

# AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Eng<sup>o</sup> Dinarte Francisco Pereira Nunes de Andrade.

## Resumo

São propostos critérios para a avaliação da exatidão e da precisão de documentos cartográficos, com base no Decreto 88817, de 20 de junho de 1984. Para tal, definem-se conceitos de exatidão e de precisão que sejam aplicáveis às cartas e recomenda-se a adoção de critérios estatísticos que, conjugados a uma interpretação adequada do texto legal, permitam a execução de testes classificatórios. Ainda, é proposta a pré-classificação de cartas, mediante um procedimento de cumprir-se especificações técnicas para cada fase do projeto, de forma que a composição dos erros, assim previstos, resulte num erro total aquém dos padrões estabelecidos.

## Agradecimentos

Ao companheiro Eng<sup>o</sup> Victor Emmanuel Cunha de Alencar Saboya, pela contribuição prestada à elaboração deste trabalho, através da discussão de idéias e de sugestões, sempre oportunas e valiosas.

## Sumário

1. Introdução
2. Exatidão e Precisão
3. Fundamentos Estatísticos da Avaliação de Cartas
4. Interpretação do Decreto 88 817
5. Critérios Estatísticos para a Avaliação
6. Avaliação da Exatidão e da Precisão
7. Conclusão

## 1. Introdução

Na prática cartográfica em apoio a obras de engenharia, ocorre com certa frequência a necessidade de se avaliar a exatidão das cartas disponíveis, o que pode se transformar num ponto crítico de todo o projeto.

Até hoje, tal avaliação tem sido feita por tentativas, sem um completo respaldo, em normas técnicas brasileiras consolidadas.

Somente com o Decreto nº 88 817, de 20 de junho de 1984, passou-se a ter um embasamento técnico e legal para a classificação de documentos cartográficos, quanto à sua exatidão. Este, no

entanto, carece de normas complementares para o seu perfeito entendimento e cumprimento, faltando ser fixada uma metodologia para a execução de operações de campo e de gabinete, que permita um seguro enquadramento do produto em uma das classes especificadas no Decreto ou, caso não alcance, que possibilite estimar o erro a temer em seu uso.

Em (1), seu autor propõe uma metodologia com este fim, rompendo a inércia que envolvia a questão. Pela abordagem ali exposta, caso toda carta fosse testada, antes de sua edição, não haveria necessidade de testes posteriores. Ocorrem, aí, três situações que merecem nossa atenção:

- os inúmeros produtos já existentes, que não foram testados;
- os custos envolvidos, em testes feitos conjuntamente com a carta, que apontam para uma certa dificuldade em adotar-se tal procedimento;
- o fato de que qualquer ponto, determinado na fase de apoio à fotogrametria, contribuiria para um melhor ajuste da aerotriangulação, sendo, portanto, questionável deixá-lo à margem para fins de teste.

Tais considerações nos levam a crer que seria mais conveniente optar-se por um procedimento de cumprir especificações técnicas, para cada fase do projeto, de forma que a composição dos erros, assim previstos, resultasse num valor aquém das especificações desejadas. Este procedimento tem base teórica em (2), (3) e (4), e pensamos que seria suficiente, para uma pré-classificação da carta, com o aval da organização editora.

Quanto aos testes, só os recomendaríamos para situações específicas, em que se fizessem necessários.

## 2. Exatidão e Precisão

O termo "exatidão" é aqui usado em consonância com o Decreto nº 88 817, visando a manter-se uma uniformidade terminológica. Nesta acepção, encaramo-lo como sinônimo da palavra "acuracidade" que foi por nós proposta já há algum tempo (5), ou ainda de "acurácia", segundo (6). Portanto, deve-se entendê-la como o afastamento que a carta, como um todo, teria da verdade topográfica.

Quanto à precisão da carta, é necessário dizer-se, antes de mais nada, que este termo era anteriormente usado, na literatura técnica brasileira, com o mesmo significado de "exatidão", e, ainda assim, ocorre com certa frequência. Modernamente, contudo, ac-

No corpo deste trabalho, entende-se por "cartas" qualquer tipo de documento cartográfico (N.A.)

procurar-se uma perfeita distinção entre medida da dispersão e do afastamento do valor verdadeiro (real ou estimado), é preferível evitar o uso de uma palavra pela outra. Assim, guardamos "precisão" para referirmo-nos, unicamente, à dispersão de valores observados, no caso, dos erros nos vários pontos da carta.

A perfeita distinção entre os dois conceitos está suficientemente estabelecida em (7), (5) e (1). A maneira como entendemos que eles devam ser aplicados à cartografia é exposta nos itens 3 e 6 deste trabalho, em detalhe.

### 3. Fundamentos Estatísticos da Avaliação de Cartas

A Estatística fornece o embasamento teórico para considerarmos a média de  $n$  observações como o valor mais provável da grandeza medida. É ela quem nos dá o desvio padrão como um índice de dispersão dos valores observados.

A Teoria dos Erros, quando trata dos erros acidentais, utiliza a Estatística, dado o caráter aleatório dos mesmos.

No caso da avaliação de cartas, a variável observada ( $x_i$ ) é a diferença entre o valor tido como verdadeiro e o valor extraído da carta, seja de uma altitude, seja de uma posição planimétrica, sendo, assim, o erro de cada ponto testado.

Supondo-se a adequabilidade da amostra, a inexistência de erros sistemáticos e uniformidade no padrão adotado para uma determinada carta, teremos que a média  $\bar{x}$ , dos erros acidentais, tenderá a zero, quando o número de observações tender ao infinito, uma vez que a oscilação de sinais, com valores absolutos, aproximadamente iguais, tende a anular o efeito conjunto.

Se acharmos uma média  $\bar{x}$  que seja, *significativamente*, diferente de zero, guardadas as condições acima expostas, estaremos, então, em presença de erro sistemático. Por outro lado, os erros acidentais  $x_i$  terão uma certa oscilação em seus valores. Sendo normal a distribuição destes erros, ela seguirá a curva de Gauss e a amplitude desta oscilação será medida por ( $\sigma$ ), isto é, pelo desvio padrão.

Este, também chamado erro padrão ou erro médio quadrático, termos estes que encontram abrigo no já citado Decreto 88817, nos diz que, se realizarmos novo teste, na carta, guardadas as mesmas condições experimentais, haverá uma probabilidade de 68,26% de que os erros encontrados caiam no intervalo por ele limitado. Tem-se, pois, que  $\sigma$  mede a dispersão dos erros observados na carta.

Isto posto e reportando-nos aos conceitos de exatidão e precisão, concluímos que, testados  $n$  pontos de uma carta, a média  $\bar{x}$ , dos erros obtidos, representa sua *exatidão*, enquanto o desvio padrão ( $\sigma$ ) indica a *precisão* da mesma.

Uma interpretação prática destes índices nos diz que  $\bar{x}$  estima o erro da carta como um todo, em relação ao padrão tido como verdadeiro e usado no teste, enquanto  $\sigma$  avalia a consistência interna da carta, ou seja, o comportamento de cada ponto em relação aos demais; por isto, ocorre emprestar a  $\sigma$  a denominação de "precisão interna", contrapondo-se a  $\bar{x}$ , que mediria a "precisão externa". Preferimos, entretanto, usar os termos precisão e exatidão, pela razão já citada de uniformidade terminológica.

#### 4. Interpretação do Decreto Nº 88 817

Este Decreto estabelece em seu Art. 8º: "noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão

Cartográfico — Planimétrico — estabelecido". Para a altimetria, a redação é semelhante, referindo-se aos pontos obtidos por interpolação das curvas de nível. No § 1º do mesmo artigo, o PEC é definido como um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos". No 2º, é transcrita a relação  $PEC = 1,6449 \cdot EP$ , onde EP é o erro padrão, o qual, segundo o § 4º, é equivalente ao erro médio quadrático ou ao desvio padrão. Sendo assim, a relação transforma o nível de probabilidade de 90% no de 68,26%.

Tem-se, pois, que os dois índices — PEC e EP — são conversíveis, facilmente, tendo-se apenas que tomar o cuidado de não tomar um pelo outro, inadvertidamente, e manter em mente que ambos medem a dispersão de uma distribuição normal. Comparando-se, agora, essas declarações do Decreto com os fundamentos estatísticos, percebe-se que, em outras palavras, esse instrumento legal preconiza que os erros encontrados em uma carta, deverão ter uma dispersão igual ou inferior ao valor  $PEC/1,6449$ , ou seja, que o desvio padrão seja  $\sigma \leq EP$ .

Curiosamente, no entanto, não é exigida, explicitamente, no Decreto, qualquer condição relativa à exatidão, que, conforme nossa definição, estaria indicada pela média dos erros achados. Além disso, o § 1º, acima transcrito, incorre numa aparente contradição, quando estabelece o PEC como um indicador de dispersão — portanto de precisão — que "define a exatidão dos trabalhos cartográficos".

Levantemos, primeiramente, esta contradição. Entendemos que, embora não explicitamente, seja considerada, no Decreto, a ausência de erro sistemático, vale dizer, que  $\bar{x} = 0$ . Nesta situação, realmente o PEC ou  $\sigma$  passa a medir, *também*, a exatidão, desde que se admita que uma baixa precisão invalida a exatidão presumida (ver item 6). Neste caso, a condição de exatidão passa a ser:

$$(\bar{x} \pm \sigma) = (0 \pm \sigma) \leq \frac{PEC}{1,6449} \text{ ou } \sigma \leq EP$$

Contudo, na prática, poderá ocorrer que  $\bar{x} \neq 0$ . Nesta hipótese, nos parece evidente que a condição de exatidão - e de precisão - passa a ser, de forma genérica:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$$

Destas últimas considerações, conclui-se, ainda, não ser suficiente testar se 90% dos pontos possuem erro menor que o PEC: é necessário, também, verificar se a média dos erros aproxima-se ou não do zero, apesar de isto não estar explícito no Decreto em causa.

Finalmente, há que se ressaltar que o uso, pelo Decreto, de parâmetros estatísticos, referentes à distribuição normal de Gauss, implica a necessidade de os erros encontrados, no teste, se adaptarem a esta conformação, sendo este outro critério não explícito, mas de suma importância na correta aplicação da legislação.

#### 5. Critérios Estatísticos para Avaliação

No escopo deste trabalho, é nossa intenção, apenas, chamar a atenção para o fato que o projeto de um teste de avaliação de cartas deve ser feito segundo critérios estatísticos adequados.

Assim, a configuração da amostra deve ser prevista, quantitativa e qualitativamente, de forma a bem representar o universo, no caso o dos erros existentes na carta.

O aspecto quantitativo torna-se crítico, se relacionarmos com pontos isolados de teste, recaindo-se, quase que necessariamente, no caso de pequenas amostras, que foi analisado em (1).

A adoção de seções topográficas, no lugar de pontos isolados, possibilita a existência de muitas observações, a um custo relativamente baixo, ao mesmo tempo que, nos parece, atende melhor ao aspecto qualitativo. Não obstante, este deve ser sempre cuidado, distribuindo-se as seções ou pontos isolados por regiões, topograficamente, distintas, de maneira a representar toda a área, sem tendenciosidade.

Já na fase de processamento de dados, é imprescindível testar-se a amostra quanto à normalidade da distribuição; se não for normal, deverá ser normalizada, segundo critérios estatísticos correntes; caso não se consiga fazê-lo, estaremos diante de elementos perturbadores que invalidam o prosseguimento do teste. Esta situação pode ocorrer devido à presença de erros sistemáticos agindo, diferentemente, nos vários pontos de teste (por exemplo, deformações devidas à aerotriangulação), o que exigiria uma avaliação especial da carta ou sua condenação, pura e simples, em casos extremos.

Como vários critérios estatísticos podem ser usados, quer para dimensionar amostras, quer para testar sua normalidade, ou ainda, quando se tratam de pequenas amostras, cremos que caberia à Comissão de Cartografia baixar normas a respeito, para manter a uniformidade de procedimentos.

## 6. Avaliação da Exatidão e da Precisão

Já se viu, no item 4, que a exatidão e a precisão seriam avaliadas através da expressão:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$$

Inicialmente, deve-se verificar se o afastamento  $\Delta\bar{x}$  de  $\bar{x}$ , do valor ideal zero, é significativo, caso em que estaria sendo sugerida a existência de erro sistemático na carta, vale dizer, que estaria com sua exatidão comprometida. Para isto, pode ser adotado o critério de Student:

- calcula-se o valor t:

$$t = \frac{\Delta\bar{x}}{s} \sqrt{n-1}, \text{ onde } s^2 \text{ é a variância amostral;}$$

- Obtém-se  $t_{\alpha}$  da tabela de distribuição de Student, com um nível de confiança escolhido (sugere-se 90%);
- Comparam-se os dois resultados e, se  $t < t_{\alpha}$ , o afastamento não é significativo.

Podem ocorrer, então, as seguintes situações:

- $\Delta\bar{x}$  significativo:
  - ( $\bar{x} \pm \sigma$ )  $\leq$  EP - carta inexata e precisa
  - ( $\bar{x} \pm \sigma$ )  $>$  EP - carta inexata e imprecisa
- $\Delta\bar{x}$  não significativo:
  - ( $\bar{x} \pm \sigma$ )  $\leq$  EP - carta exata e precisa
  - ( $\bar{x} \pm \sigma$ )  $>$  EP - carta exata e imprecisa

O último caso é de classificação discutível e a maioria dos autores, como em (1) e (7), prefere admitir que a imprecisão importa em falta de exatidão, ainda que a estimativa desta, esteja boa. Esta é, também, a nossa opinião e, segundo o raciocínio que desenvolvemos no item 4, parece ser o critério usado no Decreto 88 817.

Observe-se agora que o critério de exatidão, apoiado na significância do afastamento da média, independe do PEC, razão pela qual o primeiro dos casos acima pode ser criticado, pois ele

classifica a carta como inexata, apesar de  $(\bar{x} \pm \sigma)$  ser menor que o erro padrão adotado, o que contraria o estabelecido na legislação.

Em assim sendo, sem descartarmos, totalmente, o seu uso como um avaliador da exatidão, para fins de classificação oficial da carta, há que se adotar outro critério, de preferência com uma aplicação prática e que não fuja do texto legal. Sugerimos, aqui, o seguinte:

### 1<sup>o</sup> Caso

*Situação:* carta exata e precisa - totalmente confiável dentro dos padrões estabelecidos.

*Condições:*  $(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP, \bar{x} \leq EP, \sigma \leq EP$

### 2<sup>o</sup> Caso

*Situação:* carta não exata porém precisa - não confiável, segundo os padrões adotados, em relação ao referencial usado como verdade terrestre, mas confiável internamente, ou seja, as diferenças de coordenadas entre seus pontos é confiável.

*Condições:*  $(\bar{x} \pm \sigma) > EP, \bar{x} > EP, \sigma \leq EP$

### 3<sup>o</sup> caso

*Situação:* carta inexata e imprecisa - não confiável, quer externa, quer internamente, conforme os padrões aceitos.

*Condições:*  $(\bar{x} \pm \sigma) > EP, \bar{x} < EP, \sigma > EP$

A sugestão acima carece de crítica. Pensamos, também, que caberia à COCAR uma definição sobre o assunto.

Vejam agora outro aspecto do problema. Embora os conceitos de exatidão e precisão, aqui usados, estejam de acordo com os apresentados em (1), os estimadores, para a precisão, divergem. Enquanto julgamos ser  $\sigma$  este estimador, lá é indicado o erro médio quadrático, total previsível, M.

Convém nos determos um pouco neste ponto, pois trata-se dum terreno escorregadio, em que o emprego de certos termos idênticos para entidades diversas causa muita confusão.

Sabemos que  $\sigma$  é o desvio padrão ou erro médio quadrático ou ainda erro padrão (EP), quando no escopo da Teoria dos Erros. Portanto, é procedente relacionar-se M com EP. Vejamos porém como surge M, para melhor interpretarmos sua natureza.

Em cada fase da construção de uma carta — campo, aerotriangulação, etc — admite-se a ocorrência de erros acidentais. Experimentalmente, são determinados os limites dentro dos quais esses erros deverão ocorrer, normalmente referidos a um nível de confiança de 68,27%. Esses limites,  $M_i$ , serão pois erros médios quadráticos, conforme (2), (3) e (4).

Para calcular a resultante de todos os erros, admite-se como simplificação satisfatória um modelo de propagação linear, e tem-se que  $M = \sqrt{\sum M_i^2}$

Do exposto, conclui-se que é previsto que a carta a ser feita, se for testada, deverá apresentar "68,27% dos pontos testados com erro inferior a M" ou, o que dá no mesmo, com 90% dos erros menores que 1,6449.M.

Sendo assim, fica claro que, ao projetarmos M, teremos que ter, nos casos obrigatórios por lei,  $M \leq EP$ , para a classe de carta considerada. Ora, da mesma forma que o Decreto, o projeto não "prevê" a existência de erros sistemáticos e, portanto, M mede a precisão e a exatidão "a priori" da carta, isto por um raciocínio análogo ao que desenvolvemos no item 4. Em consequência, e esta é uma conclusão importante, se quisermos comparar M com os resultados efetivos de um teste, devemos fazê-lo com  $(\bar{x} \pm \sigma)$  e não apenas com  $\sigma$ , afirmação esta coerente com nossa tese sobre a avaliação de cartas ora apresentada. Assim, se o projeto e a construção da carta estiverem corretos, devemos obter, em um teste:

$$(\bar{x} \pm \sigma) \leq M \leq EP$$

## 7. Conclusão

Há uma urgência de ordem prática, que exige a adoção oficial de critérios para a avaliação da exatidão e da precisão de documentos cartográficos. Procuramos, aqui, dar a nossa contribuição, somando nossos esforços aos anteriormente já feitos, no sentido de fornecer à COCAR subsídios que lhe permitam um pronunciamento oficial a respeito. Cremos que as divergências entre os vários autores, naturais em um assunto desta natureza, enriquecem a discussão do problema, permitindo que seja atingida uma solução ideal.

Nossa proposta se resume em dois itens:

- fazer a pré-classificação das cartas, com base em especificações técnicas, para cada fase do projeto, utilizando o erro médio quadrático  $M$  como limite máximo resultante;
- quando necessário, realizar testes usando um número significativo de pontos, preferencialmente organizados em seções do terreno, adotando-se a expressão  $(\bar{x} \pm \sigma) \leq EP$ , para classificação conforme se segue:
  - $\bar{x} \leq EP, \sigma \leq EP$  - carta exata e precisa
  - $\bar{x} > EP, \sigma \leq EP$  - carta inexata mas precisa
  - $\bar{x} > EP, \sigma > EP$  - carta inexata e imprecisa

## Referências Bibliográficas

1. BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos.
2. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Tópicos de Construção de Cartas.
3. NOTARI, José Moura. Seleção de Instrumentos Fotogramétricos.
4. CARVALHO, Fernando Rodrigues de. Error Prediction and Computation in Photogrammetric Flight Planning - a thesis.
5. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Terminologia da Avaliação de Trabalhos Cartográficos.
6. FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa.
7. CULLEY, Frank L.. Resolution, Precision and Accuracy.

## Bibliografia

1. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. Tópicos de Construção de Cartas, edição provisória. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1981.
2. ANDRADE, Dinarte F. Pereira Nunes de. "Terminologia da Avaliação de Trabalhos Cartográficos" in Revista Brasileira de Cartografia nº 16. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Cartografia, out/dez 1976.
3. BRITO, Jorge Luís e Silva. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos. Porto Alegre, 1ª Divisão de Levantamento/Diretoria de Serviço Geográfico - M. Ex., 1985.
4. CARVALHO, Fernando Rodrigues de. Error Prediction and Computation in Photogrammetric Flight Planning - a thesis. Ohio, EUA, The Ohio State University, 1972.
5. CASTELLO BRANCO FILHO, Moisés. Avaliação da Precisão de uma Carta pelo Erro Médio Quadrático. Rio de Janeiro, Diretoria do Serviço Geográfico/M. EX., 1968.
6. CERNUSCHI, Félix & Greco, Francisco I. Teoría de Errores de Mediciones. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1968.
7. CULLEY, Frank L. Resolution, Precision and Accuracy. EUA, U.S. Army Topographic Command, 1969.
8. FERREIRA Aurélio Buarque de Holanda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa, 1ª edição, 10ª impressão. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1975.
9. LEME, Ruy Aguiar da Silva. Curso de Estatística, Elementos. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1963.
10. MENEZES, Paulo Márcio Leal de et alii. "Aferição de Cartas - um alerta e uma proposta de estudo" in Anais do 13º Congresso Brasileiro de Cartografia, pag. 537, Brasília, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1987.
11. NOTARI, José Moura. Seleção de Instrumentos Fotogramétricos. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1969.