

REVISÃO TOPOLÓGICA: A HOMOLOGAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL

LUCAS LAGO DE LIMA
ALÉX DE LIMA TEODORO DA PENHA
ANA BORBOREMA
SEVERINO ALVES NETO

3ª Divisão de Levantamento – 3ªDL
Avenida Joaquim Nabuco, nº 1687 – Guadalupe – CEP: 53.240-650 – Olinda – PE
{de.lima, da.penha, borborema}@dsg.eb.mil.br, sanmtv@hotmail.com

RESUMO – O principal objetivo deste trabalho é apresentar a inclusão de uma subetapa de produção cartográfica de Revisão Topológica de curvas de nível, como forma de reduzir a deficiência que o excesso de automatização traz nos dias atuais. Para isso, define-se esta revisão; detalha-se a qual parte do fluxo de produção a mesma se inclui; e em seguida é apresentada uma fundamentação teórica sobre modelos digitais, extração de curvas de nível e leis do modelado terrestre. Por fim, apresentam-se casos práticos onde é necessária a realização desta revisão topológica, subetapa da produção cartográfica, mostrando situações em que é indispensável a intervenção humana para garantir a veracidade da modelagem empregada pela máquina.

ABSTRACT – The main objective of this study is the inclusion of a cartographic production substep of Topological Review of contours lines as a way to reduce the disability that excess of automation brings. For this, the review is defined; it is detailed in which part of the production flow the same is included; and then it is presented a theoretical foundation on digital models, contour lines extraction and laws of the land shaped. Lastly, it is presented case studies where the execution of this topological review, substep of cartographic production, is necessary, showing situations where the action of the human being is paramount to ensure the accuracy of the machine used modeling.

1 INTRODUÇÃO

Diferentemente da cartografia clássica, quando mapear era um trabalho artístico, em que o topógrafo na representação de terrenos abruptos não conseguiria medir exatamente cada pequeno trecho de drenagem e estimaria as curvas de nível em curvas de forma, desenhando marés de morros e caracterizando o terreno eroso, a partir da semi-automatização da extração de curvas de nível pelo processo de Restituição, passou-se a assegurar a estas geometrias lineares, uma precisão que estaria atrelada à resolução das fotografias aéreas utilizadas no processo. Posteriormente, a automatização dos processos de extração de curvas de nível a partir de Modelos Digitais de Superfície (MDS) obtidos por sensores óticos veio por facilitar a elaboração de produtos cartográficos, possibilitando à produção cartográfica maior agilidade nos processamentos.

Segundo VIVIANE e MANZATO (2005), a demanda para o uso dos modelos numéricos do terreno nas atividades de geoinformação vem crescendo significativamente, visto a necessidade de conhecimento e representatividade do espaço terrestre para a execução do planejamento territorial. Os elementos das categorias relevo e hidrografia podem ser facilmente extraídos de um MDS, graças à implementação e difusão de algoritmos nos variados SIG, a exemplo, cita-se: *Marching Squares* (MANTZ, JACOBS e MECKE, 2008; LORENSEN e CLINE, 1987) na extração de curvas de nível e *Fill Sinks* (WANG e LIU, 2006) na extração de trechos de drenagem. No entanto, uma vez que a superfície topográfica é irregular, configura-se a dificuldade de se elaborar um modelo matemático do terreno que garanta a verossimilhança das informações constantes com a realidade. Portanto, fez-se necessária a inclusão de uma nova subetapa na produção, a revisão topológica de curvas de nível, que por sua vez virá a assegurar a confiabilidade dos vetores extraídos e sua adequação às Leis do Modelado do Terreno.

A manipulação e análise de dados através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e as funcionalidades de novos equipamentos, entre outros aspectos são exemplos de causas das alterações significativas nos processos e subprocessos de mapeamento. Isso permitiu modernizar e tratar procedimentos de revisão topológica dos elementos da categoria relevo obtidos a partir do MDS que serão contextualizados neste artigo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para compreender adequadamente este trabalho são necessárias algumas definições apresentadas a seguir. Primeiramente, é feita explanação sobre MDS, com definição e características para em seguida abordar a extração de curvas de nível de forma automática e, após isso, apresentar as leis do modelado terrestre, as quais as curvas terão de ser adequadas. Por fim, será explicada a subetapa de revisão topológica de curvas de nível.

2.1 Modelo Digital de Superfície

O MDS pode ser definido como a representação matemática de um fenômeno espacial na superfície terrestre (BURROUGH, 1986). Para a concepção do modelo digital de superfície é necessária a confecção de uma modelagem que envolva a criação de estruturas de dados de forma a se obter uma função tal que, no plano tridimensional, a elevação é dada em função de um plano e a superfície gerada pela mesma seja utilizada em substituição à superfície real (NAMIKAWA *et al.*, 2003; BURROUGH, 1986; CLARKE, 1990). Neste trabalho, fez-se uso da nomenclatura Modelo Digital de Superfície visto que a matriz tridimensional se difere de um Modelo Digital de Terreno (MDT) apenas por não ter sido editada.

Observações de elevação precisam ser inseridas para se finalizar o modelo. Estas podem vir de medições em campo a partir de Sistemas de Posicionamento Global (GNSS, do inglês: *Global Navigation Satellite System*), estações totais e níveis, ou extraídas de fotografias aéreas ou imagens orbitais, através de estereoscopia, Radar, LIDAR, entre outros. As modelagens comumente usadas são as de grades regulares retangulares e as grades irregulares triangulares (TIN, do inglês: *Triangulated Irregular Network*) e que, através de funções interpoladoras, são utilizadas em substituição da superfície terrestre, como mostra a Figura 1 (FELGUEIRAS, 1998). É um produto cartográfico obtido a partir de um modelo digital que representa o solo exposto e os acidentes encontrados acima do solo (edificações, pontes, corte e aterro do terreno, vegetação, etc), de forma contínua e suavizada, a partir de dados adequadamente estruturados e amostrados do mundo real (ET-PCDG, 2016).

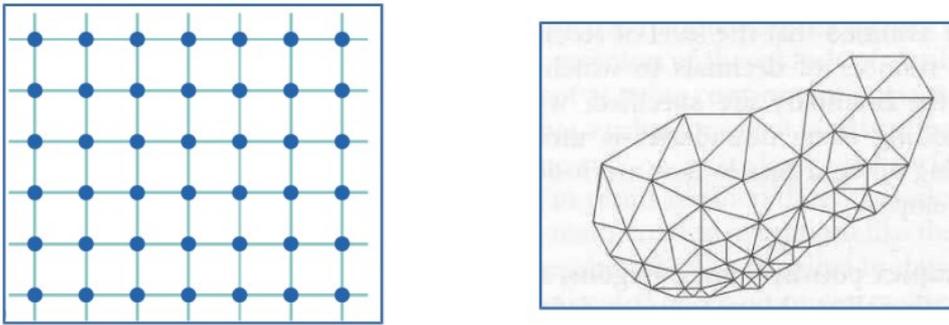


Figura 1 – À esquerda; grade regular retangular. À direita; TIN
Fonte: (HUISMAN, 2009; BURROUGH, 1996).

2.2 Extração de Curvas de Nível

Dentre as mais variadas formas de representação da configuração da Terra sobre cartas topográficas, o método mais comum é o de reproduzir a elevação do relevo pelas curvas de nível. Desde sua primeira aparição em uma iconografia do século XVIII (1728 ou 1730) em uma carta para representação do fundo do Rio *Merwede* (Holanda), alicerçado em um levantamento geodésico, as curvas de nível são traçadas em intervalos iguais que ligam pontos de igual altitude ou cota.

O MDS é um produto para análise e extração de informações altimétricas. Através de métodos de interpolação computacionais podem-se gerar automaticamente as curvas de nível, a exemplo, cita-se: *Kriging*, ponderação do inverso da distância (IDW), interpolação polinomial global e local, e funções de base radial (*spline*) (NOGUEIRA e AMARAL, 2009). Para a extração das isolinhas, cada método apresenta um resultado específico, será tratado neste texto, o algoritmo empregado pelos softwares QGIS 2.8.5 *Wien* e *Inpho*, o algoritmo de *marching squares*. Este método consiste em separar todo o modelo em máscaras (2x2), que são submetidas a um filtro passa alta de tal forma que a célula assume valor 0 para qualquer cota abaixo da equidistância e 1 para qualquer valor acima, possibilitando a correspondência entre os vértices da borda, utilizando uma aproximação trilinear para localizar a superfície análoga ao valor especificado que virá a delimitar a curva de nível. Por fim, aplicando-se os casos pré-determinados, como apresenta a Figura 2 em que é esquematizado o traçado das curvas de nível pelo algoritmo *marching squares* que após a passagem do filtro, as iso-linhas são desenhadas de acordo com a tabela “*Lookup table*”, os pontos brancos representam valores negativos e os pretos positivos. A curva é traçada utilizando a informação de quais células estão abaixo ou acima da equidistância. O algoritmo *marching squares* é a versão 2D de *marching cubes* que concede como resultado final uma isosuperfície de nível 0, obtida restritamente pela aplicação deste algoritmo. Uma das grandes desvantagens deste método é a elevada exigência computacional, tornando proibitivas as resoluções necessárias para reconstruir, com todo o rigor, certas zonas das superfícies implícitas (FERREIRA, 2007).

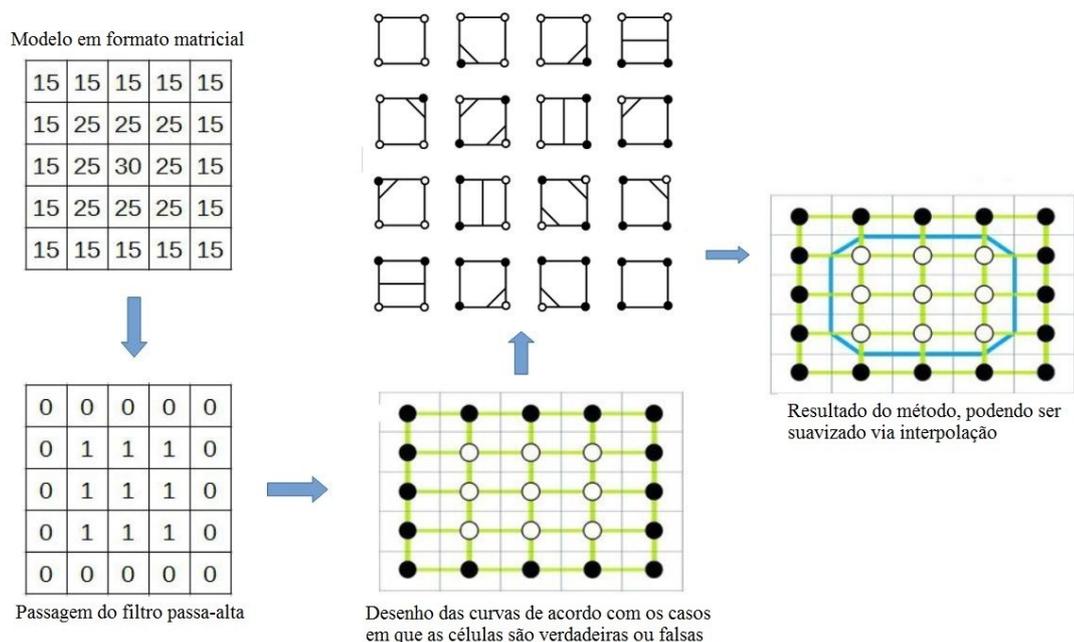


Figura 2 – Esquema do algoritmo *marching squares*.
Fonte: (Adaptado de BANKS, 2003).

2.3 Topologia

Segundo Espartel (1978), as leis do modelado são o conjunto de relações topológicas que regulam a apresentação das curvas de nível. A exemplo desta tem-se os Axiomas. Esse conjunto de propriedades das feições possuem sua ocorrência na superfície real, logo, conclui-se que os vetores representativos do terreno devem estar de acordo com essas regras, que para o caso do relevo são normalmente chamadas de Leis do Modelado (ESPARTEL, 1978). Estas regras práticas são relativas aos três principais elementos de modelado: talvegues e cursos d'água, vertentes e linhas de águas.

- Qualquer curso d'água está compreendido entre duas elevações cujas linhas de crista vão se afastando à medida que o declive da linha de aguada vai diminuindo;
- Quando dois cursos d'água se encontram, a linha de crista que os separa está sensivelmente orientada no prolongamento do curso d'água resultante;
- Se dois cursos d'água descem paralelamente uma encosta e tomam depois direções opostas, as linhas que separam os cotovelos indicam a depressão mais profunda entre as vertentes;
- Se alguns cursos d'água partem dos arredores de um mesmo ponto e seguem direções diversas, há, ordinariamente, na sua origem comum, um ponto culminante;
- Se duas nascentes ficam de um lado e de outro de uma elevação, existe um cume na parte correspondente da linha de crista que as separa;
- Em uma zona regularmente modelada, uma linha de crista se baixa quando dois cursos d'água se aproximam e vice-versa. Ao máximo afastamento corresponde um cume, ao mínimo, um colo;
- Em relação a dois cursos d'água que correm em níveis diferentes, pode-se afirmar que a linha de crista principal que os separa se aproxima, sensivelmente, do mais elevado;
- Sempre que uma linha de crista muda de direção lança um contraforte na direção de sua bissetriz. Este contraforte pode ser pequeno, mas sempre existente;
- Quando dois cursos d'água vizinhos nascem do mesmo lado de uma encosta um contraforte ou uma garupa se lança entre os dois e os separa. Na interseção da linha de crista desse contraforte com a linha de crista principal existe um ponto culminante; e
- Se um curso d'água se divide em muitos ramos sinuosos e forma ilhas irregulares, pode-se concluir que o vale

é largo e a linha de aguada tem pouca inclinação. Se, ao contrário, existe um único canal, pode-se concluir que o vale é estreito e profundo e a linha de aguada é bastante inclinada.

Estas leis do modelado são, muitas vezes, sensíveis somente ao operador, sendo de difícil implementação computacional. Portanto, é importante que haja uma verificação da topologia pelo intelecto humano quando houver uso de métodos automatizados para obtenção de curvas de nível por meio da revisão topológica.

2.3 Controle de Qualidade

A subetapa de revisão topológica baseia-se nas principais normas de controle de qualidade, a saber: ISO 9000 e ISO 9001 – Gestão da qualidade; ISO 19113 – Princípios de Qualidade; ISO 19114 – Procedimentos para avaliação da Qualidade; ISO 19138 – Medida de qualidade dos dados; e ISO 19131 – Especificações de produto de dados. A ISO 19138 estabelece os componentes e elementos para a avaliação de qualidade de dados, e estes por sua vez, devem descrever o quanto uma base de dados geoespaciais satisfaz os critérios especificados.

A Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) apresenta os procedimentos de avaliação dos produtos do tipo Modelo Digital de Elevação, descrevendo os elementos de controle de qualidade, medidas, parâmetros, processos e resultados. Para tanto, esta revisão topológica trata especificamente das classes Curva de Nível e Ponto Cotado Altimétrico da Especificação Técnica de Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), caracterizando-se como uma revisão geométrica, relacionando os vetores ao posicionamento das feições conforme os itens detalhados na subseção 2.4.

A revisão topológica é, segundo a ISO 19114, um método de avaliação direto externo da qualidade uma vez que exige dados de referência externos ao conjunto de dados que está sendo testado, a exemplo, cita-se: MDS, ortoimagens, pontos de apoio oriundos de levantamentos de campo, hidrografia. Na prática, a subetapa aplica um teste de avaliação na classe curva de nível para garantir a conformidade do dado.

2.4 Revisão Topológica

Esta vem por aferir ao produto vetorial adquirido um controle de qualidade de forma a garantir uma determinada confiabilidade à base cartográfica gerada. A revisão topológica é um processo que tem por objetivo sanar os desacertos que foram deixados no processo de extração semiautomática.

Nesta subetapa verifica-se a conformidade do terreno com as leis do modelado e faz-se as correções necessárias verificando seu posicionamento e seus atributos (cota, depressão, índice, geometria aproximada), o que faz primordial, por muitas vezes, a edição do arquivo vetorial, seguindo as leis do modelado terrestre e a Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).

Por fim, para se atender a esta fina revisão de correção dos diversos elementos que são adquiridos desnecessariamente (conforme ao especificado na ET-ADGV para cada escala) ou em desconformidade com a topologia do terreno, os técnicos responsáveis pelo controle de qualidade têm como desígnio a correção dos vetores da feição REL_Curva_Nível_L da categoria Relevo descrita na ET-ADGV, seguindo a sequência:

- i. Verificar se os elementos vetoriais estão na posição correta, fazendo esta etapa, baseada na ortoimagem e MDS;
- ii. Verificar se estão em conformidade com as leis do modelado terrestre; e
- iii. Verificar se os pontos cotados condizem com as curvas de níveis quando a cota é comprovada, não executando sua edição. Caso a cota seja não comprovada, prevalece a curva de nível.

Na prática, a revisão topológica aplica teste de conformidade da ISO. A saber:

- i. Verificação de inconsistência topológica da curva de nível em relação às leis do modelado terrestre;
- ii. Verificação de inconsistência entre ponto cotado e curva de nível;
- iii. Verificação da falta de conformidade da curva de nível em relação à Hidrografia; e
- iv. Verificação de curvas de nível isoladas sobre Vegetação.

3 METODOLOGIA

A fim de comparar os vetores extraídos que passarão pela subetapa de revisão topológica, foram utilizadas ortoimagens e MDS provenientes do acervo da 3ª Divisão de Levantamento (3ªDL). A Figura 3 apresenta a área de estudo compreendida pelos índices de nomenclatura SD-24-X-A-II-2-SE e SD-24-X-A-II-4-SO (MI 1905-2-SE e 1905-4-SO, respectivamente). Estes modelos tiveram suas curvas de nível extraídas através do algoritmo *marching squares* e

passaram por uma revisão topológica para, por fim, terem seus vetores adequados às leis do modelado.

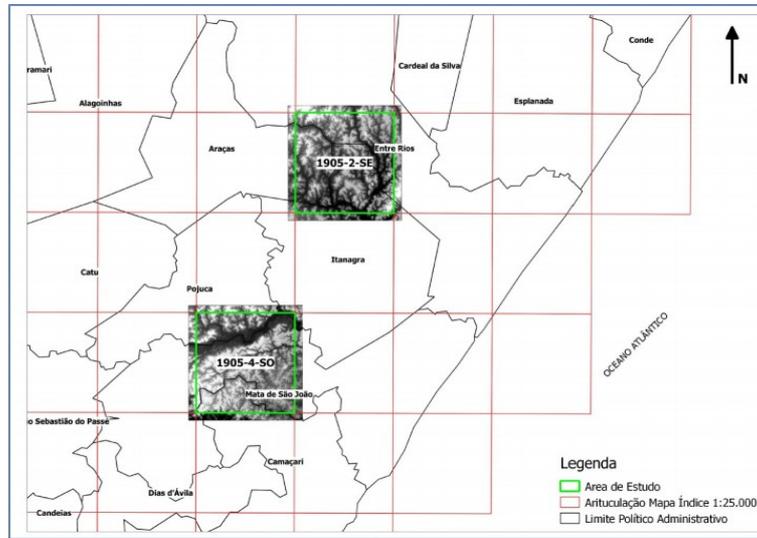


Figura 3 – Área de estudo.
Fonte: (Autor, 2016)

As curvas extraídas pelo algoritmo *marching squares*, uma vez que verificadas no que diz respeito ao cumprimento das leis do modelado e da fotointerpretação, segundo os procedimentos detalhados na subseção 2.4, foram editadas a fim de se evitar curvas pontiagudas ou serrilhadas, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – (a) curva de nível original da extração automática (verde) sendo (b) a corrigida (vermelho) – MI 1905-4-SO.
Fonte: (Autor, 2016)

Percebe-se que correções como à exemplificada na figura 4b são justificadas pela inconsistência das curvas de nível com as leis do modelado e com a formação apresentada na ortofotografia. Uma curva com angulação tão aguda como a apresentada significa a presença de uma formação abrupta no relevo, como uma calha, que não é identificável na imagem. Além disso, com a equidistância definida para 10 metros, uma formação expressiva como a apresentada não seria definida somente por uma curva, as outras deveriam se comportar de forma a indicar a sua presença. A Figura 5 esquematiza os procedimentos utilizados na revisão topológica das curvas de nível.

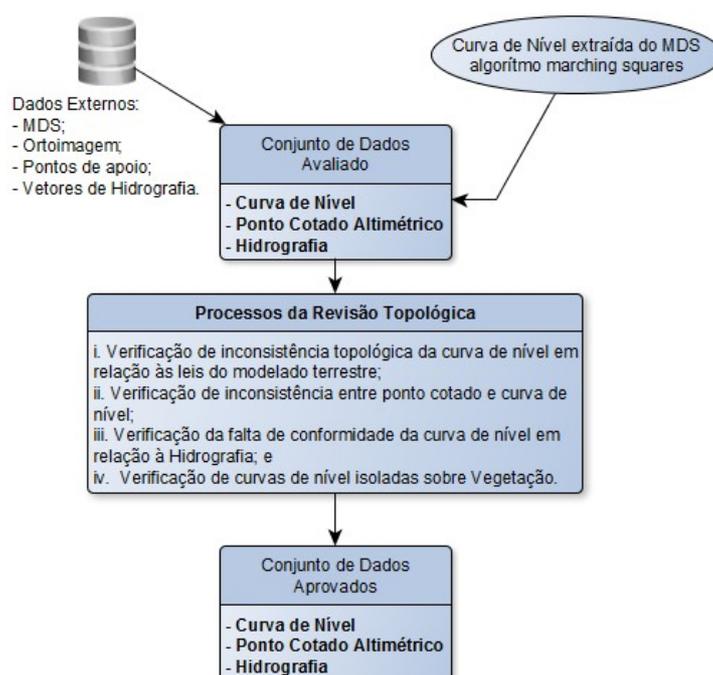


Figura 5 – Fluxograma dos procedimentos utilizados.

Fonte: (Autor, 2016)

4 RESULTADOS

A revisão topológica executada nos dois MI avaliados neste trabalho encontrou inconsistências na extração automática, estas foram corrigidas e seguem exemplificadas nas Figuras 6, 7, 8 e 9.



Figura 6 – (a) Correção da curva sobreposta à ortofotografia, em (b), sobreposta ao MDS – MI 1905-2-SE.

Fonte: (Autor, 2016)

Conforme representado na Figura 6, nota-se que não são exercidos alguns comportamentos característicos das relações topológicas das curvas de nível, como o apresentado na Figura 6b que existe um trecho de drenagem. Porém, a curva não se afunila para representar sua presença, caracterizando este comportamento como sendo a propagação de erros provenientes dos métodos de extração, ou até um ruído no MDS que foi interpretado e corrigido pelo operador humano, fazendo justa necessidade da subetapa de revisão topológica. Como apresentado na Figura 7, tratando do MI 1905-4-SO, a justificativa é idêntica, é possível ver que a representação do relevo não está acompanhando o MDS.

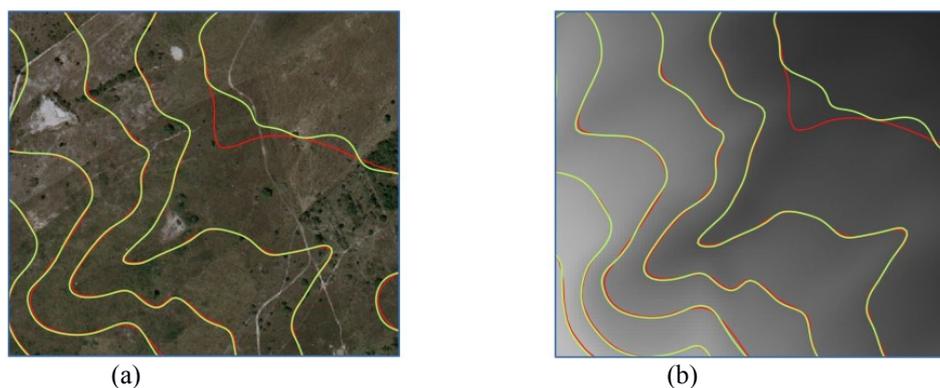


Figura 7 – Correção da curva de nível apresentada sobre a ortoimagem e sobre o MDS – MI 1905-4-SO.
Fonte: (Autor, 2016)

Como apresentado na Figura 8, a curva de nível não segue a linha de talvegue, ou fundo de vale, faltando adequação às leis do modelado.



Figura 8 – a e b Correção da curva de nível apresentada sobre a ortoimagem e sobre o MDS – MI 1905-4-SO.
Fonte: (Autor, 2016)

No processo de revisão topológica todo erro percebido pelo operador humano deverá ser corrigido conforme as orientações dadas no subitem 2.4. A exemplo desta, a Figura 9 mostra em verde as curvas extraídas automaticamente cujo resultado apresentou erros grosseiros. Na Figura 9a a cota da curva que deveria ser 90m, acusa 93,649m (valor retirado do MDS), e na Figura 9b o valor medido na mesma curva acusa 86,971m (valor retirado do MDS), caracterizando a necessidade do processo de revisão topológica na dada região, pois a mesma curva de nível não está representando uma isolinha.

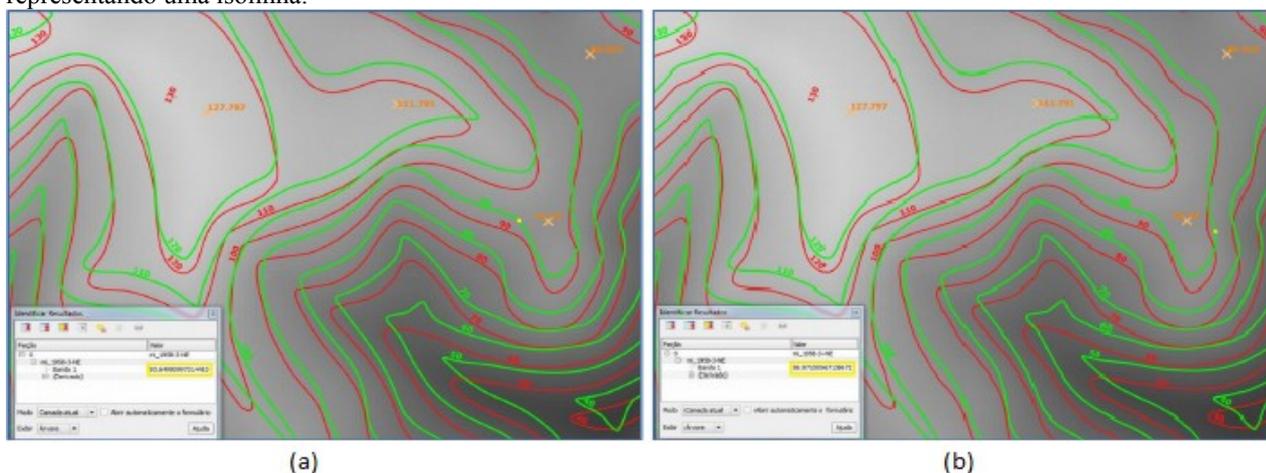


Figura 9 – Medida da elevação pelo MDS mostrando a curva de nível extraída automaticamente com inconformidade (verde).

Fonte: (Autor, 2016)

Conforme a ET-CQDG, no que se refere à avaliação da acurácia posicional de um modelo digital de elevação, o técnico responsável pelo controle de qualidade deve adotar um Limite de Qualidade Aceitável (LQA) de 4% a fim de determinar o tamanho da amostra. Para o elemento Omissão, elemento avaliado na subetapa, a norma estabelece o LQA = 10%. Sabendo-se o LQA e a população, o primeiro passo é verificar a letra código da tabela 44 apresentada na ET-CQDG para esta população ao Nível Geral de Inspeção II. Em seguida, faz-se a determinação do tamanho da amostra (n) e do número de aceitação (Ac) para a letra e LQA definidos anteriormente (tabela 45 da ET-CQDG). Qualquer valor acima do Ac causa a não conformidade e correspondente não aceitação do lote dentro do critério avaliado.

O Quadro 1 apresenta o quantitativo de correções executadas por MI em relação ao número de curvas de nível, caracterizando as curvas extraídas segundo os índices apresentados nas tabelas 44 e 45 da ET-CQDG.

Quadro 1: Resultados encontrados na avaliação dos MI antes do processo de revisão topológica.

MI	Lote	LQA	n	Ac	Nr de Erros Encontrados	Resultado
1905-2-SE	704	10%	80	14	60	Reprovada
1905-4-SO	595				34	

O Quadro 2 quantifica e exemplifica a necessidade da existência da subetapa de revisão topológica em uma linha de produção cartográfica em que o insumo utilizado é oriundo de um processo de extração automática. Após o processo de revisão topológica, o produto cartográfico decorrente é considerado aceitável tendo em vista os índices apresentados pela ET-CQDG.

Quadro 2: Resultados encontrados na avaliação dos MI após o processo de revisão topológica.

MI	Lote	LQA	n	Ac	Nr de Erros Encontrados	Resultado
1905-2-SE	704	10%	80	14	5	Aprovada
1905-4-SO	595				3	

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A extração automática dos vetores da feição curva de nível vem por auxiliar a confecção de mapas uma vez que substitui o operador humano no processo de restituição, aferindo à base vetorial adquirida, erros que estarão inerentes, visto que a máquina não é senciente às leis do modelado, logo fazendo-se necessária a alocação de uma nova subetapa na linha de produção cartográfica, a que se deu o nome de revisão topológica. Os resultados obtidos neste trabalho, referem-se apenas à feições extraídas automaticamente pelo algoritmo *marching squares*.

Esta subetapa de revisão topológica, coordenada por um técnico responsável, vem por atribuir ao produto cartográfico produzido maior confiabilidade em função do rigoroso processo de controle de qualidade a que os vetores são submetidos.

Pode-se concluir que cartas com maiores diferenças de nível encontram-se uma maior quantidade de erros. Em contrapartida, as folhas com menor diferença de nível apresentam um número mínimo de erros altimétricos, porém a interpretação do relevo é dificultada devido ao espaçamento das curvas de nível, fato que nivela a complexidade do processo de revisão topológica.

Portanto, pode-se constatar que o processo de revisão topológica se faz necessário à linha de produção cartográfica desde que o processo de extração automática tenha sido executado, como o apresentado nos Quadros 1 e 2 em que são quantificados os erros encontrados antes e depois da revisão topológica.

REFERÊNCIAS

- ASPRS. **Digital Photogrammetry: an addendum to the Manual of Photogrammetry**. Bethesda, Maryland, 1997;
- BANKS, D. C. (2004). **Counting cases in subitope algorithms**. IEEE Trans. Visual. Comp. Graphics **10** (4): 371–384. doi:10.1109/TVCG.2004.6. 2003.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido, 1996.
- CLARKE, C. K. **Analytical and Computer Cartography**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990;
- DSG. Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geospaciais Vetoriais**. ET-ADGV. Brasília-DF, 2011.
- _____. **Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geospaciais**. ET-CQDG. EB80-N-72.004. 1 Ed. Brasília-DF, 2016.
- _____. **Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais**. ET-PCDG. EB80-N-72.001. 2 Ed. Brasília-DF, 2016.
- ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo, Porto Alegre, 1978.
- FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Numérica de Terreno**. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. INPE, São José dos Campos, 1998. cap. 4.
- FERREIRA, N. G. M. P. **Fusão Automática de Superfícies Tridimensionais**. Dissertação. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2007.
- HUISMAN, O.; ROLF A. **Principles of Geographic Information Systems; An introductory textbook**. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, Holanda, 2009.
- MANTZ, H.; JACOBS, K.; MECKE, K. **Utilizing Minkowski Functional for Image Analysis: a Marching Square Algorithm**. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Universidade de Saarlandes, Saarbrücken, Alemanha.
- NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. S. **Modelagem Numérica do Terreno e Aplicações**. INPE, São José dos Campos, 2003.
- VIVIANE, E.; MANZATO, G. G.; **Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster**. Revista Ciência & Engenharia, UNESP, Bauru, São Paulo, 2005.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. Editora Oficina de Textos, 1.ed., 2013.
- WANG, L.; LIU, H.: **An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling**. Int. J. Geogr. Inf. Sci., 20, 193-213, 2006.