo em projetos que fazem uso de um SIG (Francisco, 1993).

Para Filho (2000) a conversão de dados analógicos para o meio digital se dá, basicamente, através de dois processos distintos que visam ao mesmo resultado: digitalização em mesa e rasterização via scanner último caso, seguida de vetorização. O mapa, já em meio digital, pode ser representado segundo dois modelos de estrutura de dados, o modelo matricial (ou raster) e o vetorial.

Ainda segundo o autor supracitado, a estrutura de dados em formato matricial ou raster assume que o espaço pode ser tratado como uma superfície cartesiana plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno. Dados raster são armazenados em grades formadas por pixels, referenciados a um sistema de coordenadas que, nos dados geográficos, correspondem a longitudes e latitudes.

Por sua vez, a representação vetorial corresponde a um conjunto georreferenciado de coordenadas que descrevem a localização do objeto no espaço geográfico. Ou seja, um elemento único e distinto pode ser representado por um conjunto de dados geométricos em um mapa (coordenadas e informação topológica) e pelos seus atributos descritivos, os quais são informações referente às propriedades não espaciais.

2.2 Conversão de dados analógicos para digitais

2.2.1 Digitalização em mesa

A digitalização em mesa consiste em desenhar o mapa manualmente por meio de uma mesa digitalizadora, que é um equipamento eletrônico ou eletromagnético, na forma de uma mesa composta de uma fina grade ortogonal de fios elétricos. As coordenadas dos pontos na superfície da mesa são enviadas ao computador por meio de um cursor magnético, que é levado a deslizar sobre a feição a ser digitalizada (Filho, 2000).

O procedimento de digitalização em mesa é essencialmente uma atividade manual cuja demanda de tempo é proporcional à quantidade de feições a serem digitalizadas, em um mapa. A qualidade do produto digital, após o procedimento, está estritamente relacionada à precisão estabelecida no desenvolvimento da atividade em si, por parte do executor.

2.2.2 Rasterização seguida de vetorização

A Rasterização consiste de digitalização por varredura eletrônica do mapa, por meio de equipamento imageador, do tipo escaner. Após o escaneamento é possível, ainda, proceder à edição da imagem capturada, antes do processo de conversão raster-vetor, o qual pode ser automático ou interativo. Por último, torna-se possível uma edição do novo dado vetorial para a associação de atributos e ou colocação de rótulos e; ainda, para a correção de erros por ventura ocorridos do processo de vetorização (Filho, 2000).

A Vetorização, por sua vez, é o processo de conversão de arquivos raster em arquivos vetoriais. As linhas, polígonos, textos e outras informações contidas em um arquivo raster são convertidas em entidades matemáticas. A vetorização pode ser manual, automática ou semi-automática (Esteio, 2007):

- **Vetorização manual ou digitalização em tela** - A vetorização manual envolve a escanização do documento original (mapa, carta ...) e uso da imagem obtida como "*background*" (pano de fundo) em programas de tratamento de feições vetoriais. A vetorização manual ocorre por meio da digitalização sobre a imagem, apresentada na tela do computador.

- **Vetorização semi-automática** - A vetorização semi-automática é feita combinando os métodos manual e automático. Utilizando programas específicos para vetorizar, porém, com intervenção do usuário uma vez que quanto mais superposições de feições diferentes existirem no desenho original, mais difícil será utilizar o processo automático.

- **Vetorização automática** - No processo automático de vetorização, o programa computacional assume determinadas tarefas e realiza a conversão raster-vetor, sem auxílio do operador. Este processo, mais automatizado, é muito dependente do tipo de feição que deve ser vetorizada. É normalmente empregado em feições contínuas e sem superposição como, por exemplo, as curvas de nível.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados geográficos

Os dados utilizados para a realização do procedimento de vetorização constaram das cópias de duas cartas, em escalas de 1:2.000 e 1:10.000. No primeiro caso, correspondeu a parte de uma ortotofocarta, de setor do município de João Pessoa, cujo acervo cartográfico é da Prefeitura Municipal da cidade. As feições constantes na ortotofocarta constam de curvas de nível, pontos cotados e rede de drenagem. No segundo caso, o mapa correspondeu à porção de uma folha, envolvendo setores também de João Pessoa-PB e é parte de um mapeamento, realizado pelo Governo da Paraíba e que se encontra no INTERPA (Instituto de Terra da Paraíba). A característica principal apresentada pelo mapa, nesse caso, é uma grande quantidade de feições, conforme ilustrado na Figura 1. A folha foi escaneada com equipamento de rasterização de maior porte, A0.

Um terceiro mapa, foi obtido da ortofotocarta (Escala 1:2.000), utilizando o procedimento de interpolação Vizinho mais Próximo (Drucks et al., 2003), tendo em vista verificar possível melhoria no resultado final da vetorização, com o aumento da resolução em duas vezes, através de reamostragem por interpolação.

Na Tabela 1 estão as características dos mapas utilizados nos procedimentos observados no trabalho. O mapa obtido pelo procedimento de reamostragem, citado anteriormente, passou a denominar de Ortofotocarta 2, enquanto que o que lhe deu origem, ortofotocarta 1. O mapa em escala de 1:10.000 foi denominado como carta INTERPA.

Tabela 1 - Características dos dados cartográficos utilizados para vetorização automática

Mapa	Escala	Resolução de escaneamento (ppp ¹)	Resolução espacial (m/pixel)	Dimensão (colunas/linhas)	Total de células
Ortofotocarta 1	1:2.000	72	0,250	848/896	759.808
Ortofotocarta 2	1:2.000	72	0,125	1696/1792	3.039.232
Carta INTERPA	1:10.000	300	0,850 ²	8161/5424	44.265.264

¹ ppp – pontos por polegada.

² resolução obtida após reamostragem por interpolação.

3.2 Procedimentos metodológicos

Além do procedimento dispensado à Ortofotocarta 2, conforme relatado anteriormente, a metodologia aplicada consta das etapas pré-processamento dos dados, vetorização e pós-processamento.

O pré-processamento dá-se após importação dos dados escaneados para o ambiente computacional e consta da aplicação de álgebra de mapas, utilizando operadores lógicos (Shapiro e Westervelt, 1992). O objetivo do procedimento é remover atributos armazenados no dados matriciais, durante a rasterização dos mapas, e que não constam da feições geográficas. São produtos, principalmente, da irregularidade da distribuição dos feixes de luz, durante o referido processo. Ainda como pré-processamento, é realizado o refinamento das linhas (Jang e Chin, 1990) de tal forma, que todas as células do raster, que constituem linhas, são adelgadas.

A vetorização automática de linhas, no presente caso, se processa de modo a extrair vetores do mapa raster, na forma de arcos. O pós-processamento consta da remoção de ângulos com vértices oriundos do procedimento anterior, não característicos das feições do mapa, que podem ser formados a partir da geometria do dado raster, correspondendo ao contorno das células da matriz. Os procedimentos anteriormente citados, todos estão implementados no SIG GRASS (GRASS Development Team, 2007).

A avaliação dos resultados obtidos, além da apreciação visual dos dados vetoriais resultantes, foi efetuada utilizando a estatística Erro Quadrático Médio (EQM), obtido a partir dos desvios entre 20 posições estabelecidas no centro de uma célula dos dados das imagens e a posição correspondente no dados vetorial. O pixel selecionado como ponto de controle, foi estabelecido aleatoriamente e correspondeu ao que tinha menores valores de atributos de cor, em cada linha e que seria, obviamente, o percurso do cursor, no caso de digitalização em mesa ou em tela.

O EQM foi calculado em pixel e em metro (m). A Figura 1 ilustra a obtenção dos desvios (E_i) de cada ponto de controle (P_{Ci}) até o dado vetorial obtido após a execução dos procedimentos observados.

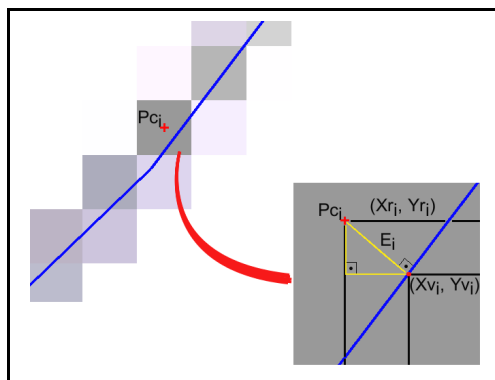


Figura 1 - Esquema para obtenção dos desvios (E_i) entre as posições dos pontos de controle (P_{Ci}) e a respectiva correspondência nos dados vetoriais.

Na Figura anterior, X_r, Y_r, X_v e Y_v correspondem às coordenadas nos dados raster e vetor, respectivamente. De acordo com a ilustração anterior, o EQM foi calculado:

$$EQM = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} E_i^2 \quad [\text{Eq. 01}]$$

Além do EQM foram também estabelecidas as estatísticas do erro (mínimo, máximo, média e desvio padrão) calculadas também em pixels e em metro (m).

Finalmente, os erros máximos de posição (E) foram comparados ao Erro-Padrão do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) para mapas planimétricos, de acordo com as escalas dos mapas utilizados e que constam na Tabela 2, a seguir. A partir de tal procedimento foi possível verificar se a transposição dos dados de analógicos para digital, através da metodologia proposta, apresentou erros superiores ao Erro-Padrão do PEC, para qualquer classificação.

Tabela 2 - Padrão de Exatidão Cartográfica, Erros-padrão e classes cartográficas para mapas planimétricos

Escala	Classes					
	A		B		C	
	PEC	Erro-Padrão (m)	PEC	Erro-Padrão (m)	PEC	Erro-Padrão (m)
1:2.000	1,00	0,60	1,60	1,00	2,0	1,20
1:10.000	5,00	3,00	8,00	5,00	10	6,00

Fonte: Adaptado do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (Governo do Brasil, 1984).

3.3 Recursos computacionais

Atualmente, os *softwares livres* são alternativas computacionais não só para o Geoprocessamento, mas para qualquer atividade específica que exija computador. Disponibilizados sob várias licenças de *software*, os *softwares livres* têm em comum, uma redução da relação custo/benefício, na execução de atividades que envolvem utilização de recursos computacionais. No caso do Geoprocessamento, existem vários sistemas de informações geográficas que são livres. É o caso do SIG GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), utilizado no presente estudo. Um SIG com bastante recursos, disponibilizado sob a licença GNU/GPL (www.gnu.org), a General Public License ou Licença Pública Geral.

O GRASS é um SIG que roda em diversas plataformas e sistemas operacionais, cujas funcionalidades mais significativas são análise raster, análise vetorial, análise de dados pontuais, processamento de imagens, análise de MNTs, visualização, criação de mapas, suporte a SQL e geoestatística. É um sistema modularizado, em que cada módulo tem funcionalidade específica e só é executado quando solicitado, de forma a tornar eficiente o uso da capacidade de processamento disponível.

A execução dos procedimentos adotados no presente trabalho foi realizada utilizando os módulos do GRASS, conforme especificado a seguir:

- *r.in.gdal* - importação dos dados raster para o ambiente SIG em formato *.jpg*.
- *r.mapcalc* - realização de procedimentos envolvendo álgebra de mapas, como pré-processamento dos dados a serem vetorizados.
- *r.thin* - refinamento de linhas antes da vetorização automática.
- *r.to.vect* – vetorização automática dos mapas raster.
- *v.clean, prune* - remoção de vértices ainda remanescentes das células raster; o módulo permite a resolução de problemas topológicos, removendo irregularidades.
- *r.random* – geração de dados pontuais, a partir de dados raster, para avaliação dos resultados obtidos.

Além do GRASS v6.2.2, outros sistemas computacionais livres foram utilizados para realização do trabalho. O sistema estatístico R v2.4 (R Development Core Team, 2006), o editor de texto e geração de arquivo pdf

BrOfficeOrg v.2.0.4 (www.broffice.org) e o aplicativo gráfico Gimp v2.2 (www.gimp.org). Todos disponibilizados sob licença GNU/GPL, executados no sistema operacional livre Debian GNU/Linux v4.0 (www.debian.org).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Pré-processamento dos dados

A Figura 2, seguinte, ilustra recortes escaneados dos mapas utilizados no estudo e os resultados obtidos, após a realização das etapas correspondentes ao pré-processamento dos dados, no caso, a aplicação de operadores de álgebra linear e a realização do refinamento das linhas a serem vetorizadas.

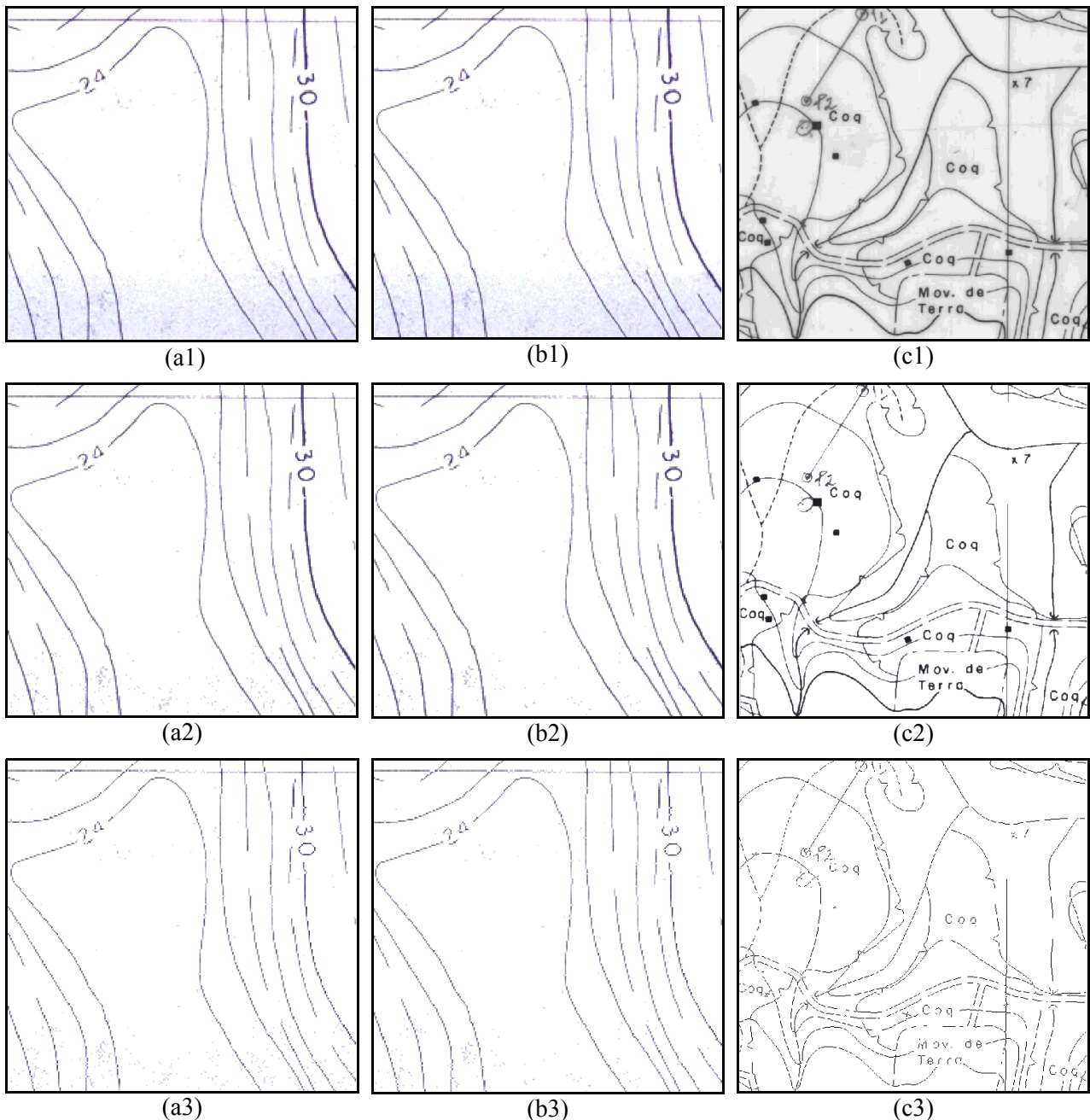


Figura 2 - Recortes dos mapas escaneados (ortofotoscargas 1 e 2 e carta INTERPA) para vetorização na condição inicial (a1, b1, c1), após a remoção de células com *r.mapcalc* (a2, b2, c2) e depois de promovido o refinamento de linhas com *r.thin* (a3, b3 e c3).

Na Figura 2, no caso da linha (a1), (b1) e (c1), observa-se a existência de manchas inerentes ao processo de rasterização, que foram quase que completamente removidas em (a2) e (b2) e totalmente removida em (c2).

As manchas remanescentes em (a2) e (b2) permaneceram por apresentarem valores de atributos de cor iguais a alguns setores das linhas, que representam feições do mapa. A remoção das mesmas implicaria também na remoção de partes das linhas do mapa, com danos que deveriam ser posteriormente consertados em edição vetorial. Contudo, após a vetorização, é perfeitamente possível a remoção de tais entidades, de forma automática, com base no respectivos tamanhos, uma vez que apresentam dimensões bem inferiores às feições de interesse. O fato citado anteriormente não aconteceu com a “carta INTERPA”, que foi escaneada em resolução bem maior (Tabela 1).

Para a remoção de manchas formadas nas imagens escaneadas, usando o módulo *r.mapcalc* do GRASS pode-se proceder estabelecendo uma condição com base nos atributos de cores e digitando em um terminal de comando:

```
> r.mapcalc novo_mapa="if(mapa_antigo<=limite_de_valores_para_vetorização, mapa_antigo, null())"
```

A linha de comando anterior permite a criação de um novo dado raster denominado de “novo_mapa”, em que permaneceram valores de interesse para vetorização. Os demais valores, acima do limite de interesse, foram estabelecidos como nulos. No caso “mapa_antigo” seria a imagem escaneada de entrada e o limite de valores para vetorização corresponderia, ao limite superior dos valores de atributos de cores, a serem mantidos no novo mapa, por exemplo, um valor de 0-255 para imagens em cinza.

É possível, também, se o mapa escaneado for colorido, criar novos mapas contando somente com camadas de informações separadas por cor. Para tanto é só usar o *r.mapcalc* como abaixo:

```
> r.mapcalc novo_mapa="if(mapa_antigo<=31560,mapa_antigo,null())&& \
if(mapa_antigo>=50430,mapa_antigo,null())"
```

A linha de comando anterior permite criar um novo dado raster (“novo_mapa”), derivado de um já existente (“mapa_antigo”), com atributos de cor variando de 31.560 a 50.430, no espaço RGB,

O procedimento seguinte, cujo resultado está ilustrado na Figura 2, na linha a3, b3 e c3, em que se utilizou o módulo *r.thin* do GRASS, possibilitou o refinamento das linhas a serem vetorizadas. O algoritmo aplicado, nesse caso, tem como objetivo minimizar erros durante o processo de vetorização e consta em tornar delgadas as linhas da imagem de entrada, gerando um novo mapa, somente com o resultado do processamento. O módulo *r.thin* também promove a remoção de áreas preenchidas, que no caso, deveriam ser vetorizadas como polígonos, quando não haveria necessidade de refinamento das linhas (Figura 2, c3).

Um exemplo, em linha de comando, da utilização de *r.thin*, está a seguir:

```
> r.thin input=mapa_antigo, output=novo_mapa, iterations=100
```

No exemplo acima, o novo mapa foi gerado a partir do refinamento das linhas do mapa antigo, na aplicação do algoritmo do módulo *r.thin*, com número máximo de 100 iterações.

Na execução dos procedimentos não se tem necessariamente à utilização de linhas de comando. O SIG GRASS, em uso, também dispõe de interfaces gráficas, para execução das ações realizadas, conforme descrito anteriormente.

3.2 Vetorização automática e pós-processamento

O passo seguinte da metodologia é a transformação dos dados raster, após aplicação de *r.thin* em vetores. Nesse procedimento utilizou-se o módulo *r.to.vect* do GRASS. No resultado foram observadas imperfeições caracterizadas pela criação de vértices, em consonância com o contorno das células matriciais. O fato pôde ser atenuado pela utilização da opção de “suavização de vértices”, constante no módulo utilizado, porém, como resultado, ainda foram observadas linhas com tal imperfeições, comumente denominadas por “espaguete”.

O problema foi corrigido na etapa correspondente ao pós-processamento. Nesse caso, foi utilizado o módulo *v.clean*, que permite a resolução de problemas topológicos, de forma a remover irregularidades existentes em dados vetoriais. A ferramenta *prune*, do referido módulo permite a eliminação de vértices cuja extensão dos lados é indicada por meio de um número condicional, em unidades de medida do mapa. Além da opção supracitada, em *v.clean* existem outras, para processamento de vetores, que permitem quebrar interseções, unir linhas, remover áreas e linhas, todas baseadas em um valor condicional (*threshold*).

A Figura 3 traz ilustrados os resultados, na primeira linha (a) da vetorização, do pós-processamento na segunda (b) e, na terceira (c), a visualização dos dados vetoriais sobre a imagem de origem.

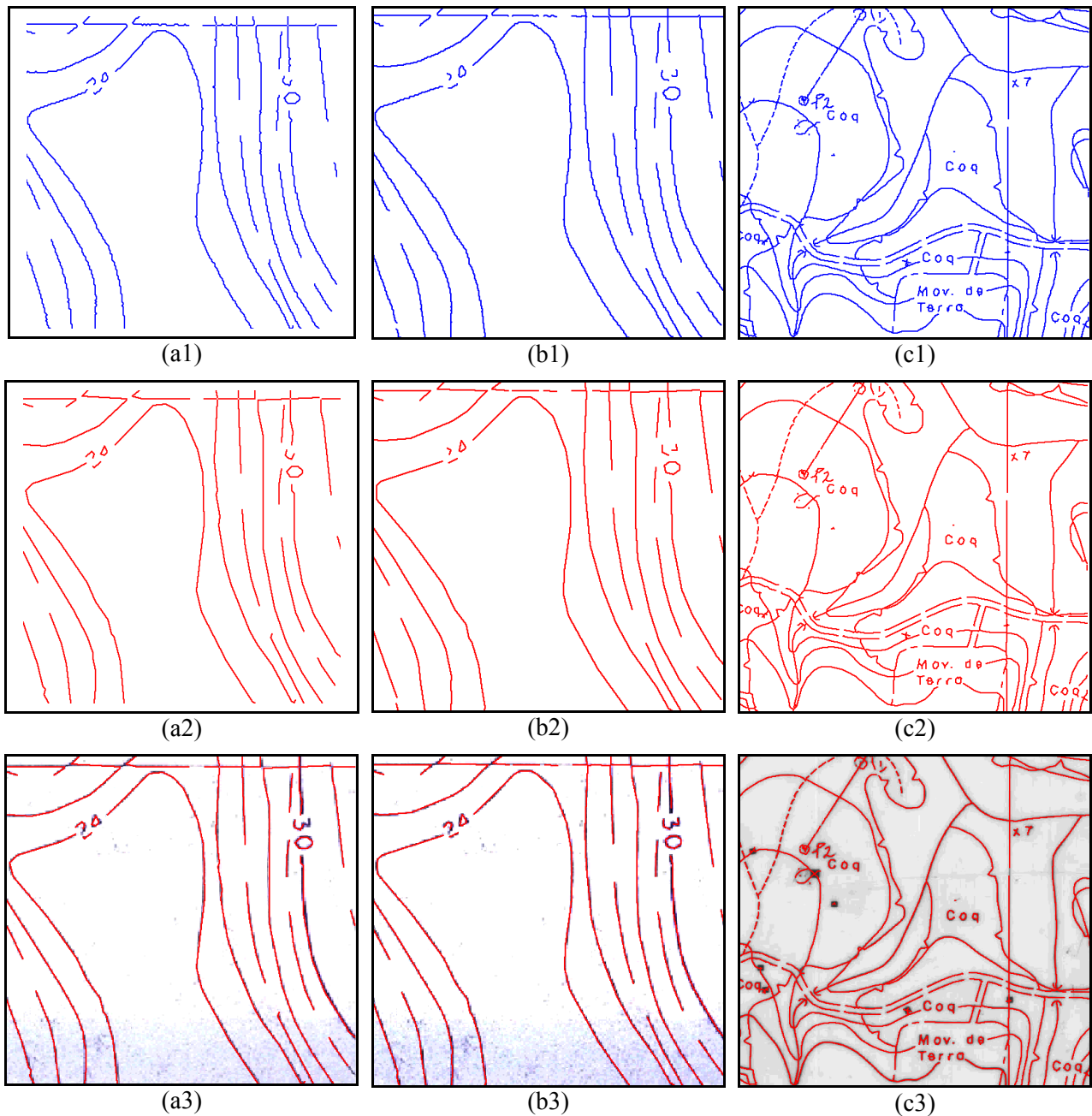


Figura 3 - Recortes dos mapas escaneados (ortofotocartas 1 e 2, carta INTERPA) após os procedimentos de vetorização (linha 1) e aplicação do módulo *v.clean* (linha 2); por último (linha 3) a mesma ilustração da linha 2 sobre as imagens escaneadas na condição original.

De acordo com o observado na Figura 3, visualmente, todos os resultados mostram-se bastante satisfatórios, quando há coincidência entre os vetores e as feições correspondentes no dado raster. O fato é observado especialmente no caso da carta escaneada em maior resolução (Figura 3, c3) e mesmo no caso da ortofocarta 2 (b3), que teve a resolução aumentada em duas, porém, nesse caso, de forma menos acentuada (Figura 3, b3).

3.4 Avaliação estatística dos resultados

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos do Erro Quadrático Médio (EQM) de acordo com a proposição metodológica utilizada.

Tabela 3 - Estatísticas dos desvios e Erro Quadrático Médio, em pixels e em m, observado para os pontos de controle, no procedimento de vetorização.

Mapas	Estatísticas dos desvios									
	Mínimo		Máximo		Média		Desvio padrão		EQM	
	pixel	m	pixel	m	pixel	m	pixel	m	pixel	m
Ortofotocarta 1	0,000	0,000	1,259	0,315	0,420	0,105	0,416	0,104	4,199	0,213
Ortofotocarta 2	0,000	0,000	0,957	0,000	0,386	0,050	0,257	0,033	3,864	0,036
Carta INTERPA	0,000	0,000	0,878	0,104	0,230	0,196	0,283	0,241	2,302	0,933

De acordo com os dados da tabela anterior, os melhores resultados das estatísticas do erro, obtidos tendo como fonte a ortofocarta em escala de 1:2000, foram observados para o mapa 2 (ortofotocarta 2). O mapa de origem foi rasterizada com resolução de 72 ppp, porém, nesse caso, teve a resolução aumentada por interpolação espacial. Quando comparados com a ortofocarta 1, em se tratando do mesmo mapa, o procedimento de refino de grade aplicado para melhorar a resolução produziu, também, melhores resultados finais em metro (m) e em pixel.

Os valores em m não podem ser avaliados entre as ortofotocartas e a carta INTERPA, por possuírem resoluções espaciais diferentes. O erro correspondente a um pixel, no caso dessa ultima carta, corresponde a 0,85 m do terreno, enquanto que para as ortofotocarta 1 e 2, correspondem, respectivamente, a 0,250 m e 0,125 m (Tabela 1). Por sua vez, os resultados em pixel denotam que, apesar dos maiores valores em m para todas as estatísticas do erro, a imagem de maior resolução de escaneamento (carta INTERPA, resolução de 300 ppp), apresentou melhores resultados com a metodologia aplicada.

O fato é também consoante com a apreciação visual realizada a partir da Figura 3, linha 3, quando há completo recobrimento das linhas da imagem escaneada pelos dados vetoriais, na ilustração c3.

Em todos os casos, o erro máximo observado mostrou-se bem inferior ao erro padrão máximo do PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico (Tabela 2), que é observado para elaboração de cartas planimétricas. Ou seja, afora erros com origem na elaboração dos próprios mapas, a conversão do formato analógico para digital não contribuiu de forma determinante para a depreciação da exatidão cartográfica dos mapas em estudo.

4. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada com vistas à utilização de mapas escaneados como fontes de dados para geoprocessamento, apresentou-se exequível, o que se infere a partir dos aspectos abaixo considerados:

Os resultados estatísticos para apreciação dos erros observados de acordo com os procedimentos adotados, mostraram-se bastante favoráveis;

O mapa com maior resolução de escaneamento apresentou resultados mais confiáveis, no processo de vetorização automática;

A utilização de procedimento de interpolação espacial para aumentar a resolução de um mapa já existente, foi importante para obtenção de melhores resultados, no processo de vetorização automática dos dados.

Os erros observados, durante os procedimentos, foram bem inferior ao erro padrão máximo do PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico utilizado, também, como referência para avaliação dos resultados.

REFERÊNCIAS

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. & D'ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001.

DRUCKS, S.; CARVALHO, M. S.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Creative Commons. SJC, INPE, 2005. 3a. edição, revista e ampliada. São José dos Campos, INPE, 2003.

ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S. A. **Conversão de Dados**. Disponível em: <http://www.esteio.com.br/servicos/so_conversao.htm>. Acesso em: 9. mai. 2007.

FILHO, B. S. S. **Cartografia assistida por computador – Conceitos e métodos**. UFMG: CGP/IGC, 2000.

FRANCISCO, C. N. **O Uso de Scanners na Digitalização de Mapas Destinados a Sistemas de Informações Geográficas**. Congresso Brasileiro de Cartografia. SBC, 4 a 8 de outubro, 1993.

GOVERNO DO BRASIL. **Decreto n. ° 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1984.

GRASS DEVELOPMENT TEAM. **Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software**. ITC-irst, Trento, Italy. Disponível em: <<http://grass.itc.it>>. Acesso em: 21. mai. 2007.

JANG, B. K.; CHIN, R. **Analysis of Thinning Algorithms Using Mathematical Morphology**. In: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, N° 6, June 1990.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. Acesso em: 12. jun. 2007.

ROSA, R. **Sistema de Informação Geográfica**. UFU: LGÉOP, 2004.

SHAPIRO, M.; WESTERVELT, J. R. **MAPCALC, An Algebra for GIS and Image Processing**. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois 61801, U.S.A. March 24, 1992.