

## **PROCESSOS DE CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE MODELO DIGITAL DE TERRENO E DE SUPERFÍCIE ADQUIRIDO POR PERFILAMENTO A LASER**

### ***Quality Control Processes for Digital Terrain Model and Digital Surface Model by LiDAR Acquisition Data***

#### **CARLA JULLIANE MARQUES DE MOURA**

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG  
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n - 2º andar, DECart - Cidade Universitária, CEP: 50740-530 Recife/PE, Brasil  
[carla.marques@ufpe.br](mailto:carla.marques@ufpe.br)

#### **GUSTAVO DE PAULA GOMES** **Universidade Federal de Pernambuco**

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG  
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n - 2º andar, DECart - Cidade Universitária, CEP: 50740-530 Recife/PE, Brasil  
[gustavo.paula@ufpe.br](mailto:gustavo.paula@ufpe.br)

#### **THYAGO DE SOUSA LINS** **Universidade Federal de Pernambuco**

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG  
Graduando em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura  
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n - 2º andar, DECart - Cidade Universitária, CEP: 50740-530 Recife/PE, Brasil  
[thyagosouza10@gmail.com](mailto:thyagosouza10@gmail.com)

#### **SIMONE SAYURI SATO** **Universidade Federal de Pernambuco**

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG  
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n - 2º andar, DECart - Cidade Universitária, CEP: 50740-530 Recife/PE, Brasil  
[simone.sato@ufpe.br](mailto:simone.sato@ufpe.br)

#### **Resumo:**

Este artigo aborda a verificação da qualidade posicional de dados geoespaciais altimétricos do Município de Cabo Santo Agostinho, PE. Inicialmente, destaca-se a importância crescente da geoinformação e a necessidade de controle de qualidade da mesma em conformidade com as normas ET-CQDG: 2016 e NBR 14047:2022. Métodos de amostragem foram estudados e analisados, optando-se para o uso de seleção de amostras, segundo as especificações da ISO 19157 (2013). A metodologia é apresentada, bem como é avaliado o Padrão de Acurácia Cartográfico Digital (PEC-PCD) do MDT do Pernambuco Tridimensional (PE3D). Foi utilizado, um script em Python capaz de selecionar amostras por áreas no QGIS de nome "Sample Areas Grid for Quality Review", que possibilitou a automatização dos processos de seleção e distribuição de áreas de inspeção para realização do controle de qualidade da acurácia posicional. Uma análise estatística dos dados foi realizada com o software GeoPEC. Os

resultados indicaram que o produto avaliado atendeu aos requisitos da Classe A altimétrica conforme o PEC-PCD. Os testes estatísticos como T Student e Shapiro-Wilk confirmaram a validade da amostragem adotada, revelando uma distribuição normal das discrepâncias. Conclui-se que a metodologia desenvolvida neste estudo, facilita verificar a conformidade do MDT com as normativas estabelecidas, como também proporciona insights sobre a qualidade dos dados cartográficos.

**Palavras-chave:** Geoinformação. Controle de Qualidade. Acurácia Posicional.

### **Abstract:**

This article discusses the verification of the positional quality of altimetric geospatial data for the municipality of Cabo Santo Agostinho, PE. Firstly, it emphasizes the increasing relevance of geoinformation and the necessity of quality control in conformance with the ET-CQDG: 2016 and NBR 14047:2022 standards. Sampling methods have been studied and analyzed, choosing to use sample selection according to the specifications of ISO 19157 (2013). The methodology is presented, as well as the Digital Cartographic Accuracy Standard (PEC-PCD) of the PE3D MDT. Python script was used to select samples by areas in QGIS called "Sample Areas Grid for Quality Review", allowing the selection and distribution of inspection areas to be customized for quality control of positional accuracy. A statistical analysis of the data was carried out using the GeoPEC software. The results indicated that the product evaluated satisfied the requirements of altimetric Class A according to the PEC-PCD. Statistical tests such as Student's T and Shapiro-Wilk confirmed the validity of the sampling adopted, demonstrating a normal distribution of discrepancies. It can be concluded that the methodology developed in this study makes it easier to verify the conformity of the MDT with the established standards, as well as providing insights into the quality of cartographic data.

**Keywords:** Geoinformation. Quality control. Positional Accuracy.

## **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente, há um crescente interesse global no cadastro 3D devido à sua capacidade de gerenciar de forma mais eficiente propriedades e direitos de terra. Observa-se uma tendência atual de utilização do espaço tanto acima quanto abaixo da superfície. Exemplos proeminentes incluem construções verticais (copropriedade), infraestrutura acima ou abaixo do solo, aumento da densidade de cabos e tubulações, e sobreposição de direitos públicos e privados, todos requerendo uma descrição cadastral 3D. Com a proliferação de sistemas e plataformas 3D, a aquisição de dados tridimensionais tornou-se mais acessível e simples. As nuvens de pontos desempenham um papel crucial na captura precisa dos limites de construções 3D tanto em ambientes internos quanto externos. (HAJJI; ASRI, EL; EZ-ZRIOULI, 2023).

O uso e acesso a informações geoespaciais têm crescido significativamente, refletindo um interesse global crescente no cadastro 3D e na gestão eficiente de propriedades e direitos de terra. Esta tendência evidencia uma preocupação crescente

com a qualidade dos dados geoespaciais, exigindo a implementação de ações de controle de qualidade para garantir a precisão e confiabilidade das informações disponibilizadas. Este artigo, resultado de um trabalho de conclusão de curso, aborda métodos para verificar e assegurar a qualidade dos dados, desde a amostragem até a classificação, conforme especificado na Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG: 2016) e na norma NBR 14047:2022, que define os procedimentos para levantamento territorial cadastral em registros públicos (REURB). A padronização torna-se crucial para a geração de produtos cartográficos confiáveis, dado o contexto atual de integração de sistemas e plataformas 3D.

De acordo com Nogueira Júnior (2003), o processo de produção de documentos cartográficos é, em sua essência, bastante complexo e envolve operações e métodos específicos, utilizando instrumentos sofisticados e precisos, com pessoal altamente qualificado para operá-los e em face dessa complexidade e da natureza do produto final obtido torna-se necessário a adoção de procedimentos de controle que garantam a sua qualidade. Segundo Santos (2013), para acompanhar esta evolução, sem perder a qualificação dos dados espaciais, é necessária a adoção de padrões. Estes entendimentos dos autores citados reforçam que a padronização é uma tendência que já ocorre atualmente na avaliação da qualidade de dados geoespaciais.

Existe hoje a utilização de produtos cartográficos a fim de controlar a expansão urbana em bases sustentáveis, identificar áreas de risco, assim como, tais produtos, têm um enorme potencial de utilização na realização de procedimentos públicos e privados que requerem um detalhamento preciso do terreno. Diante da importância dos produtos cartográficos, se faz necessário garantir a sua qualidade, onde Galo & Camargo (1994), Santos (2010) e Lunardi et al. (2012) observaram que o cuidado com a qualidade, seja ela posicional, geométrica, temporal ou temática, pode ser negligenciado no processo de análise ou produção de dados espaciais.

A ideia de controlar um processo para conseguir melhorias é totalmente diferente da ideia de inspecionar produtos para identificar os não conformes, embora os dois procedimentos utilizem em parte as mesmas ferramentas estatísticas (Juran, 1997). O procedimento adequado depende de diversos fatores que serão detalhados neste trabalho, a norma ISO (International Organization for Standardization) 19157, aborda seis elementos de qualidade são eles: Completude, Consistência Lógica, Acurácia Posicional, Acurácia Temática, Acurácia Temporal e Usabilidade.

No presente artigo foi abordado o elemento de qualidade Acurácia Posicional e aplicados procedimentos metodológicos de controle de qualidade realizados com o propósito de avaliar o Padrão de Acurácia Cartográfico Digital - PEC-PCD do MDT do Município de Cabo Santo Agostinho do Estado de Pernambuco, originado do projeto Pernambuco Tridimensional - PE3D. Para isso, foram utilizadas algumas especificações e normas referentes a qualidade posicional, bem como, foram estudados diferentes métodos para amostragem.

Foi selecionado um método utilizado para gerar uma distribuição de potenciais pontos de inspeção apropriados para a verificação da qualidade dos dados altimétricos do produto cartográfico altimétrico.

Na metodologia desenvolvida foi utilizada e apresentada a seleção do plano de amostragem e procedimentos de inspeções de qualidade aplicando a ET-CQDG, a norma ISO 19157 - Geographic Information Data Quality, as normas NBR 5425, 5426 e 5427. Para isso, foi utilizado o software livre QGIS que permitiu automatizar os

processos sistemáticos como: a) seleção e distribuição das áreas de inspeções de qualidade utilizando scripts em Python (<https://github.com/alxcart>); b) medições de coordenadas do MDT testado em relação ao conjunto de dados de referência dos testes de qualidade posicional.

Para a classificação da qualidade posicional do MDT foi utilizado o software livre GeoPEC, desenvolvido pelo Professor Afonso de Paula dos Santos da UFV (Universidade Federal de Viçosa). Como resultado, tem-se análises e avaliação do comportamento das amostras por meio de testes estatísticos. Na avaliação dos resultados foi possível verificar se os dados oriundos do PE3D estão de acordo com as especificações do projeto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A acurácia posicional é uma propriedade tradicional e emblemática das produções cartográficas, existindo um grande número de referências em relação ao tema. Esta componente de qualidade faz referência a acurácia planimétrica e altimétrica do conjunto de dados (Ariza López, 2002).

A norma brasileira oficial foi estabelecida em decreto de 1984 (Brasil, 1984). Neste decreto se estabelece três classes de produtos cartográficos, A, B e C, de acordo com o indicador estatístico Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC do produto avaliado. O indicador PEC é igual ao produto do desvio padrão pela constante 1,6449, este indicador apresenta um nível de confiança de 90%. No entanto, para atendimento às necessidades aplicadas à era digital, passou-se a considerar a eliminação dos erros inerentes aos processos antigos e, inserindo os erros menores dos processos atuais. (T. Á. J. Pereira, M. A. Nero, 2012). No Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM) devem ser considerados sinônimos. Para garantir clareza e precisão na exposição dos conceitos relacionados à qualidade posicional de Produtos Cartográficos Digitais (PCD), as novas especificações técnicas utilizam os termos Acurácia e Exatidão, DSG (2011). Portanto, é necessário esclarecer a relação entre os termos Desvio-Padrão e Acurácia (ou Exatidão) para manter a integridade da intenção do legislador na definição dos Padrões de Exatidão Cartográfica estabelecidos no referido Decreto.

Os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD), são propostos para os produtos digitais produzidos após a publicação da 1ª Edição da ET-PCDG e complementam os estabelecidos para produtos impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN, e conseqüentemente para a INDE, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), noventa por cento (90% ou  $1,6449 \cdot EP$ ) dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP também iguais ou inferiores aos previstos nas tabelas do presente tópico. As escalas abrangidas no presente capítulo são: 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000 e 1:250.000. Os produtos digitais foram classificados em 4 (quatro) classes (“A”, “B”, “C” e “D”), tendo como norteador o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. Para as escalas não abrangidas por esse decreto foram realizadas

extrapolações, mantendo-se os valores previstos do PEC Planimétrico e do PEC Altimétrico. (ET-ADGV, 2016).

Na Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geospaciais (ET-CQDG), versão 2016, o objetivo é fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados geospaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil. Nela, apresenta os procedimentos para amostragem definidos nesta norma. Sendo consideradas seis variáveis, sendo apresentada neste artigo, apenas o referente a norma ISO 19114:2003 que introduz dois conceitos essenciais no método de inspeção por amostragem: lote e item. O lote representa a unidade mínima sujeita à avaliação de qualidade, como uma classe específica de feições ou uma área delimitada. Por outro lado, o item é a menor unidade a ser inspecionada dentro de um lote, como uma instância individual de feição pertencente a esse lote. Ambos os conceitos devem ser definidos de acordo com as especificações técnicas do conjunto de dados para garantir uma avaliação precisa da qualidade.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo é o município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 1) fica localizado na Mesorregião Metropolitana do Recife, Microrregião de Suape. Está localizado entre os municípios de Moreno, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Escada e Vitória de Santos Antão. Possui uma área de 579,55 km<sup>2</sup> (CPRM, 2005). O Cabo de Santo de Agostinho é o principal distrito industrial do estado e nele está instalado um dos mais importantes complexos industriais e portuários do país, o de Suape.

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo  
MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Fonte: OS AUTORES (2018).

## 3.2 Recursos Materiais

- a) MDTs e ortoimagens PE3D em formato geotiff; arquivo de texto contendo coordenadas dos pontos de controle medidos com GNSS; malha municipal IBGE em formato shapefile; malha retangular do mapeamento sistemático do PE3D na escala 1:5.000 em formato shapefile. O MDT na escala 1:5000 é oriundo do Programa Pernambuco Tridimensional que teve início em janeiro de 2014, produto do recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento laser de todo o território pernambucano. Faz parte de um dos produtos altimétricos do perfilamento laser, que consiste, primeiramente, na amostragem de todos os pontos que retornam após a emissão do feixe de luz. Estes pontos formam o Modelo Digital de Elevação (MDE) e são fornecidos num arquivo “.x,y,z,i” que contém três coordenadas e o percentual de intensidade do retorno de luz. Este conjunto de pontos representa o MDS, para o MDT, é utilizado um algoritmo de classificação para filtrar os pontos da nuvem densa de pontos, sendo filtrados dados (em coordenadas “.x,y,z”) que contém apenas pontos que representam efetivamente a superfície do terreno.
- b) Conjunto de pontos de controle com coordenadas “.x,y,z” obtidas por levantamento GNSS disponibilizados pela equipe técnica do IBGE, a campanha de medição foi realizada no período de 01/06 a 19/06/2015 - código do levantamento de campo de pontos de alta precisão para ortorretificação de imagens - LC413. Os receptores GPS utilizados foram NOVATEL DL-4 plus, posicionamento no modo estático, com taxa de rastreamento de 1”, com duração de 45 minutos e de 1 hora após as 13h30min. O processamento foi realizado por Ponto Preciso através do PPP online (IBGE), utilizando órbitas finais. As altitudes ortométricas foram obtidas através do MAPGEO2010 versão 1. A incerteza associada às coordenadas dos pontos é inferior a 40 centímetros na planimetria e 80 centímetros na altimetria. Considerando que essa incerteza inclui erros inerentes ao processo de ocupação de pontos na planimetria, a metodologia de cálculo e a incerteza do modelo geoidal na altimetria.
- c) SIG QGIS versão 2.18.6; Editor e planilha eletrônica; GeoPEC 3.5 – programa de uso aberto para avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos.

## 3.3 Processamento dos dados

### 3.3.1 MDT PE3D

De posse de um arquivo shapefile da área de interesse, município do Cabo de Santo Agostinho, foram identificadas as articulações (recortes da folha do mapeamento sistemático 1:5.000) disponibilizadas na forma de um arquivo shapefile no portal PE3D, disponível em: [www.pe3d.com.br](http://www.pe3d.com.br), onde foi carregado o polígono da área de estudo com a articulação, e foi possível selecionar os dados que englobavam o polígono da área do estudo, que totalizaram 96 arquivos de MDT e 96 de ortoimagens.

### 3.3.2 Amostragem dos Pontos de Controle

A norma ISO 19114:2003, cita dois métodos de inspeção por amostragem, sendo: lote e item. Neste trabalho o lote seria a área e o item os pontos. A amostragem é probabilística, pois qualquer elemento da população pode pertencer à amostra sorteada. Neste trabalho adotou-se a amostragem aleatória sistemática. Os pontos de inspeção foram gerados por meio da localização e unidades amostrais indicadas na área, onde foram adotados os pontos de controle de qualidade oriundos da campanha de campo do IBGE. Para a seleção das amostras por áreas foi utilizado um script em Python capaz de selecionar amostras por áreas no QGIS de nome “*Sample Areas Grid for Quality Review*” de autoria de: (SANTOS; DINIZ, 2017). Esse script automatiza o processo passo a passo de uma seleção de amostras por áreas e segue todo procedimento da ISO 19157:2013 e ET-CQDG (2016).

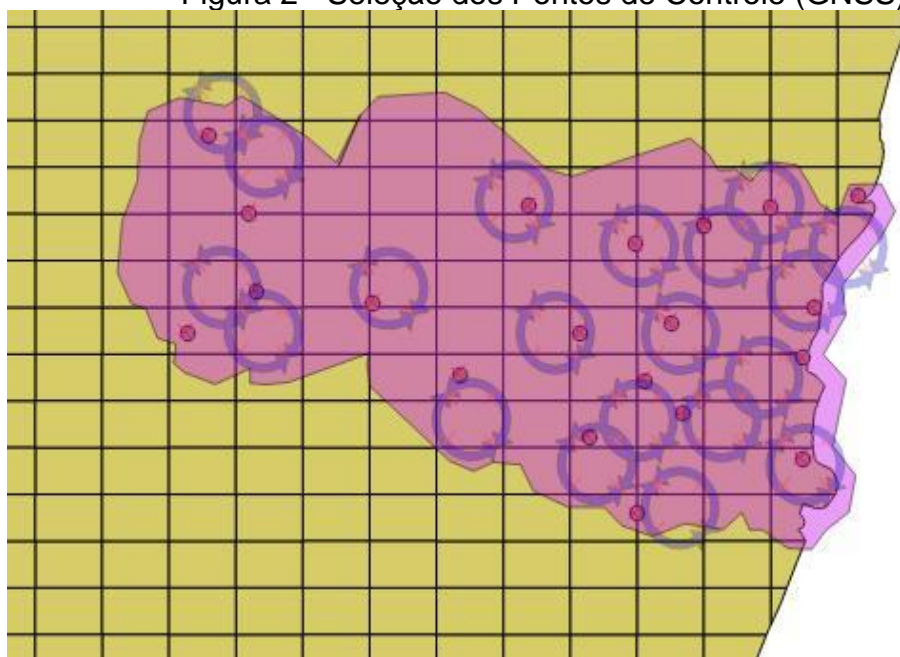
### 3.3.3 Procedimento no Software Livre QGIS

Na execução do script selecionou-se o nível de inspeção II e considerou o limite de qualidade aceitável (LQA) de 4%, o que gerou o tamanho da amostra, que são células grade. Neste caso, foram automaticamente criadas 20 quadrículas de 200 x 200 metros. As posições foram geradas aleatoriamente. Para validação do script, foi realizada uma conferência manual, levando em consideração uma área de aproximadamente 580 km<sup>2</sup>. Consultando a tabela 44 e 45 da CQDG, é necessária, no mínimo 37 áreas de 16m<sup>2</sup> que somadas poderiam resultar na área total. Na consulta das tabelas, o quantitativo é de 20 amostras. O mesmo resultado encontrado pelo script.

### 3.4 COLETA DE PONTOS DE CONTROLE POR GNSS

Foram disponibilizados pelo IBGE, 29 pontos de controle de qualidade já ajustados para uso neste trabalho, para a seleção dos pontos a serem usados como controle, foram adotados os seguintes critérios: pontos mais próximos ou coincidentes nas áreas de inspeção; pontos dentro da área de buffer (na cor violeta), conforme apresentado na figura 2, portanto, foram dispensados 9 pontos, visto que, adotou-se uma amostra com 20 pontos de inspeção.

Figura 2 - Seleção dos Pontos de Controle (GNSS)



Fonte:(OS AUTORES) 2018.

### 3.5 EXTRAÇÃO DOS DADOS DOS PONTOS DE INSPEÇÃO NO MDT

No Software livre QGIS, foram utilizadas as quadrículas do MDT (RASTER) do PE3D da área de estudo. Para extração das coordenadas altimétricas dos arquivos testes, foi utilizado o plugin Elevation. Com o arquivo de coordenadas dos pontos de controle de qualidade, e as coordenadas adquiridas nos arquivos testes MDT, se obtém um arquivo com as coordenadas E, N e Z dos arquivos testes.

### 3.6 Acurácia Posicional Altimétrica Utilizando o software GEOPEC

Para avaliar a Acurácia Posicional Altimétrica foi utilizado o Software Livre GeoPEC, utilizando como entrada as coordenadas dos 20 pontos de controle (GNSS) e as coordenadas dos pontos extraídos dos arquivos MDT teste. A Figura 3, apresenta o conjunto de dados de entrada. Para entendimento toma-se como exemplo a primeira linha: o ponto P1 com coordenadas E: 287581 m e N: 9090738 m, o valor altimétrico do h (referência) é 4,776 metros e as do MDT referente ao P1 seu valor é de 4,915366 m de teste.

Figura 3 – Entrada de Dados Software GeoPEC

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Entrada de Dados - Decreto 89.817 / INCRA]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

**Entrada de Dados (Decreto 89.817 / INCRA)**

Adicionar Deletar Primeiro Anterior Próximo Último

Ponto	Descrição	E(m) teste	N(m) teste	h(m) teste	E(m) referência	N(m) referência	h(m) referência	ZD - Não considerar?	Z - Não considerar?
101	P01	287581	9090738	4.915366	287581	9090738	4,776		
102	P02	283154	9090188	5,2482743	283154	9090188	5,255		
103	P03	284803	9077761	5,357975	284803	9077761	5,375		
104	P05	284851	9082762	4,5516	284851	9082762	4,415		
105	P06	286394	9085225	4,8951354	286394	9085225	5,033		
106	P07	276196	9088299	12,73	276196	9088299	12,719		
107	P09	278023	9084446	7,6600003	278023	9084446	7,58		
108	P10	278607	9079967	33,144882	278607	9079967	33,292		
109	P11	276297	9075028	12,803	276297	9075028	12,716		
110	P12	273845	9078815	63,6125	273845	9078815	63,451		
111	P14	276672	9081576	14,180948	276672	9081576	14,386		
112	P17	270659	9090138	71,30844	270659	9090138	71,165		
113	P18	267156	9081808	87,924	267156	9081808	87,723		
114	P20	262686	9085349	62,44	262686	9085349	62,333		
115	P21	253117	9083787	113,2277	253117	9083787	113,277		
116	P22	254141	9093499	289,656	254141	9093499	289,419		
117	P23	256284	9089750	107,9425	256284	9089750	108,092		
118	P24	256651	9085678	93,85333	256651	9085678	93,688		
119	P25	279723	9089237	13,310525	279723	9089237	12,937		
120	P27	273375	9083910	24,488487	273375	9083910	24,127		

Fonte: (OS AUTORES) 2018

Após a entrada dos dados dos 20 pontos, é solicitado ao usuário um valor da equidistância da curva de nível, que neste trabalho foi considerado 2 metros, visto que, a escala do produto MDT (RASTER) é 1:5.000, em seguida foi realizado o processamento. Pode-se observar ainda que são realizadas análises estatísticas como: de precisão, qui-quadrado, teste de normalidade, t-student e finalmente de acurácia.

Para realizar a análise da qualidade, foi necessário selecionar a normativa a ser considerada PEC (decreto 89.917 de 1984), ET-CQDG e NBR com testes de tendência de acordo com (Santos et al, 2016), neste requisito a verificação de qualidade deverá considerar as exigências atribuídas na especificação do produto cartográfico, que no caso do PE3D foi considerado o PEC decreto 89.917 de 1984).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O GEOPEC permitiu visualizar as estatísticas dos dados fornecidos. Para os 20 pontos amostrais, têm-se alguns parâmetros, dentre os quais pode-se constatar: média 0,073m, desvio padrão 0,1647m, RMS 0,1766m. Não foram identificados outliers no conjunto de pontos. O valor do RMS corresponde às discrepâncias posicionais, que deve ser menor ou igual ao Erro Padrão de 0,34m (1:5000) para a escala e classe testada, tendo como resultado Aprovado em todas as classes.

Ainda em relação aos resultados estatísticos obtidos, a discrepância máxima da amostra é de 37,35cm e a mínima -20,51cm, que em termos absolutos tem-se dois pontos que estão distantes da média da amostra que é de 7,34cm. Um gráfico das discrepâncias do comportamento da amostra é apresentado na Figura 4.

Com o teste de normalidade é possível afirmar que a amostra segue uma distribuição normal ou gaussiana, no próprio GeoPEC, em caso da amostra de

discrepância posicional não-normal os testes t de Student e qui-Quadrado iriam apresentar resultado inconclusivo, pois estes testes têm como pré-requisito que os dados sejam normais.

Para o teste Shapiro-Wilk, foi calculada uma estatística W que testou a amostra aleatória de 20 pontos de inspeção, tendo como resultado amostra normal com valor Wcalc igual a 0,9585 e p-value 0,5138.

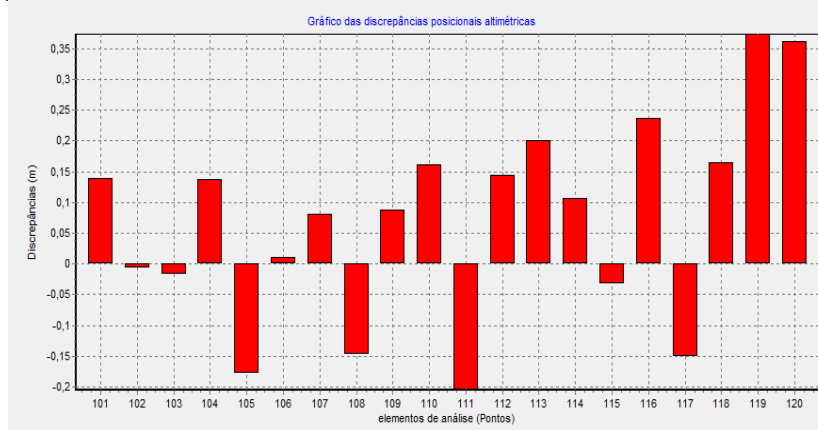
Os valores adotados a equidistância de 2m das curvas de nível, foram calculados de acordo com valores do PEC(m) e EP(m). Onde EP (Erro padrão) e PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), de 0,67m e 1,0m foram atendidos na classificação da acurácia posicional simultaneamente, com os valores de EP de 0,16m e 100% dos valores residuais entre as coordenadas são menores do que 1,0m, sendo CLASSE A.

De modo a analisar ainda mais o comportamento dos dados, como o teste de Shapiro-Wilk, definiu a amostra como normal, então pôde-se aplicar o teste t de Student, onde foi verificado a existência ou não da tendência na amostra, o resultado apresentado, aponta que há um efeito sistemático na amostra dos pontos de controle.

O teste t de Student, foi aplicado observando um nível de confiança (1- $\alpha$ ) igual a 90% ( $\alpha= 0,10$ ), logo, a partir do número de pontos coletados, neste caso 20 pontos de inspeção, na verificação como o valor absoluto do t calculado (1,993) foi maior que o t tabelado (1,7291), o produto possui erros sistemáticos.

Na análise da qualidade em relação aos pontos onde foi verificada uma maior discrepância entre o dado de teste e o de referência, foi gerado um gráfico das discrepâncias posicionais altimétricas, conforme pode ser visto na Figura 4, os pontos P14(111), P18(113), P22(116), P25(119) e P27(120 no gráfico), apresentaram os maiores valores de discrepância.

Figura 4 – Gráfico das discrepâncias posicionais altimétricas.



Fonte: (OS AUTORES) 2018.

Com o objetivo de analisar a tendência, foram eliminados os 5 pontos descritos anteriormente de maior discrepância, sendo eles com discrepância superior de 20cm, o resultado do teste t de Student mostrou que não há tendência ao utilizar 15 pontos de inspeção, visto que, nesta situação o t calculado (1,088) é menor que o t tabelado (1,7613). Em relação a classificação e teste de normalidade não houveram alterações com 15 pontos, sendo novamente aprovados.

Outros estudos com dados do PE3D foram realizados por Nishiwaki et al. (2021), Oliveira (2021). Nishiwaki, efetuou a comparação de métodos de detecção de indivíduos vegetais da Caatinga a partir de dados LiDAR aerotransportados, em contrapartida, Oliveira analisou a modelagem e espacialização de biomassa e estoque de carbono usando métricas LiDAR em regiões tropicais floresta seca no Brasil. Entretanto, especificamente com a metodologia desenvolvida neste trabalho, foram encontradas poucas publicações utilizando os dados do PE3D para avaliação altimétrica do MDT.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do sistema sensor LiDAR, está se tornando cada vez mais acessível em diferentes projetos, sua utilização no PE3D, tornou possível a geração de produtos cartográficos com acurácia e grande utilidade. Neste trabalho, foi utilizado MDT gerado por perfilamento a LASER por meio do Projeto PE3D, onde foi possível verificar a qualidade posicional do produto, é importante destacar aqui a importância das aplicações desses dados, sendo de grande utilidade para a sociedade.

O critério da validação da qualidade posicional, seguiu as normativas e especificações estabelecidos na ET-CQDG e a na ISO. Como dados de referência, foram utilizados pontos de controle fornecidos pelo IBGE, e se classificou a qualidade conforme o PEC-PCD altimétrico, obtendo a Classe A.

O script em python “sample areas grid for quality review”, utilizado na etapa da seleção de amostra, foi satisfatório e atendeu as expectativas.

Para a certificação da qualidade do produto cartográfico, usando o software livre GeoPEC obteve-se resultados estatísticos necessários para o atendimento dos objetivos do trabalho, foram também gerados os valores referentes ao desvio padrão, RMS, número de outliers, valores máximos e mínimos, com esses resultados foi possível verificar a não existência de erros grosseiros, pois nenhum ponto possuía discrepância elevada em relação ao conjunto de dados.

As análises de controle de qualidade, considerando 20 pontos, foi obtida uma média de 7,3cm das discrepâncias entre os dados de teste (MDT) e os de referência (GNSS), ficando bem abaixo dos 25cm especificados como erro máximo altimétrico no projeto.

Em relação a classificação de acordo com a ET-CQDG, pode-se afirmar que o produto é Classe A. Foi visto que a amostragem dos pontos de controle, possui distribuição normal quando verificado pelo teste Shapiro-Wilk, enquanto que no teste t de Student foi identificada a existência de efeito sistemático, que não reprova o produto. Quando excluídos 5 pontos com maiores valores de discrepância dos 20 pontos de investigação, ao reapplicar o teste de t de Student, o efeito sistemático da amostra de pontos desaparece.

A metodologia aplicada neste trabalho, permitiu otimizar o processo de controle de qualidade de dados geoespaciais, logo, é recomendada para ser aplicada no controle de qualidade de outros produtos cartográficos.

Por fim, recomenda-se continuidade da pesquisa, testando outros diferentes métodos capazes de avaliar o comportamento das amostras de modo ainda mais rigoroso.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, M. A. Análise da Qualidade dos dados GPS: Estudo de Caso da Estação de Cananéia. Dissertação de Mestrado. EP-USP, São Paulo, 2007.

AKOS, D.; CHEN, A.; DANTEPAL, J.; ENGE, P. GAO, G. X. GRELIER, T.; ISSLER, J.; LO, S.; RIES, L. GNSS Album: images and spectral signatures of the new GNSS signals. Inside GNSS, Oregon, v. 1, n. 4, p 46-56, mai/jun of 2006.

ARIZA LÓPEZ, F. J. (Ed.). Fundamentos de evaluación de la calidad de la información geográfica. Jaén: Universidad de Jaén - UJA, Servicio de Publicaciones, 782 p. 2013.

ARIZA LÓPEZ, F. J.; GARCÍA BALBOA, J. L.; AMOR PULIDO, R. Casos prácticos de calidad en la producción cartográfica. Jaén: Universidad de Jaén - UJA, Servicio de Publicaciones, 388 p. 2004. ARIZA, F. J. Calidad en la Producción Cartográfica., 2002.

ARIZA, F. J. L.; ATKINSON, A. D. G. Analysis of some positional accuracy assessment methodologies. Journal of Surveying Engineering, v. 134, nº 2, 2008

ARIZA-LÓPEZ, F. J. Calidad en la Información Geográfica (Introducción). Experto Universitario en Evaluación de la Información Geográfica (4ª Edición). Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.

ATKINSON, A. D. J.; ARIZA, F. J.; GARCÍA, J. L. Positional accuracy control using robust estimators, 2005.

AYENI, O. O. Optimum sampling for digital terrain models: a trend towards automation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 48, n. 11, p. 1687–1694, 1982.

BARBETTA, P. A. Estatística aplicada às Ciências Sociais. 8. ed. - Florianópolis: E. da UFSC, 318p. 2012.

BARROS, P. L. C; MACHADO, S. A. Aplicação de Índices de Dispersão em Espécies de Florestas Tropicais da Amazônia Brasileira. FUPEF, Curitiba. Série Científica Nº 1, 1984.

Biometrika, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, Nov. 1965.

Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 22, no4, p.630-650, out - dez, 2016.

BONINI, E. E.; BONINI, S. E. Estatística. Edições Loyola. São Paulo, 439p. 1972

Borges, D. R. (2023). A Cartografia Social ou a " Visão dos Crias" dos Moradores Monitores (MMs) do Morro da Providência-RJ. *Enepcp*.

BRASIL. Decreto n. 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, Brasília, DF, ano 122, n. 120, Seção 1, p. 8884-8886. 22 jun. 1984.

CIRILO, J. A. ; Alves, F.H.B. ; SILVA, B. M. ; CAMPOS, P. H. A. L. . PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL: base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. In: 12o. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 2015, Brasília, DF. 12o. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Lisboa, Portugal: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2015. v. 1. p. 81- 100. 2015.

CONCAR. Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil. 2009.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Pernambuco: Diagnóstico do Município de Cabo de Santo Agostinho. Recife: CPRM, 2005. 11p.

CSANYI N.; TOTH, C. K.; Improvement of Lidar Data Accuracy Using Lidar-Specific Ground Targets. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 73, n. 4, p.385-396, 2007.

DSG. Especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais. Versão 2.1.3. 2011.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. 1o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. p.41-48. 1994.

HAJJI, R.; ASRI, H. EL; EZ-ZRIOULI, C. Upgrading to 3D cadastre in Morocco: Lessons learned from benchmarking of international 3D cadastral systems. Land Use Policy, 2023. v. 128, n. March 2022, p. 106605. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106605>>.

JURAN, J.M., A Qualidade desde o Projeto: Os Novos Passos para o Planejamento da

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T.; CERQUEIRA, R. W. O exército brasileiro e os padrões de dados geoespaciais para a INDE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, Brasil. p. 8. 2012.

Nishiwaki, A. A. M., Moura, M. S. B., Galvêncio, J. D., Santos, C. V. B., Carvalho, H. F. S., 2021. Comparação de métodos de detecção de indivíduos vegetais da Caatinga a partir de dados LiDAR aerotransportado. Journal Hyperspectral Remote Sensing [online] 11. Disponível: 10.29150/jhrs.v11.5.p302-309. Acesso: 26 set. 2024.

Oliveira, C.P., Ferreira, R.L.C., da Silva, J.A.A.; Lima, R.B.d.; Silva, E.A.; Silva, A.F.d.; Lucena, J.D.S.d.; dos Santos, N.A.T.; Lopes, I.J.C.; Pessoa, M.M.d.L.; Melo, C.L.S.S., 2021. Modeling and spatialization of biomass and carbon stock using LiDAR metrics in tropical dry forest, Brazil. Forests [online] 12. Disponível: 10.3390/f12040473. Acesso: 26 set. 2024.

PEREIRA T. A. ; NERO M. A. Análise de Normas de Controle de Qualidade Posicional em Cartografia ao redor do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns países, IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2012.  
Qualidade em Produtos e Serviços, 3a ed., São Paulo, Pioneira. 1997.

SANTOS, Alex da Silva. Geoestatística aplicada na avaliação da qualidade de dados geoespaciais. 2013.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. Journal