

## *PyPEC software* para avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos

### RESUMO

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um software, denominado de *PyPEC*, cujo objetivo é avaliar a qualidade posicional de produtos cartográficos digitais por meio do cálculo da acurácia posicional seguindo normas brasileiras e internacionais. As especificações utilizadas na implementação do *software* foram: o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 aliado à Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geospaciais (ET-CQDG), a Norma de Execução INCRA/DF/nº 02 de 19 de fevereiro de 2018 e a Norma da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) de 2014. Para implementar o *software* foi utilizada a linguagem *Python* com a IDE *Spyder*. A validação dos resultados obtidos com o *PyPEC* foi realizada comparando com dados de artigos científicos e com o *software GeoPEC*. As principais diferenças do *PyPEC* em relação ao *GeoPEC* é a possibilidade de utilizar as especificações da ASPRS bem como a apresentação dos resultados dos cálculos intermediários e finais no relatório de processamento. Assim, o *software PyPEC* atinge o propósito de auxiliar a estudantes e profissionais a compreenderem melhor as etapas seguidas para a avaliação da qualidade posicional de um produto cartográfico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *PyPEC*. Acurácia Posicional. Decreto nº 89.817/1984. ET-ADGV. INCRA. ASPRS. ET-CQDG.

**Rita Pereira Calderaro**

[rita.calderaro@engenharia.ufjf.br](mailto:rita.calderaro@engenharia.ufjf.br)  
[orcid.org/0000-0003-4909-9171](https://orcid.org/0000-0003-4909-9171)

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

**Alessandro Salles Carvalho**

[ascufpr@gmail.com](mailto:ascufpr@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-7428-0912](https://orcid.org/0000-0001-7428-0912)

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

**Afonso de Paula dos Santos**

[afonso.santos@ufv.br](mailto:afonso.santos@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0001-7248-4524](https://orcid.org/0000-0001-7248-4524)

Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil

## INTRODUÇÃO

A evolução das geotecnologias e o crescimento da procura por informações geoespaciais fizeram com que a produção cartográfica ficasse cada vez mais ágil. Desta maneira, a atenção com a qualidade destas informações é necessária tanto para englobar diferentes áreas da ciência cartográfica como gerar dados seguindo padrões que assegurem o atendimento do propósito do usuário.

A avaliação da qualidade posicional de um dado geoespacial é um dos estágios mais importantes e para isso foram desenvolvidos normas e padrões a fim de permitir que os produtos geoespaciais possam ser avaliados e/ou classificados (CARVALHO; SILVA, 2018).

A Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) tem importante contribuição com o desenvolvimento da fotogrametria no país. Criada em 1980, é responsável pelo mapeamento sistemático no Brasil e após sua fundação, diversas entidades civis de governos, federal e estadual, iniciaram a instalação de divisões de fotogrametria (SILVA, 2015).

A ISO 19157:2013 descreve a qualidade dos dados geográficos com o intuito de auxiliar a comparação e a seleção do conjunto de dados mais apropriado às necessidades ou requisitos da aplicação do usuário. Os elementos citados pela norma são: Acurácia Posicional, que é associada ao referencial espacial; a Acurácia Temática, que se relaciona com atributos quantitativos; a Acurácia Temporal, que é associada a atributos temporais; Completude, que se relaciona com a presença ou ausência de dados; Consistência Lógica, que é definida como o grau de aderência às regras lógicas; e Usabilidade, que se baseia nos requisitos do usuário (ISO, 2013).

Desta maneira, muitos países e instituições ao se depararem com a necessidade de abordar a questão da qualidade dos dados espaciais desenvolveram normas e padrões para incluir a análise da acurácia posicional de produtos cartográficos. No Brasil, a definição dos padrões cartográficos para avaliação da acurácia posicional iniciou-se na década de 1980, com o Decreto nº 89.817/1984, focando na cartografia analógica. Após três décadas, com a implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), surgem a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, a partir de 2011, e a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais em 2016 (BARBOSA et al., 2021; DSG, 2016). Estas especificações complementam a aplicação do Decreto nº 89.817 (DSG, 2016).

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estabelece que a avaliação do produto cartográfico gerado a partir de aerofotogrametria siga as especificações da Norma de Execução INCRA nº 02 de 19 de fevereiro de 2018, que estabelece critérios para aplicação e avaliação das coordenadas planimétricas de vértices definidores de limites de imóveis rurais, específico para o processo de georreferenciamento de imóveis rurais, no âmbito da lei nº 10.267 de 2001.

Na esfera internacional, a Associação de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) desenvolveu a *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*, em 2014, a qual substituiu outras duas normas, a *Accuracy Standards for Larger-Scale Maps* (1990), que definia a acurácia para mapas de grande escala e a *Guidelines Vertical Accuracy Reporting for LIDAR* (ASPRS, 2015).

Mesmo com diferentes normas e padrões sobre o assunto, muitos profissionais deixam de avaliar seus produtos cartográficos por falta de conhecimento das mesmas e pela escassez de *softwares* que auxiliam nesta verificação. Existe no mercado o *software GeoPEC* (SANTOS,2008) que faz a verificação da acurácia conforme o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 e a ET-CQDG (DSG, 2016), calcula a inspeção topográfica conforme a norma técnica brasileira de execução de levantamento topográfico, e avalia a acurácia posicional absoluta de produtos de aerolevantamento pelo Georreferenciamento de Imóveis Rurais, conforme definições do INCRA.

Com o objetivo de complementar esta ferramenta, foi idealizado e implementado um *software*, denominado de *PyPEC*, para fins acadêmicos, que calcula a acurácia posicional seguindo as metodologias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984), da ET-CQDG (DSG, 2016), do INCRA e inserindo o cálculo segundo a ASPRS (2015). Além disso é disponibilizado um relatório com os cálculos intermediários, a fim de auxiliar o entendimento do usuário no resultado final. Desse modo, será possível compreender todo o processo de cálculo e melhorar a análise dos dados.

## NOTAS E PADRÕES

### DECRETO Nº 89.817/1984 E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O Decreto nº 89.817 foi criado em 1984 com a finalidade de estabelecer instruções reguladoras das normas que devem ser seguidas “por todas as entidades públicas e privadas que são produtoras e usuárias de serviços cartográficos, de natureza cartográfica e atividades correlatas, sob a denominação de Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional” (BRASIL, 1984).

As cartas quanto à sua acurácia posicional devem obedecer às tolerâncias do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e do Erro-Padrão (EP) definidos no Capítulo II do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984). No Art. 9º são apresentadas as classes A, B e C para classificação da qualidade planimétrica e altimétrica.

Na Tabela 1 estão os valores do PEC e do EP, de acordo com o denominador da escala (DDE) e a equidistância vertical das curvas de nível (ECN) para cada classe estabelecida no referido Decreto.

Tabela 1 – Tabela resumo do PEC e EP para cada classe e escala do produto cartográfico

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC-PCD	EP	PEC-PCD	EP
A	0,5 mm × DDE	0,3 mm × DDE	$\frac{1}{2} \times \text{ECN}$	$\frac{1}{3} \times \text{ECN}$
B	0,8 mm × DDE	0,5 mm × DDE	$\frac{2}{5} \times \text{ECN}$	$\frac{2}{5} \times \text{ECN}$
C	1,0 mm × DDE	0,6 mm × DDE	$\frac{3}{4} \times \text{ECN}$	$\frac{1}{2} \times \text{ECN}$

Fonte: Adaptado de Brasil (1984).

O Decreto foi criado para o ambiente analógico. Entretanto, com o surgimento da cartografia digital e de novas geotecnologias foi necessário realizar uma atualização no padrão estabelecidos pelo Decreto nº 89.817 de 1984. Desta

maneira, a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) estabeleceu um novo Padrão de Exatidão Cartográfica com o objetivo de atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (DSG, 2016).

Na Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) é fornecido uma “forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil.” Além de estabelecer definições relativas à avaliação de qualidade de produtos geoespaciais, a ET-CQDG descreve a avaliação da qualidade e seus procedimentos, define como reportar a qualidade e apresentar os parâmetros de conformidade para os produtos de referência. Define também a metodologia de cálculo detalhada da acurácia posicional planimétrica e altimétrica (DSG, 2016). Então, para apresentar esses novos parâmetros de acurácia posicional, na Tabela 2, estão contidos os valores para o PEC-PCD e EP descritos na ET-ADGV (DSG, 2011) e na ET-CQDG (DSG, 2016).

Tabela 2 – Tabela resumo do PEC-PCD e EP conforme classes

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC-PCD	EP	PEC-PCD	EP
A	0,28 mm × DDE	0,17 mm × DDE	0,5 × ECN	0,33 × ECN
B	0,5 mm × DDE	0,3 mm × DDE	0,6 × ECN	0,4 × ECN
C	0,8 mm × DDE	0,5 mm × DDE	0,75 × ECN	0,5 × ECN
D	1,0 mm × DDE	0,6 mm × DDE	1,0 × ECN	0,6 × ECN

Fonte: Adaptado de DSG (2011).

Na Tabela 3 estão disponíveis os valores do PEC-PCD e EP altimétrico considerando um produto cartográfico do tipo Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Superfície (MDS) ou com pontos cotados.

Tabela 3 – Tabela resumo do PEC-PCD e EP da altimetria dos pontos cotados e do MDT, MDE e MDS

Classe	Altimetria	
	PEC-PCD	EP
A	0,27 mm × ECN	0,17 mm × ECN
B	0,5 mm × ECN	0,33 mm × ECN
C	0,6 mm × ECN	0,4 mm × ECN
D	0,75 mm × ECN	0,5 mm × ECN

Fonte: Adaptado de DSG (2011).

A metodologia de cálculo da acurácia posicional planimétrica e altimétrica baseia-se em determinar a discrepância posicional entre os pontos de checagem do produto avaliado com seus homólogos coletados em campo. Após, analisam-se duas condições:

- a) 90% das discrepâncias apresentam valores menores ou iguais ao PEC-PCD, para a classe e escala/ECN analisada;
- b) O RMS da amostra de discrepância apresenta valor menor ou igual ao EP, para a classe e escala/ECN analisada.

## NORMA DE EXECUÇÃO INCRA/DF/Nº 02 DE 19 DE FEVEREIRO DE 2018

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estabelece critérios, através da Norma de Execução INCRA/DF/Nº 02 de 19 de fevereiro de 2018, para utilização e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria com o intuito de determinar coordenadas de vértices indicadores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3º do artigo 176 da Lei nº 6.015 (INCRA, 2018).

A Norma de Execução define quatro critérios para avaliar a acurácia posicional absoluta de ortoimagens: (i) a utilização de vinte ou mais pontos de checagem; (ii) a verificação da normalidade das discrepâncias planimétricas a partir da aplicação do teste estatístico de *Shapiro-Wilk* (MENEZES;CRUZ, 2018), com nível de confiança de 95%; (iii) a verificação da existência de tendência com uso do teste *t de Student* (LARSON; FARBER, 2010), com nível de confiança de 90% e indicação da não tendenciosidade e; (iv) condição de que 100% das discrepâncias posicionais devem ser menores ou iguais à precisão posicional de cada tipo de limite.

O Manual Técnico de Posicionamento apresenta a definição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais 3ª Edição para os padrões de precisão conforme os tipos de vértice de limites de imóveis: artificiais, naturais ou inacessíveis (INCRA, 2018). No caso de aerofotogrametria, que é o apresentado na Norma de Execução, são usados todos os três tipos de limite. Na Tabela 4, são apresentados os limites de precisão para cada tipo de vértice.

Tabela 4 – Padrões de acurácia para cada limite conforme Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA

Artificial	Natural	Inacessível	Não classificado
$(100\% \Delta 2D) \leq 0,50m$	$0,50m > (100\% \Delta 2D) \leq 3,00m$	$3,00m > (100\% \Delta 2D) \leq 7,50m$	$(100\% \Delta 2D) > 7,50m$

Fonte: Adaptado de INCRA (2013).

Ressalta-se que a precisão posicional dos vértices do limite do imóvel que tiveram coordenadas obtidas por aerofotogrametria será igual aos valores da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) calculados na etapa de avaliação da acurácia posicional (INCRA, 2018).

## PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL PARA DADOS GEOESPACIAIS DIGITAIS DA ASPRS

A Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) desenvolveu o Padrão de Acurácia Posicional para Dados Geoespaciais Digitais da ASPRS (*ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*), em 2014, com o objetivo de substituir os já existentes Padrões de Acurácia ASPRS para Mapas em Grande Escala (1990) (*ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps*) e as diretrizes ASPRS, Relatório de Acurácia Vertical para Dados Lidar (2004) (*ASPRS Guidelines, Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data*) com a finalidade de melhor atender às tecnologias atuais (ASPRS, 2015).

Esta norma contém padrões de acurácia posicional para ortoimagens, dados planimétricos e dados altimétricos. As classes de acurácia, baseadas nos valores REQM, foram revisadas e atualizadas da norma de 1990 para tratar das maiores acurácias atingíveis com as tecnologias mais recentes (ASPRS, 2015).

Para análise da acurácia planimétrica, a norma determina o uso do REQM planimétrico ( $REQM_R$ ), que também pode ser decomposto nas componentes X e Y ( $REQM_X$  e  $REQM_Y$ ). Para resultados de acurácia altimétrica, são usados métodos diferentes em terrenos sem vegetação (*Non-vegetated Vertical Accuracy - NVA*) – terreno aberto tradicional, como solo exposto, areia, rochas e grama curta, assim como áreas urbanas, com superfícies asfaltadas ou de concreto – e terreno com vegetação (*Vegetated Vertical Accuracy - VVA*) – como áreas contendo ervas daninhas, altas plantações, arbustos e terrenos totalmente.

Na Tabela 5 encontram-se os parâmetros utilizados para o cálculo da acurácia planimétrica. A ASPRS (2015) não define uma tolerância, apenas sugere uma metodologia de avaliação da acurácia posicional, assim o próprio usuário irá definir essa tolerância para verificar se o produto é aceitável ou não.

Tabela 5 – Padrões da acurácia posicional planimétrica para dados geoespaciais de acordo com a norma ASPRS de 2014

Classe	REQME e REQMN (m)	REQM2D (m)	Acurácia posicional horizontal com nível de confiança de 95% (m)
X - cm	$\leq X$	$\leq 1,414 \cdot X$	$\leq 2,448 \cdot X$

Fonte: Adaptado ASPRS (2015).

O cálculo da acurácia altimétrica usa os parâmetros disponíveis na Tabela 6, e assim como na acurácia planimétrica, a norma também não define uma tolerância. A ASPRS (2015) difere o parâmetro para determinar a acurácia de um terreno não vegetado (NVA) com um terreno vegetado (VVA), já que o primeiro, os erros tendem a seguir uma distribuição normal, o que nem sempre acontece com o segundo caso.

Tabela 6 – Padrão da acurácia posicional altimétrica para dados geoespaciais de acordo com a norma ASPRS de 2014

Classe	REQM <sub>H</sub> Não vegetado (m)	Acurácia Posicional Absoluta (m)	
		NVA com nível de confiança de 95% (m)	VVA com nível de confiança de 95% (m)
X - cm	$\leq X$	$\leq 1,96 \cdot X$	$\leq 3,00 \cdot X$

Fonte: Adaptado de ASPRS (2015).

ASPRS (2015) salienta que estes cálculos são atualmente aceitos em prática padrão e provaram funcionar bem com os dados obtidos com as tecnologias atuais. Contudo, esses cálculos apresentam limitações, principalmente quando o número de pontos de checagem é pequeno.

## O PYPEC

O *software* desenvolvido foi denominado de *PyPEC* e tem por objetivo fornecer ao usuário a acurácia posicional planimétrica e altimétrica do produto cartográfico de acordo com normas específicas. Para desenvolvê-lo, foi utilizada a linguagem de programação *Python 3.8*, com a *IDE Spyder 4.2.5* da distribuição *Anaconda*, que é um pacote completo para ciência de dados com *Python*.

O *PyPEC* é resultado do Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e está disponível como um arquivo executável e de forma gratuita. É aceito importação de dados através de arquivos de extensão de texto (.txt) e planilha (.xlsx), além de poder digitar manualmente ponto a ponto. O *link* para *download* é <https://www.mediafire.com/folder/5zx1ka9tundl8/PyPEC>.

As funcionalidades do *PyPEC* são:

- a) Inserção dos dados de forma manual ou com uso de arquivo em extensão .txt e .xlsx;
- b) Calcular a acurácia posicional utilizando as seguintes normas:
  - a. Decreto nº 89.817/1984, Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG);
  - b. Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA;
  - c. Padrão de Acurácia Posicional para Dados Geoespaciais Digitais da ASPRS de 2014;
- c) Analisar a normalidade dos dados da amostra conforme *Shapiro-Wilk*;
- d) Analisar a tendência dos dados da amostra conforme teste *t de Student*;
- e) Gerar diagrama de caixa (*Boxplot*) e gráfico com a dispersão das discrepâncias planimétricas e altimétricas;
- f) Gerar tabela com valores da média, desvio padrão, variância, raiz do erro quadrático médio (REQM), máximo, mínimo, curtose, assimetria e soma das discrepâncias;
- g) Gerar tabela com as discrepâncias dos pontos;
- h) Exportar as tabelas com os resultados em arquivos txt e xlsx;
- i) Gerar relatório com os cálculos intermediários até a obtenção dos resultados em arquivo de texto (.docx).

## IMPORTAÇÃO DE DADOS

A importação dos dados pode ser realizada por meio de arquivos de texto (.txt), com arquivos de planilha (.xlsx) ou manualmente. Para importar arquivos, deve-se acessar o menu “Entrada de Dados” no *PyPEC* e selecionar a opção “Importar Dados”. Será aberta uma janela para ser selecionado o tipo de arquivo e quais informações estão disponíveis.

Para uso de arquivos de texto, a Figura 1 apresenta um exemplo com um arquivo completo. Na primeira linha, deve ser colocado o título de identificação do trabalho. Na segunda linha o cabeçalho, começando com o ID do ponto, a descrição, a componente E de referência em metros, a componente N de referência em metros, a componente H de referência em metros, a componente E de teste em metros, a componente N teste em metros e a componente H teste em metros. A coluna Descrição não é obrigatória, podendo ser retirada. A ordem de primeiro os pontos de referência e depois os pontos de teste devem ser respeitados. Depois do último ponto inserido, tem que deixar uma linha em branco, apenas uma, para leitura correta dos dados. O separador decimal pode ser vírgula ou ponto.

Figura 1 – Exemplo de preenchimento de arquivo de texto para importação de dados com coordenadas pelo software PyPEC

Processamento 5								Título de identificação		
ID	Descrição	E Ref	N Ref	H Ref	E Teste	N Teste	H Teste	Cabeçalho		
PE01	Poste	178660,50300	8253626,88500	1123,09600	178657,15200	8253627,49700	1109,35999			
PE03	Bueiro	821279,44900	8253945,73500	1119,14600	821275,94800	8253945,90100	1107,05652			
PE04	Árvore	820990,53400	8255045,11300	1125,09600	820987,69900	8255044,13300	1120,57849			
PE07		821266,49100	8255657,34500	1133,26800	821265,52300	8255655,58900	1132,79053			
PV01		821383,59800	8255526,59400	1134,85400	821382,72700	8255524,65900	1131,51563			
PE08		821443,91500	8255451,35000	1135,02300	821443,12100	8255449,47700	1130,35620			
PE09		178648,45000	8255263,84200	1133,82300	178647,71900	8255262,02700	1125,87305			
PI20		178859,97200	8254154,02600	1140,92200	178858,08200	8254152,50200	1127,98718			
								Enter Final		

Fonte: Autoria própria (2023).

Os mesmos passos devem ser seguidos para entrada com planilha, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Exemplo de preenchimento de planilha para importação de dados com coordenadas pelo software PyPEC.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Processamento 5							
2	ID	Descrição	E Ref	N Ref	H Ref	E Est	N Est	H Est
3	PE01	Poste	178660,50300	8253626,88500	1123,09600	178657,15200	8253627,49700	1109,35999
4	PE03	Bueiro	821279,44900	8253945,73500	1119,14600	821275,94800	8253945,90100	1107,05652
5	PE04	Árvore	820990,53400	8255045,11300	1125,09600	820987,69900	8255044,13300	1120,57849
6	PE07		821266,49100	8255657,34500	1133,26800	821265,52300	8255655,58900	1132,79053
7	PV01		821383,59800	8255526,59400	1134,85400	821382,72700	8255524,65900	1131,51563
8	PE08		821443,91500	8255451,35000	1135,02300	821443,12100	8255449,47700	1130,35620
9	PE09		178648,45000	8255263,84200	1133,82300	178647,71900	8255262,02700	1125,87305
10	PI20		178859,97200	8254154,02600	1140,92200	178858,08200	8254152,50200	1127,98718

Fonte: Autoria própria (2023).

Para entrar com discrepâncias, é feito da mesma maneira, tanto para o arquivo de texto quanto para a planilha. A Figura 3.(a) mostra o exemplo de entrada com arquivo de texto e a Figura 3.(b) com planilha.

Figura 3 – Exemplo de preenchimento de arquivo de texto e planilha para importação de dados com discrepâncias pelo software PyPEC

Discrepâncias					Título de identificação		
ID	DESCRIÇÃO	DISC E	DISC N	DISC H	Cabeçalho		
7	Poste	-1,048	-0,720	-1,693			
15	Árvore	-1,120	-0,426	0,523			
16	Bueiro	-0,639	-0,205	-1,051			
17		-0,388	0,273	-1,004			
22		-0,184	-0,799	-0,514			
24		-0,604	-0,187	-0,458			
27	Árvore	-1,036	-0,639	-1,921			
					Enter final		

(a)

	A	B	C	D	E
1	Discrepâncias				
2	ID	DESCRIÇÃO	DISC E	DISC N	DISC H
3	7	Poste	-1,048	-0,720	-1,693
4	15	Árvore	-1,120	-0,426	0,523
5	16	Bueiro	-0,639	-0,205	-1,051
6	17		-0,388	0,273	-1,004
7	22		-0,184	-0,799	-0,514
8	24		-0,604	-0,187	-0,458
9	27	Árvore	-1,036	-0,639	-1,921

(b)

Fonte: Autoria própria (2023).

O *PyPEC* também permite entrar com os dados manualmente, digitando um por um. No menu “Entrada de Dados”, deve-se acessar a opção “Digitar Coordenadas” ou “Digitar Discrepâncias”. Após, deve-se digitar as informações e aperte o botão “Inserir”. Nas Figuras 4 e 5 são fornecidos exemplos de dados inseridos no programa de forma manual.

Figura 4 – Inserção de coordenadas ponto a ponto no *software PyPEC*

ID	Descrição	E Checagem (m)	N Checagem (m)	H Checagem (m)	E Estimado (m)	N Estimado (m)	H Estimado (m)
ck23		444918,236	666937,560		444918,370	666937,123	
ck1		434888,206	6669308,181		434888,27	6669348,143	
ck2		434932,25	6669306,819		434932,196	6669306,236	
ck3		434931,482	6669306,38		434931,494	6669306,236	
ck4		434943,655	6669373,98		434943,655	6669374,085	
ck5		434890,754	6669612,693		434890,831	6669612,505	
ck6		434886,794	6669608,379		434886,862	6669608,457	
ck7		434925,588	6669722,839		434925,609	6669722,936	
ck8		435189,957	6669716,32		435190,043	6669715,409	
ck9		435111,558	6669823,377		435111,637	6669823,38	
ck10		435184,723	667041,763		435184,748	667041,774	

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 5 – Inserção de discrepâncias ponto a ponto no *software PyPEC*

ID	Descrição	Discrepância E (m)	Discrepância N (m)	Discrepância H (m)
113		0,380	0,172	-2,660
7	Ponte	-1,048	-0,72	-1,683
15	Árvore	-1,12	-0,426	0,523
16	Buero	-0,639	-0,205	-1,051
17		-0,388	0,273	-1,004
22		-0,184	-0,799	-0,514
24		-0,604	-0,187	-0,438
27	Árvore	-1,038	-0,639	-1,921
38		-0,115	-0,384	-0,878
34		1,5	0,964	-1,037

Fonte: Autoria própria (2023).

## CÁLCULOS

Depois da inserção dos dados, pode-se realizar os cálculos. Ao clicar no menu “Legislação”, deve-se escolher a norma que se deseja utilizar para calcular a acurácia posicional.

Ao clicar na opção “Decreto 89.817/ET-ADGV” será aberta uma janela, na qual deve-se inserir a escala de trabalho e a equidistância entre as curvas de nível, caso esteja trabalhando com dados altimétricos, para a realização dos cálculos.

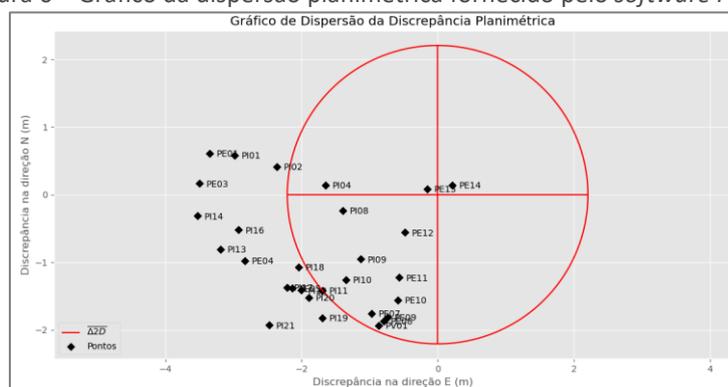
Após clicar em “Calcular”, o *software* fornece uma tabela com os resultados estatísticos da média, desvio padrão, variância, raiz do erro quadrático médio, máximo, mínimo, curtose, assimetria e a soma das discrepâncias, no canto inferior esquerdo. Já no canto inferior direito outra tabela é apresentada com os valores das discrepâncias posicionais de cada ponto. Na parte central, são apresentados em abas os resultados principais, que neste caso são o teste de Normalidade por *Shapiro-Wilk* e teste de tendência por *t de Student*, sendo os dois apresentados para todas as normas. Para a opção “Decreto 89.817/ET-ADGV” ainda terá as abas: resultado da acurácia planimétrica pelo Decreto 89.817/1984 e a altimétrica pela mesma norma; a acurácia planimétrica e altimétrica da ET-ADGV/ET-CQDG e; o resumo dos resultados.

Nas opções “INCRA”, que fornece o resultado conforme Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA e “ASPRS” não é necessário inserir mais nenhum dado além das coordenadas/discrepâncias, clicar em “Calcular” e gerar as tabelas, resultado da acurácia posicional e os gráficos.

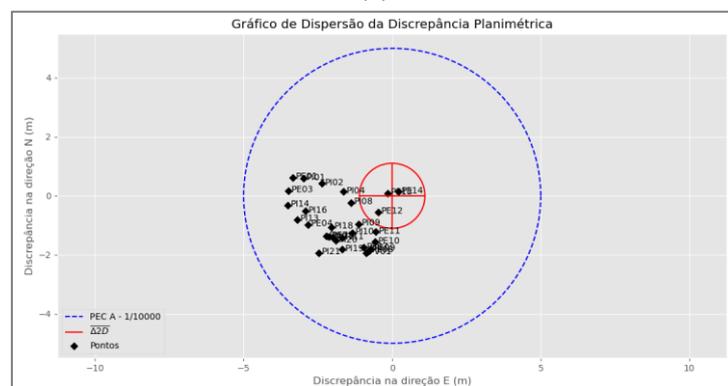
Na aba “Resumo dos Resultados” é disponibilizada a acurácia posicional, o teste de tendência e normalidade, além de gráficos com a dispersão e *Boxplot* das discrepâncias planimétricas e altimétricas.

O gráfico de dispersão planimétrica (Figura 6.(a)) apresenta os pontos dispersos em relação à sua média (círculo vermelho). Especificamente para o caso do Decreto nº 89.817/1984, é apresentado também o valor da tolerância PEC, círculo azul, e a dispersão dos pontos, como exposto pela Figura 6.(b).

Figura 6 – Gráfico da dispersão planimétrica fornecido pelo software *PyPEC*



(a)

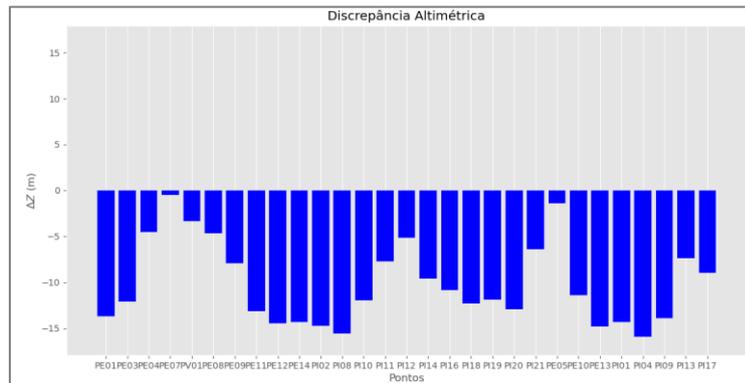


(b)

Fonte: Autoria própria (2023).

O gráfico da dispersão altimétrica, Figura 7, em formato de histograma, fornece a distribuição da discrepância altimétrica. Nesse caso, todas as discrepâncias são negativas, sendo um indicativo de presença de efeito sistemático.

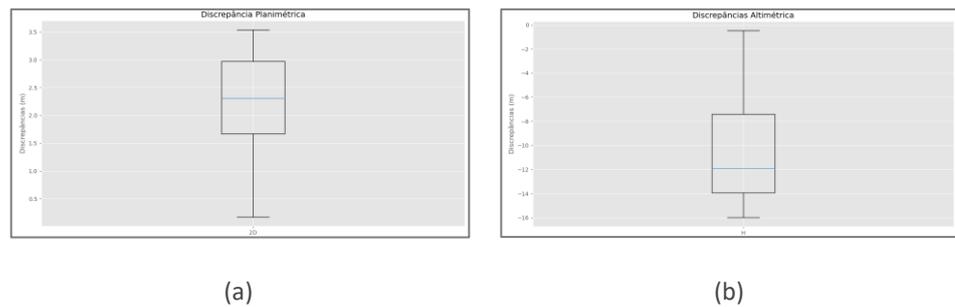
Figura 7 – Gráfico da dispersão altimétrica fornecido pelo *PyPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 8.(a) e 8.(b) são apresentados os *Boxplots* das discrepâncias planimétricas e altimétricas, respectivamente, disponibilizado pelo *PyPEC*.

Figura 8 – *Boxplot* da discrepância planimétrica seguindo todas as normas, fornecido pelo *software PyPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

## RELATÓRIOS E EXPORTAÇÃO DE TABELAS

Após o cálculo da acurácia posicional conforme norma escolhida, o usuário poderá gerar o relatório, em arquivo de documento (.docx), que fornece não apenas as tabelas mostradas no *software*, como também a explicação da metodologia aplicada e os cálculos intermediários e finais para fornecer a acurácia posicional, facilitando assim o entendimento dos resultados. Para gerar o relatório, é preciso ir no menu “Relatório” e clicar em “Gerar Relatório”

Será aberta uma janela onde deve-se escolher a norma que foi calculada e preencher as informações pedidas pelo *software*. Ao clicar em “Salvar”, será aberta uma janela para escolher o nome do documento e local no computador onde será salvo o arquivo.

O *PyPEC* também fornece a possibilidade de exportar as tabelas com os resultados da acurácia posicional, dos cálculos estatísticos, das discrepâncias e coordenadas. Essas tabelas podem ser exportadas para arquivos de texto ou planilha, sem a metodologia. Para isso, deve-se acessar o menu “Arquivo”, “Exportar” e escolha a opção desejada.

## VALIDAÇÃO DOS DADOS

A validação dos resultados obtidos com o *PyPEC*, foi realizado através da comparação destes com os alcançados por análises realizado por Battaglini (2018), utilizando o Decreto nº 89.817; por Menezes e Cruz (2018) avaliando os limites do INCRA; e pelo exemplo fornecido pela ASPRS. Além disso, foi comparado com os resultados fornecidos pelo programa *GeoPEC* disponível na página [www.geopec.com.br](http://www.geopec.com.br).

## RESULTADO CONFORME CRITÉRIOS DO DECRETO 89.817/1984

O trabalho desenvolvido por Battaglini (2018) teve o objetivo de estabelecer condições que permitiram a realização do imageamento de lotes de terreno utilizando pontos de apoio em campo com receptor GNSS e aerofotogrametria por RPA (Aeronave Remotamente Pilotada), alcançando-se levantamentos planialtimétricos que atendam o PEC Classe A na escala 1:1000.

Os pontos de referência foram obtidos com o GPS topográfico *ProMark2™* de frequência simples (L1) da *Ashtech®*. Foram processados 29 pontos e inseridos no *PyPEC* para o cálculo da acurácia.

Na Tabela 7 estão os resultados obtidos por Battaglini (2018) que serão comparados com os resultados do *PyPEC* apresentados nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

Tabela 7 – Resultados dos dados de Battaglini (2018)

Teste de Normalidade - Teste de <i>Shapiro-Wilk</i>			
W calc (N) = 0,9144	W calc (E) = 0,9682	W calc (2D) = 0,9547	W calc (Z) = 0,9172
p-value (N) = 0,0221	p-value (E) = 0,5133	p-value (N) = 0,2416	p-value (N) = 0,02600
Resultado: Amostra Normal em E e 2D - Amostra Não Normal em N e Z			
Tendência - Teste <i>t de Student</i>			
t calc (E) = -9,0243	t calc (N) = -5,7507	t calc (Z) = -12,3155	
t tabelado = 1,7011			
Resultado: Existência de Efeito Sistemático			
Classificação do PEC			
REQM (E) = 2,0491 m	REQM (N) = 1,1994 m	REQM (2D) = 2,3743 m	REQM (Z) = 11,1160 m
EP (2D) = 3,00 m	EP (Z) = 33,33 m	REQM < Erro Padrão	
PEC (2D) = 5,00 m	PEC (Z) = 50,00 m	% discrepâncias < PEC = 100%	
Resultado: PEC Classe A na Escala 1/10000 e Equidistância das Curvas de Nível de 100 m			

Fonte: Battaglini (2018).

Figura 9 – Resultado do teste de normalidade *Shapiro-Wilk* fornecido pelo *PyPEC*

Teste de Shapiro-Wilk - Nível de Confiança ( $\alpha$ ) = 5%

Discrepâncias	W Calculado	p-valor
$\Delta E$	0,968	0,514
$\Delta N$	0,914	0,022
$\Delta H$	0,917	0,026
$\Delta 2D$	0,955	0,241

Se p-valor > 0,05 → A amostra das discrepâncias provém de uma população normal  
 Se p-valor < 0,05 → A amostra das discrepâncias não provém de uma população normal  
**Resultado: Amostra Normal em E e 2D - Amostra Não Normal em N e H**

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 10 – Resultado do teste de tendência *t de Student* fornecido pelo *PyPEC*

Teste T de Student - Nível de Confiança ( $\alpha$ ) = 10%

Discrepâncias	t calculado	t tabelado
$\Delta E$	-9,024	1,701
$\Delta N$	-5,751	1,701

Se |t calculado| < t tabelado → Não há existência de tendência nesta direção  
 Se |t calculado| > t tabelado → Há existência de tendência nesta direção  
**Resultado: Existência de Efeito Sistemático em E e N**

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 11 – Resultado da classificação PEC planimétrico fornecido pelo *PyPEC*

Classificação da acurácia pelo Decreto nº 89.817 - Planimetria

Classe	PEC (m)	EP (m)
A	5,0	3,0
B	8,0	5,0
C	10,0	6,0

REQM 2D (m)	PEC (m)	EP (m)	REQM (2D) < EP	% $\Delta 2D$ < PEC
2,4	5,0	3,0	Sim	100,0

**Resultado: PEC Classe A na Escala 1/10000**

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 12 – Resultado da classificação PEC altimétrico fornecido pelo *PyPEC*

Classificação da acurácia pelo Decreto nº 89.817 - Altimetria

Classe	PEC (m)	EP (m)
A	50,0	33,3
B	60,0	40,0
C	75,0	50,0

REQM H (m)	PEC (m)	EP (m)	REQM (H) < EP	% $\Delta H$ < PEC
11,1	50,0	33,3	Sim	100,0

**Resultado: PEC Classe A com Equidistância de 100m**

Fonte: Autoria própria (2023).

Comparando a Tabela 7 com os resultados obtidos pelo *PyPEC*, nas Figuras 9, 10, 11 e 12, percebe-se a igualdade da classificação quanto ao Decreto nº 89817 (BRASIL, 1984) e os resultados dos testes de normalidade e tendência. A amostra segue distribuição normal nas componentes E e 2D e não normal nas componentes N e H. Para a tendência a amostra apresenta existência de efeito sistemático. Os resultados da classificação, tanto no planimétrico quanto no altimétrico, foram a classe A.

## RESULTADO CONFORME CRITÉRIOS DA ET-ADGV/ET-CQDG

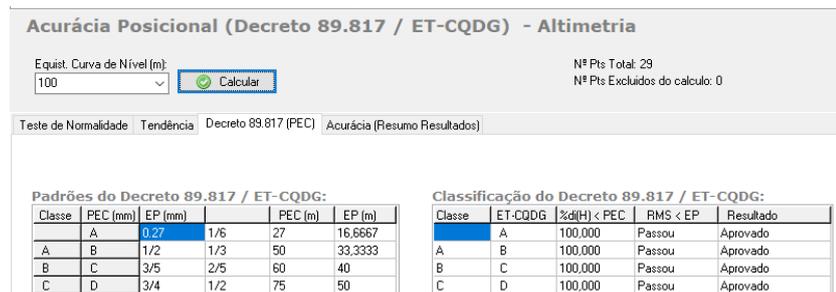
Os dados fornecidos no trabalho de Battaglini (2018) também foram utilizados para avaliar o PEC-PCD conforme a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). O *GeoPEC* fornece esse resultado nas Figuras 13 e 14 do qual será comparado com os resultados fornecidos pelo *PyPEC* nas Figuras 15 e 16.

Figura 13 – Resultado da classificação PEC-PCD planimétrico fornecido pelo *GeoPEC*



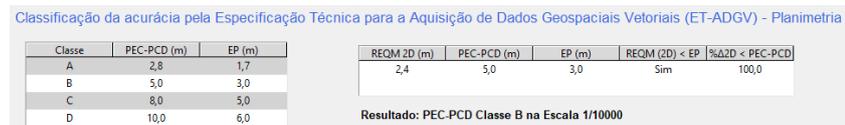
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 14 – Resultado da classificação PEC-PCD altimétrico fornecido pelo *GeoPEC*



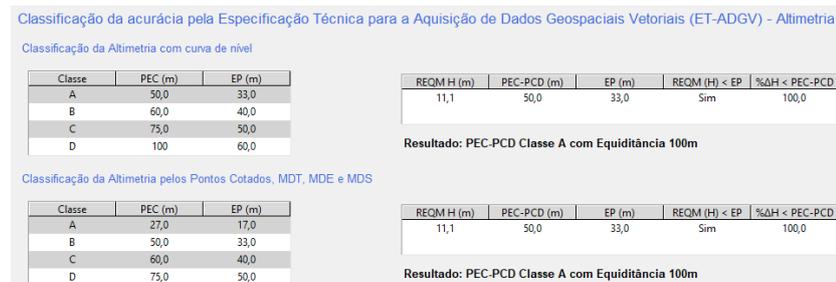
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 15 – Resultado da classificação PEC-PCD planimétrico fornecido pelo *PyPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 16 – Resultado da classificação PEC-PCD altimétrica fornecido pelo *PyPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

Comparando os resultados da Figura 13, disponibilizado pelo *GeoPEC*, com a Figura 15, disponibilizado pelo *PyPEC*, percebe-se que os dois enquadraram os dados na Classe B do PEC-PCD planimétrico com escala 1/10000, assim como, na Figura 14 e 16, *GeoPEC* e *PyPEC* respectivamente, a classificação altimétrica é A para ambos.

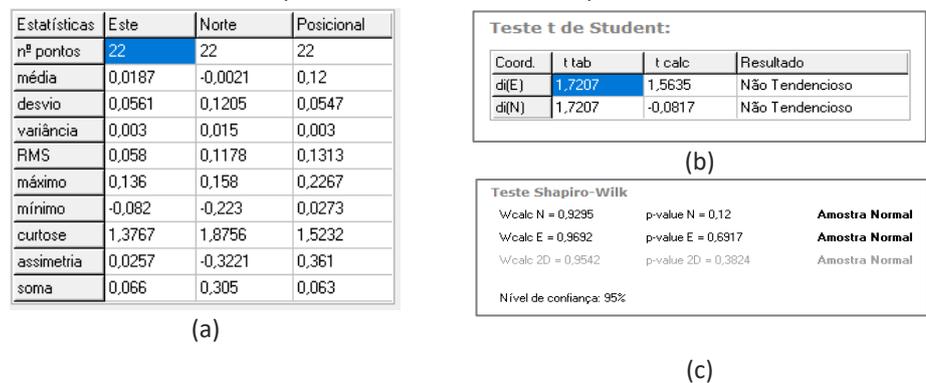
No *PyPEC* foi disponibilizado a classificação altimétrica dos pontos cotados, MDT, MDE e MDS, como mostrado na ET-ADGV, na Figura 16.

## RESULTADO CONFORME CRITÉRIOS DA NORMA DE EXECUÇÃO Nº 02/2018 DO INCRA

Para avaliar os resultados disponibilizados pelo *PyPEC* referente a acurácia posicional absoluta do produto cartográfico segundo a especificação da Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA foram utilizados os dados disponíveis em Menezes e Cruz (2018) e o programa *GeoPEC*.

Na Figura 17 (a), (b) e (c) estão os resultados dos cálculos estatísticos, o teste de tendência por *t de Student* e o teste de normalidade por *Shapiro-Wilk* obtidos pelo *GeoPEC* e na Figura 18 é disponibilizado o resultado do limite fornecido pelo *GeoPEC*.

Figura 17 – Resultados estatísticos, teste de normalidade por *Shapiro-Wilk* e teste de tendência por *t de Student* fornecidos pelo *GeoPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 18 – Resultado da acurácia posicional conforme Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA fornecido pelo *GeoPEC*



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 19, 20 e 21 estão os resultados estatísticos, o teste de normalidade e teste de tendência disponibilizado pelo *PyPEC*. Na Figura 22 é apresentado o resultado da acurácia posicional conforme a Norma de Execução do INCRA.

Figura 19 – Resultados estatísticos fornecidos pelo *PyPEC* para a Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA

Estadística	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta 2D$ (m)
Média (m)	0,019	-0,002	0,0	0,12
Desvio Padrão (m)	0,056	0,121	0,0	0
Variância	0,003	0,015	0,0	0,003
REQM (m)	0,058	0,118	0,0	0,131
Máximo (m)	0,136	0,158	0,0	0,227
Mínimo (m)	-0,082	-0,223	0,0	0,027
Curtose	-0,632	-0,814	-3,0	-0,43
Assimetria	0,063	-0,369	0,0	0,426
Soma (m)	0,411	-0,047	0,0	2,639

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 20 – Resultado do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* fornecido pelo *PyPEC*

Teste de Shapiro-Wilk - Nível de Confiança ( $\alpha$ ) = 5%

Discrepâncias	W Calculado	p-valor
$\Delta E$	0,969	0,692
$\Delta N$	0,93	0,12
$\Delta H$	1,0	1,0
$\Delta ZD$	0,954	0,382

Se p-valor > 0,05 → A amostra das discrepâncias provém de uma população normal  
 Se p-valor < 0,05 → A amostra das discrepâncias não provém de uma população normal  
**Resultado: Amostra Normal**

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 21 – Resultado do teste de tendência *t de Student* fornecido pelo *PyPEC*

Teste T de Student - Nível de Confiança ( $\alpha$ ) = 10%

Discrepâncias	t calculado	t tabelado
$\Delta E$	1,522	1,721
$\Delta N$	-0,081	1,721

Se |t calculado| < t tabelado → Não há existência de tendência nesta direção  
 Se |t calculado| > t tabelado → Há existência de tendência nesta direção  
**Resultado: Sem tendência em E e N**

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 22 – Resultado da acurácia posicional conforme Norma de Execução nº 02/2018 do INCRA fornecido pelo *PyPEC*

Norma de Execução INCRA

Calcular

Teste de Normalidade	Teste t de Student	Classificação INCRA	Resumo dos Resultados
Teste de Normalidade	Teste de Tendência	Classificação INCRA	
Amostra Normal	Sem tendência em E e N	Limite: Artificial	

Fonte: Autoria própria (2023).

O resultado de normalidade e de não tendenciosidade foi obtido pelo *GeoPEC* quanto pelo *PyPEC*, com isso, os dados foram avaliados como acurado posicionalmente para Limite Artificial.

## RESULTADO CONFORME CRITÉRIOS DA ASPRS

Foram utilizados dados apresentados pela própria ASPRS para avaliar o resultado da acurácia posicional do produto cartográfico. É uma amostra com cinco pontos com coordenadas planimétricas e altimétricas. Na Figura 23 estão disponíveis as coordenadas dos pontos, os cálculos estatísticos, além dos resultados da acurácia planimétrica e altimétrica, para um terreno não vegetado (NVA).

Os valores das discrepâncias, os resultados dos cálculos estatísticos e da acurácia posicional planimétrica e altimétrica fornecidos pelo programa *PyPEC* estão apresentados nas Figuras 24, 25, 26 e 27, sendo que na Figura 28 está o resumo dos resultados.

Figura 23 – Acurácia planimétrica e altimétrica segundo especificações da ASPRS (2015)

Point ID	Map-derived Values			Surveyed Check Point Values			Residuals (Errors)		
	Easting (E) meters	Northing (N) meters	Elevation (H) meters	Easting (E) meters	Northing (N) meters	Elevation (H) meters	$\Delta x$ (Easting) meters	$\Delta y$ (Northing) meters	$\Delta z$ (Elevation) meters
GCP1	359584.394	5142449.934	477.127	359584.534	5142450.004	477.198	-0.140	-0.070	-0.071
GCP2	359872.190	5147939.190	412.406	359872.290	5147939.280	412.396	-0.100	-0.100	0.010
GCP3	359893.089	5136979.824	487.292	359893.072	5136979.894	487.190	0.017	-0.070	0.102
GCP4	359927.194	5151094.129	393.591	359927.264	5151083.979	393.691	-0.070	0.150	-0.100
GCP5	372737.074	5151675.999	451.305	372736.944	5151675.879	451.218	0.130	0.120	0.087
Number of check points							5	5	5
Mean Error (m)							-0.033	0.006	0.006
Standard Deviation (m)							0.108	0.119	0.091
RMSE (m)							0.102	0.106	0.081
RMSEr (m)							0.147	=SQRT(RMSE <sub>x</sub> <sup>2</sup> +RMSE <sub>y</sub> <sup>2</sup> )	
NSSDA Horizontal Accuracy, (ACC <sub>r</sub> ) at 95% Confidence Level							0.255	=RMSEr x 1.7308	
NSSDA Vertical Accuracy, (ACC <sub>z</sub> ) at 95% Confidence Level							0.160	=RMSEz x 1.9600	

Fonte: ASPRS (2015).

Figura 234 – Resultados das discrepâncias fornecidas pelo PyPEC

ID	Descrição	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta 2D$ (m)
GCP1		-0,140	-0,070	-0,071	0,157
GCP2		-0,100	-0,100	0,010	0,141
GCP3		0,017	-0,070	0,102	0,072
GCP4		-0,070	0,150	-0,100	0,166
GCP5		0,130	0,120	0,087	0,177

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 245 – Resultados estatísticos fornecidos pelo PyPEC

Estatística	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta 2D$ (m)
Média (m)	-0,033	0,006	0,006	0,142
Desvio Padrão (m)	0,108	0,119	0,091	0,041
Variância	0,012	0,014	0,008	0,002
REQM (m)	0,102	0,106	0,081	0,147
Máximo (m)	0,130	0,150	0,102	0,177
Mínimo (m)	-0,140	-0,100	-0,100	0,072
Curtose	0,004	-3,042	-2,678	3,144
Assimetria	0,942	0,595	-0,107	-1,717
Soma (m)	-0,163	0,030	0,028	0,712

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 256 – Resultados da acurácia planimétrica seguindo a norma da ASPRS fornecido pelo PyPEC

Padrões de Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais (ASPRS)

Calcular

Teste de Normalidade | Teste t de Student | ASPRS - Planimetria | ASPRS - Altimetria | Resumo dos Resultados

Classificação da acurácia pelo ASPRS - Planimetria

Classe da Acurácia Planimétrica (m)	REQM(E) e REQM(N) (m)	REQM (2D) (m)	Acurácia Planimétrica com 95% de Nível de Confiança (m)
X	≤ X	≤ 1,414 · X	≤ 2,448 · X

Classe da Acurácia Planimétrica (m)	REQM(E) e REQM(N) (m)	REQM (2D) (m)	Acurácia Planimétrica com 95% de Nível de Confiança (m)
0,104	0,104	0,147	0,255

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 267 – Resultados da acurácia altimétrica seguindo a norma da ASPRS fornecido pelo PyPEC

Padrões de Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais (ASPRS)

Calcular

Teste de Normalidade | Teste t de Student | ASPRS - Planimetria | ASPRS - Altimetria | Resumo dos Resultados

Classificação da acurácia pelo ASPRS - Altimetria

Classe da Acurácia Altimétrica (m)	REQM(H) Não Vegetado (m)	VVA com nível de confiança de 95% (m)	NVA com nível de confiança de 95% (m)
X	≤ X	≤ 1,96 · X	≤ 3,00 · X

Classe da Acurácia Altimétrica (m)	REQM(H) Não Vegetado (m)	NVA com nível de confiança de 95% (m)	VVA com nível de confiança de 95% (m)
0,081	0,081	0,160	0,244

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 278 – Resumo dos resultados disponibilizados pelo *PyPEC*

Padrões de Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais (ASPRS)			
Teste de Normalidade	Teste t de Student	ASPRS - Planimetria	ASPRS - Altimetria
Teste de Normalidade			Teste de Tendência
Amostra Normal			Sem tendência em E e N
		Resumo dos Resultados	
		Classificação ASPRS	
		Acurácia Planimétrica: 0,255 m	
		Acurácia Posicional Altimétrica (NVA): 0,160 m	
		Acurácia Posicional Altimétrica (VVA): 0,244 m	

Fonte: Autoria própria (2023).

Ao comparar a Figura 23, disponível na norma da ASPRS (2015), com as Figuras de 27 a 28, com os resultados obtidos com o *PyPEC*, percebe-se que os valores foram iguais, com a mesma acurácia planimétrica e altimétrica com nível de confiança de 95%.

Assim, os resultados da acurácia posicional de todas as normas disponibilizadas pelo *PyPEC* foram comparados com fontes confiáveis de artigos, normas e com o *GeoPEC*, fornecendo maior confiança em seus resultados.

## CONCLUSÃO

O *PyPEC* foi desenvolvido com o objetivo de contribuir na análise da acurácia posicional de produtos cartográficos com o cálculo da acurácia posicional seguindo normas brasileiras e internacionais. O *PyPEC* fornece resultados estatísticos e gráficos com o objetivo de melhorar a avaliação do comportamento dos dados.

A geração do relatório com a metodologia aplicada foi pensada para auxiliar o entendimento do usuário com o comportamento dos dados, identificação de erros e caminho para avaliação do produto cartográfico.

O *PyPEC* foi inspirado no programa *GeoPEC*, desenvolvido por Santos (2008), e difere na disponibilização do cálculo da acurácia segundo a norma da ASPRS (2015); na geração de relatório, modo texto, com a descrição das metodologias aplicadas, mostrando os cálculos intermediários e finais de acordo com cada norma/especificação; na classificação, segundo a ET-ADGV, os dados altimétricos diferenciando os produtos cartográficos de Modelos Digitais de Terreno, de Elevação e de Superfície e para os pontos cotados com os produtos não enquadrados nesses especificações; geração de gráficos de dispersão da discrepância e *Boxplot*; e importação das discrepâncias dos pontos diretamente.

O *GeoPEC* por sua vez tem amostragem; diferentes metodologias para o Decreto nº 89.817/ET-CQDG; detecção de *outliers*; possibilidade de retirar dados no processo; cálculo da acurácia segundo a norma técnica brasileira de execução de levantamento topográfico; e outros testes de tendência.

Com isso, o *software* apresentado neste trabalho vem para complementar o desenvolvido por Santos (2008). Assim, chega-se ao objetivo principal de fornecer um programa computacional para apoiar estudantes e profissionais a compreenderem melhor as etapas seguidas para a avaliação da qualidade posicional de um produto cartográfico.

# PyPEC: software for evaluating the positional accuracy of cartographic products

## ABSTRACT

The present paper deals with developing software called PyPEC, which evaluates the positional quality of digital cartographic products by calculating the position accuracy of Brazilian and international standards. The specifications in the implementation of the software were: Decree nº 89.817 of June 20, 1984, allied to the Technical Quality Specification for Geospatial Quality Control (ET-CQDG), the Execution Norm INCRA/DF/nº 02 of February 19, 2018, and the Standard of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing of the United States (ASPRS) of 2014. The Python language was used with a Spyder IDE to implement the software. The results were validated with PyPEC compared with scientific data and with the GeoPEC software. The main difference in PyPEC concerning processing is the possibility of using it as ASPRS specifications. Thus, the PyPEC software serves the purpose of helping students and professionals to understand better the steps taken to assess the positional quality of a cartographic product.

**KEYWORDS:** PyPEC. Position accuracy. Decree nº 89.817 / 1984. ET-ADGV. INCRA. ASPRS. ET-CQDG.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* v. 81, n. 3, p. A1-A26, 2015.

BARBOSA, L. da S.; SOUZA, L. M. de; CUNHA, M. J. P. da; SANTOS, A. P. dos. Análise Comparativa das Normas de Controle de Qualidade Posicional de Produtos Cartográficos do Brasil, do INCRA e da ASPRS. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 3, 2021. <https://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n3-59581>

BATTAGLINI, N. M. do C. L. G. **Avaliação de exatidão cartográfica de levantamentos planialtimétricos realizados com aeronave remotamente pilotada (RPA)**. Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

BRASIL. Decreto Nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, Brasil. 1984.

CARVALHO, J. A. B. de; SILVA, D. C. da; Métodos para avaliação da acurácia posicional altimétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 2, p. 725-744, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000400036>

DSG. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) Versão 2.1.3. 1ª ed. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2011.

DSG. Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). 1ª ed. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2016.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento. 1.ª ed. Brasília: MDA, 2013.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/media/institucional/norma%20tecnica%20para%20georreferenciamento%20de%20imoveis%20rurais%203%20edi%C3%A7ao.pdf>>. Acesso em: 02 de ago. de 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19157: 2013 Geographic information-Data quality. 2013.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. Tradução de Luciane Paulete Viana. Revisão técnica de Fernanda Cesar Bonafini. 4. Ed. São Paulo: Pearson, 2010. 658 p.

MENEZES, L. C.; CRUZ, V. C. da. Georreferenciamento de imóveis rurais com fotogrametria: aplicação da norma de execução 02/2018 do INCRA à estação experimental agrônômica da UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018. 97 p. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/189235/001088661.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 de ago. de 2021.

SANTOS, A. de P. dos. Avaliação do padrão de exatidão cartográfica em imagens Ikonos e CBERS-2b na bacia do ribeirão São Bartolomeu, em Viçosa-MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008. 28 p.

SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n.2, p. 90-105, 2015. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v3n2.5467>.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K. da; MENDES JUNIOR, C.W. Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação SRTM, ALOS Word 3d e ASTER GDEM: Um Estudo de Caso no Vale dos Vinhedos, RS – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, 2020.

**Recebido:** 16 abr. 2023

**Aprovado:** 28 fev. 2024

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v12n1.16685

**Como citar:** CALDERARO, R. P.; CARVALHO, A. S.; SANTOS, A. P.. PyPEC software para avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 098-118, jan./jun. 2024. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Claudinei Rodrigues de Aguiar

Rua Mamoré, 53, CEP 36025-280, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

**Direito Autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

