

Controle de Qualidade aplicado na Modelagem digital de Terreno

Otávio Yassuo Itame
Júlio Kiyoshi Hasegawa

19060-900 Presidente Prudente SP

✉ Itame@prudente.unesp.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Controle de Qualidade
	2.1 Análise de tendências e precisão
	2.2 Tamanho da amostra
	3 Desenvolvimento
	3.1 Área de estudos
	3.2 Coleta de Dados
	4 Processamento dos dados
	5 Resultados obtidos
	6 Conclusões
	7 Referências Bibliográficas

Resumo: Neste trabalho uma série de levantamentos topográficos foi realizada para aquisição de pontos amostrais aleatoriamente espaçados utilizando-se de estações totais. Modelos digitais do terreno foram gerados utilizando-se o programa topoGRAPH, empregando a triangulação de Delaunay e interpolação por B-spline, com a finalidade de analisar a densidade mínima necessária para a produção de documentos cartográficos. Tais modelos digitais do terreno foram analisados empregando 20 pontos de verificação bem distribuídos na área de estudo com 7,5 hectares, localizada no campus universitário da Unesp de Presidente Prudente. Foi realizada análise de exatidão e precisão dos modelos digitais, adotando como padrão as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. No presente trabalho foi adotada a equidistância de 1 metro entre as curvas de nível e geradas plantas na escala de 1:3.000. Resultados obtidos indicaram que a densidade mínima de pontos depende da declividade do terreno.

Palavras chave: Modelo Digital de Terreno; Topografia; Acurácia e precisão.

Abstract: In this work a series of topographical surveys was carried out for the acquisition of sampling points randomly distributed by employing total stations. Digital terrain models were generated using the topoGRAPH software, choosing Delaunay triangulation and B-spline interpolation, aiming at the analysis of a minimum density which is necessary for the production of cartographic documents. Such digital terrain models were analysed using 20 checking points well distributed in the study area which has 7.5 hec and is located at Unesp campus in Presidente Prudente. Accuracy and precision analysis was carried out by adopting the standards suggested by the Brazilian Cartography Technical Rules. In this work it was chosen an vertical interval of 1 meter between the contour lines and plotting scale of 1:3.000. Results obtained in this research show that the minimum density of points depends on the terrain slope.

Keywords: Digital Terrain Models; Topography; Accuracy and precision.

1 Introdução

Para o planejamento de diversos trabalhos em engenharia, é necessário que se tenha um mapa ou planta topográfica, que represente a área de interesse ao projeto, com informações adequadas e atualizadas.

A representação da superfície topográfica de forma adequada permite a obtenção de diversas informações, tais como: a distância vertical entre pontos, a inclinação de talude, a construção de perfis, intervisibilidade entre pontos, elementos para o cálculo de áreas e volumes, entre outras.

Embora a superfície topográfica seja geralmente considerada como uma superfície matematicamente contínua, difere de muitas outras superfícies contínuas.

Para produzir mapas ou plantas topográficas, são selecionados pontos amostrais de uma superfície de forma a representar o seu contorno adequadamente.

A manipulação dessas informações (pontos selecionados), por processos manuais, é extremamente difícil devido ao grande volume de dados, tornando-os onerosos e de qualidade às vezes discutível.

Com a criação das técnicas de modelagem digital do terreno, tornou-se possível solucionar diretamente todos esses problemas, através de um modelo numérico representativo do terreno que pode ser trabalhado para se obter as informações desejadas.

Para Miller e Laflamme em Carter (1988), historicamente, o termo Modelo Digital de Terreno (M.D.T.) tem sido o termo genérico usado para referir-se a qualquer representação digital de uma superfície topográfica. Burrough em Carter (1988), estabelece que o termo Modelo Digital de Elevação (M.D.E.) é preferível, para modelos contendo somente dados de elevação porque "terreno" implica em atributos de formas do solo, muitas vezes a altitude da superfície da terra; e Evans (1980) usou o termo Modelo Digital de Terreno (D.M.G.) para qualquer conjunto de dados.

A elaboração e criação de um modelo digital do terreno é fundamental para a representação de uma superfície topográfica. Esse modelo pode ser apresentado através de equações matemáticas (polinômios, séries de Fourier, splines), definindo uma superfície contínua para representar o terreno.

As equações matemáticas podem ser globais, aplicáveis à toda a área a ser mapeada, ou locais, quando se subdivide o terreno em várias parcelas.

O modelo digital pode ser apresentado também através de uma rede de pontos (malha quadrada, retangular, triangular) que podem

estar distribuídos de forma ordenada ou de forma aleatória.

Diante da diversidade de processos para a obtenção de M.D.Ts., torna-se necessário o estudo para avaliar a aplicabilidade dos métodos às diversas finalidades, uma vez que não existe um método universal que atenda de forma adequada a todas as formas de dados e funções utilizadas no modelamento.

Os pontos, formando uma malha com grande densidade, foram coletados com distribuição irregular, seguindo as características do terreno.

O presente trabalho objetiva a avaliação, por métodos estatísticos, do modelo digital do terreno através de pontos coletados da área de estudo por procedimentos topográficos usando de estações totais, fazendo-se a análise de tendências e precisão.

Neste trabalho adota-se a definição de M.D.T. apresentado por Miller e Laflamme (1988).

2 Controle de Qualidade

Para a realização de análise, tanto quantitativa quanto qualitativa dos MDTs, é necessário que sejam feitas algumas considerações sobre os documentos que estabelecem normas para a classificação dos produtos cartográficos.

A classificação de documento cartográfico deve ser realizada obedecendo-se as normas ditadas pelo Decreto Lei 89.817 de 20 de junho de 1984, Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

O Decreto Lei 89.817 apresenta no Capítulo II, artigos 8º e 9º, as normas que estabelecem a forma de classificar um documento cartográfico segundo sua qualidade geométrica.

"Art. 8: As cartas, quanto à exatidão, devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica, segundo o critério indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica-Planimétrico-estabelecido.
2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica-altimétrico-estabelecido.

Na Tabela 1, são apresentados os valores do PEC e o Erro Padrão (EP) conforme o Decreto nº 89.817/84, para a classificação de documentos cartográficos.

Tabela 1 : Valores do Pec e EP na escala da carta, conforme Decreto nº 89.817/94.

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5mm	0,3mm	1/2 da equid.	1/3 da equid.
B	0,8mm	0,5mm	3/5 da equid.	2/5 da equid.
C	1,0mm	0,6mm	3/4 da equid.	1/2 da equid.

2.1 Análise de tendências e precisão

A exatidão do documento cartográfico é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas no documento e as suas homólogas de referência.

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad (1)$$

A média e o desvio padrão, calculados como segue:

$$\Delta X_i = X_i^r - X_i^c \quad (2)$$

onde X_i^r são as coordenadas de referência e X_i^c são as coordenadas dos modelos.

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (3)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (4)$$

No teste de tendência são avaliadas as hipóteses:

$H_0: \overline{\Delta X} = 0$, contra

$H_1: \overline{\Delta X} \neq 0$

Calcula-se a estatística amostral t, e verifica-se se o valor encontra-se no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor de t amostral é calculado por:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (5)$$

e o intervalo de confiança é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1; \alpha/2)}$$

A estatística t não satisfazendo a desigualdade, rejeita-se a hipótese nula, que significa que o documento não está livre de tendência.

Para verificar a precisão, a análise é realizada comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o desvio padrão esperado para a classe desejada, formulando-se a seguinte hipótese:

$$H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2, \text{ contra}$$

$$H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2$$

onde, σ_X é o desvio padrão esperado para a classe de interesse.

Calculado o desvio padrão esperado, realiza-se a estatística através da equação:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (6)$$

e verifica-se se o valor está no intervalo de aceitação, como segue:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1; \alpha)}^2$$

Não sendo obedecida, rejeita-se a hipótese H_0 .

2.2 Tamanho da amostra

Da teoria estatística, pode-se afirmar que o tamanho da amostra, necessária para um dado grau de acurácia requerido para o modelo a ser analisado, depende da variação associada com a variável aleatória, isto é, no caso de testes de acurácia de MDT, o desnível. Para uma pequena variação, o menor tamanho de amostra que é necessário para obter um dado grau de acurácia requerida para a sua estimativa.

Para a análise estatística de MDT, pode-se obter o tamanho da amostra, utilizando-se de uma amostra inicial de um tamanho qualquer (por exemplo 5 ou 10), com a seguinte equação (Li, 1991):

$$n = \frac{Z_r^2 \cdot SD^2}{S^2} \quad (7)$$

onde:

SD é o desvio padrão da amostra inicial;

S é o grau de acurácia para a média estimada; e

Z_r obtido da tabela estatística da distribuição normal, para uma dada probabilidade r.

O desvio padrão da variável aleatória da expressão 30, é obtido de uma amostra inicial, para a partir desta calcular o tamanho da amostra necessária para a avaliação do modelo. Sendo o valor calculado menor que o tamanho da amostra utilizado, significa que esta é suficientemente grande para uma análise adequada.

3 Desenvolvimento

Os trabalhos foram desenvolvidos em uma área dentro do campus da FCT/Unesp, pela facilidade, e principalmente pela garantia na sua utilização em qualquer época para a coleta de dados para a execução das atividades.

Foram gerados M.D.Ts. utilizando-se de pontos amostrais coletados com distribuição de forma irregular, na área de estudo, utilizando-se de estações totais.

No teste experimental para a realização do controle de qualidade de modelos digitais de terreno, foi usado um conjunto de pontos de verificação, e admitiu-se que estes representam a altimetria verdadeira.

Selecionados os pontos de verificação, estes foram interpolados do M.D.T. e checados com os correspondentes pontos levantados no terreno, obtendo-se a diferença entre as duas alturas para cada ponto.

As diferenças entre as duas alturas dos pontos de verificação foram usadas para calcular os valores estatísticos, como a média e o desvio padrão para a medida de acurácia do M.D.T. Nestas circunstâncias, a discrepância das diferenças de nível é considerada como uma variável aleatória.

3.1 Área de estudos

Utilizou-se para o presente estudo, levantamentos realizados em uma área do campus, onde o relevo apresenta características diversificadas. Essa área de estudo é delimitada por um polígono irregular abrangendo uma extensão de aproximadamente 7,5 hectares, e apresenta basicamente uma região com declividade de 3% e uma outra de 12%, aproximadamente, que pode ser vista na Figura 1, e a vista perspectiva apresentada na Figura 2.

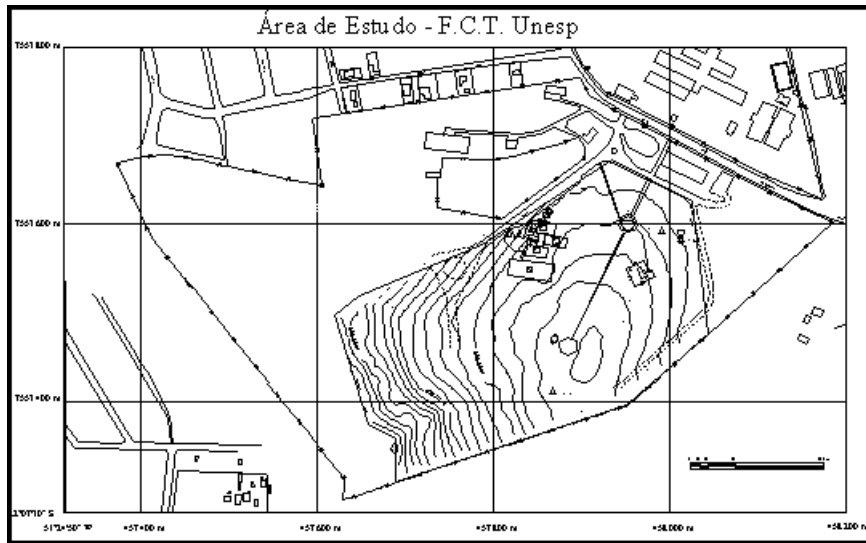


Figura 1 : Área de estudos

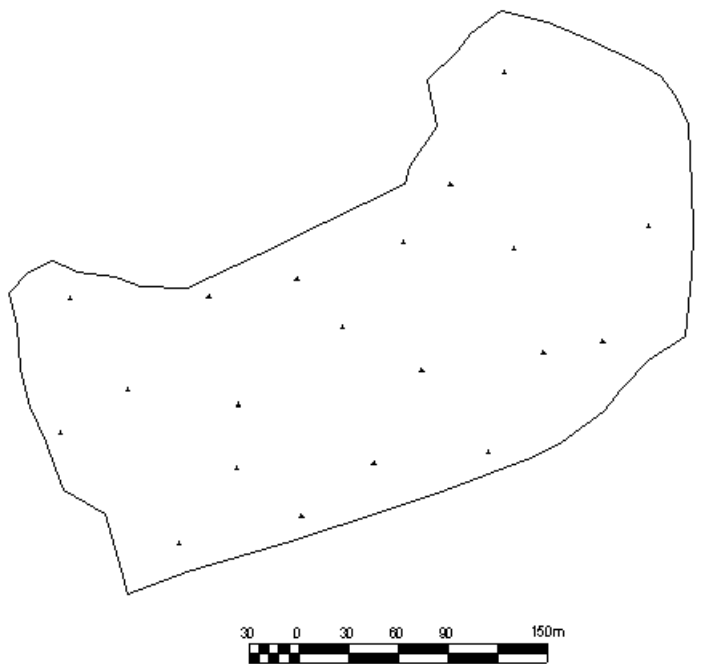


Figura 2 : Área de estudos

3.2 Coleta de Dados

Para a coleta dos dados, foram utilizados dois pontos; FCT03 e P6, com coordenadas no sistema UTM, e as altitudes ortométricas (medida sobre a vertical, do ponto sobre a superfície ao geóide). As coordenadas desses dois pontos foram determinadas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quando da reimplantação de vértices destruídos da poligonal fundamental.

As coordenadas E e N dos vértices foram determinadas por poligonização com a utilização de estação total, e a altitude geométrica, determinada por nivelamento trigonométrico.

As altitudes obtidas do nivelamento trigonométrico foram transformadas em altitudes ortométricas, com a ondulação geoidal que na área de estudo é de aproximadamente 0,4904 metros, e adotou-se como sendo constante, por ser suave o geóide na região (Monico et al., 1996).

Na área de estudo adotou-se como sendo constante a ondulação geoidal, por ser suave o geóide na região (Monico et al., 1996).

Na Tabela 2 encontram-se as coordenadas dos pontos FCT03 e P6, que para facilidade de manuseio das coordenadas E e N foram subtraídos 450.000 e 7.550.000 metros, respectivamente.

Tabela 2 : Coordenadas dos pontos de referência.

Ponto	E (m)	N (m)	H (m)
FCT03	7.850,6980	3.412,8420	444,337
P6	7.913,9720	3.389,4610	445,479

Os pontos amostrais foram medidos com distanciômetros eletrônicos, obtendo-se assim, coordenadas polares que foram transformadas posteriormente em coordenadas UTM (E, N e H).

A determinação das coordenadas dos pontos foi realizada aplicando-se os métodos de poligonação e irradiação.

4 Processamento dos dados

Os dados coletados no campo, foram processados usando o programa topoGRAPH, para a obtenção das coordenadas UTM e, posteriormente, os modelos digitais para a realização do controle de qualidade.

A geração dos Modelos Digitais do Terreno, com a aplicação do programa Topograph, foi feita através do método de triangulação, que consiste num poliedro de faces triangulares onde os vértices dos triângulos são os pontos da superfície levantada.

Inicialmente, do conjunto de 425 pontos levantados no terreno, foram escolhidos 10 pontos para serem utilizados na verificação. Após a geração dos modelos digitais, foi realizada a interpolação sobre os pontos de controle de qualidade. A qualidade do MDT foi realizada pela análise estatística dos valores das altitudes obtidas do levantamento de campo e as dos respectivos pontos interpolados no MDT gerado.

Com as coordenadas dos pontos de verificação obtidos do levantamento de campo (Z^c) e as respectivas coordenadas interpoladas do modelo gerado (Z^i), calculou-se a média e o desvio padrão, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 : Média e Erro Médio Quadrático dos pontos de verificação.

Número de Pontos	10	20
Média	0,043	0,022
E.M.Q.	0,101	0,087

Com a média e o desvio calculados com os 10 pontos de verificação, utilizando-se da equação 7 calculou-se o tamanho mínimo da amostra, necessária para a avaliação do modelo digital gerado. Obteve-se assim, um tamanho mínimo de amostra de 20 pontos que estão relacionados na Tabela 3.

A distribuição dos 20 pontos de verificação pode ser vista na Figura 3.

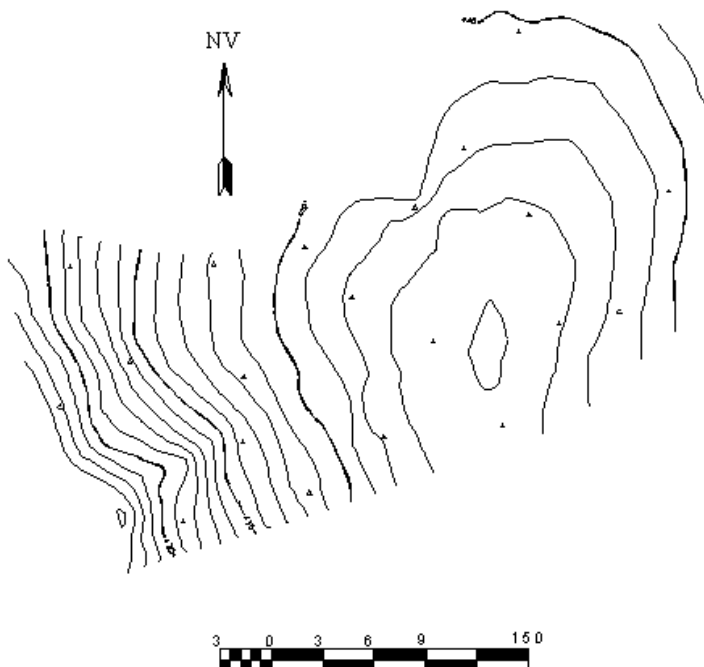


Figura 3 : Pontos de verificação

Realizando novo cálculo, com os 20 pontos de verificação, obtêm-se o tamanho da amostra de 14 pontos, constatando-se que esta é suficiente para a realização de análises.

Refazendo o cálculos do tamanho da amostra, tomando-se como referência 14 pontos, obteve-se valores que variam de 17 a 19 pontos. Portanto, adotou-se no presente trabalho, o tamanho de amostra de 20 pontos.

Selecionados os pontos de verificação, inicialmente foi gerado um MDT com 400 pontos amostrais, apresentando uma densidade média de 53 pontos amostrais por hectare, que corresponde a um espaçamento médio de 15 metros.

Os modelos digitais foram obtidos através do modo de processamento normal, onde se considera o modelo global, realizado a triangulação de Delaunay e a interpolação por B-spline. Sendo que neste modo o programa utiliza a interpolação por curvas, o que implica na busca do triângulo adequado dentro da malha.

Com a finalidade de se ter homogeneidade nos contornos, no processamento, foi usado na B-spline com nível de suavização 6, que pode variar de 1 à 10. O nível de suavização está relacionado com a ordem das funções B-spline.

Ainda no processamento, o programa utilizado apresenta a possibilidade de se delimitar a área de interesse criando uma fronteira, que contorna a região a ser interpolada.

Após estas considerações, procedeu-se à geração dos modelos digitais, que em razão da dimensão da área de estudo, foram obtidas plantas na escala 1:3000 com equidistância das curvas de nível de 1 metro.

Do modelo inicialmente gerado com densidade de 53 pontos amostrais por hectare, foram retirados 100 pontos, obtendo-se assim, um novo modelo com 40 pontos por hectare, com espaçamento médio de 17 metros.

A cada modelo gerado realizou-se a análise estatística, verificando-se a precisão, a análise de tendência e a exatidão, sempre tomando como parâmetro o padrão de exatidão cartográfica.

Tabela 4 : Média e Erro Médio Quadrático das discrepâncias de 20 pontos de Verificação nos Modelos Digitais gerados.

Densidade	53 ptos/ha	40 ptos/ha	26 ptos/há	20 ptos/ha
Média	0,022	0,014	0,023	0,044
E.M.Q.	0,087	0,121	0,152	0,148

Novos modelos foram gerados, com sucessivas retiradas de pontos amostrais (modelo com densidade de 26 pontos por hectare) Figura 4 , até se obter a densidade mínima com resultados dentro da especificação segundo o padrão de exatidão, Figura 5.

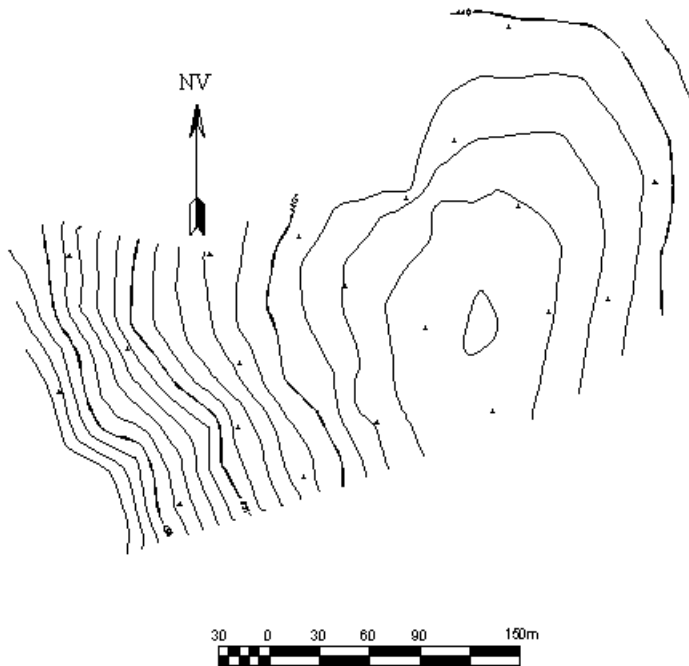


Figura 4

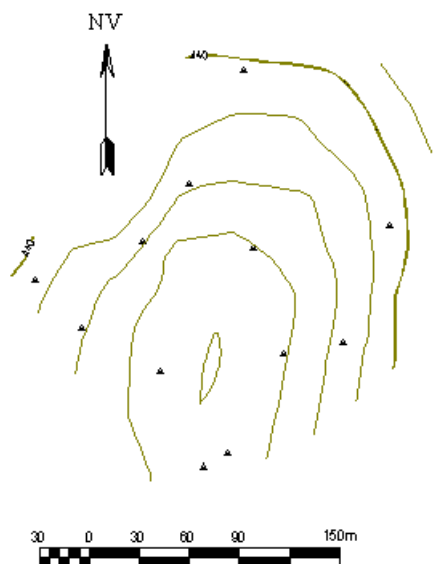


Figura 5

Na tabela 5 encontram-se as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação nos diversos modelos gerados.

Tabela 5 : Média e Erro Médio Quadrático das discrepâncias de 11 pontos de verificação na região com declividade de 3%.

Densidade	17 ptos/ha	15 ptos/há	12 ptos/ha	11 ptos/ha
Média	-0,033	-0,053	-0,051	-0,073
E.M.Q.	0,135	0,136	0,143	0,158

Em razão da diferença de declividade verificada na área de estudo, foram realizados novos estudos, procurando-se em regiões com maior declividade estabelecer concentração maior de pontos que naquelas com menor declividade.

Processando-se os dados, fazendo esta consideração, ou seja, retirando pontos da região com declividade de aproximadamente 3%, foram obtidos os resultados que estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 : Média e Erro Médio Quadrático das discrepâncias de 8 pontos de verificação na região com declividade de 12%.

8 Pontos	20 ptos/ha (região com 12%)	20 ptos/ha (área toda)
Média	0,007	0,128
E.M.Q.	0,007	0,130

O modelo gerado com 12 pontos amostrais por hectare, encontram-se na Figura 6, e o gerado com 11 pontos por hectare, na Figura 7.

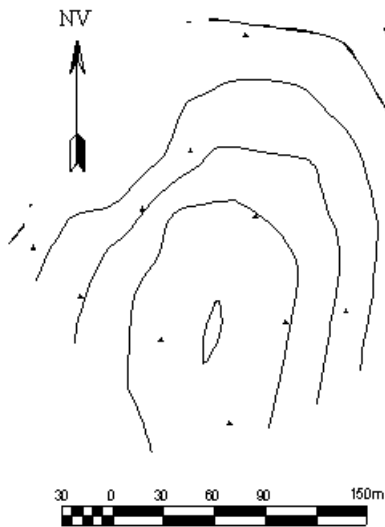


Figura 6 : Modelo gerado com 12 pontos amostrais por hectare.

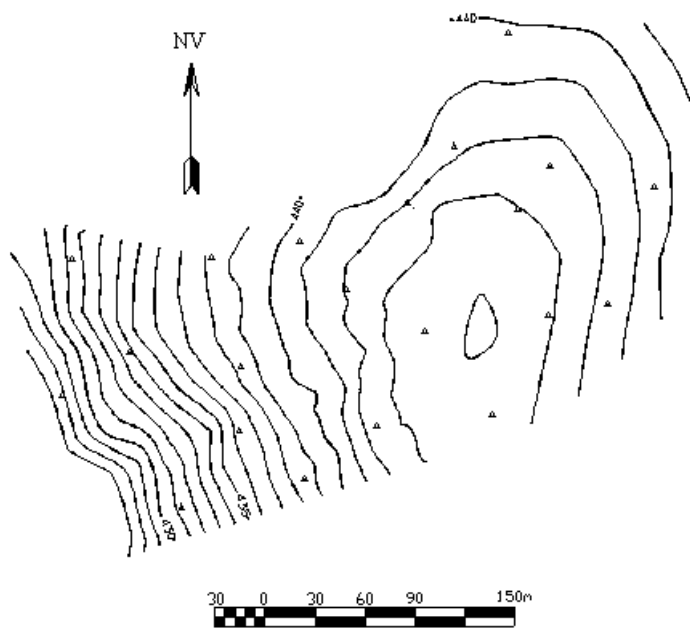


Figura 7 : Modelo gerado com 11 pontos amostrais por hectare.

Foram processados também, considerando apenas os dados da região com declividade de 12%, obtendo-se os dados apresentados na Tabela 7, e a Figura 8 apresenta o respectivo modelo gerado.

Tabela 7 : Análise de tendências e de precisão.

	53 ptos/ha	40 ptos/há	26 ptos/ha	20 ptos/ha
\bar{X}	0,022 m	0,014 m	0,023 m	0,044 m
S	0,087 m	0,121 m	0,152 m	0,148 m
T	1,131	0,517	0,677	1,330
$t\alpha$	1,328	1,328	1,328	1,328
$\chi^2_{2\alpha}$	15,987	15,987	15,987	15,987
χ^2_A	1,297	2,509	3,959	3,753

5 Resultados obtidos

A qualidade, dos resultados obtidos, foi avaliada através da análise estatística das discrepâncias entre as cotas dos pontos oriundas do levantamento de campo e as homólogas interpoladas do MDT gerado.

Para o teste de tendências avalia-se as hipóteses:

$$H_0 : \overline{\Delta X} = 0, \text{ contra}$$

$$H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0$$

(8)

Nesta avaliação, verifica-se se há tendência calculando-se a estatística amostral t através da equação 5,

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n}$$

e verifica-se se o valor encontrado está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

A precisão é analisada formulando-se a seguinte hipótese:

$$H_0 : S_x^2 = \sigma_x^2, \text{ contra}$$

$$H_1 : S_x^2 \neq \sigma_x^2$$

Realiza-se a estatística com a equação 6:

$$\chi_x^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta x}^2}{\sigma_x^2}$$

Na tabela 8 encontram-se os resultados dos testes realizados utilizando-se do modelo apresentado por Galo e Camargo (1994), na análise de tendências e de precisão.

Tabela 8 : Análise de tendência e precisão da região com declividade de 3%.

	17 ptos/ha	15 ptos/ha	12 ptos/ha	11 ptos/ha
$\overline{\Delta X}$	-0,033 m	-0,053 m	-0,051 m	-0,073 m
S	0,135 m	0,136 m	0,143 m	0,158 m
t_α	1,350	1,350	1,350	1,350
t	0,811	1,293	1,183	1,532
$\chi^2_{2\alpha}$	19,812	19,812	19,812	19,812
χ^2_A	1,342	1,668	1,844	2,251

Através desta análise, verifica-se que apenas o modelo gerado com 20 pontos/hectare apresenta rejeição quando da análise de tendência.

Os demais modelos podem ser classificados como de classe A, onde se pode ter erro padrão de até 1/3 da equidistância. Nestas condições, considera-se como erro padrão o valor de 0,333 metros.

Foi realizado também um teste, adotando uma concentração maior de pontos na região da linha de quebra (mudança de declividade), mas não foi constatada melhora significativa nos modelos, apresentados nos anexos 15 e 16.

Novos testes foram realizados, considerando apenas a região com declividade de aproximadamente 3%. Os resultados da análise de tendências e de precisão são apresentados na Tabela 9.

Analisando a Tabela 9 constata-se que quando se trabalha com áreas com declividade de aproximadamente 3%, obtêm-se resultados satisfatórios, para a classificação como sendo de classe A, com apenas 12 pontos amostrais por hectare.

O teste realizado, considerando apenas a região com declividade de 12% , não apresentou resultados melhores que aquele realizado com a área toda, como pode ser constatado na Tabela 7.

6 Conclusões

Através dos estudos realizados, com os modelos digitais do terreno, sobre controle de qualidade, apesar de se ter utilizado apenas o programa topoGRAPH, pode-se constatar que:

- a distribuição dos pontos amostrais é tão importante quanto a densidade;
- a densidade de pontos tem estreita relação com a declividade, sendo que em região com declividade de aproximadamente 3%, pode-se obter resultados satisfatórios, ou seja, modelos digitais que podem ser classificados como de classe A em termos de altimetria, com densidade de 12 pontos por hectare, que corresponde a um espaçamento de 28 m entre pontos;
- independentemente do programa a ser utilizado, nas linhas de mudança de declividade, há necessidade de que sejam coletados pontos amostrais; e
- a localização dos pontos de verificação é de grande importância, bem como o tamanho da amostra.

É interessante observar, que nesta pesquisa, quando a área de estudo é considerada como um todo, é necessário uma densidade de 21 pontos por hectare, que corresponde a um espaçamento médio de 22 metros entre pontos amostrais.

A variação na densidade de pontos de acordo com a declividade está relacionada com as características fisiográficas das regiões da área de estudo. Podendo-se constatar que há necessidade de uma concentração menor em região onde a declividade é menor, onde se verifica que o terreno se apresenta mais suave, apenas com ondulações.

O tamanho mínimo da amostra necessária depende do grau de acurácia requerido, portanto, o dimensionamento do tamanho da amostra é fundamental para que a obtenção da confiabilidade na realização do controle de qualidade.

Através dos resultados das análises realizadas, constata-se que é imprescindível a realização de análises estatísticas dos modelos digitais do terreno, pois essas bases geradas poderão ser os documentos fiéis para a realização de planejamentos e posterior execução dos projetos de engenharia.

Verifica-se que mesmo que os resultados apresentem valores aparentemente dentro dos limites de padrões aceitáveis, os testes estatísticos apontam que estes poderão não ser confiáveis.

7 Referências Bibliográficas

ACKERMANN, F. Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.44, No. 12, December 1978. p.1537-1548.

ALBERTI, M.; MACEDO, F.C.; NADAL, C.A. Testes de interpolação para obtenção de curvas de nível utilizando o software surfer. In: *XVII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Salvador, Bahia, 1995. p.1306-1314.

BARBOSA, R.L. *Geração de Modelo Digital do Terreno por Aproximações sucessivas utilizando câmaras digitais de pequeno formato*. 1999. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo.

BRANDALIZE, A. A. Perfilamento a LASER: comparação com métodos Fotogramétricos. In: *XX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Porto Alegre. CD-ROM.

BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras e normas técnicas da cartografia nacional. *Diário Oficial, Brasília*, 1984.

BROW, D. G.; BARA, T. J. Recognition and Reduction of Systematic Error in Elevation and Derivative Surfaces from 71 -minute DEMs. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.60, No.2, February 1994. p.189-194.

CARTER, J.R. Digital representations of topographic surfaces. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, vol.54, nº 11, November 1988. p.1577-1580.

CINTRA, J.P. *Contribuição ao Estudo de Representação de Superfícies com o Auxílio do Computador*. 1985. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

COSTA NETO, P. L. O. *Estatística*. 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 1977. 264p.

DOYLE, F. Digital Terrain Models: Na Overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.44, No.12. December 1978. p.1481-1485.

FISHER, P. F. First Experiments in Viewshed Uncertainty: The Accuracy of the Viewshed Area. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.57, No.10, October 1991. p.1321-1327.

FLORINSKY, I. V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevations models. *International Journal of Geographical Information Science*, vol.12, No.1. January-February 1998. p.47-61

GALO, M. G.; CAMARGO, P. O. Utilização de GPS no Controle de Qualidade de cartas. In: *I COBRAC*, 2, 1994, Florianópolis. *Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*. Florianópolis. 1994. p.41-48.

GEMAEL, C. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. Curitiba, Editora da UFPR, 1994. 319p.

GUTIÉRREZ, E. Análise de modelos tridimensionais de terreno. In: *XV Congresso Brasileiro de Cartografia*, São Paulo. 1991.

JANCAITIS, J.R.; JUNKINS, J.L. Modeling Irregular Surfaces. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1973. p.413-420.

LI, Z. Effects of Check Points on the Reliability of DTM Accuracy Estimates Obtained from Experimental Tests. *Photogrammetric Engineering*, vol.57, n 10. October 1991. p.1333-1340.

MARQUES, J. M. Notas de Aula da Disciplina Ajustamento I, Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba, PR. 1987. 90p.

MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. *Technical Papers of the American Commission on Surveying and Mapping*. Vol.1, 1982. p.222-231.

MILLER, C.L.; LAFLAMME, R.A. The Digital Terrain Model – Theory & Application. *Photogrammetric Engineering*. 1958. p.433-442.

MITISHITA, E.A. *Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para fins de Mapeamento na Área Florestal*. 1997. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MONICO, J. F. G., CHAVES, J. C., ISHIKAWA, M. I. Nivelamento de Precisão usando o GPS e Interpolação Geométrica do Geóide. In: *VII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura*. Salvador, Bahia. 1996.

PETTINATI, F. Digital Terrain Modeling – A Brazilian Approach. In: *Computer Applications in Production and Engineering, Holanda*. 1983. p.531-544.

PIEGL, L.; TILLER, W. *The NURBS Book*. 2.ed. Germany: Springer. 1997.646p.

SANTOS, C. J. B. *Avaliação da qualidade de modelos digitais do terreno construídos a partir de diferentes fontes de aquisição de dados*. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais: Produção e Análise de Informações Geográficas). 2001. Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro.

SCHMIDLEY, R. W. Quality Control in Mapping: Some Fundamental Concepts. *Surveying and Land Information Systems*, vol.57 No.1. 1997. p.31-36

