

ANÁLISE DA QUALIDADE ALTIMÉTRICA DO GOOGLE EARTH PRO PARA TRABALHOS DE ENGENHARIA



GABRIEL OSCAR CREMONA PARMA

ANÁLISE DA QUALIDADE ALTIMÉTRICA DO GOOGLE EARTH PRO PARA TRABALHOS DE ENGENHARIA



GABRIEL OSCAR CREMONA PARMA

Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
 Prof^o Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
 Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
 Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
 Prof^o Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
 Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
 Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
 Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
 Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
 Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
 Prof^o Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Análise da qualidade altimétrica do Google Earth Pro para trabalhos de engenharia

Diagramação: Letícia Alves Vitral
Correção: Soellen de Britto
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: O autor
Autor: Gabriel Oscar Cremona Parma

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
P253	<p>Parma, Gabriel Oscar Cremona</p> <p>Análise da qualidade altimétrica do Google Earth Pro para trabalhos de engenharia / Gabriel Oscar Cremona Parma. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0947-2 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.472232701</p> <p>1. Mapas. 2. Geografia. 3. Estatística. I. Parma, Gabriel Oscar Cremona. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 912</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTOR

O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Dedico inteiramente esta pesquisa a minha esposa Luciana e a minha filha Mariane, cujas presenças sempre afetaram positivamente a minha vida em todos os aspectos; também dedico, como não podia ser diferente, à memória de meus pais, Juan e Noemi, que me apoiaram incondicionalmente nos meus inícios na vida acadêmica, e claro, à memória de meu “Mestre na Docência e na Geomática” que me mostrou o caminho certo e correto no processo de ensino-aprendizagem, o Eng. Romeo Miretti.

Na atualidade é usual que profissionais de diferentes áreas utilizem dados altimétricos obtidos a partir de alguns aplicativos móveis, de websites ou de softwares cartográficos, para geração dos mapas topográficos com curvas de nível sem a correspondente avaliação em campo e para serem utilizados em qualquer escala, até em escalas de projetos de engenharia. Por tal motivo, este trabalho visou dar resposta ao seguinte questionamento: Qual a qualidade do modelo digital do terreno, em termos de exatidão, verificadas por meio dos valores das altitudes e declividades, obtido a partir de um conjunto de pontos levantados do Google Earth Pro (GEP) visando trabalhos nas engenharias civil e ambiental?”. Para isso foi realizada uma comparação estatística dentre os dados obtidos de uma nuvem de pontos aleatórios levantados a partir do GEP e do Modelo Digital de Elevação realizado por aerofotogrametria pela Secretaria de Desenvolvimento Regional de SC. Assim a partir de testes de hipóteses de comparação de duas médias, pra uma análise global dos erros nas elevações e nas declividades, e testes ANOVAS de comparação de mais de duas amostras, para analisar os erros das elevações e das declividades por tipo de relevo (classificados segundo EMBRAPA), se obtiveram, para as análises globais (considerando o relevo como um tudo), um erro médio para o caso das elevações, de $2.21\text{m} \pm 0.13\text{m}$ e, para as declividades $-4.59\% \pm 0,32\%$. Quando considerados os diferentes relevos, salienta-se que os erros altimétricos são semelhantes dentre a maioria das classes de relevos, observando-se, apenas, uma diferença estatística significativa dentre a classe de relevo “Ondulado” e “Forte-ondulado”. Por sua vez, quando feita a comparação dos erros nas declividades, todos os erros em cada tipo de relevo foram definidos como significativamente diferente dentre elas. Como conclusão mais importante, à luz dos resultados, é que, por mais simples que possa parecer usar alguns aplicativos, sites ou software a partir do GEP a qualquer escala, resulta temerário trabalhar com escalas maiores que 1:25.000 e equidistância inferiores a 10m para obter um padrão de exatidão cartográfica “Classe A” segundo as Normas Brasileiras de Cartografia e as Normas da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil.

Palavras-chave: Geomática. Geoestatística. Modelo Digital de Elevação. Google Earth Pro. Estatística.

Hoy en día, es habitual que profesionales de diferentes áreas utilicen datos altimétricos obtenidos de algunas aplicaciones móviles, sitios de la internet o software cartográfico, para generar mapas topográficos con curvas de nivel sin la correspondiente evaluación en campo y para ser utilizados a cualquier escala, incluso en escalas de proyectos de ingeniería. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la calidad del modelo digital del terreno, en términos de exactitud, verificada a través de los valores de altitudes y pendientes, obtenidos a partir de un conjunto de puntos relevados de Google Earth Pro (GEP), con el objetivo de ser usado en proyectos de obras de ingeniería civil y ambiental?”. Para ello, se realizó una comparación estadística entre los datos obtenidos de una nube de puntos aleatorios recolectados de GEP y el Modelo de Elevación Digital realizado por aerofotogrametría por el Departamento de Desarrollo Regional de SC. Así, utilizando pruebas de hipótesis para comparar de dos medias, para un análisis global de los errores en elevaciones y pendientes, y pruebas ANOVAS comparando más de dos muestras, para analizar los errores de elevaciones y pendientes por tipo de relieve (clasificados según EMBRAPA), para los análisis globales (considerando el relieve en su conjunto) se obtuvo un error medio de $2.21\text{m} \pm 0.13\text{m}$ para el caso de elevaciones, y para las pendientes $-4.59\% \pm 0.32\%$. Al considerar los diferentes relieves, debe tenerse en cuenta que los errores altimétricos son similares entre la mayoría de las clases de relieve, observándose apenas una diferencia estadísticamente significativa entre las clases de relieve "Ondulado" y "Fuerte-ondulado". Por su vez, al comparar los errores en pendientes, todos los errores en cada tipo de relieve se definieron como significativamente diferentes entre ellos. La conclusión más importante, a la luz de los resultados, es que, por muy sencillo que parezca utilizar algunas aplicaciones, sitios web o el software de GEP a cualquier escala, es imprudente trabajar con escalas superiores a 1: 25.000 y equidistancia menos de 10 m para obtener un estándar “clase A” de precisión cartográfica de acuerdo con los Estándares de Cartografía Brasileña y los Estándares de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales de Brasil.

Palabras clave: Geomática. Geoestadística. Modelo Digital de Elevación. Google Earth Pro. Estadística.

Figura 1: Localização da área de estudo no contexto do Estado de Santa Catarina, Brasil	30
Figura 2: Detalhe da área de trabalho com pontos notáveis da região em estudo	31
Figura 3: Fluxograma do método de trabalho	35
Figura 4: recorte mosaico SIGSC georreferenciado com GEP.....	36
Figura 5: recorte MDT SIGSC georreferenciado com GEP.	37
Figura 6: MDD contínuo derivado a partir do MDT.....	38
Figura 7: MDD classificado segundo EMBRAPA em 6 classes	39
Figura 8: MDD reclassificado em formato vetorial Shape	40
Figura 9: localização das classes 5 e 6 reassinadas como classe 3 (de maior frequência).....	40
Figura 10: amostragem aleatória de pontos. Esquerda: um detalhe da localização de pontos	42
Figura 11: Exemplo de tabela de atributos com a altimetria e a declividade para a classe 1.....	43
Figura 12: Poligonais para obtenção de pontos geradores do MDS	44
Figura 13: poligonais importadas no QGIS e extração de vértices.....	45
Figura 14; tabela de coordenadas latitude e longitude em WGS84	45
Figura 15: GPS visualizer: site que permite obter os dados altimétricos a partir de um arquivo de coordenadas X,Y ou Lat/Long.	46
Figura 16: tabela de coordenadas tridimensionais (Referencial elipsoide WGS84)	46
Figura 17: dados altimétricos do GEP/NASA corrigidos pela ondulação geoidal local	47
Figura 18: MDS gerado a partir dos dados obtido do GEP/NASA.....	48
Figura 19: MDD derivado do MDS GEP	48
Figura 20: Sobreposição do MDE GEP/NASA/GEOIDE com os pontos amostrais (Azul: classe 1, Verde: classe 2, Vermelho: classe 3, Preto: classe4)	49
Figura 21: tabela de atributos dos pontos amostrais com os valores das altitudes e declividades das duas fontes de dados utilizadas.....	50
Figura 22: tabela de atributos com os erros de relevo (DeltaRelev) e de	

declividades (DeltaDecli)	51
Figura 23: Mapa temático dos erros no relevo	52
Figura 24: Mapa temático dos erros nas declividades	52
Figura 25: Histogramas Diferenças de relevo e declividades.....	53
Figura 26: Gráficos de Pareto para erros de relevo e declividades.....	55
Figura 27: Gráficos descritivos das diferenças de relevo estratificadas	55
Figura 28: Gráficos descritivos das diferenças de declividades estratificadas .	56
Figura 29: Gráficos de médias com IC 95% dos erros de relevo e declividades	59
Figura 30: PEC Normas Cartográficas Brasileiras	61

Tabela 1: Classes de declividade propostas pela EMBRAPA em 1979	38
Tabela 2: Dados descritivos das classes EMBRAPA.....	39
Tabela 3: n amostral estratificado por cada classe de declividade.....	41
Tabela 4: Valores descritivos das diferenças de relevo e declividade	53
Tabela 5: Valores descritivos das diferenças de relevo e declividades estratificadas por classes.....	54
Tabela 6: Pós teste Tukey para os erros de relevo	58
Tabela 7: Pós teste Tukey para os erros das declividades.....	58

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
PROBLEMA DE PESQUISA	1
OBJETIVOS	3
Objetivo geral	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
MODELOS DIGITAIS DO TERRENO MDT	4
LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DO ESTADO DE SC.....	6
PRECISÕES NO MATERIAL CARTOGRÁFICO	6
ANÁLISE PARA A QUALIDADE: ERROS E ESTATÍSTICA	7
Valor verdadeiro de uma grandeza, erros e incertezas	7
Amostragem Aleatória Estratificada	10
Cálculo do tamanho da amostra.....	11
Estatística inferencial: Teste de parâmetros	11
Teste ANOVA de um fator para comparação de várias médias	15
MATERIAL E MÉTODO	17
MATERIAIS UTILIZADOS PARA O BANCO DE DADOS SIG	17
ÁREA DE ESTUDO	17
MÉTODO DE TRABALHO	19
Obtenção altimetria, MDS e MDD do Google Earth Pro	19
Obtenção dos dados do Levantamento aerofotogramétrico do Estado de SC	19
Processamento dos dados	20
Comparação da qualidade dos modelos Google	20
Fluxograma: Resumo do método	21
RESULTADOS	23
OBTENÇÃO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO DO ESTADO DE SC	23

PROCESSAMENTO DO MDT SIGSC	24
DEFINIÇÃO DA AMOSTRAGEM DE PONTOS	28
EXTRAÇÃO DA ALTIMETRIA E DECLIVIDADE PARA OS PONTOS amostrais A PARTIR DOS DADOS DO LEVANTAMENTO SIGSC	29
Geração do MDE a partir do GEP e extração dos valores de altimetria e declividade nos pontos amostrais	30
Criação de poligonais no GEP e obtenção de pontos tridimensionais	30
Comparação dos modelos criados.....	37
ANÁLISES ESTATÍSTICAS GLOBAIS E ESTRATIFICADAS.....	39
Testes de hipóteses	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
RECOMENDAÇÕES.....	48
REFERÊNCIAS	50
SUMÁRIOSOBRE O AUTOR	52

INTRODUÇÃO

A massificação das ferramentas de geomática, a partir dos smartphones e websites, tem aumentado aceleradamente o uso de dados dos mapeamentos online como “fonte de dados de qualidade”, ainda que ninguém assegure esse fato, nem os próprios gerenciadores dos citados mapeamentos online, já que, fundamentalmente, depende da escala de trabalho e da própria fonte dos dados utilizada, dentre outros tantos parâmetros que definem a sua qualidade. (BATISTA; VIEIRA, 2018. FRANCO et al. 2015, SILVA et al. 2013)

Uma das ferramentas tecnológicas mais usadas para estes trabalhos, é o Google Earth (GE) ou o Google Earth Pro (GEP), da empresa @Google LLC, principal subsidiária da Alphabet Inc¹ e em atividades desde 2005. Apenas como curiosidade, o Google Earth Pro foi liberado ao público geral em 2015 (antes estava disponível com licença paga anualmente) quando, nesse mesmo ano, a @Google LLC entrou no mercado empresarial com o Google Earth Enterprise, que incluía o GE Fusion, o servidor de imagens GE e mapas e o cliente GE para empresas (Enterprise Client).

Em relação aos dados possíveis de se obter no GEP, estão, além das coordenadas geográficas de latitude e longitude, a altitude do ponto, obtidas a partir de modelos digitais de elevação globais, gerados pela NASA, fundamentalmente, a escala mundial (NASSER. 2016, SILVA; NAZARENO. 2019, SZTUTMAN. 2014) com a utilização de algum tipo de interpolador. Salientando-se aqui que, originalmente, o modelo global era de uma resolução planimétrica de 90m, mas a partir de 2015, foi liberado o mesmo modelo global reprocessado com novas técnicas e dados adicionais, para gerar um modelo global de 30metros de resolução planimétrica, o que melhorou muito a qualidade altimétrica.

Assim, muitos profissionais de diferentes áreas estão utilizando esses dados altimétricos, a partir de alguns aplicativos móveis ou dos próprios websites ou de softwares cartográficos, para geração dos mapas topográficos com curvas de nível sem a correspondente avaliação em campo e para serem utilizados em qualquer escala, esquecendo que a única realidade do terreno obtêm-se quando se avalia, *in-loco*, o próprio terreno e que existem comprovadas e acuradas técnicas topográficas para a geração de ditas plantas cotadas com curvas de nível (SILVA; SEGANTINE, 2015).

PROBLEMA DE PESQUISA

Por tais motivos, este trabalho analisou a qualidade dos dados altimétricos no que respeita a sua exatidão/acurácia, a partir de métodos estatísticos (CHAPRA; RAYMOND,

1. História e dados sobre Google: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Google>

2016. VUOLO, 1996) sob a ótica das normas cartográficas nacionais (BRASIL, 1984. BRASIL, 2011) dos dados obtidos do mapeamento online, comparando-os com os dados da mesma área do modelo digital do terreno, obtidos a partir da restituição do levantamento aerofotogramétrico do estado de qualidade já testada e aceita (SOUZA et al., 2017), realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Regional de SC.

A citada comparação foi realizada levando-se em conta os valores absolutos das altitudes e os valores relativos dentre eles, sendo, este último, realizado por meio do modelo de declividades e visando as escalas usuais de trabalhos na engenharia civil e ambiental de 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10.000, que definem as plantas topográficas (SILVA; SEGANTINE, 2015).

Sendo assim, foi definida a seguinte pergunta de pesquisa:

“Qual a qualidade do modelo digital do terreno, em termos de exatidão verificadas por meio dos valores das altitudes, obtido a partir de um conjunto de pontos levantados do Google Earth Pro (GEP) visando trabalhos nas engenharias civil e ambiental?”

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade do modelo digital de elevação obtido a partir de um conjunto de pontos levantados a partir do GEP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter as altitudes de uma nuvem de pontos adequada ao relevo da área de trabalho, a partir do mapeamento online do GEP;
- Gerar o modelo digital de elevação da área de estudo;
- Obter o modelo digital do terreno do levantamento estadual da mesma área de trabalho;
- Construir os modelos digitais de declividades a partir de ambos os modelos altimétricos;
- Selecionar aleatoriamente um conjunto de pontos distribuídos adequadamente para obter a altimetria e declividades nas duas fontes de análise;
- Avaliar a acurácia das altimetrias e das declividades a partir da aplicação de testes de hipóteses estatísticos adequados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MODELOS DIGITAIS DO TERRENO MDT

Segundo Felgueiras (1999), pôde-se indicar que um MDT representa o comportamento de um fenômeno que ocorre numa região específica da superfície terrestre. Esses modelos são obtidos a partir de uma amostragem adequada do fenômeno em estudo dentro da área de interesse. Logo, as amostras são processadas de forma a criar modelos digitais (raster ou vetoriais) que vão representar a variabilidade do fenômeno estudado na região de interesse.

Observa-se que o citado autor generaliza os MDT para todos os tipos de fenômenos, que podem ser desde a altimetria até processos de contaminação, alagamento, populacionais, etc. Para efeitos deste trabalho, serão desenvolvidos -exclusivamente- MDT relacionados com a altimetria do local em estudo.

Os processos de modelagem podem ser executados em programas específicos ou em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A respeito, o citado autor indica que os SIG são bancos de dados geográficos georreferenciados (ou geolocalizados) que permitem a integração e processamento de dados, como de sensoriamento remoto, temáticos, cadastrais, tabulares e de modelagem digital de terreno.

Assim, o mesmo autor indica que um sistema de modelagem digital do terreno deve compreender:

“... a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno a ser estudado; a criação do modelo digital, propriamente dito e; a definição de uma série de processamentos de análises sobre os modelos com a finalidade de se extrair informações úteis à uma aplicação de geoprocessamento. O modelo propriamente dito é formado por estruturas de dados convenientes para processamentos digitais eficientes, e pela definição de funções de ajustes. Estas determinam o comportamento da variável dentro dos elementos básicos do modelo.”

Dias (2015) define um modelo digital do terreno, fazendo referência aos autores Câmara e Medeiros (pesquisadores do INPE), como sendo uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Continua indicando que este modelo pode ser gerado a partir de curvas de nível e pontos altimétricos, quando se refere ao modelo de relevo propriamente dito.

Segundo Sousa (2008), existem três nomenclaturas diferentes relativas a modelos tridimensionais possíveis de serem criados nos ambientes SIG: os **MDT** (modelos digitais do terreno) utilizados para modelagem do relevo e outros tipos de informações geográficas

que variam de acordo com ele, como por exemplo temperatura ou altimetria; os **MNT** (modelo numérico do terreno) que são aqueles que utilizam uma variável “z” de uma dada área da superfície terrestre, sendo que essa variável pode ser de qualquer natureza, tanto física quanto sócio econômica, como por exemplo nível de poluição atmosférica ou densidade populacional; e os MDE (modelo digital de elevação) utilizados apenas para a modelagem do relevo, ou seja, com dados altimétricos.

Existem diversas fontes de dados e formas de serem construídos os MNT, como através de pares estereográficos de aerofotogrametria, imagens de satélites estereoscópicas, imagens de radar, com utilização de dados oriundos da vetorização ou digitalização de curvas de nível e outros elementos topográficos (drenagem, pontos cotados, etc.) (SOUSA, 2008). Atualmente, sistemas de mapeamento online, como o GEP, também permitem a obtenção de dados de altimetria a partir do modelo digital de elevação mundial gerado pela NASA na missão SRTM de 1998/1999.

Segundo Dias (2015), os dados da imagem radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi, de acordo com a *U.S. Geological Survey* (USGS), uma missão da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) realizada até o de 2000 objetivando realizar um levantamento altimétrico da superfície da Terra a partir de um sistema de radares. Atualmente, a resolução de 1” de arco de pixel (30m) está disponível globalmente¹.

Finalmente, Barbosa et al. (2019) fala á respeito dos MDE:

“O Modelo Digital de Elevação (MDE) é um dado essencial para a geração de produtos na área de geoprocessamento. Sua utilização se estende por disciplinas como hidrologia, geomorfologia, ecologia, agricultura e infraestrutura. Este produto pode ser obtido por diversas formas, tais como interpolação por meio de curvas de nível, por levantamentos topográficos/geodésicos ou partir de imagens provenientes de sensores terrestres, aerotransportados ou orbitais óticos e por dados de radar e/ou LiDAR (Light Detection And Ranging).”

A mesma autora salienta os altos custos dos levantamentos aerofotogramétricos (sendo a melhor fonte para obter a altimetria de áreas de projetos de engenharia) ou ainda os altos custos dos levantamentos topográficos para esse mesmo tipo de áreas, apesar de serem de relevância para a gestão urbana e manejo do solo. Salienta-se (BARBOS et al., 2019) que hoje em dia é possível encontrar MDE distribuídos gratuitamente por agências de pesquisa como a USGS (Unitat States Geological Survey), por exemplo. Continua indicando que cada MDE apresenta suas peculiaridades que precisam ser esclarecidas para o uso adequado em projetos de geoprocessamento.

1. Para mais informação ao respeito de dados da missão SRTM: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, <https://earthdata.nasa.gov/learn/articles/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-3-0-global-1-arc-second-data-released-over-asia-and-australia> e para bibliografia relativa à missão: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>

LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DO ESTADO DE SC

Segundo SDS/SC (2013) em janeiro de 2010 o Estado de Santa Catarina contrata empresa especializada (ENGEMAP²) para realização dos serviços de aerolevantamento, geração de fotografias ortorectificadas, modelos digitais de Elevação e do terreno, restituição da rede hidrográfica estadual ortocodificada e reambulação da hidrografia para a escala 1:10.000 de aproximadamente 97.037 km² do Estado.

Para a realização do levantamento aerofotogramétrico foi utilizado o Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-Processamento de Imagens Digitais – SAAPI que consta de câmeras digitais integradas à sistemas de georreferenciamento direto.

Os produtos cartográficos do levantamento aerofotogramétrico indicado, são, principalmente, as ortofotos, que têm 39 cm de resolução geométrica e os modelos digitais de terreno com 1 m de resolução geométrica.

As ortofotos e os MDTs oferecem inúmeras possibilidades para geração de novos produtos cartográficos, como mapas de vias, quadras e lotes; mapeamento de uso e cobertura do solo e de áreas de preservação permanente e/ou de proteção ambiental; mapas de declividade, hipsométrico e aspecto; geração de curvas de nível; e muitos outros. Dentre eles, neste trabalho, foi utilizado e gerado a partir do MDT, o modelo digital de declividades.

Esses dados oficiais foram submetidos a controles de qualidade segundo as normas cartográficas (BRASIL, 1984; SOUZA, 2017, SILVA 2015) a partir dos quais estes produtos oficiais podem ser considerados para realizar o contraste com o modelo digital gerado a partir dos dados do GEP.

PRECISÕES NO MATERIAL CARTOGRÁFICO

No Brasil, segundo Souza (2017), existem diversas discussões técnicas para gerar novas propostas de controle de qualidade de produtos cartográficos, porém, ainda está em vigência o Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (BRASIL, 1984).

Não obstante o citado decreto, em 2011, a Comissão Nacional de Cartografia, no âmbito do projeto de Infraestrutura de dados Espaciais, cria a Especificação Técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais: ET-ADGV (BRASIL, 2011) a qual, fundamentalmente aumenta o espectro de escala do decreto de 1984, ampliando-as para escalas maiores 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10000, já que o citado decreto apenas trabalha

2. Notícia inicial do projeto do aerolevantamento: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/noticias/437-santa-catarina-contrata-a-aerofotogrametria-e-mapeamento-planialtimetrico-de-todo-o-estado>

com as escalas da cartografia oficial brasileira (escalas 1:25000 até 1:500.000). Esta norma técnica é conhecida ou chamada como “PEC-PCD” (Orlandi, 2016).

Assim, conforme Orlandi (2016):

“Nesse contexto, cabe um esclarecimento de ordem legal: o PEC estabelecido pelo Decreto 89.817/84 não possui primazia sobre o PEC-PCD, haja vista que os dois possuem amparo legal de igual forma, mesmo sendo o primeiro emitido por Decreto do Presidente da República e o segundo, por uma Especificação Técnica da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG). Isso porque o Decreto nº243/1967, em seu Art. 15, §1º, número 2, atribui a competência para emissão de Normas Técnicas a serem obedecidas nos trabalhos cartográficos realizados no território brasileiro, com escalas maiores ou igual a 1:250.000, à Diretoria de Serviço Geográfico.”

Por tais motivos, e levando-se em consideração que este trabalho visa escalas no âmbito das engenharias civil ou ambiental (1:1000 a 1:10000, usualmente), serão adotadas, a efeito de comparação, os valores da norma PEC-PCD de 2011, que tem as tolerâncias altimétricas para ditas escalas já definidas.

ANÁLISE PARA A QUALIDADE: ERROS E ESTATÍSTICA

Valor verdadeiro de uma grandeza, erros e incertezas

O melhor valor de uma grandeza que pode ser definido a partir de um conjunto de dados experimentais, deve ser o valor mais próximo do valor verdadeiro. Este melhor valor é o valor experimental para a grandeza física (VUOLO, 1992). O erro “e” ou “ε” é a diferença entre o valor experimental y_o (observado) e o valor verdadeiro y_v e, visto que o valor verdadeiro é sempre desconhecido, resulta que o erro é uma quantidade, teoricamente, desconhecida:

$$\varepsilon = y_o - y_v$$

A incerteza (ou desvio da medida para a estatística) em uma grandeza é uma indicação de quanto o melhor valor obtido para essa grandeza pode diferir do valor verdadeiro da grandeza física. Em outras palavras, segundo Vuolo (1992), a incerteza é uma indicação de quanto pode ser o valor do erro ε . Usualmente, esse “melhor valor” fica definido, probabilisticamente, como a média aritmética de um conjunto de valores experimentais, adequadamente obtidos.

Dentre esses erros (incertezas ou desvios) podemos identificar dois tipos bem definidos (VUOLO, 1992):

1. Erros probabilísticos, aleatórios ou estatísticos: é um erro tal que as n medidas de y_o se distribuem de maneira aleatória (distribuição normal de probabilidades) em torno do valor verdadeiro y_v e o valor \bar{y} das medidas tendem ao valor

verdadeiro y_v , conforme o número n de medidas tende ao infinito.

2. Erro sistemático: é um erro tal que as n medidas y_i são iguais, mas difere, do valor verdadeiro y_v , em uma quantidade constante δy .

Salienta-se aqui que se usa a palavra precisão sempre relacionada com o erro aleatório e a palavra acurácia (ou exatidão) se refere ao erro total, que é a soma dos erros sistemáticos (residuais) e o erro aleatório.

Os erros sistemáticos podem ser compensados a partir de análises particulares, já que dependem de certas condições específicas (instrumentais, teóricas, ambientais e observacionais), porém os erros aleatórios não poderão ser compensados, apenas serão minimizados ou reduzidos ao máximo usualmente por repetição de medidas, uma vez que o valor médio de um grande número de medidas tem um erro estatístico menor, em base à lei dos grandes números e do teorema do limite central (TRIOLA, 2017).

As causas dos erros sistemáticos podem ser indicadas como as de origem instrumental (calibração dos instrumentos, erros inerentes à própria construção dele, etc.), as causas teóricas (produzido pelo uso de fórmulas teóricas aproximadas, modelos computacionais discretos ou uso de valores aproximados para alguns valores constantes, etc.), as causas ambientais (efeito do ambiente na medição, como os fatores de humidade, temperatura e pressão não coincidente com as de calibração do instrumento na hora da medição ou existência de obstáculos inevitáveis) e as causas observacionais (inerentes ao próprio processo de observação das medidas, como o erro de paralaxe nas leituras analógicas ou problemas de agudeza visual do operador).

A partir das compensações dos erros sistemáticos, pode-se indicar que, um erro, mesmo reduzido aos mínimos valores possíveis, sempre existirá nas medições e se propagará aos resultados. Este erro é chamado de Incerteza Sistemática Residual (VUOLO, 2002). A Incerteza Sistemática Residual pode ser entendida como a incerteza correspondente ao erro sistemático residual, assim como a incerteza aleatória é a incerteza correspondente ao erro aleatório.

Existem os chamados erros grosseiros ou enganos ou equivocações, que não são erros desde o ponto de vista da teoria dos erros, como, por exemplo, resultam os enganos na leitura de um instrumento ou o erro no registro de um valor de campo numa planilha de levantamento de dados. Quando existir suspeita de que houve um engano em alguma leitura de um dado, esta deve ser simplesmente descartada e a medida novamente realizada: qualquer outro procedimento apenas introduzirá mais dúvidas.

Para evitar erros grosseiros, sempre se deve repetir as medidas e conferir cuidadosamente os cálculos. Por sua vez, para determinar a existência de erros grosseiros

so podem-se comparar as medidas observadas com a média dentre três valores de sigmas (desvio padrão da medição, que identifica a exatidão das medidas), isto por que a probabilidade de uma medida ser superior à média, mais ou menos três vezes o desvio padrão, é de 0,27%, o qual identifica que essa medida foi, na prática, um erro grosseiro pela improbabilidade de vir a se repetir outra vez (TRIOLA, 2017).

Os valores da incerteza aleatória podem ser avaliados com o desvio padrão e/ou com o erro padrão. Caso exista uma incerteza sistemática, pode ser adicionada ao erro padrão da média a partir da soma das suas variâncias (TIROLA, 2017; VUOLO, 1992). Em resumo:

Como já tinha se indicado, o valor verdadeiro de uma grandeza, é desconhecido. O valor médio verdadeiro correspondente a um particular processo de medida é, também, uma quantidade desconhecida.

Para um conjunto de n medidas repetidas de uma grandeza física, a melhor estimativa é o valor médio ou média aritmética das n medições y_i :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

A variância e o desvio padrão (raiz quadrada da variância) de um conjunto de medidas partindo-se de dados experimentais é a melhor forma de estimar a acurácia da medição, e a melhor estimativa para desvio padrão do conjunto de medida é (TRIOLA, 2017):

$$\sigma^2 \cong \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \Rightarrow \sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Este valor do desvio padrão também é conhecido como o erro médio de uma observação isolada. E, a melhor estimativa para o erro médio do valor da média é o erro médio quadrático (VUOLO, 1992):

$$EMQ_m = \sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Fique atento à diferença do desvio padrão para os dados e o desvio padrão do valor médio da média (ou desvio padrão da média ou erro médio quadrático), baseada na distribuição de probabilidades normal de Gauss e sustentada pela teoria dos grandes números e o teorema do limite central (TRIOLA, 2017).

Amostragem Aleatória Estratificada

Em geral, se podem indicar pelo menos quatro motivos para o uso de amostragem no levantamento estatístico de uma população, e assim, não trabalhar com toda a população (censo) (CREMONA PARMA, 2015):

- Economia:
É muito mais económico levantar uma limitada parte da população;
- Tempo:
Em geral, temos pouco tempo para a tomada de decisões;
- Confiabilidade:
Quando feita uma amostragem, pode-se dar mais atenção ao processo, evitando assim possíveis erros no levantamento de dados;
- Operacionalidade:
É mais simples realizar operações de levantamento em pequena escala; em contraposição, nos censos, um dos problemas é o controle dos próprios métodos e equipe do levantamento.

Segundo o mesmo autor, para fazermos o plano de amostragem primeiramente, devemos ter definido o objetivo do trabalho e a população a ser amostrada, assim como também quais parâmetros precisamos estimar/inferir para fins dessa pesquisa. Assim, para isso, devemos definir quais os elementos que farão parte da amostragem, a partir de estabelecer a unidade da amostragem: qual a unidade a ser selecionada para atingir os elementos da população. Estas unidades podem ser os próprios elementos da população ou algumas outras unidades que sejam mais simples de atingir e que estejam relacionadas aos elementos objetos da pesquisa.

Finalmente, cabe salientar que a seleção dos elementos que formarão a amostra, deve ser feita com certos cuidados para evitar amostras viciadas que enviesem os resultados da pesquisa e leve à tomadas de decisões erradas. Por isso, as amostras devem ser aleatórias, ou seja, cada elemento da população deve ter a mesma probabilidade de formar parte da amostra selecionada.

Dentre as planos de amostragem, além da amostra aleatória simples (sorteio, por exemplo ou definição randomizada num processo computacional), se pode indicar a amostragem aleatória estratificada, o qual consiste em dividir a população em subgrupos com alguma característica em comum –chamados de estratos- os que devem ser mais homogêneos que a própria população, para logo, em cada estrato fazer uma amostragem aleatória simples, sempre respeitando a proporcionalidade que o estrato tem em relação à população.

Cálculo do tamanho da amostra

Segundo Costa (2012) a definição do tamanho tem que levar em consideração aspectos financeiros e do tempo disponível, assim como também da própria heterogeneidade da população estudada. A primeira aproximação do número de amostras se baseia no conceito do chamamos “erro Amostral” e o erro amostral “tolerável” para o estudo o qual se pode definir como sendo a diferença entre o valor que a estatística acusa o poderia acusar e o verdadeiro valor dos parâmetros que está sendo estimado. Este erro amostras é definido, para grandes populações, como sendo do 2% ou do 4%, tradicionalmente.

CREMONA PARMA (2015) indica no seu trabalho que existem duas fórmulas para o cálculo inicial do número amostral, onde a segunda é a correção populacional da primeira e que faz sentido quando a população não é muito grande, já que, caso contrário a diferença dentre as duas, é muito pequena. Assim, sendo as seguintes variáveis:

Variável	Significado
N	Número/tamanho de elementos totais da população
n	Número/tamanho de elementos da amostra
n0	Primeira aproximação do tamanho da amostra
E	Erro amostral tolerável da pesquisa

Os modelos de cálculos para o tamanho da amostra são

$$no = \frac{1}{E^2}; \text{é, quando conhecida o tamanho populacional: } n = \frac{N \times no}{N + no}$$

Agora, se, por exemplo, se pressupõe que a população é 4 vezes o valor de no ($N=4no$), o cálculo de n resulta num 80% do no . Agora, se pensa numa população 400 vezes o tamanho de no , o valor de n resulta em aproximadamente 99,8% o valor de no , situação na qual o ajuste pelo conhecimento do N populacional perde significância, por resultar, praticamente, o mesmo. Existem outros métodos de definição do valor do tamanho da amostra, que visam a diminuir-los (usando intervalões de confiança, erro padrão e o poder dos testes de hipótese) porém, neste trabalho e pelas suas características, a definição do tamanho da amostra a partir do erro amostral é suficiente.

Estatística inferencial: Teste de parâmetros

A estatística inferencial é a parte da estatística que tem por objetivo estabelecer níveis de confiança da tomada de decisão de associar uma estimativa amostral a um parâmetro populacional de interesse. A Inferência estatística paramétrica utiliza processos estatísticos e probabilísticos para testar a significância de estimativas calculadas em

amostras aleatórias. (COSTA, 2012)

Na estatística inferencial tem-se dois processos básicos: a estimação do parâmetro e o teste de significância do parâmetro.

A estimação é o processo inferencial pelo qual se toma o valor de um parâmetro populacional de interesse pelo valor de uma estimativa ou de um intervalo de estimativas amostrais. É lógico que o que se obtém é um valor ou conjunto de valores que são aproximações do parâmetro populacional desconhecido (COSTA, 2012). Este processo é usado como primeiro estágio para a realização dos testes de hipótese de significância.

A estimação pontual se dá quando a partir de uma amostra, procura-se definir o valor do parâmetro populacional desconhecido por um único número, coincidente com a estatística amostral; e a estimação por intervalos é quando a partir de uma amostra, procura-se definir o valor populacional desconhecido partindo-se de um conjunto de valores ou intervalo de estimativas, onde este intervalo tem alta probabilidade de conter o parâmetro populacional desconhecido, onde essa “alta probabilidade” está indicada pelo “nível de confiança” definido a-priori. (COSTA, 2012)

Os intervalos de confiança podem ser calculados para um valor isolado do parâmetro analisado ou para a diferença de parâmetros de duas amostras, que é o caso a ser utilizado neste trabalho comparando-se dois MDTs correspondentes ao mesmo local geográfico.

Intervalo de confiança da média populacional

Segundo Cremona Parma (2015) a estimativa pontual é aproximada, porque dependerá da amostra selecionada, assim, apenas serve como uma primeira aproximação à análise do parâmetro. Agora bem, se o objetivo do trabalho é estimar os parâmetros, a estimativa por ponto não será o caminho correto já que a possibilidade que esse valor seja o parâmetro probabilisticamente insignificante; isto porque teremos infinitas amostras possíveis e infinitos estimadores por pontos do mesmo parâmetro e somente um desses valores poderá vir a coincidir com o verdadeiro valor do parâmetro, que em geral será sempre desconhecido. Ou seja, estar-se-á cometendo um erro de estimação quando apenas se utilize a estimação pontual.

O mesmo autor indica, em relação ao problema das estimativas pontuais, que:

“Como sabemos que sempre teremos esse “erro de estimação” que resulta inevitável pelo já indicado, surgiu a ideia de construir um intervalo em torno da estimativa pontual, de modo que esse intervalo tenha uma certa e definida probabilidade de conter o valor verdadeiro desse parâmetro. E essa é a ideia principal do processo de estimação de parâmetros por intervalo, típico problema da Estatística Inferencial, pois faremos afirmações probabilísticas dos possíveis valores do parâmetro populacional em estudo.”

Assim, pode-se definir um “Intervalo de confiança” como sendo um intervalo que, com probabilidade conhecida, contém o valor real do parâmetro. A indicada “probabilidade conhecida”, que é indicada como $1 - \alpha$, chama-se nível de confiança do intervalo. Neste caso, o valor “ α ” será a probabilidade do erro da estimação por intervalo, ou seja: a probabilidade errar ao afirmar que o valor do parâmetro se encontra naquele intervalo de confiança; este valor, por tal motivo, é conhecido como nível de significância do parâmetro. (CREMONA PARMA, 2015) Este nível de significância -nas pesquisas usuais- é definido com sendo 10%, 5% ou 1%.

Em geral, nos problemas de ordem prática, quando desejamos determinar o intervalo de confiança para a média populacional, o desvio padrão não é conhecido, então, devemos ter um método de trabalho para quando estas situações acontecerem.

Assim, segundo CREMONA PARMA (2015), em geral, se desconhece o valor do desvio padrão populacional (σ) e deve-se estimar seu valor com base na amostra disponível no estudo, calculando o desvio-padrão da amostra da forma tradicional:

$$S\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (xi - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Dessa forma e supondo uma amostra “grande” ($n \gg 30$ elementos), a semi-amplitude do intervalo de confiança para a média populacional μ ao nível de confiança $(1-\alpha)$, estará dado pela seguinte expressão tradicional:

$$\bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{S\bar{x}}{\sqrt{n}}$$

Logo, usando a notação probabilística tradicional, pode-se indicar a seguinte expressão para o intervalo de confiança da média populacional com o desvio padrão desconhecido:

$$P\left(\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{S\bar{x}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{S\bar{x}}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

Os valores do “Z crítico” (valor padronizado da metade do nível de significância) são tabelados e, para os três níveis de confiança (NC) tradicionais já indicados, assumem os seguintes valores: 1,65 (NC=0,90); 1,96 (NC=0,95) e, 2,58 para NC=0,99. Observe que, quanto maior o nível de confiança, maior o intervalo, ou seja, que a “qualidade da análise” diminui segundo aumenta o NC. (COSTA, 2012)

Analisar-se-á os casos possíveis de ocorrer se comparadas as médias de duas populações diferentes e pareadas, ou seja, cada valor de uma amostra corresponde a um único valor da outra amostra (no caso deste estudo, cada pixel de coordenadas planimétricas conhecidas de um MDT, corresponde a um único pixel no outro MDT). O processo baseia-se em testar a hipótese referente ao valor real da diferença entre as duas médias populacionais. O que tem maior interesse prático é de ser essa diferença maior que zero, já que permitirão identificar qual dos MDTs tem maior (ou menor) parâmetro (CREMONA PARMA, 2015). Assim a hipótese de nulidade será representada por:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0 \Rightarrow H_0: \mu_1 \geq \mu_2 \text{ (para valores positivos da diferença)}$$

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq 0 \Rightarrow H_0: \mu_1 \leq \mu_2 \text{ (para valores negativos da diferença)}$$

Como já indicado, neste caso, a análise será de dados emparelhados ou relacionados. Nestas situações trabalhar-se-á com a diferença “d” dos valores dos dois MDTs, resultando, então, reduzido o problema de comparação de duas médias ao problema de teste da média de uma “amostra” diferença de amostras. Assim, o problema se reduz ao teste de hipótese de uma “única amostra diferença de amostras”:

$$H_0: \mu_d \geq 0 \text{ (para valores positivos da diferença)}$$

$$H_0: \mu_d \leq 0 \text{ (para valores negativos da diferença)}$$

Assim sendo, as hipóteses alternativas, por se tratar de testes unilaterais por direita ou esquerda, poderão ser:

$$H_a: \mu_d < 0$$

$$H_a: \mu_d > 0$$

Assim, segundo TRIOLA (2017) estar-se-á trabalhando com o teste de uma única “média” (diferença de médias) e, em geral, com desvio-padrão desconhecido, para o qual deve-se aplicar a seguinte expressão de calcular para t-Student experimental:

$$Z_{exp} = \frac{\bar{d} - 0}{S\bar{d}/\sqrt{n}}$$

O mesmo autor complementa que, ao se comparar esse resultado de “Z experimental” com o “Z crítico”, poder-se-á rejeitar a hipótese de nulidade H_0 nos seguintes casos:

Para teste unilateral por esquerda: $Z_{exp} < -Z_{crítico}$

Para teste unilateral por direita: $Z_{exp} > +Z_{crítico}$

Como os Zcríticos são unilaterais, variam em relação ao indicado para intervalos de confiança (bilaterais), assim, das tabelas de valores padronizados, podem ser indicados os seguintes valores, segundo o nível de significância:

$$\alpha = 1\% ; Z_c = 2,33$$

$$\alpha = 5\% ; Z_c = 1,64$$

$$\alpha = 10\% ; Z_c = 1,28$$

Teste ANOVA de um fator para comparação de várias médias

Nos itens anteriores, analisaram-se os testes de hipótese para se compararem duas médias populacionais. Porém, tais testes não se aplicam quando há três ou mais médias envolvidas. Nestes casos, a Análise de Variância (ANOVA) é um método para se testar a igualdade de três ou mais médias populacionais através da análise das variâncias amostrais: em vez de se considerar apenas médias amostrais, são consideradas quantidades de variação, tamanhos amostrais e natureza da distribuição das médias amostrais.

Assim, segundo TRIOLA (2017), a análise de variância se baseia na comparação de duas estimativas diferentes da variância comum de duas populações diferentes: Variância entre amostras e Variância dentro das amostras. O termo de um fator é usado porque os dados amostrais são separados em grupos por uma característica (fator). Como sempre, se o valor P for pequeno (menor que o nível de significância crítico), rejeita-se igualdade de todas as médias. Caso contrário, deixe de rejeitar a igualdade das médias, o que significa, na prática que, pelo menos uma das médias é diferente as outras.

O mesmo autor lista uma série de quesitos a serem verificados para a aplicação do teste ANOVA:

- Populações têm distribuições que são aproximadamente normais (método funciona bem se população não tem distribuição muito afastada da normal).
- Populações têm a mesma variância σ^2 ou desvio padrão σ (método é eficiente se variâncias não diferirem por grandes quantidades).
- Amostras aleatórias simples.
- Amostras independentes umas das outras (não são emparelhadas).
- Diferentes amostras são de populações que são categorizadas de apenas uma maneira (um fator).

Neste trabalho, será evitada toda a formulação matemática deste teste, já que será realizado a partir de software estatístico, sendo o procedimento para teste de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots$, de forma geral, o seguinte:

- Use programa estatístico para obter resultados.

- Identifique o valor P.
- Forme conclusão com base nestes critérios:
- Se valor $P \leq \alpha/2$, rejeite hipótese nula de médias iguais e conclua que pelo menos uma das médias populacionais é diferente das demais.
- Se valor $P > \alpha/2$, deixe de rejeitar hipótese nula de médias iguais.

Caso se rejeite a hipótese nula, o que significa que alguma das médias são diferentes, essa ou essas médias devem ser identificadas. Para isso, há procedimentos formais e informais para identificar as médias específicas que são diferentes (COSTA, 2012, TRIOLA, 2017). Dentre os informais, podem-se citar os mais comuns: construir diagramas de caixa (boxplot) com mesma escala e/ou estimar intervalos de confiança e compará-los. Já dentre os procedimentos formais, podem-se citar: Testes de amplitude: identificar subconjuntos de médias que não são diferentes umas das outras; Testes de comparações múltiplas: usam pares de médias, mas ajustam o problema de ter nível de confiança que diminui à medida que aumenta número de testes individuais; e, o mais utilizado, é o chamado pós-teste de Tukey, que faz a comparação de dois a dois para verificar qual é diferente, a partir da análise do p-valor de cada comparação (p-valor muito pequeno, indica médias diferentes dentre si. Também pode-se utilizar o teste de Bonferroni, caso os dados sejam não paramétricos. Neste trabalho se utilizarão os gráficos de boxplot, intervalos de confiança e pós teste de Tukey.

MATERIAL E MÉTODO

Esta pesquisa se enquadra dentro de um estudo experimental para analisar a qualidade de dados secundários, como são os dados altimétricos obtidos nos mapeamentos online, a partir de sua comparação com dados primários obtidos por técnicas de sensoriamento remoto de maior e comprovada qualidade, fazendo a comparação, de forma absoluta, por meio das altitudes de pontos, visando obter a acurácia.

MATERIAIS UTILIZADOS PARA O BANCO DE DADOS SIG

Neste trabalho foram utilizadas várias fontes de dados e aplicativos para o seu desenvolvimento:

- Modelo Digital do Terreno (MDT) do Estado de Santa Catarina
 - Fonte de dado: SIG online do Estado; link: <http://sigsc.sds.sc.gov.br/download/index.jsp>
- Dados altimétricos a partir do GEP
 - Fonte: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>
- Aplicativo online para obter as altitudes dos polígonos criados no GEP:
 - Fonte: <https://www.gpsvisualizer.com/elevation>

Além dos dados, foi utilizado como software de modelagem o programa de computador, livre e aberto, SIG (Sistema de Informação Geográfica) Quantum GIS (QGIS): <https://qgisbrasil.org/comunidade-de-usuarios-qgis-brasil/baixarinstalar/> na sua versão “PI, 3.14”, contemporânea à execução deste trabalho.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi delimitada a partir de duas premissas: ter variabilidade topográfica (áreas planas, áreas íngremes, vales, ...), pouca vegetação de grande porte e uma boa proporção de terrenos baldios para os prédios e vegetação não atrapalhar a comparação. A segunda premissa foi que deveria ser uma área perto do campus Pedra Branca (Palhoça, SC) da UNISUL, para permitir a deambulação da área e definir quais os pontos amostrais no GEP seriam mais adequados de utilizar para a geração do modelo digital de superfície (MDS) da área de estudo.

Assim sendo, definiu-se uma área localizada ao sul do Campus Pedra Branca, de aproximadamente 104 ha, de forma quadrada, com um perímetro de 4km.

Na Figura 1, pode-se observar o mapa de localização da área de estudo relacionada no Estado de Santa Catarina.

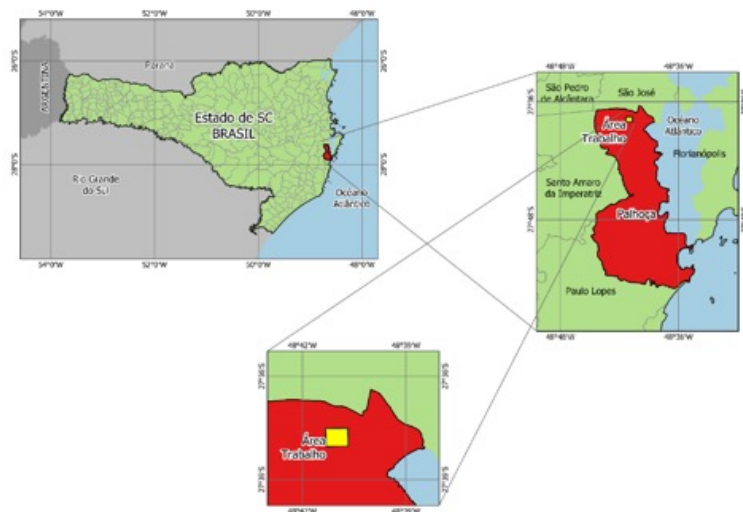


Figura 1: Localização da área de estudo no contexto do Estado de Santa Catarina, Brasil

Fonte: Do autor.

Na figura 2, pode-se observar um detalhe da imagem de satélite GEP da área de trabalho com a indicação dos pontos mais conhecidos da região.



Figura 2: Detalhe da área de trabalho com pontos notáveis da região em estudo

Fonte: do autor.

MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho consistirá, basicamente, em obter os dados numéricos de pontos do GEP da área de estudo e gerar o MDS e o MDD (Modelo digital de declividades), a seguir, com o MDE do Estado de SC, gera-se o MDD. Assim, com os dois modelos de cada fonte de dados já devidamente criados, faz-se a comparação enquanto exatidão (teste de médias) dentre ambos os modelos. Finalmente, com esses testes de hipóteses, concluir analisando os resultados obtidos.

Obtenção altimetria, MDS e MDD do Google Earth Pro

A partir do software GEP, e dentro da área de trabalho, serão geradas linhas poligonais com a ferramenta “Adicionar Caminho” seguindo as regiões representativas da topografia do terreno (ruas, depressões, elevações, terrenos baldios, etc) para logo, a partir de aplicativos online¹, obter as coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos de cada linha poligonal.

A seleção das linhas de levantamento adequadas deve ser realizada para efeito de se evitar, ao máximo, as áreas de grandes árvores e construções, para que os dados sejam colhidos da superfície do terreno e não da superfície aparente em razão das árvores e construções.

A partir destas listas de coordenadas tridimensionais e utilizando os algoritmos matemáticos clássicos de interpolação do QGIS (malha triangular e logo a sua rasterização) serão construídos os arquivos raster do modelo digital de superfície e modelo digital de declividades correspondentes aos dados do GEP (chamados para este trabalho de MDSg e MDDg).

Estes modelos são os que devem ser avaliados na sua precisão e exatidão, comparando-os estatisticamente com um modelo já existente e definido como de melhor qualidade, pelo fato de ter sido executado *ad-hoc*.

Obtenção dos dados do Levantamento aerofotogramétrico do Estado de SC

O seguinte passo do método é a obtenção dos dados do levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina, tanto as imagens aéreas como o modelo digital de terreno derivado do levantamento aéreo (MDTa) a partir do site oficial do web-mapping online para baixar os diferentes arquivos que fazem a cobertura da área de estudo e, assim, gerar o mosaico e recorte apenas da área de estudo.

1. Site <https://www.gpsvisualizer.com/elevation>

Logo, a partir do modelo digital do terreno do Estado (MDTa), cria-se o modelo digital de declividades (MDDa).

Cabe salientar que estes MDTa e MDDa serão as fontes assumidas como de melhor qualidade para fazer a comparação com os MDSg e MDDg.

Processamento dos dados

Antes de realizar a comparação dos dados, alguns processos de ajuste dos dados, para obter informação comparável, devem ser feitos para garantir a mesma.

Dentre os mais importantes pode-se citar o referenciamento geográfico do modelo aéreo às coordenadas do modelo Google, para poder fazer a comparação dos pixels homólogos, a reamostragem do modelo MDSg e MDDg ao mesmo tamanho de pixel que o MDTa e MDDa, aos efeitos de gerar um conjunto de matrizes (imagens) funcionalmente bijetoras, ou seja, que cada pixel de um conjunto corresponda ao mesmo pixel, tanto da posição como no tamanho, no outro conjunto.

Outra operação realizada nesta etapa é a classificação da topografia, segundo as classes de relevo definidas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no seu Manual Técnico de Pedologia² de 2007. Esta divisão da área em seus relevos permite analisar a qualidade dos dados em diferentes topografias, permitindo inferir se as diferentes paisagens geomorfológicas influenciam na acurácia das informações obtidas do GEP. A partir desta classificação, será realizada a estratificação da amostragem.

Comparação da qualidade dos modelos Google

Feita a amostragem estratificada segundo as categorias do relevo, se determinará para cada ponto amostrado os valores da altimetria e da declividade tanto no modelo Google como no aeromodelo. Este banco de dados será o utilizado para a comparação indicada no seguinte parágrafo.

Finalmente, o modelo digital da superfície de Google (MDSg) é comparado com o modelo digital do terreno do aerolevante (MDTa) e o modelo digital de declividades de GEP (MDDg) é comparado com o modelo digital de declividades do aerolevante (MDDa), na área de estudo como um todo e em cada região de relevo diferenciado, para poder concluir se o relevo apresenta algum condicionamento para a qualidade.

Esta comparação se faz visando, no caso da comparação da altimetria, definir a acurácia absoluta dos dados ponto a ponto, por meio das diferenças de nível dentre os dois

2. Fonte: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>

modelos altimétricos e, no caso da declividade para definir a acurácia relativa³ entre pontos vizinhos, para verificar a qualidade dos desníveis topográficos dentre os dois modelos.

Assim, serão usados os testes de hipóteses da acurácia, que são os testes das médias, sempre trabalhando com amostras pareadas e o teste ANOVA, para comparar várias médias (segundo as classes de relevo).

A partir destes resultados, se fez a inferência da qualidade dos modelos levando em consideração as diferentes qualidades altimétricas definidas pelas normas cartográficas brasileiras já indicadas na revisão bibliográfica, podendo assim concluir para que tipo de escala pode servir -ou não- os dados altimétricos extraídos do GEP.

Fluxograma: Resumo do método

Na seguinte página pode-se observar, na Figura 3, o fluxograma relativo ao método dissertado no item anterior, desde a seleção da área de estudo até as conclusões definidas segundo as normas cartográficas brasileiras.

3. A declividade está relacionada com a distância horizontal e desnível dentre pontos na direção da maior relação desnível/distância

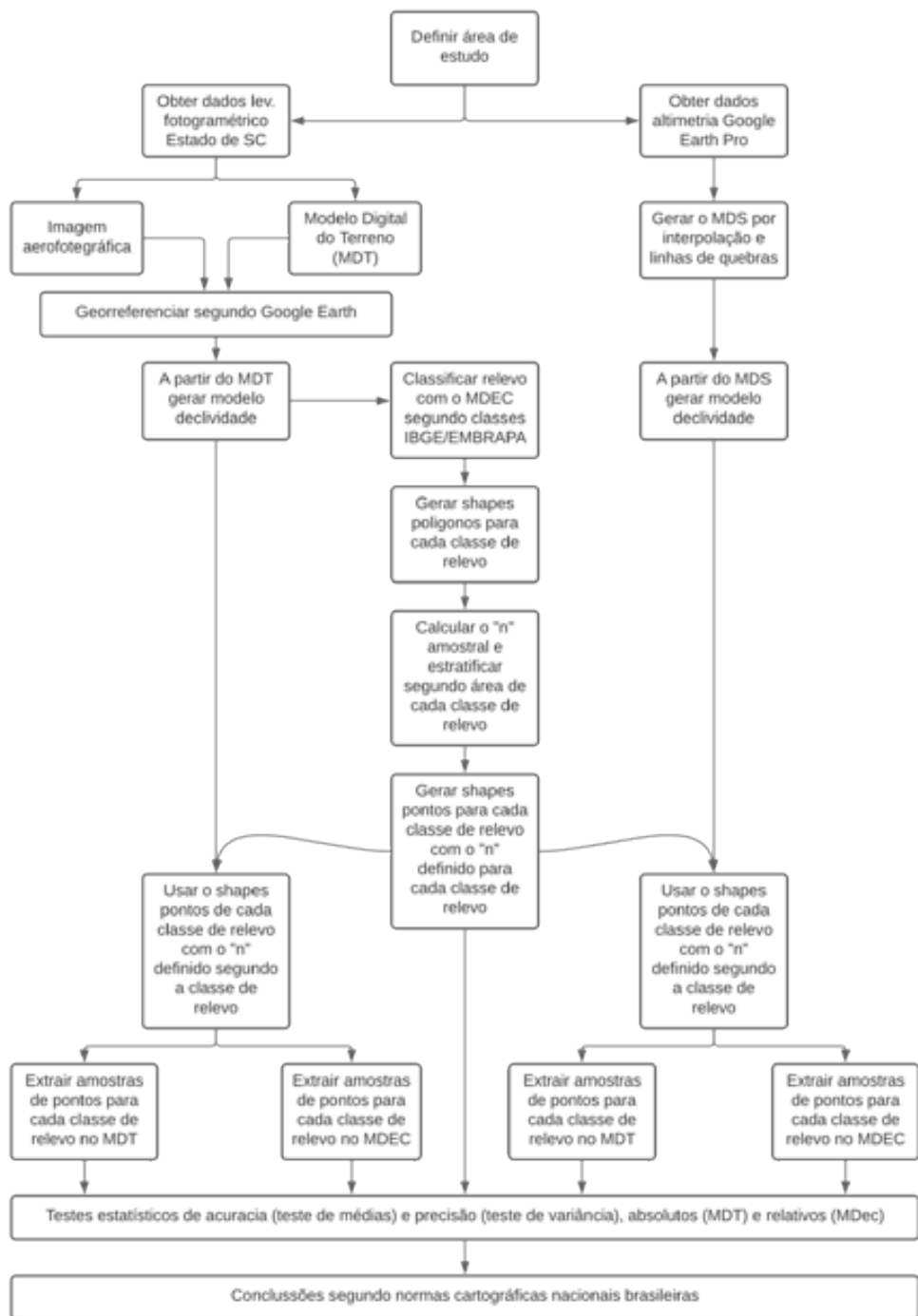


Figura 3: Fluxograma do método de trabalho

Fonte: do Autor.

RESULTADOS

OBTENÇÃO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO DO ESTADO DE SC

Com a área de estudo já definida, obtidas, a partir do site do SIGSC, as imagens do mosaico aerofotográfico ortorectificado e o mosaico dos modelos digitais do terreno que faziam a cobertura da citada área, sendo as seguintes: Imagem aerofotográfica: Mos_OrtoRGB_SG-22-ZDV2-NO_EF-SO_AB_SDS.tif; Imagem MDT: Mos_MDT2012_SG-22-ZDV2-NO_EF-SO_AB_SDS.tif.

Finalmente, as imagens foram recortadas segundo a área de estudo para reduzir o trabalho à área de interesse e diminuir o volume de processamento e o chamado custo computacional de processamento.

A imagem aerofotográfica é para visualização do terreno apenas como “fundo de tela”. Todos os processos para a análise de qualidade foram feitos a partir do MDT de 2012.

Uma vez obtidos os citados arquivos e levando-se em consideração que se pretende comparar dados com os obtidos do GEP, tanto a imagem aerofotográfica como a imagem do MDT foram georreferenciadas às coordenadas de GEP (Figura 4 e Figura 5).



Figura 4: recorte mosaico SIGSC georreferenciado com GEP

Fonte: do autor.

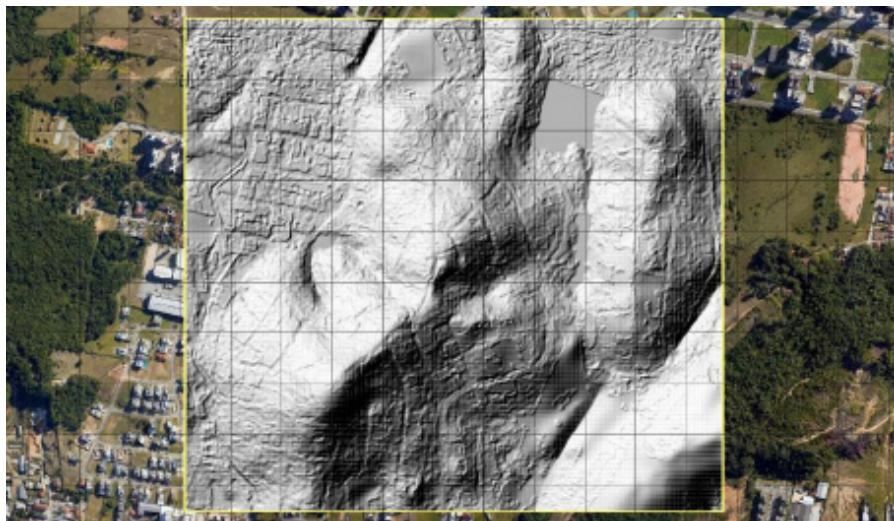


Figura 5: recorte MDT SIGSC georreferenciado com GEP

Fonte: do autor.

PROCESSAMENTO DO MDT SIGSC

A partir do MDT foi gerado, com as rotinas próprias do geoprocessamento do QGIS, o Modelo Digital de Declividades, neste primeiro caso, obteve-se um modelo digital contínuo, onde, para cada pixel, calculou-se a declividade com os pixels vizinhos, levando-se em consideração o maior gradiente ao redor do pixel em análise (Figura 6).

Porém, pelo fato de ser contínuo, não é de muita utilidade na engenharia e arquitetura e nem para este trabalho. Isso porque o importante é trabalhar com classes de declividades, já que todos os projetos de obras de infraestrutura e de arquitetura tem limitações segundo certas classes de declividades definidas em diferentes regulamentos e códigos de obras. Como este trabalho não visa especificamente nenhum código de obras específico e para efeitos de generalização, foram definidas as classes de declividade segundo a classificação de solos do EMBRAPA, que trabalha com 6 classes, desde relevo plano até escarpado (Tabela 1).

Pelo tipo de relevo conhecido da área de estudo, é de se esperar que as classes de maiores declividades não existam ou sejam muito pequenas proporcionalmente à área em estudo e, por tal motivo, serão desconsideradas do trabalho (situação que ocorreu com as classes montanhoso e escarpado, que apresentam declividades superiores a 45%)

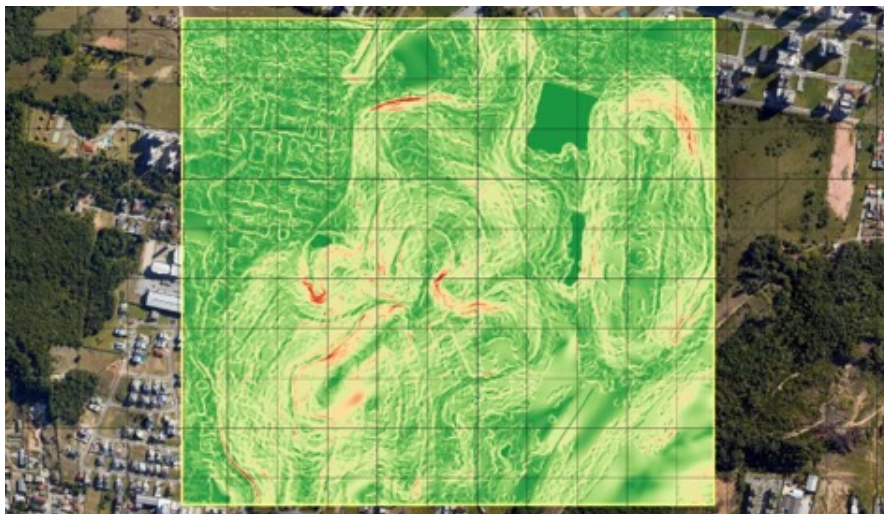


Figura 6: MDD contínuo derivado a partir do MDT

Fonte: do autor.

Classes de Declividade	Limites Percentuais (%)
Plano	0-3
Suave ondulado	3-8
Ondulado	8-20
Forte – ondulado	20-45
Montanhoso	45-75
Escarpado	> 75

Tabela 1: Classes de declividade propostas pela EMBRAPA em 1979

Fonte: Adaptada de EMBRAPA.

Utilizando as rotinas de classificação GRASS desde o Quantum GIS, foi possível obter-se um mapa de declividade classificado segundo EMBRAPA (Figura 7).

A partir deste mapa de declividades classificado, foram calculadas as áreas de cada classe e comparada com a área total de estudo (10033920,01 m²) sendo assim possível desconsiderar as classes 5 e 6 por ter, respectivamente, uma área aprox. de apenas 0,33% da área a classe 5 e 0,02% da área a classe 6, totalizando u, 0,34% da área de estudo. Por tal motivo, essas classes 5 e 6 foram reclassificadas como a classe de maior frequência (classe 3). Na tabela 2, se observam os dados descritivos de cada uma das classes.

O modelo matemático para geração destes MDD cria arquivos raster. Para poder oportunizar o trabalho de amostragem, o arquivo raster se transformou num arquivo vetorial do tipo Shapefiles padronizado dos Sistemas de Informações Geográficas.

Neste mapa discreto de polígonos pode-se observar na Figura 8. Tanto na Figura

7 como na Figura 8 o verde obscuro representa a classe 1 (plano) e o vermelho a class2 6 (escarpado), por ter se usado uma paleta de cores em degrede, que vai desde o verde obscuro, passando pelo amarelo e chegando ao vermelho obscuro (de menor a maior declividade).

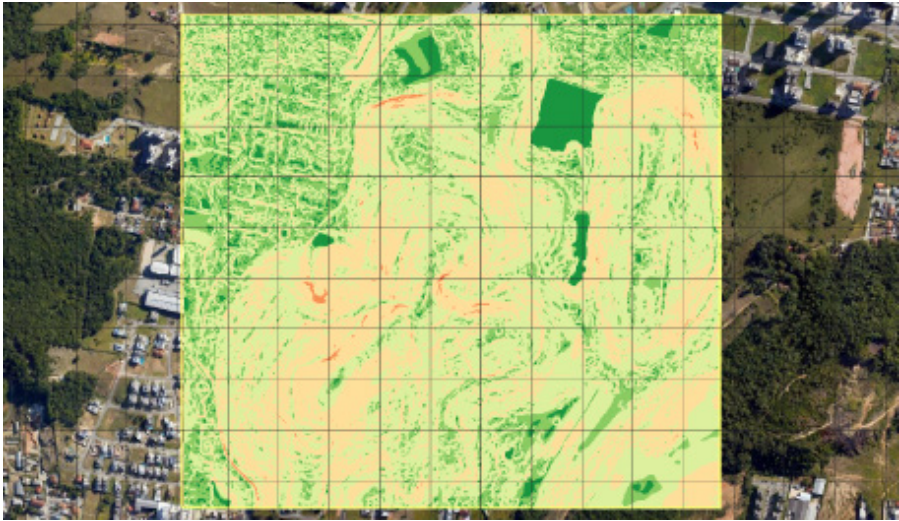


Figura 7: MDD classificado segundo EMBRAPA em 6 classes

Fonte: do autor.

Classes de Declividade	Área (m2)	Coef. de variabilidade	% relacionada à área total
Plano (Classe 1)	5672,77	18,28	5,48
Suave ondulado (Classe 2)	187060,99	10,43	17,82
Ondulado (Classe 3)	522485,92	29,94	50,53
Forte – ondulado (Classe 4)	267068,71	15,28	25,83
Montanhoso (Classe 5)	3505,63	3,06	0,34
Escarpado (Classe 6)	15,99	0,50	0,02

Tabela 2: Dados descritivos das classes EMBRAPA (classes 5 y 6 foram reclassificadas como classe 3).

Fonte: do autor.

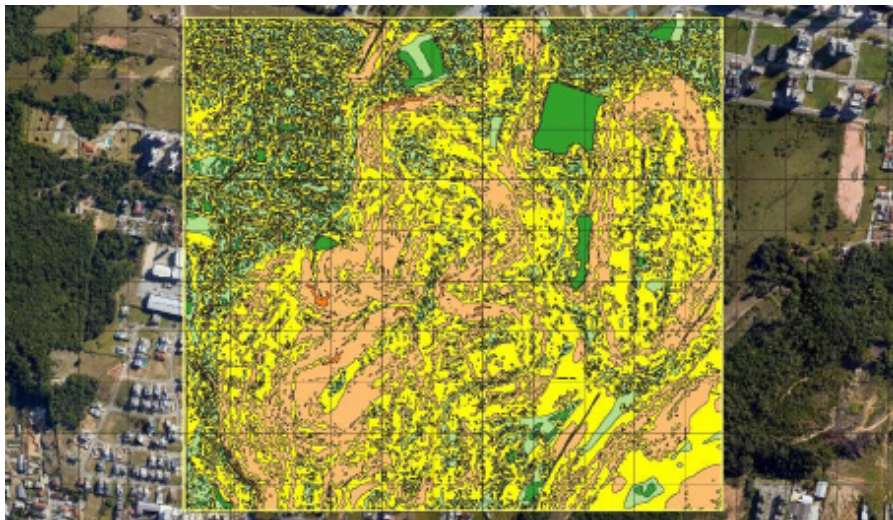


Figura 8: MDD reclassificado em formato vetorial Shape.

Fonte: do Autor.

Para o efeito de se demonstrar a falta de representatividade das classes 5 e 6, na figura 9 se pode visualizar apenas essas duas classes (classe 6 é um pequeno polígono no centro a imagem)

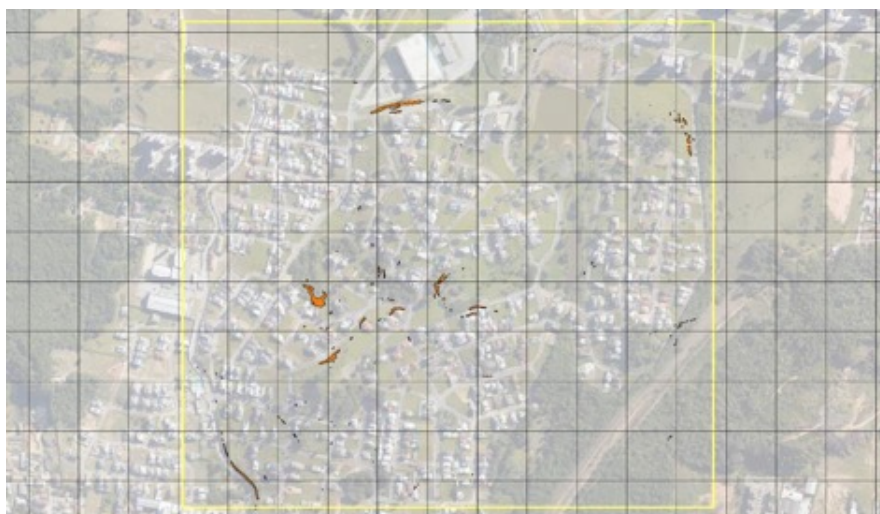


Figura 9: localização das classes 5 e 6 reassinadas como classe 3 (de maior frequência).

Fonte: do Autor.

DEFINIÇÃO DA AMOSTRAGEM DE PONTOS

Como primeira medida, deve ser calculado o número de pontos de amostras dentro da área de estudo. Para isso, foi utilizado o modelo clássico de definição de “n” para populações muito grandes ou infinitas (Cremona Parma, 2015), com correção pelo conhecimento da população e logo foi estratificado para cada uma das 4 classes definidas neste trabalho (desde classe1: plana até classe 4: forte-ondulado).

Assim, considerando um erro amostral de 2%, e corrigindo para o total da população (número de pixels da imagem da área de estudo: $1064 \times 973 = 1035272$; salienta-se aqui que o pixel da imagem tem uma resolução espacial de um metro de lado), resulta:

$$no = \frac{1}{E^2} = \frac{1}{0,02^2} = 2500$$

Logo, corrigindo segundo o N (total de pixels) resulta:

$$n = \frac{N \times no}{N + no} = \frac{1035272 \times 2500}{1035272 + 2500} = 2494 \rightarrow \text{se adopta: } n = 2500$$

Pode-se observar que, neste caso, pelo tamanho grande da população, a correção não teve efeitos significativos na redução do n amostral.

Finalmente, e com as percentagens de cada classe (Tabela 2) e reconsiderando a eliminação das classes 5 e 6, a quantidade de pontos a amostrar por estratificação da amostra de 2500 pontos da área de estudo, resulta como se observa na tabela 3

Classes de Declividade	% relacionada à área total	Valor do n estratificado
Plano (Classe 1)	5,48	136
Suave ondulado (Classe 2)	17,82	447
Ondulado (Classe 3)	50,87	1272
Forte – ondulado (Classe 4)	0,02	645

Tabela 3: n amostral estratificado por cada classe de declividade.

Fonte: do Autor.

Sendo assim, criaram-se para cada classe de declividade um conjunto de pontos aleatórios, de forma automática no QGIS para obter os pontos a partir dos quais foram feitos os cálculos de comparações objetivos de este estudo.

Apenas como exemplo, na figura 10 observa-se a classe 1 (plano) com os 137 pontos amostrais. Cabe salientar aqui que, no modelo de definição de um conjunto de pontos amostrais aleatórios sobre um raster binário (branco: não é a classe, preto: é a classe em estudo) alguns pontos foram definidos nos pixels limites de algumas áreas.

Para solucionar tal situação, que pode dar problemas na hora da modelagem

estatística de comparação, foi feita uma varredura visual de cada um dos conjuntos de pontos em cada uma das classes para evitar essa situação, para o qual, o ponto foi deslocado manualmente para o interior de cada polígono.

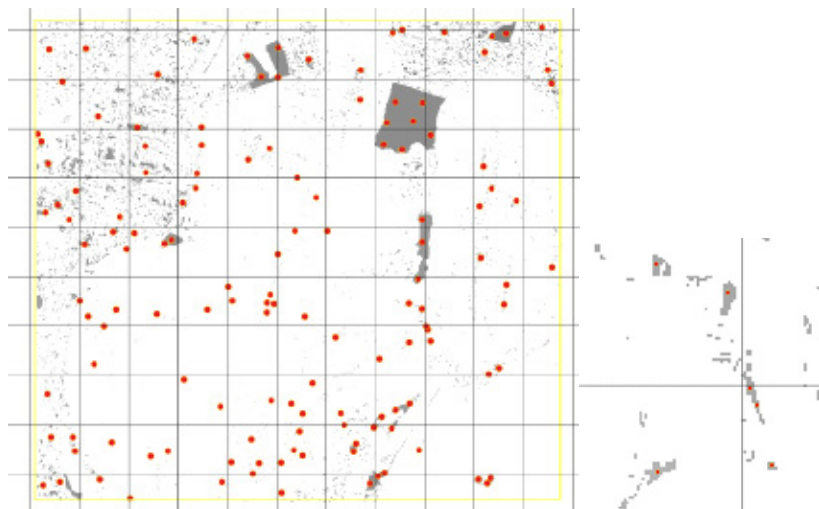


Figura 10: amostragem aleatória de pontos. Esquerda: um detalhe da localização de pontos.

Fonte: do Autor.

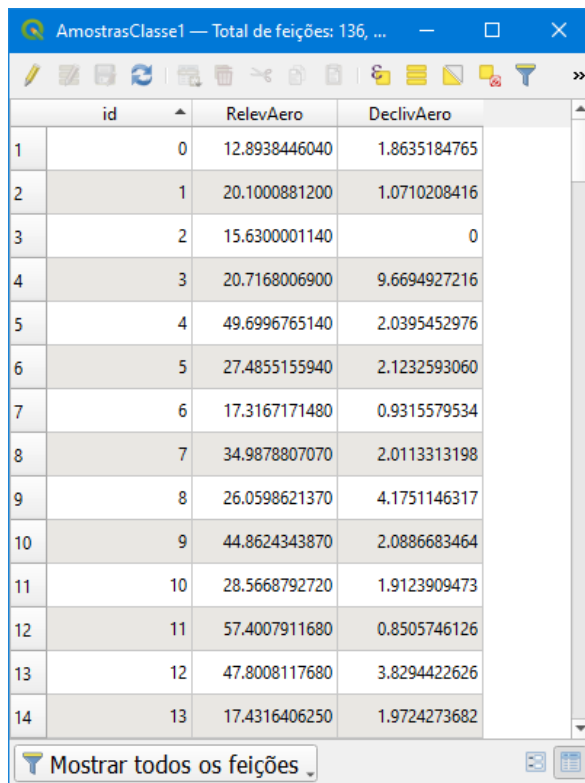
O resultado do mapeamento dos 2500 pontos amostrais estratificado para cada uma das 4 classes pode ser visualizado na Figura 11.

Estes pontos amostrais serão a base de trabalho para comparação dos modelos digitais do terreno e declividades, tanto no modelo digital do levantamento do estado de SC (SIGSC) como do modelo que foi criado a partir de dados levantados no GEP.

EXTRAÇÃO DA ALTIMETRIA E DECLIVIDADE PARA OS PONTOS AMOSTRAIS A PARTIR DOS DADOS DO LEVANTAMENTO SIGSC

Finalmente para esta etapa, a cada um destes 2500 pontos estratificados, aplicou-se a rotina de captura de valores a partir de um raster para cada ponto, tanto no modelo digital de declividades como no modelo digital do terreno.

Assim, obteve-se uma tabela de dados (tabela de atributos dos pontos amostrais) com o valor da altitude, capturada a partir da sobreposição do MDT com a camada vetorial pontos de cada classe e o valor da classe de declividade, a partir da sobreposição de cada classe de MDD com a mesma camada de pontos amostrais. Na Figura 11 pôde-se observar parte da tabela de atributos com os citados valores.



	id	RelevAero	DeclivAero
1	0	12.8938446040	1.8635184765
2	1	20.1000881200	1.0710208416
3	2	15.6300001140	0
4	3	20.7168006900	9.6694927216
5	4	49.6996765140	2.0395452976
6	5	27.4855155940	2.1232593060
7	6	17.3167171480	0.9315579534
8	7	34.9878807070	2.0113313198
9	8	26.0598621370	4.1751146317
10	9	44.8624343870	2.0886683464
11	10	28.5668792720	1.9123909473
12	11	57.4007911680	0.8505746126
13	12	47.8008117680	3.8294422626
14	13	17.4316406250	1.9724273682

Mostrar todos os feições

Figura 10: amostragem aleatória de pontos. Esquerda: um detalhe da localização de pontos.

Fonte: do Autor.

Geração do MDE a partir do GEP e extração dos valores de altimetria e declividade nos pontos amostrais

Uma vez concluída a extração dos dados do levantamento SIGSC, deve-se fazer um processo semelhante partir do GEP, porém neste caso, primeiro deve ser criado o modelo digital de terreno a partir dos dados altimétricos mundiais que a NASA permite ser utilizado no GEP.

Criação de poligonais no GEP e obtenção de pontos tridimensionais

A partir do GEP foram criadas poligonais das quais, posteriormente, cada um dos seus vértices serão pontos para geração do MDS. Algumas considerações, ao traçar estas poligonais foram levadas em consideração: deu-se preferência as ruas, lotes baldios e clareiras nas áreas de vegetação densa, a partir da imagem de satélite 2011, imagem próxima à data do aerolevanteamento SIGSC, com o objetivo de minimizar diferenças. Na Figura 12, pode-se observar as poligonais traçadas diretamente no GEP.



Figura 12: Poligonais para obtenção de pontos geradores do MDS.

Fonte: do autor.

Os vértices destas poligonais são planos, ou seja, apenas coordenadas planimétricas de latitude e longitude UTM. Para obter a altimetria de cada vértice, no QGIS, foram importadas como polígono e transformadas para pontos em coordenadas planas WGS84 UTM (Figura 13).

Na Figura 14, observamos a tabela de coordenadas dos pontos adaptada já para a obtenção das coordenadas de altitude. No total, os pontos definidos no GEP foram 4.647 para a área de trabalho definida.



Figura 13: poligonais importadas no QGIS e extração de vértices.
Fonte: do autor.

AreaTCC_ParaGeracaoMDE_PontosEstruturaGPX — Total de feições: 4647, Filtrada: 4647, Seleccionada: 0

Type	latitude	longitude	name
1 W	-27.625576914013207	-48.689499108967290	4647
2 W	-27.625976473522169	-48.689499108967290	4646
3 W	-27.626139266112169	-48.689499108967290	4645
4 W	-27.626419475834300	-48.689507768880311	4644
5 W	-27.626949774540169	-48.689518456942103	4643
6 W	-27.627416931830410	-48.689527321179277	4642
7 W	-27.627452690414941	-48.689531712919802	4641
8 W	-27.627466995707270	-48.689534391087570	4640
9 W	-27.627713433107630	-48.689562846289910	4639
10 W	-27.628026166916111	-48.689588017085107	4638

Mostrar todos os feições

Figura 14; tabela de coordenadas latitude e longitude em WGS84.

Fonte: do autor.

Posteriormente, para obter os dados altimétricos do modelo GEP, foi utilizado o site <https://www.gpsvisualizer.com/elevation> (Figura 15)



Figura 15: GPS visualizer: site que permite obter os dados altimétricos a partir de um arquivo de coordenadas X,Y ou Lat/Long.

Fonte: do autor.

A partir deste site foram obtidos, finalmente, as coordenadas altimétricas elipsoidais

www_GPSVisualizer_Com_Elevations — Total de feições: 4647, Filtrada: 4647, Seleccionada: 0					
	type	latitude	longitude	altitude	name
1	W	-27.625576914000000	-48.689510284999997	24.800000000000001	4647
2	W	-27.625976474000002	-48.689493173999999	26.399999999999999	4646
3	W	-27.626139265999999	-48.689499109000003	26.500000000000000	4645
4	W	-27.626419475999999	-48.689507769000002	26.699999999999999	4644
5	W	-27.626949775000000	-48.689518456999998	26.199999999999999	4643
6	W	-27.627416931999999	-48.689527321000000	25.100000000000001	4642
7	W	-27.627452689999998	-48.689531713000001	25.000000000000000	4641
8	W	-27.627466995999999	-48.689534391000002	25.000000000000000	4640
9	W	-27.627713433000000	-48.689562846000001	25.100000000000001	4639
10	W	-27.628026167000002	-48.689588016999998	25.300000000000001	4638

Figura 16: tabela de coordenadas tridimensionais (Referencial elipsoide WGS84).

Fonte: do autor.

Posteriormente, e com o aplicativo MAPGEO2015 do IBGE, foram calculados os valores das ondulações geoidais (diferença local dentre o elipsoide com a superfície geoidal ou nível médio do mar) para cada um dos pontos levantados.

Este processo é importante para poder transformar as alturas elipsoidais (referencial geométrico) em alturas geoidais (referencial nível médio do mar na área de trabalho) ou simplesmente altitudes. Na área de trabalho, a ondulação geoidal é positiva, na média +0,79m (variando dentre 0,77 a 0,81, mediana de 0,79, moda de 0,79), o que significa que o geoide se encontra sobre o elipsoide, por este motivo, aos pontos obtidos segundo indicado (Coluna Altitude), foram somados os valores pontuais obtidos pelo MAPGEO2015 (Coluna OndGeoidal), resultando nos valores do relevo do modelo do GEP/NASA adaptado ao geoide no local (Coluna Cota) como se pode visualizar numa parte da planilha de dados da Figura 17.

	name	type	latitude	longitude	altitude	OndGeoidal	Cota
1	1	W	-27.62577152500001	-48.689281100999999	24.500000000000000	0.79	25.2900000000
2	10	W	-27.626417540999999	-48.689245212000003	25.699999999999999	0.79	26.4900000000
3	100	W	-27.632505324000000	-48.688578722999999	35.799999999999997	0.8	36.6000000000
4	1000	W	-27.629217369999999	-48.679453189000000	30.300000000000001	0.78	31.0800000000
5	1001	W	-27.629398424000001	-48.679459852999997	31.399999999999999	0.78	32.1800000000
6	1002	W	-27.629633504000001	-48.679500097999998	33.100000000000001	0.78	33.8800000000
7	1003	W	-27.629913684000002	-48.679528734000002	35.000000000000000	0.78	35.7800000000
8	1004	W	-27.630011903000000	-48.679533986999999	35.500000000000000	0.78	36.2800000000
9	1005	W	-27.630148683000002	-48.679552373000000	35.200000000000003	0.78	35.9800000000
10	1006	W	-27.630281887999999	-48.679574649999999	35.100000000000001	0.78	35.8800000000

Figura 17: dados altimétricos do GEP/NASA corrigidos pela ondulação geoidal local.

Fonte: do autor.

Com estes dados de cotas geoidais (ou cotas sobre o nível médio do mar) e com as rotinas de interpolação (TIN resolução raster 0,10m e método de interpolação linear) para criar um modelo digital de superfície e de declividades (derivado desde o modelo digital de superfície), foram obtidos, primeiramente, o modelo do relevo e posteriormente, o modelo de declividades, transformados finalmente ao referencial cartográfico UTM 22Sul SIRGAS 2000. (Figuras 18 e 19)

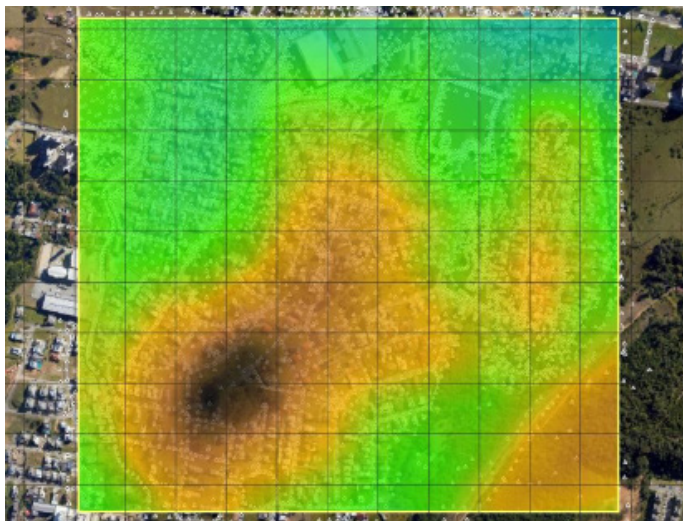


Figura 18: MDS gerado a partir dos dados obtido do GEP/NASA.

Fonte: do autor.

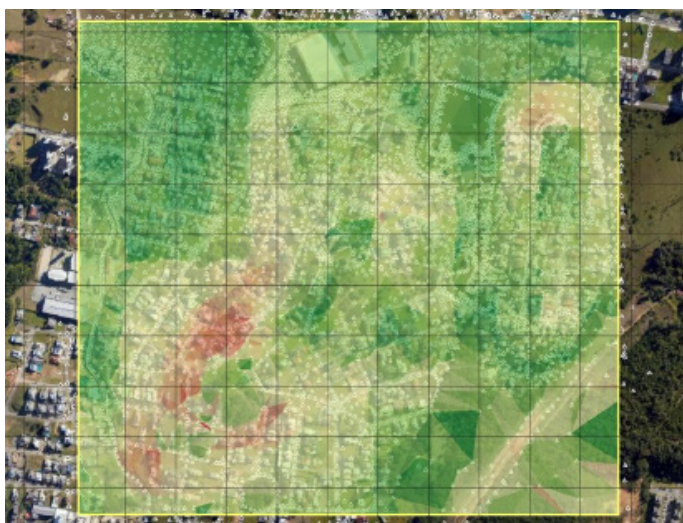


Figura 19: MDD derivado do MDS GEP.

Fonte: do autor.

A continuação, para cada um dos 2500 pontos estratificados da amostra por classes, aplicou-se a rotina de captura de valores a partir de um raster para cada ponto, tanto no modelo digital de superfície como no modelo de declividades. Na Figura 20, observa-se, como exemplo, a sobreposição do relevo obtido com os dados de GEP/NASA (MDE), e os 2500 pontos amostrais. Nessa imagem, observam-se em 4 cores, as 4 classes de relevo predominantes na região:

- Classe 1 (plano): cor azul
- Classe 2 (suave ondulado): cor verde
- Classe 3 (ondulado): cor vermelho
- Classe 4 (forte-ondulado): cor preto

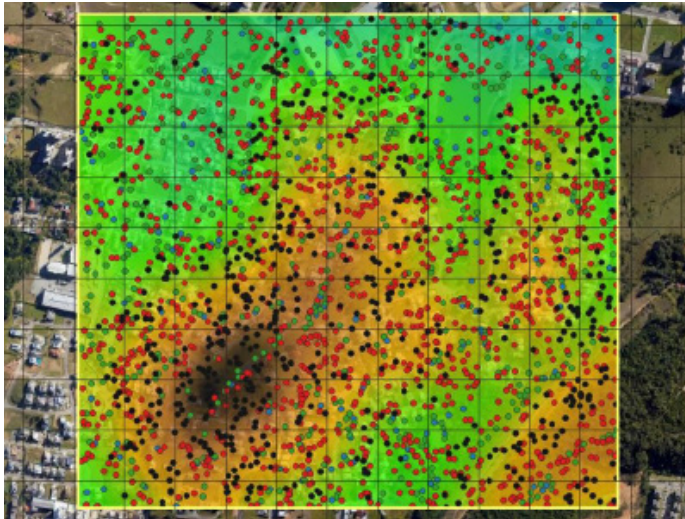


Figura 20: Sobreposição do MDE GEP/NASA/GEOIDE com os pontos amostrais (Azul: classe 1, Verde: classe 2, Vermelho: classe 3, Preto: classe4).

Fonte: do autor.

Assim, obteve-se uma tabela de dados (tabela de atributos dos pontos amostrais) com o valor da altitude, capturada a partir da sobreposição do MDT com a camada vetorial pontos de cada classe e o valor da classe de declividade, a partir da sobreposição de cada classe de MDD com a mesma camada de pontos amostrais. Na Figura 21, pôde-se observar parte da tabela de atributos com os citados valores.

	RelevAero	DeclivAero	Classe	GEP_RelGeo	GEPDecGeoi
1	12.8938446040	1.8635184765	1	16.0136623382...	4.41618299484...
2	29.8688640590	6.2729954720	2	32.5792884826...	15.5280408859...
3	39.9394340520	11.5028610230	3	48.6050071716...	17.3546657562...
4	45.7459716800	22.8627986910	4	51.0079612731...	18.3284358978...
5	20.1000881200	1.0710208416	1	26.1587390899...	10.6048021576...
6	22.0855350490	3.0134477615	2	26.1837081909...	7.08769512176...
7	37.6283340450	9.3682880402	3	36.0830345153...	7.94574213027...
8	17.5726184840	26.5564079280	4	22.9099674224...	3.90627861022...
9	15.6300001140	0	1	21.6667747497...	5.60932874679...
10	34.6221618650	5.7164726257	2	34.1596260070...	7.44652652740...

Figura 21: tabela de atributos dos pontos amostrais com os valores das altitudes e declividades das duas fontes de dados utilizadas

Fonte: do autor

Já na Figura 21, pode-se observar, visualmente, que existem diferenças dentre os MDE (RelevAero) e MDD (DeclivAero) de maior precisão e exatidão do SIGSC, com as duas últimas colunas GEP_RelGeo (MDS) e GEPDecGeoid (MDD) obtidas a partir dos modelos digitais com os dados Google Eart Pro/NASA corrigidos pelo Geoide local.

Comparação dos modelos criados

A partir dos dados obtidos das diferentes fontes e, sabendo que, como já foi indicado, o modelo digital de superfície do SIGSC, pelo fato de ter sido feito a partir de um levantamento aerofotogramétrico de alta qualidade, é o modelo de referência, que se levará em conta como o modelo “correto”, “real” ou “verdadeiro”, é a partir deste que serão contrastados os dados obtidos do modelo GEP/NASA, corrigidos pelo MAPGEO2015.

Assim, lembrando da Teoria dos erros da Geodesia que, o erro se define como: Erro = Observado – verdadeiro; e levando em consideração que dependendo qual o objetivo desse erro, poder-se-á trabalhar com o erro com seu sinal ou em valor absoluto, calcularam-se apenas o erro com o sinal, na mesma tabela de atributos já mostrada, tendo agora o visual da Figura 22, sobre os quais serão feitas as análises estatísticas.

	RelevAero	DeclivAero	Classe	GEP_ReiGeo	GEPDecGeoi	DeltaRelev	DeltaDecli
1	12.8938446040	1.8635184765	1	16.0136623382...	4.41618299484...	3.1198177343	2.5526645183
2	29.8688640590	6.2729954720	2	32.5792884826...	15.5280408859...	2.7104244237	9.2550454139
3	39.9394340520	11.5028610230	3	48.6050071716...	17.3546657562...	8.6655731196	5.8518047332
4	45.7459716800	22.8627986910	4	51.0079612731...	18.3284358978...	5.2619895932	-4.5343627932
5	20.1000881200	1.0710208416	1	26.1587390899...	10.6048021316...	6.0586509700	9.5337812901
6	22.0855350490	3.0134477615	2	26.1837081909...	7.08769512176...	4.0981731419	4.0742473603
7	37.6283340450	9.3682880402	3	36.0830345153...	7.94574213027...	-1.5452995296	-1.4225459099
8	17.5726184840	26.5564079280	4	22.9099674224...	3.90627861022...	5.3373489385	-22.6501293178
9	15.6300001140	0	1	21.6667747497...	5.60932874679...	6.0367746358	5.6093287468
10	34.6221618650	5.7164726257	2	34.1596260070...	7.44652652740...	-0.4625358579	1.7300539017

Figura 22: tabela de atributos com os erros de relevo (DeltaRelev) e de declividades (DeltaDecli).

Fonte: do autor.

Com estes dados tabelados serão feitas as análises comparativas e testes estatísticos indicados previamente, assim como dois mapas temáticos para visualizar a distribuição espacial desses erros na área de estudo.

Assim, aplicando as mesmas rotinas de geração de modelos digitais de elevação ou declividades, porém, agora utilizando os valores das diferenças dentre as cotas e dentre as declividades das duas fontes de dados, foram feitos os dois mapas temáticos de erros das Figuras 23 e 24, onde se indicam numa escala multicolor em degrade, para efeito de já se ter uma representação visual das diferenças apontadas, que serão objeto das análises estatísticas já indicadas oportunamente. Nestes mapas a escala multicolor utilizada varia desde os vermelhos, para as maiores diferenças positivas, até os azuis escuros maiores diferenças negativas.

Em quanto ao intervalo dos erros, pode-se observar que temos os seguintes extremos

- Relevo: entre -8,12m e +10,92m
- Declividades, entre -37,16% e +21,72%

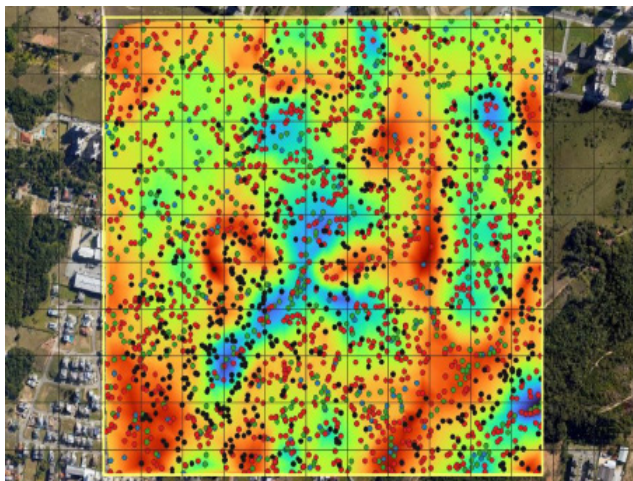


Figura 23: Mapa temático dos erros no relevo.

Fonte: do autor .

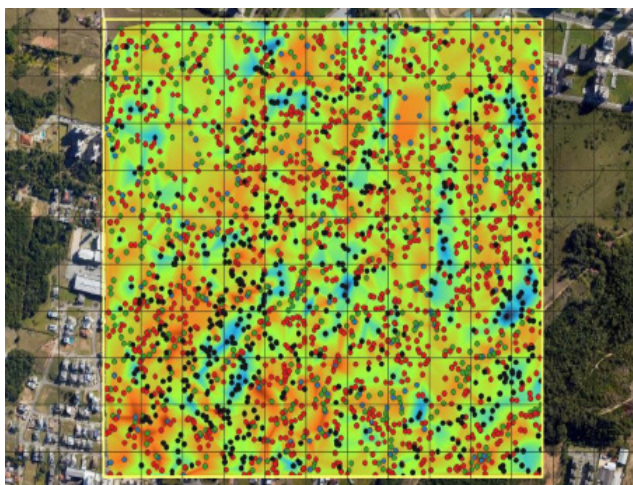


Figura 24: Mapa temático dos erros nas declividades

Fonte: do autor

ANÁLISES ESTATÍSTICAS GLOBAIS E ESTRATIFICADAS

Para definição dos valores mínimo e máximo gerais e estratificados pelos tipos de relevos, fez-se uma estatística descritiva tradicional. Na tabela 4, pode-se observar os valores das estatísticas básicas de média, intervalo de confiança, desvio padrão, variação máxima e valores mínimos e máximos das diferenças de relevo e declividades. Por sua vez, na Figura 25, observam-se os histogramas com as respectivas curvas de distribuição das mesmas diferenças; dando para observar, nestes gráficos, a normalidade dos valores analisados.

Estatísticas	DeltaRelev	DeltaDecli
N	2481	2481
Média	2.21 (EP: ± 0.13)	-4.59 (EP: $\pm 0,32$)
Intervalo de Confiança de 95%	2.08;2.33	-4.91; -4.28
Desvio Padrão	3.16	8.00
Variação	20.04	58.88 -37.16 / 21.72
Mínimo / Máximo	-9.12/10.92	

Tabela 4: Valores descritivos das diferenças de relevo e declividade.
 Fonte: do autor.

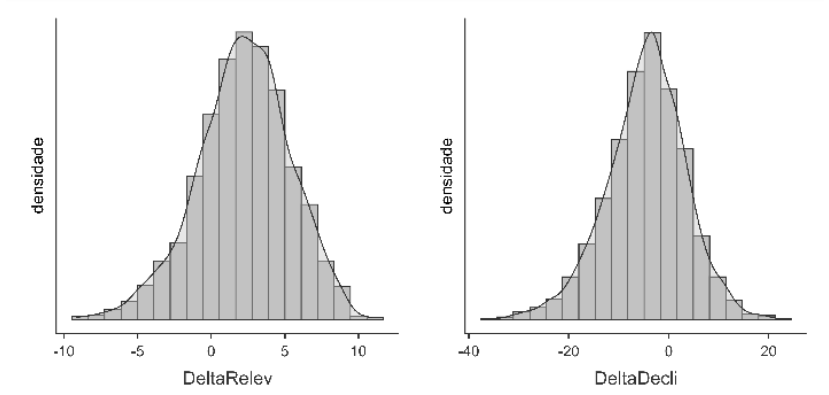


Figura 25: Histogramas Diferenças de relevo e declividades
 Fonte: do autor

A continuação, foram feitas as estatísticas dos valores estratificados segundo as classes de relevo, sendo a classe 1, a mais plana e a classe 4 a de maiores ondulações, como já indicado anteriormente.

Na Tabela 5 observam-se os dados usuais das estatísticas de cada classe e nas figuras seguintes, os gráficos que permitem comparar, visualmente, algumas delas.

Estatísticas	Classe	DeltaRelev	DeltaDecli
Média	1	2.54 (EP: ± 0.58)	6.25
	2	2.13 (EP: ± 0.32)	6.25
	3	2.03 (EP: ± 0.17)	-4.19
	4	2.54 (EP: ± 0.34)	-12.85
Mediana	1	2.34	5.86
	2	2.42	2.33
	3	2.03	-4.10
	4	2.70	-12.62

IC 95%	1	1.96; 3.11	5.38; 7.11
	2	1.81; 2.45	2.41; 3.37
	3	1.86; 2.20	-4.46; -3.93
	4	2.30; 2.77	-13.38; -12.32
Variabilidade máxima	1	17.57	39.85
	2	18.41	41.20
	3	18.12	31.60
	4	17.37	41.44
Mínimo / máximo	1	-6.82 / 10.75	-18.13 / 21.72
	2	-9.12 / 9.28	-21.76 / 19.44
	3	-8.00 / 10.11	-18.37 / 13.23
	4	-6.44 / 10.92	-37.16 / 4.28
p-Valor Shapiro-Wilk	1	0.83 *	<.001
	2	<.001	<.001
	3	<.001	0.59 *
	4	0.03 *	<.001
*: valores que cumprem com a condição de normalidade: p-valor menor que o alfa crítico ($0.05/2 = 0.025$ ou 2,5%)			

Tabela 5: Valores descritivos das diferenças de relevo e declividades estratificadas por classes.
Fonte: do autor.

Na tabela 5, pode-se observar que, ainda em geral, as diferenças apresentaram normalidade, quando estratificadas pelas classes de relevo, apenas algumas delas (*) apresentam normalidade (valor p do teste Shapiro muito pequeno) e, por tal motivo, nesta tabela adicionou-se o valor da mediana, valor que representa melhor dados não normais. Interessante observar que as médias e medianas no caso dos relevos, mantem-se dentro de um intervalo de 2.00 a 2,70 metros, sendo que no caso das diferenças de declividades são mais dissimiles dentre si, tendo, consequentemente, uma maior variabilidade, como mostrado na citada tabela.

Continuando com a análise da Tabela 5, observa-se que as médias e medianas dos erros dos relevos são semelhantes (os intervalos de confiança se interceptam).

Também foram realizados os gráficos de Pareto para mostrar, de forma ordenada, as maiores frequências de repetição para cada uma das 4 classes na Figura 26.

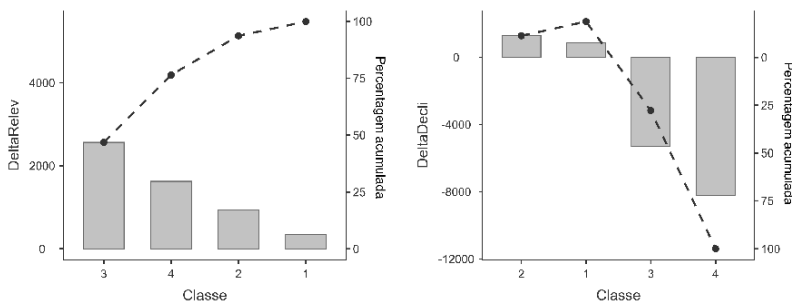


Figura 26: Gráficos de Pareto para erros de relevo e declividades.

Fonte: do autor.

Nesta Figura 26, observa-se que, em ambos os casos (relevo e declividades), as maiores frequências de erros se deram nas classes 3 e 4 (ainda que com sentidos diferentes) e as menores frequências, nas classes 1 e 2 (as classes mais planas).

Na Figura 27, podemos observar os gráficos de barras com seus respectivos intervalos de confiança e o de boxplot. Rapidamente, podemos verificar que, no gráfico de barra (Figura 27, esquerda), existe uma semelhança muito forte das médias dentre as classes 1 e 4 e, nas classes 2 e 3, se consideramos simultaneamente a leitura da barra com seu intervalo de confiança. Ao mesmo tempo, na Figura 26, direita, observa-se as fortes semelhanças dentre as medianas e as médias nas quatro classes e que todas apresentam alguns valores discrepantes.

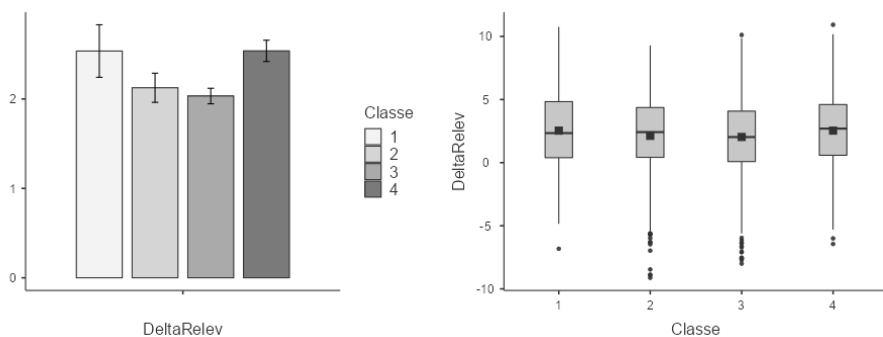


Figura 27: Gráficos descritivos das diferenças de relevo estratificadas.

Fonte: do autor.

Do mesmo modo, na Figura 28, pode-se observar os mesmos estilos de gráficos para os erros de declividade. Neste caso, e como já indicado, a variabilidade por classe é muito maior, o que pode ser verificado visualmente.

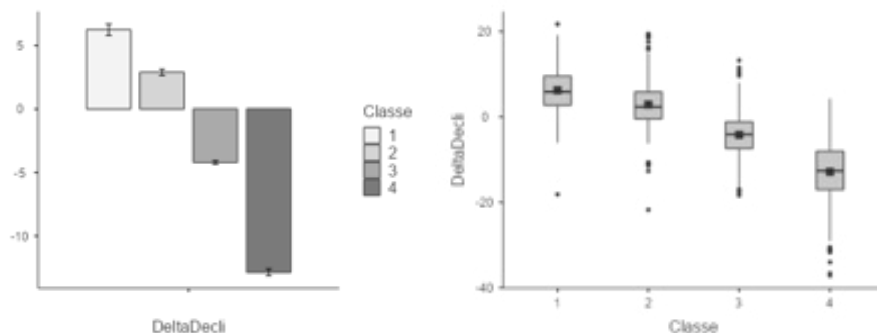


Figura 28: Gráficos descritivos das diferenças de declividades estratificadas.
Fonte: do autor.

Testes de hipóteses

Durante a descrição da amostra, foram feitas uma série de análises visualizando os dados e os gráficos descritivos das amostras, pôde-se, agora, confirmar se essas suposições podem ser estendidas para a população toda (todos os pontos possíveis de amostrar). Para isso, foram feitos uma série de testes de hipóteses, fixando um nível de significância de 0,05 (5%) para testes unicaudais (por esquerda ou direita) e a metade (2,5%) para testes bicaudais, valores que, genericamente, serão chamados de “nível de significância crítico”.

Primeiro foram testados valores arredondados a uma casa decimal para as médias dos erros do relevo e da declividade, logo por análise ANOVA foram testadas a hipótese se as médias das 4 classes de relevo, tanto nos erros do relevo como nos erros das declividades, podem ser consideradas iguais, ou não. No caso da ANOVA, se levou em consideração que este teste é um teste robusto e, por isso, funciona ainda para dados que não cumprem com os pré-requisitos de homogeneidade das variâncias e de normalidade dos dados.

Teste de hipótese para a média populacional dos erros de relevo: Lembrando que a média global dos erros do relevo de todas as classes juntas foi de 2,21m, com um erro padrão de $\pm 0,06\text{m}$, foi testada a seguinte hipótese:

$$\begin{cases} H_0: \mu = 2,2 \\ H_a: \mu \neq 2,2 \end{cases}$$

Utilizando o teste t-Student para a média, o p-valor deu 0,91, maior que o nível de significância crítico, assim, não existem evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese nula, pelo qual, pode-se aceitar que a média populacional seja de 2,2m. O intervalo de confiança de 95% é de $2,20 \pm 0,12$, ou seja, variando dentre 2,08m até 2,32m:

$P(2,08m \leq \mu \leq 2,32m) = 0,95 = 95\%$, que expressado em palavras pode-se interpretar como:

“Existe um 95% de probabilidades que a média populacional dos erros do relevo esteja dentre 2,08 e 2,32 metros.”

Da mesma forma, foi feito o teste t-student para os erros das declividades: Lembrando que a média global dos erros das declividades de todas as classes juntas foi de -4,59%, com um erro padrão de $\pm 0,16\%$, foi testada a seguinte hipótese:

$$\begin{cases} H_0: \mu = -4,6 \\ H_a: \mu \neq -4,6 \end{cases}$$

Utilizando o teste t-Student para a média, o p-valor deu 0,95, maior que o nível de significância crítico, assim, não existem evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese nula, pelo qual, pode-se aceitar que a média populacional seja de -4,6%. O intervalo de confiança de 95% é de $-4,60 \pm 0,31$, ou seja, variando dentre -4,91% até -4,29%:

$P(-4,91\% \leq \mu \leq -4,29\%) = 0,95 = 95\%$, que expressado em palavras pode-se interpretar como:

“Existe 95% de probabilidades que a média populacional dos erros das declividades esteja dentre -4,91 e -4,29 pontos percentuais do terreno.”

Neste caso, como já foi indicado, os erros das declividades não eram normais (p-valor teste de Kolgomorov-Smirnof) sendo menores que o nível de significância crítico. Então, também foi feito o teste para dados não paramétricos de Wilcoxon, o qual deu um resultado semelhante ao anterior, testando as mesmas hipóteses, o p-valor resultou em 0,13, maior que o nível de significância crítico, assim, não existem evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese nula, pelo qual, pode-se aceitar que a média populacional seja de -4,6%. O intervalo de confiança de 95% é de $-4,60 \pm 0,31$, ou seja, variando dentre -4,91% até -4,29%:

$P(-4,91\% \leq \mu \leq -4,29\%) = 0,95 = 95\%$, que expressado em palavras se pode interpretar como:

“Existe 95% de probabilidades que a média populacional dos erros das declividades esteja dentre -4,91 e -4,29 pontos percentuais do terreno.”

Finalmente, foram comparadas, dentro dos erros do relevo e das declividades, a hipótese de que os erros são iguais (hipótese nula) ou que pelo menos uma das classes tem um erro diferente das demais. Este teste foi realizado pelo método ANOVA e o pós-teste de Tukey para verificar qual era a classe diferente.

Previamente ao teste de ANOVA-TUKEY, foram realizados os testes dos pre-quesitos para pode aplicar dito teste: teste de normalidade e de homogeneidade das variâncias intraclases.

Os testes de normalidade, como já indicado, foi adequado para os erros do relevo e não adequado para os erros das declividades, porém, como já foi indicado, o teste ANOVA é suficientemente robusto para não ser influenciado pela falta de normalidade.

No caso do teste de homogeneidade das variâncias, para ambos os tipos de erros, obteve-se um resultado adequado, tanto no teste de Levenne como no de Barlett.

Assim, o próximo passo foi realizar efetivamente o teste ANOVA, resultando para os erros de relevo um p-valor de 0,005 e para os erros das declividades um p-valor < 0,001, o qual indica que pelo menos uma das classes (de relevo e de declividades) é diferente das outras.

Para definir quais eram as classes diferentes, foi realizado um pós-teste de Tukey, dando os resultados das Tabela 6 para relevo e da Tabela 7 para as declividades.

Classes		1	2	3	4
1	diferença de médias	-	0.41	0.50	0.00
	p-valor	-	0.54	0.29	1.00
2	diferença de médias		-	0.09	-0.41
	p-valor		-	0.95	0.15
3	diferença de médias			-	-0.51
	p-valor			-	0.01
4	diferença de médias				-
	p-valor				-

Tabela 6: Pós teste Tukey para os erros de relevo.
Fonte: do Autor.

Classes		1	2	3	4
1	diferença de médias	-	3.35	10.44	19.1
	p-valor	-	<.001	<.001	<.001
2	diferença de médias		-	7.09	15.74
	p-valor		-	<.001	<.001
3	diferença de médias			-	8.66
	p-valor			-	<.001
4	diferença de médias				-
	p-valor				-

Tabela 7: Pós teste Tukey para os erros das declividades.
Fonte: do Autor.

Na tabela 6, observa-se que apenas a classe 4 é diferente da classe 3 (p-valor <0,001, salientado em **negrito**), o qual se visualiza no gráfico de médias com os seus intervalos de confiança de 95% da Figura 29 esquerda.

Por sua vez, na tabela 7, pode-se observar que todas as classes são diferentes dentre si (p-valor sempre menor que um milésimo, salientado em **negrito**), tal qual se pode verificar visualmente na figura 29, direita.

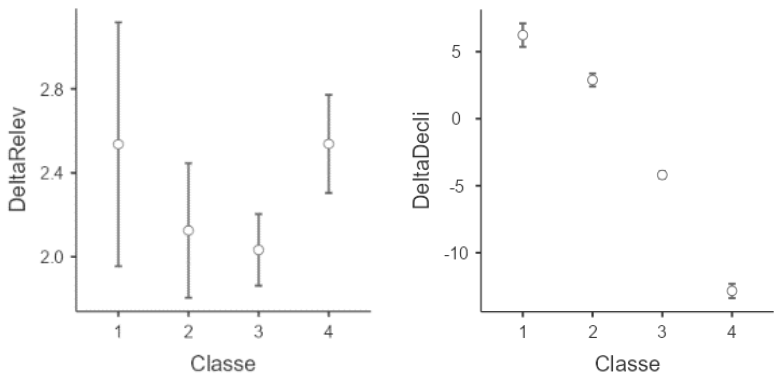


Figura 29: Gráficos de médias com IC 95% dos erros de relevo e declividades.

Fonte: do Autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram obtidas as altitudes de nuvens de pontos adequadas ao relevo da área de estudo, a partir do mapeamento online disponibilizado pela GEP (MDS NASA) e com essa nuvem de pontos foi gerado o modelo digital de superfície e de declividades. A partir do SIG online de Santa Catarina, foi obtido, para comparação, o modelo digital de elevação e de declividade do levantamento estadual aerofotogramétrico de Santa Catarina. Uma vez obtidos todos os modelos, foram selecionados aleatoriamente um conjunto de pontos, estratificados pelo tipo de relevo da área (segundo classificação do relevo da EMBRAPA) e desse conjunto de pontos foram obtidas as altitudes e as declividades de ambas fontes de dados (considerando os dados do Levantamento Estadual como dados verdadeiros, por serem obtidos a partir de um trabalho aerofotogramétrico e de campo de maior precisão e exatidão) para logo, a partir dos testes estatísticos, comparar a acurácia da altimetria e da declividade dos modelos obtidos do GEP, as quais resultaram ser de forma global, $2.21\text{m} \pm 0.13\text{m}$ para a altitudes e de $-4.59\% \pm 0.32\%$ para as declividades. Como observou-se que não existe nenhum relacionamento dentre os erros altimétricos e os erros nas declividades, seja de forma global ou estratificadas, e considerando que as qualidades altimétricas das plantas, cartas e mapas se definem pela acurácia da altimetria, serão desconsiderados os erros das declividades nestas considerações finais. Estes erros nas declividades poderiam ser relacionados com a precisão dos dados analisados, mas para isso outros estudos deveriam ser feitos.

Quando considerada a acurácia estratificada pelo relevo, a única que apresenta valores estatisticamente discrepantes é a acurácia da classe 4 com a classe 3 (relevo forte-ondulado e ondulado) sendo as outras diferenças, dentre tipos de relevos, estatisticamente semelhantes.

Essas diferenças podem ser devidas ao fato de estar trabalhando com MDE (levantamento do Estado) e MDE (dados do GEP) e/ou pela diferença temporal dentre um levantamento e outro (ainda que se tentou minimizar esse efeito utilizando a imagem histórica do GEP) e/ou pela diferença de escala do levantamento e as diferentes técnicas utilizadas (levantamento aerofotogramétrico um e levantamento por RADAR desde plataforma espacial outro). Seja como for, esta acurácia deve ser levada em consideração numa época em que os diversos aplicativos têm aproximado diferentes tecnologia ao público em geral, o qual não sabe e nem é advertido dos problemas de acurácia dos resultados obtidos com o MDE aqui analisado.

Finalmente, levando em conta os valores de PEC (Padrão de exatidão/acurácia cartográfica) definido pelo decreto 89.817/84 (BRASIL, 1984), modificado pela Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, da Infraestrutura Nacional De Dados Espaciais (BRASIL, 2011), que se observa na figura 30, que reproduz a tabela 2 do citado material, observando-se que a acurácia obtida neste trabalho ($2.2\text{m} \pm 0.13\text{m}$, com um nível e confiança de 95%) pôde-se inferir que este tipo de geração de modelo digital deve ser usado para cartografia padrão PEC-A a escala 1:25.000 com curvas de nível a cada 10 metros ou inferiores, demonstrando-se, assim, que da análise da qualidade do modelo digital de elevação/superfície obtido a partir de um conjunto de pontos levantados do GEP, não pode ser utilizado para plantas de engenharia, usualmente trabalhadas em escala 1:10.000 a 1:1000, com curvas de nível a cada cinco metros e um metro respectivamente.

Assim, por mais simples que possa parecer usar alguns aplicativos para gerar MDE/MDS e curvas de nível a partir do GEP a qualquer escala, resulta temerário o trabalho com escalas maiores que 1:25000 e equidistâncias inferiores a 10m para obter um padrão de exatidão cartográfica classe A, segundo as normas Brasileiras de cartografia e as normas da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais.

Tabela 2 – Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Pontos Cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de Produtos Cartográficos Digitais

PEC - PCD ⁽¹⁾	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10 m)		1:50.000 (Eqd = 20 m)		1:100.000 (Eqd = 50 m)		1:250.000 (Eqd = 100 m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Figura 30: PEC Normas Cartográficas Brasileiras

Fonte: Exército Brasileiro, 2011

RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados obtidos, recomenda-se fortemente executar métodos semelhantes de trabalhos, com dados obtidos em levantamentos topográficos de campo para escala 1:1000 a 1:10.000 para verificar as conclusões contidas neste trabalho, assim como verificar as conclusões trabalhando com cartografia oficial em escala 1:25.000 e 1:50.000 para poder garantir que o MDE/MDS obtidos a partir do GEP podem, efetivamente, ser usado nessas escalas para um padrão classe A da cartografia Brasileira.

Também, um futuro trabalho poder ser referido a avaliar a acurácia do MDE do Estado de Santa Catarina para verificar, in loco, qual a categoria PEC real no qual pode

ser utilizado.

Por outro lado, e finalmente, deveria ser analisado o porquê da falta de relacionamento dentre os erros na altimetria e os erros nas declividades, já que, em teoria, o último é derivado do primeiro e deveria manter algum tipo relacionamento. Neste caso, o objetivo seria analisar os próprios modelos de geração dos modelos digitais de declividades utilizados nos programas de SIG utilizados como ferramentas para este trabalho, além de verificar se pode-se vincular os erros nas declividades com a precisão do modelo obtido, para poder utilizar em futuros trabalhos aplicados.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Vitória R. F.; CICERELLI, Rejane E.; ALMEIDA, Tati de. **Análise comparativa entre modelos digitais de elevação (mde) do satélite ALOS**. In: XIX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. 2019, Santos. Anais [...] . Santos: INPE, 2019. p. 3327-3330. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-comparativa-entre-modelos-digitais-de-elevacao--mde--do-satelite-alos->. Acesso em: 30 jul. 2020.

BATISTA, Daiane Cardoso Lopes; VIEIRA, Antônio Fábio Sabbá Guimarães; MARINHO, Rogério Ribeiro. **Uso do Google Earth Pro no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM)**, Brasil. Geosaberes, v.10, n.20, p.1-12, 17 dez. 2018. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/689>. Acesso em: 1 set. 2019.

BRASIL. Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial de União: 22/06/1984, p. 8884. Disponível em: http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viiv_Identificacao/DEC%2089.817-1984?OpenDocument. Acesso em 1 set. 2019.

BRASIL. Comissão Nacional De Cartografia. ET-ADGV: **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasília: Exército Brasileiro: Diretoria de Serviço Geográfico, 2011. 246 p. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/index.php/inde2?id=140>. Acesso em: 30 jul. 2020.

CHAPRA, Steven C.; RAYMOND P. Canale. **Métodos numéricos para engenharia** [recurso eletrônico] 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555691/pageid/0>. Acesso em: 1 set. 2019.

COSTA, Giovane Gláucio de Oliveira. **Curso de Estatística Inferencial e Probabilidades: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2012. 370 p.

CREMONA PARMA, Gabriel Oscar. **Inferência Estatística**. Palhoça: Unisul Virtual, 2015. 124 p. (Livros Didáticos).

DIAS, Erika Rodrigues. **Geração de Modelo Digital de Elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena/PB**. Caderno de Geografia, João Pessoa, v. 26, n. 45, p. 151-159, 13 ago. 2015. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/P.2318-2962.2016v26n45p151/9066>. Acesso em: 30 jul. 2020.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas**. São José dos Campos: Inpe, 1999. 12 p. Disp. em: https://www.researchgate.net/publication/47445961_Analise_sobre_modelos_digitais_de_terreno_em_ambiente_de_sistemas_de_informacoes_geograficas. Acesso em: 30 jul. 2020.

FRANCO, Andrea Machado Pereira et al. **Delineamento das unidades de mapeamento de solos utilizando o Google Earth**. Geociências, São Paulo, v. 4, n. 34, p.861-871, set. 2015. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/34/volume34_4_files/34-4-artigo-09.pdf. Acesso em: 1 set. 2019.

NASSER, Munir. **Comparação de poligonais obtidas por Google Earth Pro e receptor GNSS de navegação**. 2016. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Geografia, Ciências. Humanas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016. Disponível em: http://www.uel.br/cce/geo/tcc/181_comparacaodepoligonaisobtidasporgoogleearthereceptorgnssdenavegacao.pdf. Acesso em: 1 set. 2019.

ORLANDI, Alex Gois. **Avaliação da acurácia vertical do modelo SRTM para o Brasil**. 2016. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22797/3/2016_AlexGoisOrlandi.pdf. Acesso em: 30 jul. 2020.

SILVA, Cristiano Alves da et al. **Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados pelo MVANT/DNPM**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 7, n. 67, p. 1479-1495, 24 ago. 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/49200>. Acesso em: 30 jul. 2020.

SILVA, Ellenay Simony Gomes Soares da et al. **Exatidão cartográfica de imagens do Google Earth em Dois Irmãos, Recife - PE**. In: XIII Jornada De Ensino, Pesquisa E Extensão – JEPEX 2013 – UFRPE, 13., 2013, Recife. **Anais...**. Recife: UFRPE, 2013. v.1, p.1-3. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1719-1.pdf>. Acesso em: 1 set. 2019.

SILVA, Lorena Alves; NAZARENO, Nilton Ricetti Xavier de. **Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia**. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...**. Natal: INPE, 2019. p.1723-1730. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.15.58/doc/1723-1730.pdf>. Acesso em: 1 set. 2019.

SILVA, Irineu da; SEGANTINE, Paulo Cesar Lima. **Topografia Para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 412 p.

SOUSA, Gustavo Mota de et al. **Métodos para geração de modelos digitais de elevação para o maciço da pedra branca, rj: um estudo comparativo**. In: II Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação, 2008, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFPE, 2008. v. 1, p. 1-8. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/327056425/MDE-Modelo-Digital-de-Elevacao>. Acesso em: 30 jul. 2020.

SOUZA, Jonas Otaviano Praca de. **Análise da precisão altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 56-64, jan. 2015. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/98555>. Acesso em: 30 jul. 2020.

SOUZA, Juliana Mio de et al. **Qualidade geométrica das ortofotos e modelo digital de terreno do levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina: estudo de caso: microbacia alto Cubatão**. In: XVIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto - SBSR, 2017, Santos, SP. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017. v. 1, p. 1012-1019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/qualidade-geometrica-das-ortofotos-e-modelo-digital-de-terreno-do-levantamento-aerofotogrametrico-do-estado-de-santa-cat?lang=pt-br>. Acesso em: 29 jul. 2020.

SZTUTMAN, Paulo. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da ESRI para referência espacial em projetos em SIG: Aplicação para o município de São Paulo**. 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso da Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01102015-104031/pt-br.php>. Acesso em: 1 set. 2019.

TRIOLA, Mário F. **Introdução à Estatística**. 12va. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

VUOLO, José Enrique. **Fundamentos da Teoria de Erros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996. 249 p.

SOBRE O AUTOR

Gabriel Oscar Cremona Parma; Doutor em Engenharia Civil, área de concentração: Gestão Territorial (UFSC/Br). Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário (UFSC/Br). Especialista em Docência no Ensino Superior (UNIASSELVI/Br). Perito Topo-Cartógrafo (UNL/Ar) e Bacharel em Matemática (UNISUL/Br).

Professor desde 1981, leciona na UNISUL (Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil), desde 2007, nos cursos de graduação de Engenharia Ambiental Sanitária e de Engenharia Civil; também é Professor Pesquisador nos Mestrados e Doutorados em Ciências Ambientais e em Ciências da Saúde; trabalhando e ministrando disciplina relacionadas com os temas de geomática, estatística, geoestatística, cálculo numérico e programação, gestão de risco, modelagem ambiental, saúde ambiental, análise de materiais sustentáveis; além de ser autor e coautor de livros, capítulos de livros e artigos científicos, atuando, também, em de projetos de extensão.

Na UNISUL, já foi professor nos cursos de Tecnólogo em Geoprocessamento, Bacharelado em Matemática e no curso de Arquitetura e Urbanismo. Ex-professor na área de Ciências Geodésicas na UFSC (Br). Também lecionou na Argentina nos cursos de Engenharia de Agrimensura, Cartografia e Topografia, Engenharia em Informática e, também, nos cursos de Técnico em Construções e Técnico em Construções Hidráulicas, todos da Universidade Nacional do Litoral (UNL), em áreas temáticas relacionadas com a geomática e a computação.

No Brasil têm atuado como consultor em Geomática, nas áreas de Cartografia, Geoprocessamento, Sistemas de Informações Geográficas e Qualidade de Dados. Entretanto na Argentina, realizou consultorias em Agrimensura, Topografia e Computação. Além do más, tem formação Técnica em Construções (UNL/Ar), com especialização em Construção de Estradas (CONET/Ar) e é Técnico em Agrimensura pelo IFSC (Br).





Currículo LATES: <http://lattes.cnpq.br/0654676662635765>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9540-6908>

Site: <https://www.profcremona.com/>

ANÁLISE DA QUALIDADE ALTIMÉTRICA DO GOOGLE EARTH PRO PARA TRABALHOS DE ENGENHARIA



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ANÁLISE DA QUALIDADE ALTIMÉTRICA DO GOOGLE EARTH PRO PARA TRABALHOS DE ENGENHARIA



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br