

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DA BASE CARTOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP) POR ANÁLISES DE TENDÊNCIA E PRECISÃO

Flávio Fortes Camargo, Cleber Gonzales de Oliveira, Teresa Gallotti

Florenzano, Cláudia Maria de Almeida

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR

Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

{fortes, cleber, teresa, almeida}@dsr.inpe.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a acurácia posicional das bases planimétrica e altimétrica do município de São José dos Campos (SP). Essas bases integram o banco de dados geográficos "Cidade Viva", o qual é disponibilizado gratuitamente, em meio digital, pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (SPU). Para a avaliação da acurácia posicional, empregaram-se os métodos de análises de tendência e precisão a partir de 109 pontos GPS fornecidos pelos seguintes órgãos: IEAv-CTA, FUNCATE e INPE. Na avaliação da planimetria (componentes E e N), as hipóteses nulas para os testes "t" e Qui-Quadrado foram aceitas, para valores compatíveis com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A na escala 1:10.000. No caso da avaliação altimétrica (componente H), os resultados indicaram tendência e o produto foi classificado como PEC classe B para a escala 1:25.000 e PEC classe A para a escala 1:50.000. Os resultados da acurácia altimétrica foram atribuídos aos seguintes fatores: limitações do método de interpolação, inconformidades identificadas nas feições restituídas e atribuições de cotas incorretas às curvas de nível e aos pontos cotados.

PALAVRAS-CHAVE: Acurácia Posicional; Controle de Qualidade; GPS; Padrão de Exatidão Cartográfica

ABSTRACT

This work aims to evaluate the planimetric and altimetric positional accuracy of São José dos Campos cartographic datasets. These datasets integrate the "Cidade Viva" geographic database, freely distributed as DVD-ROM by the Town Planning Secretariat. Precision and trend analyses were used for this evaluation upon basis of 109 GPS measurements supplied by IEAv-CTA, FUNCATE and INPE. Planimetry was found to be up to the highest standard (class A) of cartographic accuracy at a 1:10,000 map scale. Concerning the altimetric data, the analysis presented trend and the data were labeled as class B at a 1:25,000 map scale and as class A at a 1:50,000 map scale. The bad altimetric accuracy results can be ascribed to: limitations of the interpolation method, identified errors in the datasets features and assignment of incorrect elevation values to the contour lines and height spots.

KEYWORDS: Positional Accuracy; Control Quality; GPS; Cartographic Accuracy Standard

1 INTRODUÇÃO

O controle de qualidade, obrigatório por lei, representa uma etapa importante na construção de bases cartográficas. A partir dele se avalia, principalmente, a qualidade geométrica dos dados

cartográficos produzidos e se assegura uma base de dados confiável para diversas aplicações.

Devido à crescente difusão da cartografia digital nos dias atuais, ocasionada, sobretudo, pela disponibilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a preocupação com a análise da

acurácia posicional também tem aumentado nas diversas ciências que empregam dados dessa natureza.

Nas ciências cartográficas ou geodésicas, a validação da qualidade geométrica dos dados representa etapa imprescindível no processo de geração de bases cartográficas. Dalmolin e Leal (2001) discutem a eficácia das análises estatísticas de tendência e precisão na avaliação de produtos cartográficos oriundos de fontes diversas. Esses autores verificaram a qualidade geométrica de dados obtidos a partir de restituição fotogramétrica, vetorização em mesa digitalizadora e plotagens em papel.

Nas geociências, a integração de dados altimétricos e planimétricos oriundos de diversas fontes (cartas topográficas, sensoriamento remoto óptico e de microondas, dados de campo etc.) é de fundamental importância. Giles e Franklin (1998), em trabalho de mapeamento geomorfológico, apontam a importância da validação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos a partir de pares de imagens orbitais de sensores ópticos. Estes autores destacam, também, a necessidade de validação (com dados de campo) das variáveis geomorfométricas (declividades, orientação de vertentes etc.) geradas através de MDE. Na mesma linha desses autores, Eckert et al. (2005) discutem a acurácia dos dados altimétricos obtidos de par estereoscópico do sensor orbital ASTER, em área montanhosa.

Com relação ao ordenamento territorial de áreas estratégicas como a Amazônia Brasileira, Paradella et al. (2005) salientam a acurácia posicional de dados microondas e de técnicas de radargrametria na geração de cartas topográficas em escala de semi-detalhe (1:100.000).

Os casos apontados representam uma breve exemplificação da utilidade e da aplicação de procedimentos de validação da qualidade geométrica de dados cartográficos.

Nesse contexto, este trabalho apresenta os resultados obtidos a partir da validação da acurácia posicional das bases planimétrica e altimétrica do município de São José dos Campos/SP. Essas bases integram o banco de dados geográficos “Cidade Viva”, o qual é disponibilizado gratuitamente, em meio digital, pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (SPU) de São José dos Campos (SP).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O material utilizado se constituiu das bases de quadras, curvas de nível, pontos cotados e 109 pontos GPS. As bases cartográficas foram obtidas do banco de dados geográficos “Cidade Viva”. Os valores altimétricos, submetidos à validação, foram extraídos de MDE gerado a partir de interpolação por triangulação de Delaunay. Para isto, foram utilizados os pontos cotados e as curvas de nível.

Os dados GPS foram obtidos dos seguintes órgãos: IEAv-CTA, FUNCATE e INPE. No levantamento dos pontos GPS, foram utilizados receptores geodésicos e o método de posicionamento relativo estático.

A figura 1 apresenta a distribuição dos pontos utilizados na validação da planimetria e da altimetria.

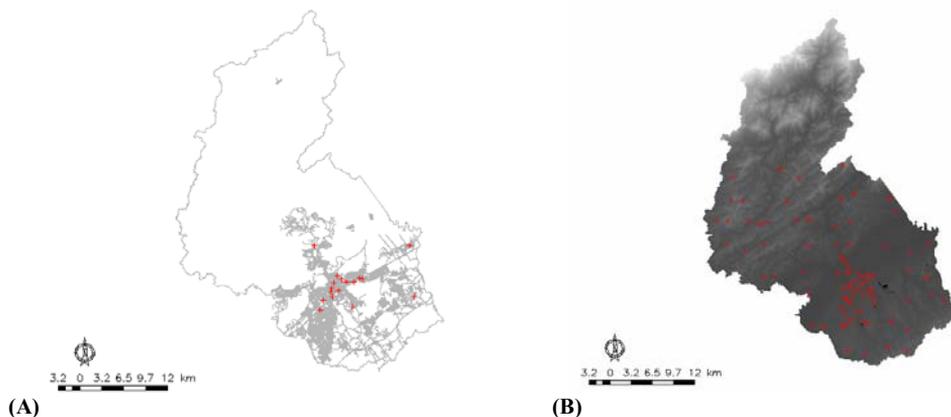


Fig. 1: (A) Pontos GPS (em vermelho) e base de quadras utilizados na validação da planimetria. (B) Pontos GPS (em vermelho) e MDE utilizados na validação da altimetria.

2.2 Métodos

Para a validação, foram utilizados como referência os valores estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP), conforme o decreto nº 89.817/84 (Galo e Camargo, 1994). As tabelas 1 e 2 apresentam os valores do PEC e EP para as classes A, B e C.

O método empregado consiste na análise da acurácia posicional, a qual representa um dos itens que compõem a etapa de controle de qualidade de dados cartográficos (Nogueira Júnior, 2003).

A análise da acurácia posicional se subdivide em análises de tendência e de precisão. Ambas se apóiam nos valores de discrepâncias entre as coordenadas de referência (GPS) e as coordenadas da carta. Desse modo, a partir dos valores de discrepância obtidos por amostras com adequada distribuição espacial na carta ou base cartográfica (no mínimo 20 amostras), aplica-se uma análise estatística composta dos testes de hipóteses “t” de Student e Qui-quadrado (Galo e Camargo, 1994).

O teste “t” permite verificar se a média das discrepâncias é igual a zero e indica a ocorrência de tendência ou deslocamento sistemático. Nesse teste, são avaliadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \Delta \bar{X} = 0$$

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

Esse teste exige o cálculo da estatística amostral “t” e do seu respectivo intervalo de confiança.

Deve-se verificar se o valor de “t” amostral se encontra no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor de “t” amostral é calculado a partir da seguinte expressão:

$$tx = \frac{\Delta \bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (1)$$

O intervalo de confiança é calculado por:

$$|tx| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (2)$$

Em que $\Delta \bar{X}$ representa a média das discrepâncias; $S_{\Delta X}$, o desvio-padrão amostral e α , o nível de significância do teste.

A tendência, se verificada, pode ser corrigida através da subtração do seu valor em cada coordenada da carta.

Com relação ao teste Qui-Quadrado, esse verifica se as variâncias amostral e a obtida a partir do erro padrão (tabelas 1 e 2) são iguais. Esse teste indica o grau de dispersão dos erros e, por conseguinte, a precisão (Galo e Camargo, 1994). As hipóteses avaliadas são as seguintes:

$$H_0 : S^2_{\Delta X} = \sigma^2_X$$

$$H_1 : S^2_{\Delta X} > \sigma^2_X$$

TABELA 1 – PADRÃO DE EXATIDÃO PLANIMÉTRICO E ERRO PADRÃO PARA AS CLASSES A, B E C.

CLASSE	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5	0,3
B	0,8	0,5
C	1,0	0,6

TABELA 2 – PADRÃO DE EXATIDÃO ALTIMÉTRICO E ERRO PADRÃO PARA AS CLASSES A, B E C (EM FRAÇÃO DE EQUIDISTÂNCIA).

CLASSE	PEC	EP
A	1/2	1/3
B	3/5	2/5
C	3/4	1/2

O termo $S_{\Delta X}$ representa o desvio-padrão amostral e σ^2_X , o quadrado do erro padrão (EP). Como se trata de uma resultante, deve-se dividir EP por $\sqrt{2}$ para se obter o EP em cada componente.

A partir da variância amostral, calcula-se a seguinte estatística:

$$\chi^2_X = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_{\Delta X}^2} \quad (3)$$

Posteriormente, deve-se verificar se o valor calculado se encontra no intervalo de aceitação da hipótese nula, como indicado a seguir:

$$\chi^2_X \leq \chi^2_{(n-1, \alpha)} \quad (4)$$

Caso o valor não se encontre no intervalo estabelecido, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta não atende à precisão pré-estabelecida.

3 RESULTADOS

Os testes foram realizados nas componentes E, N e H. As discrepâncias na planimetria (E e N) foram obtidas a partir de 19 pontos GPS e de medições de coordenadas de feições notáveis na base de quadras (correspondentes aos pontos GPS). Com relação às discrepâncias em H, estas foram obtidas a partir de 109 pontos GPS e dos valores da grade altimétrica fornecida pela interpolação por triangulação de Delaunay, a qual foi realizada nos dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotados).

Com relação às discrepâncias planimétricas, as figuras 2 e 3 apontam, respectivamente, as magnitudes dos desvios nas componentes E e N.

O desvio absoluto máximo em E atingiu 4,262 m e em N o desvio absoluto máximo foi de 2,37 m.

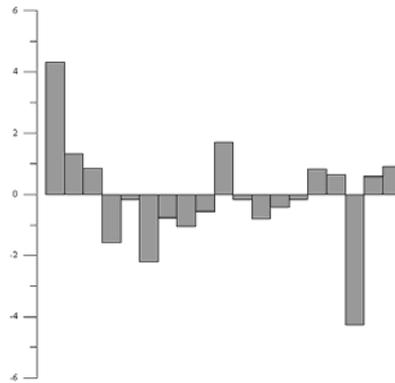


Fig. 2: Discrepâncias (em metros) obtidas na componente planimétrica E.

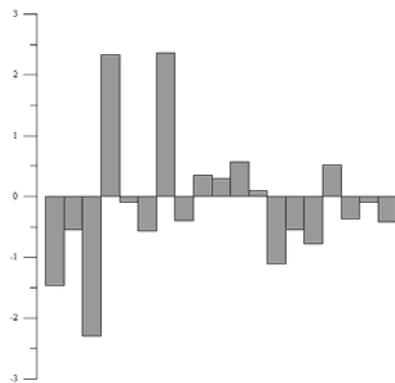


Fig. 3: Discrepâncias (em metros) obtidas na componente planimétrica N.

Após a análise dos desvios absolutos, verificou-se a direção preferencial dos vetores das discrepâncias. A figura 4 apresenta estas direções. Observa-se aleatoriedade no direcionamento dos vetores.

A análise gráfica foi realizada também nos resultados obtidos na componente H. A figura 5 apresenta a magnitude dos desvios nesta componente. O desvio absoluto máximo em H atingiu 19,67 m.

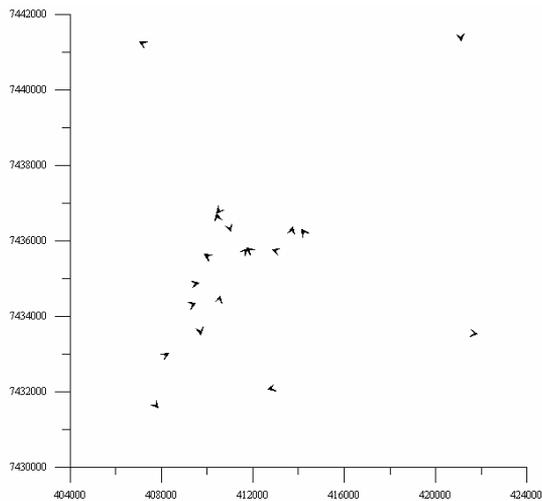


Fig. 4: Direções dos vetores obtidos a partir do cálculo das resultantes dos desvios planimétricos.

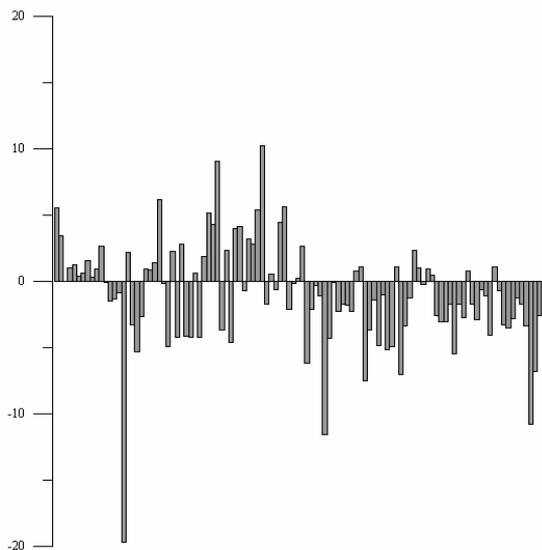


Fig. 5: Discrepâncias (em metros) obtidas na componente altimétrica.

TABELA 3 – RESUMO DAS ESTATÍSTICAS.

	E	N	H
$\bar{\Delta}(m)$	0,05	0,11	-0,93
$S_{\Delta}(m)$	1,74	1,11	4,00
$t_{amostral}$	0,124	0,433	2,423
$t(n-1,10\%)$	1,734	1,734	1,659
$\chi^2_{classeA}(1:10.000)$	12,140	4,943	621,456
$\chi^2_{classeB}(1:10.000)$	—	—	431,566
$\chi^2_{classeC}(1:10.000)$	—	—	276,202
$\chi^2_{classeA}(1:25.000)$	—	—	155,364
$\chi^2_{classeB}(1:25.000)$	—	—	107,892
$\chi^2_{classeA}(1:50.000)$	—	—	38,841
$\chi^2_{(n-1,10\%)}$	25,989	25,989	127,211

Após a análise gráfica, realizou-se a validação a partir dos testes “t” e Qui-quadrado. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Com base nos resultados apresentados na tabela 3, aceitaram-se as hipóteses nulas (teste “t” e Qui-Quadrado) para as componentes E e N. A planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, escala 1:10.000. Com relação aos dados altimétricos, a análise com 109 pontos GPS apresentou tendência (não foi aceita a hipótese nula para o teste “t”) e forneceu um PEC classe B para a escala 1:25.000 e um PEC classe A para a escala 1:50.000.

4 CONCLUSÕES

A inexistência de pontos GPS na porção norte do município impossibilitou uma avaliação da qualidade dos dados em área montanhosa.

Os resultados fornecidos pela base planimétrica atendem a exigência legal para a classe A, escala 1:10.000 (escala da base de dados da prefeitura do município de São José dos Campos/SP).

Com relação à altimetria, problemas como: possíveis limitações do método de interpolação, inconformidades na restituição e lançamentos errôneos de cotas prejudicaram a qualidade final dos produtos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dalmolin, Q. e Leal, E. da M., 2001. Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas

em CAD. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, Vol. 7, Nº 1, pp. 21-40.

Eckert, S.; Kellenberger, T. e Itten, K., 2005. Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from aster data in mountainous terrain. International Journal of Remote Sensing, Vol. 26, Nº 9, pp. 1943–1957.

Galo, M. e Camargo, P. de O., 1994. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In Anais do 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, Vol. II, Florianópolis - SC, Brasil, pp. 41-48.

Giles, P. T. e Franklin, S. E., 1998. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. Geomorphology, Nº 21, pp. 251-264.

Nogueira Júnior, J. B., 2003. Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente/SP, 143 páginas.

Paradella, W.R.; Oliveira, C.G.; Luiz, S.; Cecarelli, I.C.F.; Cottini, C.P. e Okida, R., 2005. Operational use of RADARSAT-1 fine stereoscopy integrated with Landsat-5 thematic mapper data for cartographic application in the Brazilian Amazon. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 31, Nº 2, pp. 139–148.