

Inferência estatística para validação de documentos cartográficos obtidos com sensores remotos orbitais ou aerotransportados, em áreas de operação da Petrobras

Helder Barros Gama Vieira¹
Rafael Santos Genro¹

¹ Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS
Unidade de Operações de Exploração e Produção da Bahia – E&P-NNE/UO-BA
Gerência de Geodésia – UO-BA/EXP/GDS
Av. Antônio Carlos Magalhães 1113, sala 324 – Salvador (BA)
{heldergama, rafasage}@petrobras.com.br

Abstract. This paper describes a methodology and exemplifies with a case that uses statistical base to allows the user classify a cartographic product about its accuracy level. Some researches are mentioned to improve a valid reference and propose some complement considerations to become compatible with legal documents or particular specifications. In fact, this paper makes an explanation about different types of sampling using random manners and creates a restrict area to find and determine each sample point. Although the methods showed supply reliable results, the homogenous one was selected because it seems more convincing to cover the area equality. After that, using reference standards of accuracies established in technical specifications or legal documents, the sample is computed to get statistical quantities, including standard deviation, media, t-score and qui-square, that are used to apply hypothesis tests using the distributions t-Student and Qui-Square. With this, we can take reliable information to classify correctly the accuracy standard acquired. On the end, we have an objective, parametric and impersonal manner to confront and validate many kinds of maps about its geometry accuracy standard. If a bias is detected, the method can indicates the coordinate component (X or Y), in which we need apply an adjustment or make a research to find the origin of the problem.

Palavras-chave: t-student, qui-quadrado, PEC, precisão, acurácia.

1 Introdução

Este trabalho apresenta uma pesquisa realizada para padronização de uma metodologia de validação de documentos cartográficos obtidos por sensores remotos imageadores orbitais ou aerotransportados, buscando um embasamento estatístico para enquadramento de documentos cartográficos aos critérios de acurácia determinados em especificações técnicas.

Foram abordados alguns critérios para determinação das amostras utilizadas nas análises estatísticas, utilizando conceitos da teoria de amostragem e fundamentação para otimização da distribuição espacial e relevância dos dados amostrados.

São exemplificados métodos de composição de amostras estatisticamente válidas, utilizando recursos fundamentalmente aleatórios e outro com mais garantia de recobrimento da área sondada.

A utilização da inferência estatística, abordada em publicações existentes há mais de 25 anos, foi complementada para a melhor compatibilidade, particularmente aqui neste trabalho, com o Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984, mas que pode ser utilizada para atender especificações próprias ou de outros documentos legais, incluindo normas técnicas que surjam no futuro.

Os resultados produzidos com as análises estatísticas consolidam de forma impessoal, parametrizada e objetiva a metodologia proposta neste artigo para determinação de um padrão de acurácia geométrica, inerente a documentos cartográficos produzidos por sensores remotos.

Como recurso complementar, a realização de testes de tendência auxiliares em cada uma das componentes planimétricas, como já proposto em outras publicações, pode servir para indicar qual delas deve ser ajustada ou para ajudar na análise em busca da origem de um eventual problema de tendência predominante apresentado.

2 Metodologia de Trabalho

A metodologia de trabalho está fundamentada na pesquisa bibliográfica realizada, que buscou a inferência estatística correta para o enquadramento da acurácia do produto cartográfico analisado a um padrão pré-estabelecido.

A metodologia foi dividida em três subitens, sendo o primeiro referente ao dimensionamento e à espacialização dos dados amostrados, o segundo referente à inferência estatística propriamente dita e o terceiro referente a detalhes da implementação dos testes estatísticos.

2.1 Amostragem

2.1.1 Domínio Espacial

Inicialmente é necessária a definição do domínio espacial a ser aferido, considerando todo o processo de geração do produto. O domínio espacial deve agregar uma porção da superfície mapeada onde incidam influências e incertezas, correlacionadas entre si.

Deve-se considerar o alto custo de aquisição de dados amostrados sem deixar de lado a necessidade de determinação fiel do padrão de acurácia.

Partindo deste princípio, pode-se definir o domínio espacial como sendo uma cena de imagem orbital ou a área das imagens de um bloco de aerotriangulação de sensores aerotransportados. Sendo conveniente, ainda pode-se definir como domínio espacial o conjunto de cenas contíguas de uma mesma passagem de um sensor orbital ou a junção de blocos de aerotriangulação contíguos quando estes forem relativamente pequenos.

2.1.2 Tamanho

Em seguida, deve-se determinar o tamanho da amostra, considerando também as questões de otimização de custos. Partindo deste princípio, é utilizada a Teoria das Pequenas Amostras (Spiegel, 1994), que considera tamanhos menores que 30.

O mesmo autor considera esta teoria como Teoria Exata da Amostragem, enfatizando que os resultados obtidos são válidos tanto para as grandes como para as pequenas amostras.

Buscando evitar a discussão sobre o limite entre o que é considerado amostra pequena ou grande, que busca o limite do menor tamanho da amostra com melhor aderência à curva da distribuição Normal, propõe-se adotar uma amostra de tamanho igual a 50. No entanto, não se considera inválida a sua aplicação com amostras menores nos casos de ausência de pontos notáveis ou área demasiadamente pequenas, desde que não seja inferior a 20, como é comentado por Merchant (1982).

2.1.3 Distribuição Espacial

Dentro do planejamento de experiência, foram analisadas duas formas de distribuição espacial da amostra, considerando a menor interferência possível do analista: amostragem aleatória e malha regular.

A primeira delas, que gera pontos a partir de um algoritmo de números randômicos, foi desconsiderada por gerar eventualmente amostras com recobrimento pouco homogêneo.

A malha regular se mostrou mais convincente, constatada a garantia de distribuição homogênea sobre a superfície mapeada. Neste caso, existe um requisito prioritário para gerar uma distribuição regular, mas completamente desvinculado de qualquer conhecimento que o analista tenha sobre a área. As figuras abaixo ilustram a diferença entre os dois métodos

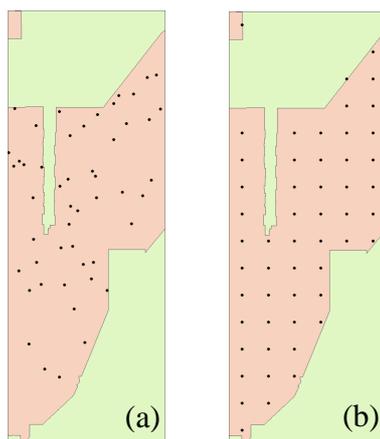


Figura 1: Métodos de distribuição espacial da amostra (a) Amostragem aleatória (b) Malha regular

No entanto, a distribuição espacial não determina a posição dos pontos da amostra, sendo necessária a análise de vizinhança em busca de um ponto notável. Esta metodologia realiza a busca numa área vizinha aproximada a uma circunferência de raio igual a um terço do espaçamento entre pontos. Quando espaçamentos entre linhas e entre colunas se apresentarem diferentes, considera-se o menor como parâmetro para a definição do raio de busca.

O raio de busca deve ser utilizado como diretriz, porém nada impede que se considerem algumas exceções em área pobres em pontos notáveis.

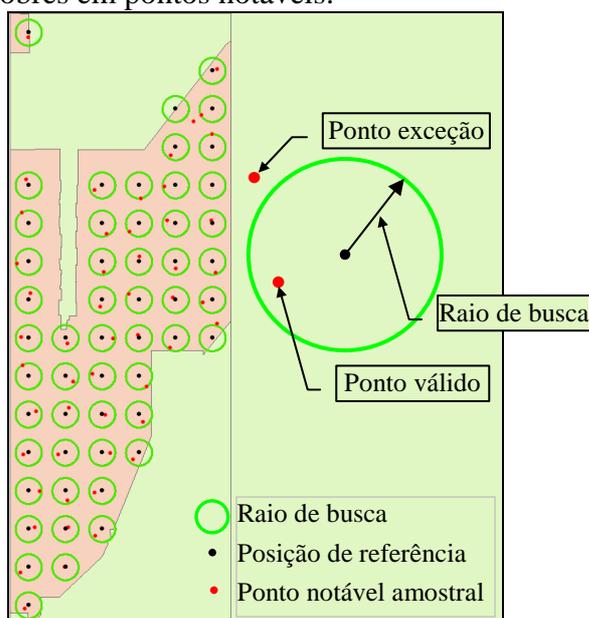


Figura 2: Análise de vizinhança e seleção de ponto notável

2.2 Inferência Estatística

Em Merchant (1982), é utilizada a Teoria de Pequenas Amostras, com no mínimo 20 pontos, com argumentos de otimização de custos e fidelidade.

O mesmo autor propõe dois testes estatísticos, com objetivos distintos, onde um analisa a existência de tendência (erro sistemático) e outro avalia se a precisão indicada pela amostra se enquadra no padrão pré-estabelecido.

Galo e Camargo (1994) utilizam a mesma inferência estatística aplicando a metodologia aos critérios de precisão estabelecidos no Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Este decreto estabelece um indicador estatístico, denominado Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, relativo a 90% de probabilidade, que define a acurácia de produtos cartográficos. O PEC é dividido em classes, conforme os critérios constantes na Tabela 1.

TABELA 1 – CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DO PEC

CLASSE	ERRO PLANIM. MÁX. EM 90% DOS PONTOS NOTÁVEIS	ERRO-PADRÃO OU DESVIO-PADRÃO PLANIMÉTRICO CORRESPONDENTE	ERRO ALTIMÉTRICO MÁXIMO EM 90% DOS PONTOS ISOLADOS DE ALTITUDE	ERRO-PADRÃO OU DESVIO-PADRÃO ALTIMÉTRICO CORRESPONDENTE
A	0,5 mm na escala do produto	0,3 mm na escala do produto	$\frac{1}{2}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente	$\frac{1}{3}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente
B	0,8 mm na escala do produto	0,5 mm na escala do produto	$\frac{3}{5}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente	$\frac{2}{5}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente
C	1,0 mm na escala do produto	0,6 mm na escala do produto	$\frac{3}{4}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente	$\frac{1}{2}$ equidistância entre curvas de nível ou analogamente

Qualquer outro indicador estatístico pode utilizar-se da mesma metodologia aqui proposta, como é o caso do PAP-PCD – Padrão de Acurácia e Precisão, adotado pela ET-ADGV - Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, que deverá ter sua verificação normatizada pela ET-CQDGV – Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Produtos Vetoriais e Matriciais, a ser publicada no contexto da Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE.

A aplicação da metodologia estatística à legislação mencionada revela um vácuo de critérios legais que invalidem produtos cartográficos que, embora possuam precisão compatível com o especificado, apresentem tendência acima de um nível pré-estabelecido.

Desta forma, todo o procedimento é realizado em duas etapas, sendo primeiramente a distribuição *t*-Student destinada à verificação da ausência de tendência (erro sistemático) e em segundo, a distribuição Qui-Quadrado destinada à verificação da validade do Erro-Padrão obtido da amostra em relação à precisão requerida para o produto. Desta forma combinada, garante-se a análise completa de acurácia.

2.2.1 Análise de Tendência

A análise de tendência é realizada considerando uma distribuição *t*-Student, utilizando amostras pequenas ou grandes, a partir dos resíduos das diferença entre as coordenadas de pontos notáveis obtidas no produto cartográfico e em levantamentos ou documentos de referência. Por exemplo: levantamentos com receptores *GNSS* geodésicos ou cartas topográficas, desde que possuam precisão melhor que 1/3 do Erro-Padrão requerido, como menciona ainda Merchant (1982).

A análise é feita também considerando uma probabilidade de 90%. O intuito é demonstrar que a média dos resíduos é considerada estatisticamente igual a zero, com 90% de probabilidade.

Partindo de Merchant (1982) e a aplicação ao PEC por Galo e Camargo (1994), estruturando o teste de hipótese, temos:

$$\begin{aligned} H_0 : \Delta \bar{X} &= 0 \\ H_1 : \Delta \bar{X} &\neq 0 \end{aligned} \quad \therefore \Delta \bar{X} \text{ é a média dos resíduos} \quad (1)$$

O valor amostral de *t* é calculado e comparado com o intervalo de aceitação definido pela distribuição em questão.

O valor de t amostral é calculado através da fórmula:

$$t_{calc} = \frac{\Delta\bar{X}}{s} \sqrt{N} \quad (2)$$

onde, $\Delta\bar{X}$ é a média dos resíduos da amostra, s é o desvio-padrão amostral e N é o tamanho da amostra.

O desvio-padrão amostral s é dado por:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta\bar{X})^2}{N-1}} \quad \therefore \Delta X_i \text{ é o resíduo de uma amostra.} \quad (3)$$

O intervalo de confiança condicionante à aceitação da hipótese H_0 é:

$$-t_{\left(N-1, \frac{\alpha}{2}\right)} \leq t_{calc} \leq t_{\left(N-1, \frac{\alpha}{2}\right)} \quad \therefore \alpha \text{ é o nível de significância e } t \text{ é a estatística } t. \quad (4)$$

O escore t ou estatística t é obtido da respectiva tabela da distribuição t ou ainda em planilhas eletrônicas, como o MS Excel que disponibiliza a função “=INVT(α ; $N-1$)”.

A ausência de tendência é verificada com a aceitação da hipótese H_0 , onde a média das discrepâncias é estatisticamente considerada igual a zero, a um determinado grau de confiança.

2.2.2 Análise de Precisão

Já a análise de precisão é realizada através da distribuição Qui-Quadrado, que possibilita estimar, dentro dos limites de confiança, o desvio-padrão populacional σ , a partir do desvio-padrão amostral s (Spiegel, 1994).

Desta forma, o teste estatístico é realizado comparando-se o desvio-padrão obtido da amostra dos resíduos com o Erro-Padrão esperado da classe do PEC almejado.

Conforme Merchant (1982) e aplicada ao PEC por Galo e Camargo (1994), estruturando o teste de hipótese, temos:

$$\begin{aligned} H_0 : s^2 &\leq \sigma_{PEC}^2 \\ H_1 : s^2 &> \sigma_{PEC}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Com isto, queremos verificar se a variância amostral é considerada menor ou igual à variância referente à classe do PEC requerida, com 90% de confiabilidade.

Utilizando as variâncias amostral e populacional (variância esperada), a estatística pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$\chi_{calc}^2 = (N-1) \frac{s^2}{\sigma_{PEC}^2} \quad (6)$$

onde, s^2 é o quadrado do desvio-padrão (variância) das discrepâncias da amostra, σ_{PEC}^2 é o quadrado do Erro-Padrão – EP (variância) aceitável, inerente à classe do PEC e N é o tamanho da amostra.

O intervalo de confiança condicionante à aceitação da hipótese H_0 é:

$$\chi_{calc}^2 \leq \chi_{(N-1, \alpha)}^2 \quad (7)$$

onde, α é o nível de significância χ^2 é a estatística χ^2 .

O escore χ^2 ou estatística χ^2 é obtido da respectiva tabela da distribuição χ^2 ou ainda em planilhas eletrônicas, como o MS Excel que disponibiliza a função “=INV.QUI(α ; $N-1$)”.

2.3 Implementação dos Testes

Algumas considerações devem ser feitas para o cálculo correto das grandezas estatísticas: devido ao fato do PEC tratar apenas de um valor modular resultante, desconsiderando suas componentes e orientação, a validação deve ser baseada no módulo resultante das diferenças nas componentes E e N (X e Y , ou $Long$ e Lat), embora não se despreze a análise por componente, visando a estratificação de uma possível tendência encontrada.

2.3.1 Obtenção de Valores Resultantes

Desta forma, para cada ponto de teste, deve-se calcular a diferença entre o ponto no documento cartográfico e o respectivo referencial de campo, para cada uma das coordenadas E e N , equivalentes a um ΔE e um ΔN para cada ponto. A partir destas diferenças mencionadas, calculamos a média aritmética de cada uma delas: $\bar{\Delta E}$ e $\bar{\Delta N}$.

O módulo do resultante é obtido com o cálculo da média das diferenças na planimetria ($\bar{\Delta P}$), a partir da média das diferenças em N ($\bar{\Delta N}$) e da média das diferenças em E ($\bar{\Delta E}$), como mostra a fórmula abaixo:

$$\bar{\Delta P} = \sqrt{\bar{\Delta N}^2 + \bar{\Delta E}^2} \quad (8)$$

O desvio-padrão da média das diferenças na planimetria ($s_{\bar{\Delta P}}$) é calculado a partir da Lei de Propagação das Variâncias (Gemael, 1994) de $\bar{\Delta E}$ e $\bar{\Delta N}$, conforme é mostrado abaixo:

$$s_{\bar{\Delta P}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{\Delta P}}{\partial \bar{\Delta N}}\right)^2 \cdot s_{\bar{\Delta N}}^2 + \left(\frac{\partial \bar{\Delta P}}{\partial \bar{\Delta E}}\right)^2 \cdot s_{\bar{\Delta E}}^2} = \sqrt{\left(\frac{\bar{\Delta N}}{\sqrt{\bar{\Delta N}^2 + \bar{\Delta E}^2}}\right)^2 \cdot s_{\bar{\Delta N}}^2 + \left(\frac{\bar{\Delta E}}{\sqrt{\bar{\Delta N}^2 + \bar{\Delta E}^2}}\right)^2 \cdot s_{\bar{\Delta E}}^2} \quad (9)$$

onde, $s_{\bar{\Delta N}}$ é o desvio-padrão da média das diferenças em N e $s_{\bar{\Delta E}}$ é o desvio-padrão da média das diferenças em E .

No caso da altimetria a aplicação é direta, pois a validação ocorre separadamente da planimetria, utilizando os valores de média e desvio-padrão altimétricos das diferenças.

2.3.2 Análise de Componentes

Galo e Camargo (1994) propõem aplicar os testes estatísticos em cada componente, decompondo o EP esperado:

$$\sigma_E^{PEC} = \sigma_N^{PEC} = \frac{EP_{PEC}}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Na metodologia proposta neste artigo, este artifício é utilizado apenas como informação auxiliar.

3 Resultados e Discussões

A aplicação desta metodologia é mostrada com a validação de ortofotos e modelo digital de terreno – MDT, correspondentes à área de um bloco de aerotriangulação.

Os produtos foram adquiridos em escala 1:10.000 utilizando os critérios estabelecidos pelo PEC Classe A.

Com isto, com 90% de confiabilidade, o desvio-padrão da média das diferenças planimétrico não poderá ser maior que 3 metros.

Para a altimetria, ficou estabelecido que o MDT deve atender aos critérios estabelecidos para curvas-de-nível com equidistância de 5 m. Partindo deste princípio, com 90% de confiabilidade, o desvio-padrão da média das diferenças não poderá ser maior que 1,67 m.

Este trabalho considera que o PEC se traduz no cálculo de uma incerteza a 90% de confiabilidade ($\sigma_{90\%}$), partindo de um EP que possui confiabilidade de 68%.

3.1 Processamento e Cálculos

Numa área de aproximadamente 2.000 km², localizada no Recôncavo Baiano, foram identificados, utilizando a distribuição em malha regular, 50 pontos notáveis em planimetria e 50 pontos isolados altimétricos.

Todos os pontos identificados foram levantados em campo com receptores GNSS geodésicos, pelo método relativo estático interferométrico, com acurácia melhor que 20 cm em relação à rede fundamental de primeira ordem do IBGE: vértices tipo SAT.

Com base nestas informações, foram calculados os valores e aplicados os testes estatísticos propostos para a validação. O resultado é apresentado nas tabelas 2 e 3.

Pode-se perceber que, tanto em planimetria como em altimetria, o teste de precisão atendeu aos requisitos do PEC, mas o teste de tendência reprovou a qualidade do produto.

Mais detalhadamente, a precisão se mostra compatível com escalas ainda maiores, mas precisaria resolver os problemas de tendência. Como sugerem Galo e Camargo (1994), isto poderia ser resolvido aplicando um deslocamento do tamanho da média na componente problemática, porém deve-se considerar problemas de conectividade do produto, se este for parte de um todo. Neste caso, um bloco isolado poderia não mais se conectar ao vizinho, merecendo uma análise mais aprofundada.

TABELA 2 – RESUMO DA VALIDAÇÃO PLANIMÉTRICA

Total de pontos utilizados na validação planimétrica (tamanho da amostra N)		50
TENDÊNCIA NA COMPONENTE NORTE (N)	Média das diferenças na componente N ($\bar{\Delta N}$)	-1,35 m
	Desvio-Padrão da média das diferenças na componente N ($s_{\Delta N}^-$)	0,93 m
	Valor de <i>t</i> amostral (equação 2)	(<i>t-Student</i>) -10,25
	Estatística <i>t</i> (grau de confiança igual a 90%)	(<i>t-Student</i>) 1,68
	Análise de Tendência: $-t_{(N-1, \alpha/2)} \leq t_{amostra} \leq t_{(N-1, \alpha/2)} \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	FALHOU ¹
TENDÊNCIA NA COMPONENTE ESTE (E)	Média das diferenças na componente E ($\bar{\Delta E}$)	-0,17 m
	Desvio-Padrão da média das diferenças na componente E ($s_{\Delta E}^-$)	1,00 m
	Valor de <i>t</i> amostral (equação 2)	(<i>t-Student</i>) -1,22
	Estatística <i>t</i> (grau de confiança igual a 90%)	(<i>t-Student</i>) 1,68
	Análise de Tendência: $-t_{(N-1, \alpha/2)} \leq t_{amostra} \leq t_{(N-1, \alpha/2)} \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	PASSOU ²
TENDÊNCIA NA PLANIMETRIA	Média resultante das diferenças em planimetria ($\bar{\Delta P}$)	1,36 m
	Desvio-Padrão resultante propagado, das diferenças em planimetria ($s_{\Delta P}^-$)	0,93 m
	Valor de <i>t</i> amostral (equação 2)	(<i>t-Student</i>) 10,32
	Estatística <i>t</i> (grau de confiança igual a 90%)	(<i>t-Student</i>) 1,68
	Análise de Tendência: $-t_{(N-1, \alpha/2)} \leq t_{amostra} \leq t_{(N-1, \alpha/2)} \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	FALHOU ¹
PRECISÃO PLANIMÉT.	Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-A (equação 6)	(<i>Qui-Quadrado</i>) 4,76
	Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	(<i>Qui-Quadrado</i>) 62,04
	Análise de Precisão: $\chi_{amostra}^2 \leq \chi_{(N-1, \alpha)}^2 \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	PASSOU ³
PEC	Enquadramento do PEC das Ortofotos, segundo o Decreto N° 89.817/84	PEC-A Parcial ⁴

¹ Considerando 90% de confiabilidade, existe tendência (erro sistemático) nesta análise.

² Considerando 90% de confiabilidade, NÃO existe tendência (erro sistemático) nesta análise.

³ Considerando 90% de confiabilidade, a precisão é compatível com o PEC-A.

⁴ A acurácia da planimetria se tornará compatível com o PEC-A somente após a correção da tendência em planimetria (erro sistemático).

TABELA 3 – RESUMO DA VALIDAÇÃO ALTIMÉTRICA

Total de pontos utilizados na validação altimétrica (tamanho da amostra N)		50
ANÁLISE DE TENDÊNCIA NA ALTIMETRIA	Média das diferenças na altimetria ($\bar{\Delta H}$)	0,94 m
	Desvio-Padrão da média das diferenças na altimetria ($S_{\Delta H}^-$)	1,64 m
	Valor de t amostral (equação 2)	(<i>t-Student</i>) 4,03
	Estatística t (grau de confiança igual a 90%)	(<i>t-Student</i>) 1,68
	Análise de Tendência: $-t_{(N-1, \alpha/2)} \leq t_{amostra} \leq t_{(N-1, \alpha/2)} \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	FALHOU⁵
PRECISÃO ALTIMÉT.	Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-A (equação 6)	(<i>Qui-Quadrado</i>) 47,67
	Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	(<i>Qui-Quadrado</i>) 62,04
	Análise de Precisão: $\chi_{amostra}^2 \leq \chi_{(N-1, \alpha)}^2 \Rightarrow$ Hipótese H_0 aceita?	PASSOU⁶
PEC	Enquadramento do PEC do MDT, segundo o Decreto N° 89.817/84	PEC-A Parcial⁷

4 Conclusões

A aplicação desta metodologia se mostrou eficaz e compatível com o objetivo de determinar um nível de acurácia de um produto cartográfico com embasamento estatístico, de forma objetiva e impessoal. Estes devem ser considerados critérios fundamentais para reger o cumprimento de requisitos contratuais, que por sua vez devem significar as condições legais para a liberação de valores inerentes aos produtos citados.

A proposta de metodologia para o processo de amostragem e a definição de um tamanho considerado válido estatisticamente contribuíram para a consolidação de um padrão operacional confiável da atividade de validação de produtos cartográficos, porém não finda a possibilidade de análises mais profundas com resultados eventualmente mais eficientes.

A pesquisa bibliográfica e adoção de processos estatísticos direcionados para pequenas amostras não os invalida para aplicação em grandes amostras, o que mostra a consolidação correta da metodologia voltada para a padronização de uma atividade corporativa diversa.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Decreto n° 89.817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 18 out. 2010.

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico, 2008. **Especificação Técnica para Aquisição da Geometria dos Dados Vetoriais Geo-espaciais da Infra-Estrutura Brasileira de Dados Geo-espaciais (ET-ADGV) –Versão Preliminar**. Brasília.

GALO, M. & CAMARGO, P.O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In: **COBRAC – 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis – Brasil, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

MERCHANT, D. C. *Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps*. In: **Proceedings of the Technical Congress on Surveying and Mapping (I)**, 222-231, 1982.

SPIEGEL, M.R. **Estatística: 383 Problemas Resolvidos, 416 Problemas Suplementares**. Tradução e revisão técnica: Pedro Consentino. 3ª edição. São Paulo: *Pearson Education* do Brasil, 1994. 660p (Coleção *Schaum*).

⁵ Considerando 90% de confiabilidade, existe tendência (erro sistemático) nesta análise.

⁶ Considerando 90% de confiabilidade, a precisão é compatível com o PEC-A.

⁷ A acurácia da altimetria se tornará compatível com o PEC-A somente após a correção da tendência em planimetria e altimetria (erro sistemático).