

Estimativa da acurácia posicional de documentos cartográficos na Petrobras a partir do erro máximo provável inferido do erro médio quadrático e da respectiva variância propagada

Helder Barros Gama Vieira ¹
Rafael Santos Genro ¹

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 302 – Salvador (BA)
{heldergama, rafasage}@petrobras.com.br

Abstract. This article is an addition to a Petrobras procedure that aims covering unexpected situations and is an option to update the corporative standard of cartographic products validation. The principal objective is adjusting the used solution proposed by Merchant (1982) and applied to Brazilian law by Galo and Camargo (1994). Vieira and Genro (2011) show some discussions about the mentioned standard and this procedure proposed here configures itself on an option to adjust and complement the current solution. Our inference allows us to estimate accuracies even existing biases, however a bias statistic test continues to be executed assuming itself as an additional tool that aims to be an alternative to improve results, if it possible. Some adjusting were made on Congalton and Green (2009) method with the objective of leveling parameters with Brazilian law. Basically, we implemented the horizontal standard deviation gotten from propagation of variance (Gemael, 1994) and classified accuracy based in the maximum acceptable error using accumulated t-Student distribution. An example shows the rise of the new statistic inference using a sampling that represents an uncovered situation by previous solution. Our conclusions validate the new method to be applied to Brazilian law with some considerations, but represent an effective manner to get the accuracy standard of cartographic documents.

Palavras-chave: accuracy, statistical inference, variance propagation, acurácia, inferência estatística, propagação de variância.

1 Introdução

Este trabalho vem complementar um padrão de validação de documentos cartográficos adotado na Petrobras, de forma a amparar situações não contempladas pelos critérios atuais.

A metodologia de validação da acurácia posicional proposta por Merchant (1982) é dividida em duas partes, sendo uma voltada para a verificação da existência de tendência, entendida como erro sistemático, e outra para a verificação da precisão.

Estas duas etapas utilizam a inferência estatística como fundamento para a adoção de critérios de confiabilidade, e com essa abordagem Galo e Camargo (1994) aplicaram o método à legislação brasileira utilizando alguns parâmetros estabelecidos na definição do PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 1984).

Como forma de padronização metodológica e com algumas melhorias vislumbradas, Vieira e Genro (2011) apresentaram uma opção de padronização para esta atividade na Petrobras acrescentando a aplicação da metodologia ao erro planimétrico resultante através da variância propagada conforme Gemael (1994).

Seguindo esta opção, diversos documentos do Sistema Petrobras vêm sendo validados e comprovam a eficiência da metodologia, porém foi encontrada uma lacuna nas situações cuja tendência é relevante à significância de 10%, como preconiza o PEC.

Quando o que se quer é enquadrar o padrão da acurácia posicional identificado num documento utilizando este método, a existência de tendência impede a definição em questão se aquela não for removida.

Por outro lado, a acurácia obtida de uma amostra com desvio padrão compatível com o PEC, mas com tendência reprovada, mesmo resultando inferior a 0,2 mm na escala do documento, não pode ser enquadrada no padrão especificado.

Identificada a lacuna, este trabalho consolida um método para estimativa da acurácia independente da existência de tendência relevante, baseando-se numa adaptação da formulação de Congalton e Green (2009), e se resume no enquadramento a padrões de acurácia predefinidos a partir do erro máximo provável, em detrimento a intervalos de confiança.

2 Metodologia de Trabalho

A metodologia de trabalho está fundamentada na pesquisa bibliográfica realizada, que buscou empregar a inferência estatística mais adequada ao enquadramento da acurácia posicional do produto cartográfico analisado a um padrão qualquer pré-estabelecido.

2.1 Considerações Iniciais

Com o objetivo de aplicar os fundamentos estatísticos às definições estabelecidas na legislação brasileira (BRASIL, 1984), foram utilizados como referência os parâmetros que as constituem e dividem o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC em diferentes classes, considerando 90% de probabilidade.

A metodologia contemplada neste trabalho aborda apenas a inferência estatística, mas a obtenção dos valores de acurácia depende preponderantemente do método de amostragem. A padronização proposta em Vieira e Genro (2011) é considerada como referência nos aspectos aqui não abordados, cujo número de amostras desejável foi alterado para 35 para qualquer domínio espacial definido, sem prejuízo das exceções. No entanto, essa definição não é o foco do que se propõe este artigo.

Vale ressaltar, porém, que a aplicação da metodologia tratada neste trabalho é entendida como válida desde um número de amostras igual a 20, conforme especifica Merchant (1982). Complementa-se que embora a padronização do procedimento de validação da acurácia posicional envolva um número de amostras compatível com a distribuição Normal, a inferência estatística empregada utiliza a Teoria das Pequenas Amostras (Spiegel, 1994), que considera números de amostras inferiores a 30, e que o mesmo autor a considera como Teoria Exata da Amostragem.

Esta teoria utiliza a distribuição *t*-Student e enfatiza-se que os resultados obtidos são válidos tanto para números grandes como pequenos, na medida em que esta distribuição é aderente à Normal ao considerar amostragens maiores, a partir de 30.

Considerando estas premissas, a metodologia apresentada se divide em estimativa da acurácia posicional, enquadramento da acurácia estimada e verificação de tendência.

2.2 Estimativa da Acurácia Posicional

A estimativa do padrão de acurácia posicional é realizada aqui através da distribuição *t*-Student, considerando um intervalo de confiança a 90% com o valor central correspondente ao erro médio quadrático dos erros obtidos nas amostras.

Embora o que se deseja estimar é o padrão de acurácia planimétrica resultante, conforme estabelece a legislação, a análise também contempla as componentes, de forma auxiliar, possibilitando distinguir diferentes fontes de problemas.

No caso de dados altimétricos, analogamente, a aplicação é simplificada ao que se requer para apenas uma das componentes planimétricas.

A utilização da distribuição Qui-quadrado para verificação da precisão proposta por Merchant (1982) é eficiente somente quando implementada associada à análise de tendência, pois não permite o enquadramento requisitado nos casos onde a tendência é identificada e não removida.

Conforme Congalton e Green (2009), a acurácia de um documento cartográfico deve ser representada por um valor central e um intervalo de confiança. O valor central que melhor

representa o padrão de acurácia deve considerar o resíduo absoluto, ou erro, obtido das amostras, visto que o valor que se pretende analisar é resultado de observações de distância medidas entre coordenadas de mapa e suas respectivas referências de campo ou de documento cartográfico em escala apropriada.

Dentre os possíveis valores para representar o padrão de erros de um documento cartográfico, esse autor recomenda o erro médio quadrático (*RMSE*). Pelo fato de trabalhar com o quadrado dos resíduos amostrais, já considera apenas seus valores absolutos e, portanto, se adequa ao objetivo da análise, conforme a fórmula seguinte:

$$RMSE_{\Delta X} = \sqrt{\sum_i^N \Delta X_i^2 / N} \quad (1)$$

onde N é o número de amostras e ΔX é o resíduo correspondente.

Em complemento, o desvio padrão das amostras deve ser utilizado para delimitar o intervalo de confiança no percentual de confiabilidade desejado, que deve ser referenciado aos valores absolutos dos resíduos de cada amostra. O desvio padrão é obtido da fórmula 2.

$$S_{RMSE_{\Delta X}} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (\Delta X_i - RMSE_{\Delta X})^2 \right] / N - 1} \quad (2)$$

onde, N e ΔX são definidos conforme anteriormente.

Congalton e Green (2009) sugerem que para menos de 30 amostras a representação da acurácia deve utilizar a distribuição *t*-Student. Com isto, temos o intervalo de confiança:

$$RMSE_{\Delta X} - t_{i,N-1}(S_{RMSE_{\Delta X}}) < \mu < RMSE_{\Delta X} + t_{i,N-1}(S_{RMSE_{\Delta X}}) \quad (3)$$

onde, $t_{i,N-1}$ é o escore *t* a determinada probabilidade *i*, com $N-1$ graus de liberdade.

Entende-se que a utilização do erro padrão proposto por esse autor não é a melhor solução para a acurácia dos documentos, pois indica o grau de incerteza do cálculo do valor médio, *RMSE*, e não a medida de dispersão das medidas amostrais.

Sobre a inferência estatística, para mais de 30 amostras já é sugerida a função de distribuição Normal, porém como considerado inicialmente, a Teoria Exata de Amostragem (Spiegel, 1994) valida a distribuição *t*-Student tanto para pequenas como para grandes amostragens, o que consiste os argumentos para que seja unicamente utilizada nesta metodologia.

Adotando o nível de confiabilidade definido no PEC igual a 90%, o intervalo de confiança seria representado por:

$$RMSE_{\Delta X} - t_{90\%,N-1}(S_{RMSE_{\Delta X}}) < \mu < RMSE_{\Delta X} + t_{90\%,N-1}(S_{RMSE_{\Delta X}}) \quad (4)$$

2.2.1 Obtenção de Valores Planimétricos Resultantes

Na mesma linha de entendimento de Congalton e Green (2009), embora a composição do erro planimétrico obedeça a uma distribuição bidirecional através de suas componentes, assume-se que o erro resultante possui comportamento aderente a uma distribuição Normal, ou analogamente à *t*-Student.

Alguns autores propõem a utilização do erro circular médio, mas também teríamos que assumir que os desvios-padrão das componentes sejam aproximadamente iguais. Devido ao comportamento elipsoidal desta distribuição bidirecional, entende-se que a primeira suposição é mais adequada ao que estabelece a legislação.

Partindo daquela premissa, calcula-se o erro médio quadrático e o respectivo desvio padrão. O *RMSE* planimétrico pode ser facilmente obtido a partir do módulo da soma vetorial dos *RMSE* das componentes (Congalton e Green, 2009):

$$RMSE_{\Delta P} = \sqrt{RMSE_{\Delta E}^2 + RMSE_{\Delta N}^2} \quad (5)$$

onde, ΔP é o resíduo planimétrico amostral, ΔE é o resíduo amostral na componente E (UTM) e ΔN na componente N (UTM).

Neste trabalho, o método contempla a obtenção do desvio padrão do $RMSE_{\Delta P}$ através da propagação de variâncias (Gemaél, 1994), utilizando o quadrado dos desvios-padrão de suas componentes $S_{RMSE_{\Delta E}}^2$ e $S_{RMSE_{\Delta N}}^2$:

$$S_{RMSE_{\Delta P}}^2 = \left(\frac{\partial RMSE_{\Delta P}}{\partial RMSE_{\Delta N}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta N}}^2 + \left(\frac{\partial RMSE_{\Delta P}}{\partial RMSE_{\Delta E}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta E}}^2 =$$

$$= \left(\frac{RMSE_{\Delta N}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta N}}^2 + \left(\frac{RMSE_{\Delta E}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta E}}^2 \quad (6)$$

2.3 Enquadramento da Acurácia Estimada

A equação 4 permite estimar um valor de acurácia para o documento, no entanto para enquadrá-lo a uma classe predefinida nos moldes das diferentes classes do PEC, é necessário se utilizar apenas o limite superior do intervalo, que represente uma significância de 10%.

Pelo fato desta metodologia em foco trabalhar apenas com valores absolutos dos resíduos, ou erros, a delimitação inferior do intervalo não nos mostra utilidade. Com isto, o enquadramento deve ser realizado através da distribuição acumulada, conforme a equação 7 e esquematizado na figura 1(b):

$$\mu \leq RMSE_{\Delta X} + t_{90\%, N-1}^{\Phi} (S_{RMSE_{\Delta X}}) \quad (7)$$

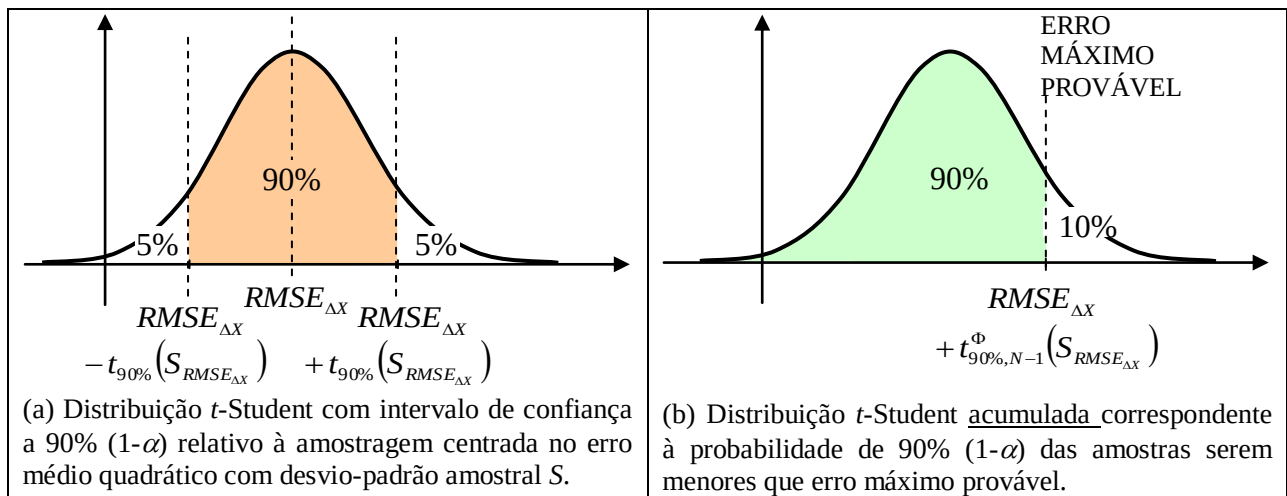


Figura 1. Esquemas de funções de distribuição de probabilidades voltadas à estimativa da acurácia posicional.

Em termos práticos, se $RMSE_{\Delta P} + t_{90\%, N-1}^{\Phi} (S_{RMSE_{\Delta P}}) \leq PEC_{CLASSE-A}$, podemos garantir com 90% de confiabilidade que a acurácia posicional do documento cartográfico corresponde ao $PEC_{CLASSE-A}$.

O escore t é obtido da respectiva tabela da distribuição *t*-Student acumulada ou ainda de funções específicas presentes em planilhas eletrônicas, como por exemplo, o *MS Excel 2007* que disponibiliza a inversa desta distribuição “=INVT(α ; $N-1$)”, bicaudal, onde α é a significância ou um menos a confiabilidade.

Como exemplo, para obtermos o escore t da distribuição acumulada, $t_{90\%, N-1}^{\Phi}$, para uma amostra com 35 pontos de teste, devemos utilizar um artifício duplicando a significância através da fórmula em *MS Excel 2007* “=INVT($2*(1-0,9)$;34)”.

2.4 Análise de Tendência

A análise de tendência é complementar, tornando-se mais valiosa na hipótese de reprovação na estimativa da acurácia. É realizada também com o recurso da distribuição *t*-Student, porém considera resíduos amostrais positivos e negativos dos pontos de teste.

A análise é realizada com o intuito de demonstrar que a média dos resíduos é estatisticamente igual a zero, com 90% de probabilidade. Deve ser aplicado em cada uma das componentes isoladamente, por exemplo: coordenadas UTM, E[m] e N[m], e altitude ortométrica, H[m].

Partindo de Merchant (1982), estruturando o teste de hipótese, temos:

$$\begin{aligned} H_0 : \Delta\bar{X} &= 0 \\ H_1 : \Delta\bar{X} &\neq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

onde, $\Delta\bar{X}$ é a média aritmética dos resíduos.

O valor amostral de t é calculado pela fórmula 9 e comparado com o intervalo de aceitação definido pela distribuição em questão.

$$t_{Amostal} = \frac{\Delta\bar{X}}{S} \sqrt{N} \quad (9)$$

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

O desvio-padrão amostral S é dado por:

$$S_{\Delta\bar{X}} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta\bar{X})^2 \right] / N - 1} \quad (10)$$

onde, ΔX_i é o resíduo de uma amostra, considerando valores negativos e positivos.

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

$$-t_{(\alpha/2, N-1)} \leq t_{amostral} \leq t_{(\alpha/2, N-1)} \quad (11)$$

onde, α é o nível de significância e t é o escore obtido da função de densidade de probabilidade, bicaudal.

O escore t é obtido da respectiva tabela da distribuição *t*-Student ou ainda em planilhas eletrônicas, como exemplo o *MS Excel2007* que disponibiliza a função “=INVT(α ; $N-1$)”.

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

3 Resultados e Discussões

A importância deste método é exemplificada com uma amostragem obtida de uma validação planimétrica de ortofotos e altimétrica de modelo digital de terreno – MDT, referentes a um bloco de aerotriangulação.

Os produtos são especificados para escala 1:5.000 utilizando os parâmetros estabelecidos pelo PEC-A. Com isto, o erro máximo planimétrico admissível é igual a **2,5 metros**, considerando 90% de probabilidade.

Para o critério de validação da altimetria, foi especificado que a acurácia deve ser compatível com os parâmetros do PEC-A referentes à equidistância de curvas de nível igual a 2 metros. Esta consideração nos dá o erro máximo altimétrico admissível igual a **1 metro**, considerando 90% de probabilidade.

3.1 Processamento e Cálculos

Numa amostragem de 30 pontos de teste tridimensionais levantados em campo com acurácia melhor que 20 cm, em relação à rede fundamental de primeira ordem do IBGE, foram calculados cada um dos erros (resíduos absolutos) amostrais e obtidos todos os parâmetros estatísticos indicados neste método, conforme tabela e cálculos abaixo:

Tabela 1. Erros amostrais

PTO	$\Delta N =$ N_{REF} - N_{MAPA}	$\Delta E =$ E_{REF} - E_{MAPA}	$\Delta P =$ $(\Delta N^2 - \Delta E^2)^{1/2}$	$\Delta H =$ H_{REF} - H_{MAPA}	$ \Delta N $ - RMSE _N	$ \Delta E $ - RMSE _E	ΔP - RMSE _P	$ \Delta H $ - RMSE _H
PT01	-0.488	-0.396	0.629	-0,487	-0.735	-0.719	-1.027	-0.183
PT02	0.746	1.198	1.411	-0,286	-0.478	0.083	-0.245	-0.384
PT03	-0.811	0.508	0.956	-0,733	-0.413	-0.607	-0.699	0.063
PT04	0.064	0.478	0.483	-0,935	-1.159	-0.636	-1.173	0.265
PT05	1.661	-0.426	1.715	-0,766	0.438	-0.689	0.060	0.096
PT06	1.499	-1.197	1.918	0,147	0.276	0.082	0.263	-0.524
PT07	-0.405	-0.189	0.447	-0,487	-0.819	-0.926	-1.209	-0.183
PT08	-1.001	0.638	1.187	-0,493	-0.223	-0.477	-0.468	-0.177
PT09	1.000	-0.376	1.069	0,073	-0.223	-0.739	-0.587	-0.598
PT10	1.124	1.196	1.641	-1,356	-0.100	0.081	-0.014	0.686
PT11	-0.861	0.703	1.112	0,337	-0.363	-0.412	-0.544	-0.334
PT12	1.395	-2.281	2.674	-1,029	0.172	1.166	1.019	0.359
PT13	0.139	0.733	0.746	0,266	-1.085	-0.382	-0.909	-0.405
PT14	0.602	-0.439	0.745	-0,656	-0.622	-0.676	-0.911	-0.014
PT15	0.206	1.026	1.046	-1,756	-1.017	-0.089	-0.609	1.085
PT16	-1.187	-0.138	1.195	-1,277	-0.037	-0.977	-0.461	0.607
PT17	0.242	-1.069	1.097	-0,801	-0.981	-0.045	-0.559	0.130
PT18	2.875	-0.064	2.876	-0,672	1.651	-1.051	1.220	0.001
PT19	1.752	-2.380	2.955	-0,671	0.528	1.265	1.300	0.000
PT20	0.334	-2.278	2.302	-0,029	-0.889	1.163	0.647	-0.642
PT21	2.788	-1.267	3.063	0,260	1.564	0.152	1.407	-0.411
PT22	-0.226	-0.557	0.602	-0,469	-0.997	-0.558	-1.054	-0.201
PT23	1.773	-0.556	1.858	0,370	0.549	-0.559	0.202	-0.301
PT24	1.432	-1.767	2.275	-0,105	0.208	0.652	0.619	-0.565
PT25	0.458	-0.674	0.815	-0,005	-0.765	-0.441	-0.840	-0.665
PT26	-0.233	1.266	1.288	-0,382	-0.991	0.152	-0.368	-0.288
PT27	1.320	0.731	1.509	-0,029	0.097	-0.384	-0.146	-0.641
PT28	-1.754	1.857	2.554	0,179	0.530	0.742	0.899	-0.491
PT29	-0.660	-0.490	0.822	-0,022	-0.564	-0.625	-0.833	-0.649
PT30	-0.680	0.677	0.959	-0,532	-0.544	-0.438	-0.696	-0.139

*_(REF) é a notação para a coordenada obtida em campo e _(MAPA) no documento cartográfico em validação;

** (E e N) são inerentes a coordenadas UTM, (ΔP) ao erro planimétrico amostral e H à altitude ortométrica;

*** Todos os valores estão expressos em metros.

Conforme os valores de acurácia planimétrica e altimétrica estimados na tabela 2, o documento cartográfico em análise não se enquadraria no PEC-A. Neste caso, o relatório de validação indicaria o PEC-B, mas com a possibilidade de eliminação de tendências identificadas em N e H .

Eliminando-se as tendências (erro sistemático), nova estimativa de acurácia deve ser realizada. Pelo fato dos erros considerarem os valores absolutos dos resíduos, nem sempre a correção de tendência irá resultar na melhoria significativa da acurácia.

Tabela 2. Aplicação de fórmulas e inferência estatística

ESTIMATIVA DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO DA POPULAÇÃO DE ERROS			
$RMSE_{\Delta X} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N \Delta X_i^2\right) / N}$	$RMSE_{\Delta N}$ 1,22 m	$RMSE_{\Delta E}$ 1,11 m	$RMSE_{\Delta H}$ 0,67 m
$RMSE_{\Delta P} = \sqrt{RMSE_{\Delta E}^2 + RMSE_{\Delta N}^2}$	$RMSE_{\Delta P}$ 1,66 m		
Estimativa do desvio-padrão da população de erros			
$S_{RMSE_{\Delta X}} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N \left(\Delta X_i - RMSE_{\Delta X}\right)^2\right] / N - 1}$	$S_{RMSE_{\Delta N}}$ 0,77 m	$S_{RMSE_{\Delta E}}$ 0,67 m	$S_{RMSE_{\Delta H}}$ 0,46 m
$S_{RMSE_{\Delta P}}^2 = \left(\frac{RMSE_{\Delta N}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}}\right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta N}}^2 + \left(\frac{RMSE_{\Delta E}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}}\right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta E}}^2$	$S_{RMSE_{\Delta P}}$ 0,73 m		
Intervalos de confiança da acurácia estimada da população de erros			
$t_{90\%,N-1}$ (bicaudal)	1,6991		
$RMSE_{\Delta X} \pm t_{90\%,N-1} \left(S_{RMSE_{\Delta X}}\right)$	Planimetria 1,66 ± 1,26 m	Altimetria 0,67 ± 0,78 m	
Acurácia estimada da população a partir do erro máximo provável (Analogia ao PEC)			
$t_{90\%,N-1}^{\Phi}$ (acumulada)	1,3114		
$RMSE_{\Delta X} + t_{90\%,N-1}^{\Phi} \left(S_{RMSE_{\Delta X}}\right)$	Planimetria 2,61 m	Altimetria 1,27 m	
ANÁLISE DE TENDÊNCIA			
Estimativa do desvio-padrão da população de resíduos			
$S_{\Delta \bar{X}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N \left(\Delta X_i - \Delta \bar{X}\right)^2\right) / N - 1}$	$S_{\Delta N}$ 1,16 m	$S_{\Delta E}$ 1,12 m	$S_{\Delta H}$ 0,54 m
Estimativa da média da população dos resíduos			
$\Delta \bar{X} = \left(\sum_{i=1}^N \Delta X\right) / N$	$\Delta \bar{N}$ 0,44 m	$\Delta \bar{E}$ -0,18 m	$\Delta \bar{H}$ -0,41 m
Estatística t			
$t_{90\%,N-1}$ (bicaudal)	1,6991		
$t_{Amostal} = \left(\Delta \bar{X} / S\right) \sqrt{N}$	N 2,0584	E 0,9033	H 4,1874

Tabela 3. Estimativa de acurácia após eliminação de tendências

ESTIMATIVA DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO DA POPULAÇÃO DE ERROS			
$RMSE_{\Delta N}$ 1,14 m	$RMSE_{\Delta E}$ 1,11 m	$RMSE_{\Delta P}$ 1.60 m	$RMSE_{\Delta H}$ 0.53 m
Estimativa do desvio-padrão da população de erros			
$S_{RMSE_{\Delta N}}$ 0,67 m	$S_{RMSE_{\Delta E}}$ 0,67 m	$S_{RMSE_{\Delta P}}$ 0.67 m	$S_{RMSE_{\Delta H}}$ 0.32 m
Intervalos de confiança da acurácia estimada da população de erros ($t_{90\%}$)			
Planimetria 1,60 ± 1,14 m		Altimetria 0,53 ± 0,54 m	
Acurácia estimada da população a partir do erro máximo provável (Analogia ao PEC)			
Planimetria 2,48 m		Altimetria 0,95 m	

4 Conclusões

A aplicação do método proposto para estimativa de acurácia posicional de documentos cartográficos se mostrou eficaz. A possibilidade de estimativa da acurácia mesmo com a existência de erros sistemáticos apresenta uma melhoria em relação ao método proposto por Merchant (1982) e aplicado ao PEC por Galo e Camargo (1994).

A amostragem utilizada é um exemplo desta conclusão, pois indica um padrão de acurácia compatível com o PEC-B e ressalta que é possível melhorá-lo. Com a remoção da tendência na componente N e na altitude H , neste caso, o produto se qualifica para o PEC-A.

A adoção dos parâmetros estatísticos inerentes ao PEC configura uma opção de especificação nos moldes do que a legislação pretende estabelecer. Neste sentido, esta solução permita verificar o padrão de acurácia em relação às classes do PEC, considerando uma abordagem mais completa que as definições presentes no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

É importante ressaltar que os valores obtidos do método proposto só representarão a realidade quando a técnica de amostragem e o rigor na obtenção dos pontos de teste forem corretamente aplicados. Vieira e Genro (2011) propõem uma padronização de validação da acurácia posicional de documentos cartográficos na Petrobras, o que este método pretende complementar apenas com a modificação da inferência estatística.

A adoção de processos estatísticos direcionados para pequenas amostras permite negligenciar a escolha da distribuição mais adequada, pois se fundamenta na Teoria Exata de Amostragem (Spiegel, 1994) e padroniza um procedimento operacional numa realidade de atividades corporativas diversificadas.

Embora Congalton e Green (2009) proponham uma formulação ligeiramente diferente, a sua fundamentação apresentada no capítulo referenciado foi indispensável à metodologia de estimativa de acurácia posicional.

5 Referências Bibliográficas

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 jun. 1984. p. 8884.

Congalton, R. G.; Green, K., Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. **Positional Accuracy**. 2. ed. Boca Raton, Florida, Estados Unidos, 2009. cap. 3, p.19-53.

Galo, M.; Camargo, P. de O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, 1, v. II, 1994, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC: UFSC, 1994. Artigos, p. 41-48.

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: American Congress on Surveying and Mapping, 42, 1982, Falls Church, VA, USA. **Proceedings...** Gaithersburg, MD, USA: ACSM, 1982. v. 1, p.222-231

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).

Vieira, H. B. G; Genro, R. S. Inferência estatística para validação de documentos cartográficos obtidos com sensores remotos orbitais ou aerotransportados, em áreas de operação da Petrobras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 2339-2346. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.13.26/doc/p0475.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.