



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**VIABILIDADE DO USO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO EM
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA**

JOAB KLEBER LUCENA MACHADO

Campina Grande – PB

Julho, 2018

JOAB KLEBER LUCENA MACHADO

**VIABILIDADE DO USO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO EM
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.(a) Dra. Izabelle Marie Trindade Bezerra

Campina Grande

Julho - 2018

JOAB KLEBER LUCENA MACHADO

**VIABILIDADE DO USO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO EM
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.(a) Dra. Izabelle Marie Trindade Bezerra (UAEC/CTRN/UFCG)
Orientadora

Prof. Dr. Walter Santa Cruz (UAEC/CTRN/UFCG)
Examinador Interno

Prof. Dr. Moacir Guilhermino da Silva (UFRN)
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a saúde e a força necessárias para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Alcides e Eulália, por todo o esforço e dedicação a mim prestados, além da educação e ensinamentos necessários à minha formação.

A esta instituição, todo o seu corpo docente e de funcionários, que proporcionaram as condições necessárias para que eu alcançasse meus objetivos.

A minha orientadora, Isabelle Marie, por todo o tempo que dedicou a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, que tornaram esta caminhada mais leve e descontraída.

Aos meus amigos Gladstone, Iuri, Robson, Caio, Zara, Danny, sempre presentes na minha vida.

Enfim, a todos que fizeram parte, direta ou indiretamente, desta etapa decisiva em minha vida, o meu muito obrigado!

RESUMO

A obtenção de dados que representem a natureza real da topografia terrestre é assunto discutido desde que o ser humano passou a realizar medições capazes de representar o terreno, com o objetivo de registrar e categorizar esses dados para diversos fins. Ao decorrer da evolução tecnológica, diferentes métodos de coleta de dados topográficos foram desenvolvidos, de modo que fosse possível a melhora da precisão desses dados e que o processo de coleta se tornasse economicamente viável. Nos últimos anos diversos bancos de dados disponibilizados gratuitamente são utilizados para a obtenção de modelos digitais de terreno (MDT), estes nos quais contem parâmetros de representação da superfície terrestre, objetivando a análise, categorização, atualização e descrição dos dados referenciados geograficamente. Os bancos de dados disponibilizados ajudam, constantemente, a análise do terreno para profissionais das áreas de arquitetura e engenharia, possibilitando o entendimento prévio do comportamento terreno-construção, prevendo situações de movimentação de terra e até estimativa preliminar dos custos que o empreendimento resultará. Tendo em vista esta tecnologia, o presente trabalho tem a pretensão de catalogar e averiguar os erros e estimativas que podem ser cometidos ao utilizar diferentes métodos de coleta de dados de campo, verificando as possibilidades de uso de modelos digitais de terreno e de dados coletados a partir de topografia tradicional, nas situações e condições em que cada tipo de estudo pode ser utilizado, visando o custo/benefício e a diminuição da presença de erros técnicos nos dimensionamentos de projetos de engenharia.

Palavras-chave: SRTM, ASTER, projetos, rodovias, aterro, corte.

ABSTRACT

Obtaining data that represent the real nature of the terrestrial topography is a subject discussed since the human being began to perform measurements capable of representing the field, in order to record and categorize these data for several purposes. In the course of the technological evolution, different methods of topographic data collection were developed, so that it was possible to improve the accuracy of these data and that the collection process became economically viable. In recent years, several databases made available free of charge are used to obtain digital terrain models (DTM), which contain parameters for the representation of the land surface, with the objective of analyzing, categorizing, updating and describing geographically referenced data. The databases provided help constantly the analysis of the terrain for professionals in the areas of architecture and engineering, enabling the prior understanding of the behavior of land-construction, predicting situations of land movement and even preliminary estimate of the costs that the enterprise will result. Considering this technology, the present research intends to catalog and investigate the errors and estimates that can be made when using each type of field data collection method, verifying the possibilities of using digital terrain and data models collected from traditional topography, in the situations and conditions in which each type of study can be used, aiming the cost / benefit and the reduction of the presence of technical errors in the design of engineering projects.

Keywords: SRTM, ASTER, projects, roadways, fill, cut.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Caderneta de campo por levantamento ângulo/distância.....	21
Figura 02 – Modelo DEM do litoral paraibano	25
Figura 03 – Superfície TIN gerada a partir de modelo DEM.....	30
Figura 04 – Estação Total Topcon ES-105.....	32
Figura 05 – Prisma Refletivo.....	32
Figura 06 – Drone Dji Phantom 4	33
Figura 07 – Perfis longitudinais (Área A)	45
Figura 08 – Perfis longitudinais (Área B)	45
Figura 09 – Perfis longitudinais (Área C)	46
Figura 10 – Modelo rodovia (Área A).....	48
Figura 11 – Modelo rodovia (Área B).....	51
Figura 12 – Modelo rodovia (Área C).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Lista de levantamentos realizados com estação total	31
Tabela 02 – Modelos digitais de terreno utilizados.....	39
Tabela 03 – Método de coleta e custo MDT's	40
Tabela 04 – Modelos digitais de terreno (Área A).....	41
Tabela 05 – Propriedades MDT's (Área A).....	41
Tabela 06 – Modelos digitais de terreno (Área B).....	42
Tabela 07 – Propriedades MDT's (Área B).....	42
Tabela 08 – Modelos digitais de terreno (Área C).....	43
Tabela 09 – Propriedades MDT's (Área C).....	43
Tabela 10 – Volumes de corte e aterro (Área A).....	49
Tabela 11 – Volumes de corte e aterro (Área B).....	52
Tabela 12 – Volumes de corte e aterro (Área C).....	55
Tabela 13 – Composição de custos de movimentação de terra (Área A).....	57
Tabela 14 – Composição de custos de movimentação de terra (Área B).....	58
Tabela 15 – Composição de custos de movimentação de terra (Área C).....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Volumes de corte (Área A)	49
Gráfico 02 – Volumes de aterro (Área A)	50
Gráfico 03 – Volumes de corte (Área B).....	52
Gráfico 04 – Volumes de aterro (Área B)	53
Gráfico 05 – Volumes de corte (Área C).....	55
Gráfico 06 – Volumes de aterro (Área C)	56
Gráfico 07 – Custos movimentação de terra (Área A)	57
Gráfico 08 – Custos movimentação de terra (Área B)	59
Gráfico 09 – Custos movimentação de terra (Área C)	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1. GERAL	14
2.2. ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. A AGRIMENSURA, GEODÉSIA E TOPOGRAFIA	15
3.2. A TOPOGRAFIA	16
3.2.1. <i>Uso da topografia na engenharia civil</i>	17
3.3. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS APLICADOS EM SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS	19
3.3.1. <i>Revisão Histórica</i>	19
3.3.2. <i>Estações Totais</i>	20
3.3.3. <i>GPS RTK</i>	22
3.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	23
3.5. MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (MDT).....	24
3.5.1. <i>Obtenção dos Dados</i>	25
3.5.2. <i>Radiômetro de emissão e reflexão térmica espacial avançado</i> <i>(ASTER)</i>	27
3.5.3. <i>Shutter Radar Topography Mission (SRTM)</i>	28
3.6. UTILIZAÇÃO DE MDT EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA	28
4. METODOLOGIA.....	31
4.1. LEVANTAMENTO DE CAMPO UTILIZANDO ESTAÇÃO TOTAL.....	31
4.2. LEVANTAMENTO DE CAMPO UTILIZANDO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	32
4.3. GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) COM OS DADOS OBTIDOS	33
4.3.1. <i>Geração de MDT com os dados de levantamento com estação total</i>	33
4.3.2. <i>Geração de MDT com processamento de dados obtidos por VANT</i>	34
4.3.3. <i>Geração de MDT com processamento de dados SRTM e ASTER.</i>	35
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MODELOS OBTIDOS	35
4.5. ANÁLISE DE CUSTO BÁSICO PARA PROJETO DE INFRAESTRUTURA.....	36

5. RESULTADOS	38
5.1. MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (MDT)	38
5.2. ÁREA DE ESTUDO A	40
5.3. ÁREA DE ESTUDO B.....	42
5.4. ÁREA DE ESTUDO C.....	43
5.5 ANÁLISE GEOMÉTRICA DOS MDT'S	44
5.6. CORREDORES E VOLUMES DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	47
5.6.1 <i>Área de estudo A</i>	47
5.6.2. <i>Área de estudo B</i>	50
5.6.3 <i>Área de estudo C</i>	53
5.7 COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO.....	56
5.7.1 <i>Custos de execução – Área A</i>	57
5.7.2 <i>Custos de execução – Área B</i>	58
5.7.3 <i>Custos de execução – Área C</i>	59
6. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

A Cartografia nasceu com a necessidade de conhecer o lugar onde habitamos, possibilitando o estímulo da localização e assim a navegação no meio em que vivemos, tornando o conhecimento da superfície física da terra um assunto indispensável. Para pequenas áreas da superfície física da terra, o estudo é realizado a partir da utilização da topografia.

A Topografia é a ciência aplicada que se apoia na geometria e na trigonometria, cujo objetivo é estudar a forma, dimensão e a posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a esfericidade da Terra (Espartel, 1987).

A Topografia teve inicialmente por finalidade a construção de um modelo gráfico, objetivando a representação de um espaço limitado da superfície terrestre. Este objetivo teve uma mudança significativa a partir do momento em que equipamentos muitas vezes acionados remotamente, conseguiram gerar modelos numéricos representativos da superfície, dispensando por vezes, a representação tradicional em papel.

Segundo Espartel (1987), ao se projetar qualquer obra de Engenharia, Arquitetura ou Agronomia, é necessário o levantamento topográfico do lugar onde a obra será implantada. Conclui-se assim a importância da Topografia, que se responsabiliza pelo levantamento ou medição, que deverá ser adaptado ao terreno.

Por viés histórico, é creditado a origem das medições no espaço geográfico, para atendimento ao sistema financeiro e econômico da agricultura, tendo início no antigo Egito. Nas margens do rio Nilo desenvolvia-se uma atividade agrícola intensa, necessitando assim da definição dos limites das terras, avaliações das áreas rurais, mapeamentos, levantamentos cadastrais entre outros serviços que envolvessem os conhecimentos topo geográficos da região.

A atividade de mapeamento foi definida como o conjunto de ações envolvendo o levantamento, construção e reprodução das cartas de uma determinada região do espaço geográfico georreferenciado.

As cartas topográficas eram e ainda são usadas, de maneira menos presente nos dias atuais. São confeccionadas através de um levantamento topográfico no terreno, contendo a forma (contorno e relevo), acidentes artificiais e naturais, formalizando assim medidas sobre estes parâmetros, com precisão relativa ao método em que os dados foram levantados. É possível por meio das cartas, a obtenção de distâncias, ângulos, posição de

pontos (coordenadas), avaliação de áreas, perímetros, etc. Podem ser divididas em cartas topográficas planimétricas, altimétricas ou planialtimétricas.

A necessidade de obtenção de pequenas porções, por vezes de acesso difícil, fez a necessidade da evolução dos métodos de análise e cadastro de características e parâmetros da superfície da terra, evoluindo assim os equipamentos e mecanismos de obtenção, sejam eles manipulados presencialmente ou remotamente, possuindo os mesmos objetivos, quantificar e qualificar porções de superfícies do planeta.

A tecnologia avançou no tempo em metodologias presenciais e geralmente com a utilização de equipamentos óticos-mecânicos de baixo alcance visual, esta característica reinou durante cerca de 450 anos. A primeira grande inovação ocorreu no ano de 1943, com o surgimento do primeiro medidor eletrônico de distância (MED), utilizando distâncias diretas através de laser, e reduzindo o erro de cadastro para a casa milimétrica.

Com a corrida espacial e a movimentação para a colocação dos primeiros satélites em órbita, surge na década de 60 os primeiros sistemas de informação geográficas no Canadá, assim como a popularização dos sistemas CAD (Computed Aided Design) na década de 70, estes como ferramentas fundamentais para a utilização das tecnologias GIS (Geographic Information System).

Com a popularização e disponibilização gratuita de diversos bancos de dados com informações geográficas, se tornou bastante comum a utilização de informações fornecidas por modelos digitais de terreno.

Um modelo digital de terreno (MDT) pode representar digitalmente a superfície física da terra. Um MDT pode ser definido com a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z (ROCHA, 2000).

Desde a popularização e disponibilização de bancos de dados da superfície terrestre, datado da década de 90, projetos de engenharia utilizam MDT a partir da etapa de concepção do anteprojeto, até à etapa de projeto básico, estimando por vezes as características físicas da porção do terreno em estudo.

Para efeito inicial e resultados iniciais de análise da concepção do projeto, superfícies tridimensionais geradas a partir de dados de satélite e sistemas de coleta de dados espaciais, servem como superfície básica e nativa do terreno a ser trabalhado.

Pela falha de captação das micro representações do terreno captadas por metodologias de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), o cadastro de dados *in situ* (utilizando métodos topográficos) ainda se configura uma metodologia importante na etapa de detalhamento do projeto.

Surge então a necessidade de se comprovar através de estudo, a confiabilidade de modelos digitais de terreno para projetos de infraestrutura, analisando assim a veracidade do levantamento, o erro percentual com a realidade do terreno, metodologias eficientes e até onde se pode utilizar das informações contidas em um MDT para a geração de resultados em projetos de naturezas semelhantes.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de modelos digitais de terreno, submetido à geração de superfície tridimensional para projetos de construção civil e infraestrutura.

2.2. Específicos

- Determinar o melhor uso para os métodos de coleta de dados topográficos;
- Analisar erros entre superfícies geradas a partir de modelos digitais de terreno gerados a partir do sistema SRTM e ASTER e a partir de dados de topografia tradicional (Estação total);
- Obter resultados estimados de custos de obra de infraestrutura e volumes de movimentação de terra utilizando superfícies geradas a partir de diferentes metodologias de coleta de dados;
- Analisar a possibilidade do uso de MDT em projetos de infraestrutura;
- Determinar o método de coleta de dados mais indicado para cada etapa de projetos de infraestrutura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A agrimensura, geodésia e topografia

A agrimensura, etimologicamente do termo “medida dos campos”, é uma ciência que tem como objetivo o tratamento das medidas das superfícies agrárias. Tem como objetivo tratar de todas as questões relacionadas com a medição e divisão de terras, desde os aspectos de legislação, questões processuais, divisão e demarcação de lotes, plantas cadastrais, avaliações de área ou superfícies, quer seja de terras públicas ou privadas.

A Geodésia por sua vez é definida como a ciência que realiza a mensuração da forma, das dimensões e do campo gravitacional do planeta Terra.

A ciência se ocupa dos processos de medida e especificação para levantamento e representação cartográfica de uma grande extensão da superfície terrestre. Deve-se projetar em uma superfície de referência, geométrica e analiticamente, definida por parâmetros, variáveis em número do conjunto da forma da Terra.

O problema geodésico pode surgir a partir da definição de um sistema de coordenadas que se tornem úteis e funcionais para todos, tendo os mesmos valores para qualquer usuário dos dados, na Terra.

Desta perspectiva, problemas simples de adequação e verificação de projeções diferentes, torna o trabalho com o uso de diferentes dados georreferenciados, uma tarefa não tão simples.

A Topografia é classicamente definida como a ciência que estuda uma área limitada da superfície terrestre, com o objetivo de conhecer a forma (contorno e relevo) e a posição que a mesma ocupa no espaço geográfico fixado em sistemas de coordenadas pré-definidas. Etimologicamente vem do termo “descrição do lugar”.

Tem como fundamento o conhecimento dos instrumentos e métodos que tem por finalidade a geração de uma representação do terreno sobre uma superfície plana de projeção, conhecido por plano topográfico.

A Geodésia consegue determinar com elevado grau de precisão, coordenadas geográficas de uma rede de pontos, chamada de pontos de Laplace, implantada sobre a superfície terrestre.

A partir de uma rede de pontos, pode-se definir malhas geodésicas com geometria constituída por triângulos justapostos, por polígonos ou por quadriláteros, materializando a superfície terrestre.

É uma ciência que aborda a totalidade, tomando como campo de atuação toda a superfície planetária, contrariamente à Topografia, no qual se ocupa do detalhe das malhas geodésicas.

A partir da adoção da ideia que as malhas são planas, é possível adotar métodos matemáticos da geometria e trigonometria plana, estabelecendo vínculos com os pontos topográficos situados na área estudada, com as coordenadas de referência dos pontos da rede geodésica.

A topografia e a geodésia se complementam de tal forma que os resultados compreendem plantas, cartas e mapas detalhados de regiões limitadas da superfície terrestre, estes produtos são denominados topográficos.

3.2. A Topografia

Para representações gráficas de uma parte restrita da superfície terrestre, temos como ferramenta o uso dos conhecimentos de topografia. Definições de tamanho, contorno, relevo, detalhes de elementos existentes, posições relativas, se tornam preocupações e pré-requisitos frequentes dos profissionais responsáveis pelos projetos urbanos e rurais.

Segundo Veiga, Zanetti e Faggion (2007) um dos principais objetivos da Topografia é a determinação de coordenadas relativas de pontos.

As coordenadas geralmente adotam três parâmetros principais, os pontos X, Y e Z, correspondentes à coordenadas tridimensionais dos respectivos planos.

Existem basicamente dois tipos de sistemas de coordenadas, usados para determinar a posição tridimensional dos pontos: sistema de coordenadas cartesianas e sistema de coordenadas esféricas (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2007).

Segundo BRINKER; WOLF (1977), o trabalho prático da topografia pode ser dividido em cinco etapas:

- a) Tomada de Decisão: quando se relacionam os métodos de levantamento, equipamentos, posições ou pontos a serem levantados, etc;
- b) Trabalho de campo com aquisição de dados: fazer as medições e gravar os dados;
- c) Cálculos ou processamento: Elaboram os cálculos baseados nas medidas obtidas para a determinação das coordenadas, volumes, etc;

- d) Mapeamento ou representação: Produz-se o mapa ou carta a partir dos dados medidos e calculados;
- e) Locação.

O levantamento topográfico pode ser dividido em duas etapas, o levantamento planimétrico, procurando determinar a posição dos pontos no plano XY e o levantamento altimétrico, objetivando determinar a altitude ou cota de um ponto (coordenada) Z.

Equipamentos topográficos modernos como GPS topográfico e estações totais são capazes de realizar o cadastro planimétrico e altimétrico simultaneamente, gerando assim uma nuvem de pontos com referências geográficas de acordo com a projeção escolhida.

Serviços topográficos são encontrados em áreas vitais do convívio humano, tais como: Construção civil, urbanização (plano diretor, sistemas viários, saneamento básico, eletrificação, rede de lógica, drenagem pluviais, etc.).

Hoje em dia a topografia clássica e tradicional continua sendo base para diversos trabalhos de engenharia, no qual a necessidade das dimensões e formatos do terreno são essenciais. Informações geográficas e topográficas são utilizadas em grandes obras de engenharia, como portos, pontes, rodovias, viadutos, trabalhos de terraplenagem, monitoramento, etc.

3.2.1. Uso da topografia na engenharia civil

A utilização da topografia para a engenharia civil se aplica a vários contextos. Deve-se obter o total conhecimento da área a ser trabalhada, de modo a possibilitar a execução de uma concepção precisa e realista do processo de anteprojeto até o projeto executivo.

A topografia irá garantir a diminuição de problemas no processo de projeto e até de execução da obra, prevendo o comportamento físico do terreno e das estruturas existentes no local estudado.

Um bom levantamento topográfico disponibiliza maiores e mais precisas informações essenciais ao projeto. Isso significa o detalhamento exato de um lugar, determinando dimensões, posições, desníveis, objetos existentes, acidentes geográficos e qualquer outro dado que venha a se tornar relevante no decorrer do cadastramento.

Apenas com o levantamento topográficos, pode-se obter valores de distâncias e ângulos horizontais e verticais com erros por vezes milimétricos. Com isso, os serviços

topográficos são capazes de caracterizar a planicidade ou as imperfeições de um determinado terreno que se tornará superfície de estudo para projetos de engenharia.

Para gerar uma planta topográfica, faz-se necessário a utilização de equipamentos de alta precisão, considerado certificados de aferição, obedecendo as normas técnicas e conhecimentos empíricos das práticas em campo.

Segundo BORGES (1977) a utilização da topografia se destaca dentro da engenharia civil em alguns tipos de projetos e empreendimentos:

- a) “Edificação: A topografia faz o levantamento plano-altimétrico do terreno, como dado fundamental ao projeto, após o projeto estar pronto, faz sua locação e, durante a execução da obra, controla as prumadas, os níveis e alinhamento;
- b) Estradas (rodovias e ferrovias): A Topografia participa do “reconhecimento”, ajuda no “anteprojeto”, executa a “linha de ensaio” ou “linha básica”, faz o projeto do traçado geométrico, loca-o, projeta a terraplenagem, resolve o problema de transporte de terra, controla a execução e pavimentação (a infraestrutura, no caso das ferrovias), colabora na sinalização, corrige falhas, tais como curvas mal traçadas, etc.;
- c) Barragens: A topografia faz os levantamentos plano-altimétricos para o projeto, loca-o, determina o contorno da área inundada, controla a execução sempre nos problemas de prumadas, níveis e alinhamentos.

A Topografia é utilizada também em trabalhos de saneamento, água, esgoto, construção de pontes, viadutos, túneis, portos, canais, irrigação, arruamentos e loteamentos, porém sempre como um “meio” para atingir uma outra finalidade.”

Portanto para a execução de qualquer tipo de obra, o processo do levantamento topográfico é de importância significativa, visto que será o estudo topográfico que influenciará nas medidas de projeto e execução a serem tomadas pelos responsáveis técnicos.

Falhas de nivelamento, prumada ou eixos desencontrados são erros relativamente comuns em serviços topográficos. Porém como toda atividade prática, a topografia também está previsível a erros, devendo os utilizadores e operadores dos serviços topográficos, a busca pela diminuição dos erros geralmente obtidos, para erros aceitáveis, aumentando gradativamente a fidelidade do terreno cadastrado com o terreno existente no local.

3.3. Equipamentos e métodos aplicados em serviços topográficos

3.3.1. Revisão Histórica

São mencionadas na História da Topografia, autoria de Aimé Laussedat, plantas e cartas militares geográficas, organizadas no início da Topografia, na fase denominada Geometria Aplicada. Diversas civilizações nos deixaram técnicas e equipamentos capaz de descrever, delimitar e cadastrar propriedades, na época, rurais.

Tomando a premissa da obtenção dos dados físicos do terreno, os equipamentos passados de geração a geração compreendiam e informavam mecanicamente ângulos horizontais e verticais.

Temos como exemplo os goniômetros, instrumentos capazes de realizar medições de ângulos horizontais. Os mais utilizados em campo foram as bússolas, trânsitos, teodolitos, taqueômetros, etc.

Os eclimétros são instrumentos que possuem um círculo vertical graduado (limbo), capazes de medir ângulos verticais. Com o desenvolvimento tecnológico, fabricantes de equipamentos topográficos aperfeiçoaram seus produtos, adicionando itens, anteriormente separados, em um mesmo equipamento, obtendo como exemplo pantômetros, equipamento capaz de medir ângulos horizontais e verticais, orientação angular em relação à direção da linha meridiana magnética local, além da introdução de calantes em sua base, possibilitando melhores condições de estabilização vertical dos equipamentos.

O prosseguimento do desenvolvimento tecnológico e de figuras importantes no melhoramento da parte ótica dos instrumentos (Carl Zeiss, Kepler, Ignacio Porro, Henrique Wild, etc) possibilitaram o surgimento e melhoramento dos teodolitos.

Teodolitos são goniômetros de precisão, utilizados na medição de ângulos de qualquer natureza, horizontais e verticais. Possuem diversos mecanismos para diminuição do erro na obtenção dos dados de campo, entre eles o órgão de visada (lunetas e órgão de leitura), dispositivos para a centralidade do eixo vertical, prumo ótico, mecânico ou a laser, dispositivos de calagem, etc.

O surgimento de medidores eletrônicos de distâncias (MED) em 1943, revolucionou o processo de cadastro topográfico de terreno. Não seria mais necessário a medição manual ou de maneira taqueométrica da distância entre pontos topográficos.

O MED passou a ser utilizado correlacionado à um teodolito ótico-mecânico, acoplado ao equipamento e alimentado por uma bateria externa. Portanto assim, fazia-se possível a medição de ângulos horizontais, verticais e com a entrada do novo dispositivo, a distância entre os pontos cadastrados.

O instrumento baseava-se no método de aferição de distância por raio laser infravermelho, calculando assim a distância de acordo com o tempo de ida e volta do laser projetado sobre um prisma refratário, metodologia bastante semelhante às utilizadas em equipamentos contemporâneos.

A combinação do teodolito com os medidores eletrônicos de distância, determinou o aumento significativo da qualidade e eficiência dos dados coletados em serviços topográficos.

Esta combinação de equipamentos se tornou o embrião dos atuais equipamentos utilizados nos serviços topográficos modernos, como estações totais e níveis eletrônicos, revolucionando a Topografia.

3.3.2. Estações Totais

A revolução da topografia aconteceu com o surgimento das estações totais eletrônicas. Foi este equipamento que possibilitou simplificar significativamente os trabalhos de campo e escritório.

A estação total cumpre o papel do distanciômetro eletrônico, combinado à um teodolito eletrônico, incluída com sistemas de armazenamento de dados, atualmente, digitais, dispensando assim as cadernetas manuais de campo.

Apesar do seu alto custo, a estação total ainda é um equipamento bastante utilizado para levantamento topográficos, custando no ano de 2018 em média cerca de R\$40.000,00 uma unidade, o equipamento possui alta precisão e possui fácil extração de dados, capazes de enviar atualmente dados por métodos wireless, via *bluetooth*, facilitando e ampliando a rapidez de resposta dos trabalhos topográficos.

Dados obtidos de um levantamento planialtimétrico com estação total

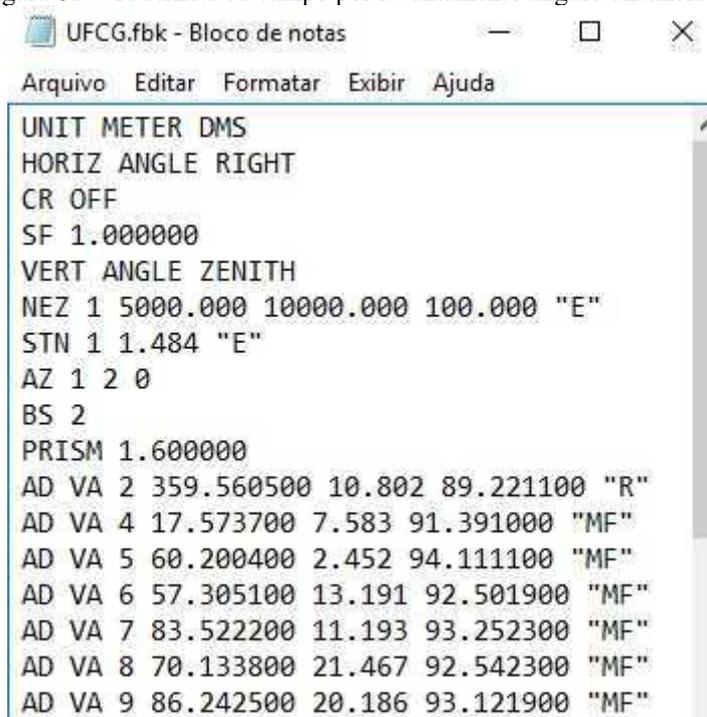
A caderneta eletrônica tem a finalidade de registrar manualmente ou automaticamente as observações de campo, e posteriormente transferir estes dados para ambiente computacional, onde poderão ser manipulados e modificados conforme objetivo e finalidade do cadastro realizado.

A caderneta eletrônica de campo está baseada na codificação das informações, em códigos e notas, em forma numérica ou alfanumérica, no qual serão armazenadas e manipuladas para a leitura adequada por softwares específicos.

Através da caderneta de campo podemos obter dados topográficos e referenciados geográfica da região em estudo, no qual o produto final será arquivos de textos com as coordenadas X, Y e Z de uma malha de pontos, no qual será usado para a geração de modelos digitais de terreno, ou superfícies de representação tridimensional da superfície terrestre.

As metodologias de levantamento se mantem tradicionais, como o levantamento ângulo/distância, e por coordenadas, sejam arbitradas ou reais. Os resultados de um levantamento realizado por método ângulo/distância podem ser visualizados na figura 01.

Figura 01 – Caderneta de campo por levantamento ângulo/distância



```
UFCG.fbk - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
UNIT METER DMS
HORIZ ANGLE RIGHT
CR OFF
SF 1.000000
VERT ANGLE ZENITH
NEZ 1 5000.000 10000.000 100.000 "E"
STN 1 1.484 "E"
AZ 1 2 0
BS 2
PRISM 1.600000
AD VA 2 359.560500 10.802 89.221100 "R"
AD VA 4 17.573700 7.583 91.391000 "MF"
AD VA 5 60.200400 2.452 94.111100 "MF"
AD VA 6 57.305100 13.191 92.501900 "MF"
AD VA 7 83.522200 11.193 93.252300 "MF"
AD VA 8 70.133800 21.467 92.542300 "MF"
AD VA 9 86.242500 20.186 93.121900 "MF"
```

Fonte: Própria

Esses dados são interpretados por softwares que geram malhas tridimensionais de pontos, possibilitando assim definições de superfícies através de triangulação de Delaunay.

O processo utilizando pontos coordenados segue a mesma linha, porém os dados são incluídos diretamente no sistema, sem cálculos baseados em processos trigonométricos, possuem metodologia mais fácil, porém com capacidade de correção de erros debilitada em relação à levantamento com métodos ângulos/distância.

3.3.3 GPS RTK

O RTK refere-se ao posicionamento cinemático em tempo real (Real Time Kinematic), esse sistema ali a tecnologia de navegação por satélites a um rádio-modem, obtendo assim correções instantâneas. Essa metodologia fornece as coordenadas reais já processados, facilitando e diminuindo o tempo de processamento dos dados em aplicações de engenharia.

A técnica de posicionamento RTK está baseada nos dados transmitidos pelos sistemas globais de navegação por satélite, GPS, Glonass e Galileo. É utilizada em campo uma estação de referência, esta providencia correções instantâneas para as estações móveis, obtendo precisão ao nível centimétrico.

A estação base retransmite o sinal da estação móvel, assim as unidades móveis conseguem comparar suas medidas com a recebida da estação de referência. Este método permite que as estações móveis calculem suas posições relativas com precisão milimétrica, relacionando com as coordenadas da estação base.

As coordenadas da estação de referência devem ser conhecidas, e este dispositivo fixo deve possuir um receptor GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite - *Global Navigation Satellite System*) e um rádio-modem transmissor.

Esta estação fixa irá gerar e transmitir as correções diferenciais para as estações móveis, usando estes dados para determinar precisamente suas posições.

Dados obtidos de um levantamento planialtimétrico com GPS RTK

Os dados extraídos através de um levantamento planialtimétrico com GPS RTK se assemelham aos dados obtidos pelo método executado com estação total. Serão extraídas cadernetas de campo com informações georreferenciadas dos pontos, com coordenadas XY e cota Z.

Esses pontos possibilitam a criação de uma malha de pontos que pode ser usada para geração de uma superfície tridimensional de estudo.

Esse equipamento fornece algumas vantagens em relação ao uso da estação total. A sua facilidade de locomoção, e o alto alcance entre a base fixa e as unidades móveis, agiliza o processo de cadastro do terreno em estudo, visto que não há necessidades de uma contínua mudança de local da base fixa, conseqüentemente não se gera a necessidade de mudança de coordenadas de referência.

Terrenos com áreas elevadas podem ser cadastrados de maneira planialtimétrica com maior rapidez do que com o uso de estação, acelerando o processo de envio dos dados para o escritório de processamento.

3.4. Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Um SIG é constituído por um conjunto de "ferramentas" especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc) e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real, (Burrough, 1986).

As principais características de sistemas de informação geográfica são integrar, em um único banco de dados, informações espaciais provenientes de diferentes fontes, como imagens de satélite, dados cartográficos, modelos números de terreno.

Com os diversos parâmetros armazenados espacialmente e numericamente, os SIGs podem ser manipulados através de algoritmos e rotinas computacionais para possibilitar a geração de mapas específicos, divergindo em finalidades.

A capacidade de geração de mapas com objetos geográficos tratados espacialmente, seja catalogando-o por determinado parâmetro escolhido ou pela característica básica de armazenamento de suas coordenadas no espaço, será a funcionalidade de fundamental importância para o estudo deste artigo, modelos digitais de terreno.

A modelagem numérica do terreno é uma função do geoprocessamento realizado através de sistemas de informações geográficas. Este tipo de função, diante das diversas

outras disponíveis, tem atualmente uma utilidade fundamental para análise e aplicações de engenharia. Com a modelagem numérica do terreno torna-se viável o cálculo de declividade, volume, cortes transversais, linha de visada, etc. A modelagem permite aplicações essenciais como:

- Determinação do modelo (grade triangular ou regular) a partir de pontos, espaços e linhas;
- Visualização 3D (imagens e superfícies);
- Geração de mapas de contorno (isolinhas);
- Geração de mapas de declividade e parâmetros;
- Cálculo de volumes;
- Análise de perfis.

3.5. Modelos Digitais de Terreno (MDT)

As perspectivas de terreno são conhecidas como Modelos Digitais de Terreno (“Digital Terrain Model” DTM, podendo ser chamado também de Modelos Digitais da Superfície (“Digital Ground Model”, ou DGM). Podem ser gerados pelo geoprocessamento de dados de um SIG, como o modelo numérico de terreno.

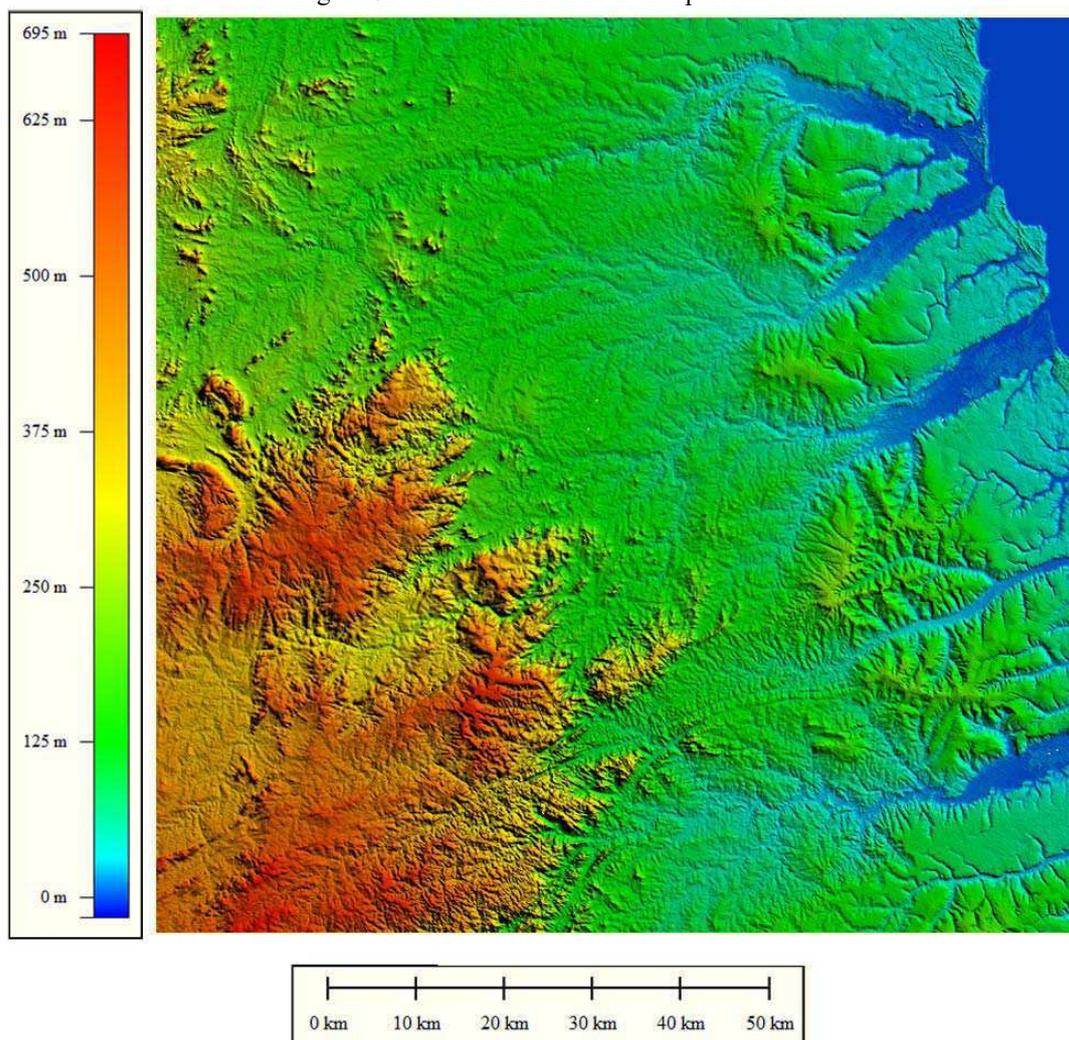
Um Modelo Digital de Terreno (MDT) tem a capacidade de representar o comportamento de um fenômeno que acontece à determinada região da superfície da terra.

Segundo DOYLE (1978), os modelos digitais de terreno se referem ao processo de aquisição, processamento e utilização de dados digitais, que definem a distribuição espacial dos pontos do terreno.

O MDT pode representar características distintas do mesmo espaço, de acordo com a classificação e do processamento dos dados obtidos. Sendo assim, pode-se extrair valores como tipo de solo, profundidade do leito, uso da terra, entre outros.

Para boa parte da engenharia, o MDT mais usado refere-se ao Modelo Digital de Elevação (“Digital Elevation Model”, DEM – foto 02), que utilizam a elevação e coordenadas dos seus pontos disponíveis como característica principal do terreno.

Figura 02 – Modelo DEM do litoral paraibano



Fonte: USGS - Global Mapper

O Modelo Digital de Terreno, na maioria das vezes, é representado por um sistema de coordenadas retangulares ou pela latitude e longitude, adicionando outros parâmetros, como por exemplo, as cotas dos pontos no Modelo Digital de Terreno (DEM), modelo no qual é bastante utilizado para definições iniciais de superfície e análise de anteprojetos na engenharia.

3.5.1. Obtenção dos Dados

Segundo DOYLE (1978), os dados para elaboração dos modelos podem ser obtidos a partir de mapas, de estereomodelos fotogramétricos, de levantamentos terrestres, ou por meio de outros sistemas como altímetros instalados a bordo de aviões e espaçonaves.

Métodos manuais, através de mapas e cartas topográficas já foram o método usual para aquisição de dados, percorrendo curvas de nível através de um dispositivo digitalizador. Este método também é denominado como digitalização vetorial, dado ao seu resultado computacional serem vetores referenciados. O processo possuía alta probabilidade de erros, por omissão, ou falha do operador.

Diversos métodos manuais são citados por MacDOUGALL (1976), a escolha do método dependerá da precisão e do uso que será destinado para esses dados. Com o decorrer do avanço tecnológico diversos mecanismos foram desenvolvidos para a facilitação da coleta de dados manuais, como digitalizações por varreduras (“rasters”), por filmagem e digitalização fotográfica, entre outros. Pela possibilidade de erros, trabalhos excessivos, métodos cansativos e falhas de operação, os métodos manuais de captação de dados foram facilmente substituídos pela obtenção de dados através dos estereomodelos fotogramétricos, geralmente gerenciados por dispositivos de acionamento remoto e automatizado.

O produto de transformação da projeção cônica, obtida através de imagens de satélite ou aéreas, para uma única projeção ortogonal sobre um plano, utilizando da sobreposição de imagens, é chamado de estereomodelo ou modelo. A restituição do local é feita no estereomodelo onde os detalhes planimétricos e altimétricos, de interesse, são traçados no mapa final.

No 1999 duas grandes missões espaciais foram planejadas com inclusão de dispositivos de radares e utilização de software interferométrico. Tais dispositivos tinham a função de mapear e visualizar a superfície da terra, de modo que dados planimétricos e altimétricos fossem o produto final.

Os equipamentos utilizados na missão ASTER e SRTM, lançadas no ano de 1999 e 2000 respectivamente, são radares de abertura sintética. Radares de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) geralmente estão acoplados a uma aeronave ou satélite e possuem o objetivo de localizar alvos na superfície terrestre.

Como as antenas dos radares devem ser movidas através da movimentação de uma aeronave ou satélite, podem possuir uma dimensão pequena, facilitando seu transporte, mas emitindo sinais de abertura de amplo espectro. A habilidade deste tipo de radar diferenciar dois objetos próximos depende da largura do sinal emitido, que este depende do tamanho da antena. Como resolução deste parâmetro, o movimento da aeronave, ou satélite, permite simular uma antena bem maior do que realmente é.

O movimento da aeronave permite que o radar faça leituras consecutivas de diversos pontos, recebendo o sinal que será posteriormente processado, isso faz parecer que o sinal de uma antena grande, ao invés de uma pequena. O resultado deste processo permite que esse tipo de radar tenha uma resolução que possibilita distinguir objetos relativamente pequenos, aumentando a eficácia e confiabilidade no uso para processamento de modelos digitais terreno.

Esta metodologia possibilitou e popularizou o uso de dados do sistema ASTER e SRTM, assim diversos softwares que utilizam destes bancos de dados para gerarem MDT, tendo finalidades diversas, temos como exemplo o Google Earth[®], Plex Earth[®], Infracore[®], dentre diversos outros.

3.5.2. *Radiômetro de emissão e reflexão térmica espacial avançado (ASTER)*

O ASTER é um sensor japonês administrado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e está a bordo do satélite Terra, gerenciado pela mesma agência governamental.

O ASTER possui a capacidade de fornecer imagens de alta resolução em 14 bandas diferentes do espectro eletromagnético. A resolução das imagens varia de 15 a 90 metros, com esse conjunto de dados, torna-se se possível a criação de mapas detalhados de elevação e de outras características da superfície terrestre, como temperatura, emissividade e reflectância.

O Global Digital Elevation Model (GDEM) é o modelo digital de terreno obtido através do sistema ASTER, possui cobertura terrestre partindo da latitude 83° S à 83° N, superando a cobertura concedida pelo sistema SRTM.

Apesar da sua alta resolução e pelo amplo espaço de cobertura, a NASA, juntamente com o METI (Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão) confirmaram que a resolução em algumas áreas deixa a desejar para a finalidade de formulação de dados de altimetria confiáveis, sendo os dados do sistema SRTM preferidos pelos profissionais que o utilizam para geração de modelos de elevação digital.

Os dados do ASTER são disponibilizados gratuitamente para usuários de todo mundo através do sistema de entrega USGS Earth Explorer e pelo Earth Data Search da NASA.

3.5.3 *Shutter Radar Topography Mission (SRTM)*

O acrónimo SRTM refere-se à Missão Topográfica Radar Shuttle, missão espacial internacional, coordenado internacionalmente e liderado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e US National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)

Com o objetivo principal de obter modelos de elevação digital de todo o globo terrestre, partindo da latitude 56° S à 60° N. A principal finalidade foi gerar um banco de dados topográfico de alta resolução completo da Terra, obtido através de um sistema de radar. Foi utilizado a missão espacial STS-99 do dia 11 de fevereiro de 2000, os equipamentos foram transportados pelo ônibus espacial Space Endeavour, propriedade do governo norte americano.

Foram utilizados um conjunto com dois radares, um localizado no compartimento de carga do ônibus espacial, e outro localizado a 60m distante do primeiro, sustentado por um mastro do Shuttle Endeavour.

Esta metodologia de afastamento dos radares permitiu a utilização da técnica conhecida por radar de abertura sintética interferométrica, na qual analisa diferenças na fase das ondas emitidas que retornam aos radares, utilizando duas ou mais imagens de radar de abertura sintética (SAR) para gerar mapas de elevação digital ou deformação superficial.

As elevações originais SRTM foram calculadas em relação a projeção de elipsoide WGS84, no qual o modelo de elevação digital global de 1 arco (30 metros) está disponibilizada gratuitamente no site do United States Geological Survey (USGS).

3.6. Utilização de MDT em projetos de infraestrutura

A Infraestrutura é caracterizada como o conjunto de atividades e estruturas da economia de um país que tem como finalidade servir de base para o desenvolvimento de outras atividades.

Fazem parte da infraestrutura de um país: rodovias, ferrovias, portos, aeroportos, usinas hidroelétricas, sistema de telecomunicações, rede de distribuição de água e tratamento de esgoto, transmissão de energia, etc.

Portanto, os projetos de infraestrutura estão caracterizados como projetos que possuem, na maioria das vezes, uma ampla área territorial de implantação, sendo necessário o conhecimento das características do local onde será implantando o produto final do projeto.

Um dos conhecimentos fundamentais é como as características da superfície terrestre se comportam naquele determinado local, entre esses parâmetros podemos listar o uso do solo, tipo de solo, climatologia e topografia do local.

Essas características fundamentais são obtidas através de estudos preliminares de projeto, identificado as oportunidades e necessidades do projeto, tendo como resultado declarações de viabilidade técnica, econômica, socioambiental, etc.

As características topográficas do local do empreendimento podem ser obtidas de diversas fontes, como levantamentos em campo ou obtenção de dados catalogados em bancos de dados, sejam eles de maneira gratuitas ou não.

A obtenção de modelos digitais de terreno (MDT) para a geração de superfícies tridimensionais com representação da superfície terrestre, tem sido um artifício bastante utilizado por projetistas, de modo que a obtenção dos parâmetros topográficos se torne mais prático e tenha um investimento de capital inicial baixo, com a finalidade de uso preliminar em processos de anteprojeto e projeto básico do empreendimento.

O projeto básico é a fase de desenvolvimento do projetado da alternativa escolhida no processo de estudo de viabilidade. O projeto básico geralmente contém desenhos técnicos e suas memórias de cálculo, assim como análises ambientais e um orçamento básico.

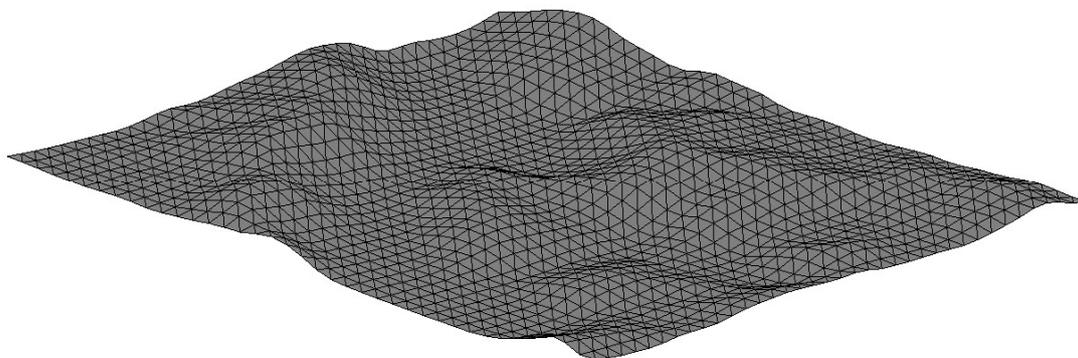
A Lei no 8.666/1993 – Lei das Licitações- define no artigo 6º:

Projeto básico: conjunto de elementos necessários e suficientes, para caracterizar a obra ou serviço elaborado com base nas indicações dos estudos Técnicos preliminares e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução.

Portanto, como fonte principal para a geração dos relatórios iniciais, modelos gerados a partir de dados do SRTM e ASTER vem se tornando metodologias essenciais para projetistas estabelecerem dados iniciais, visando a realização dos estudos preliminares e dos projetos básicos de infraestrutura.

A figura 03 demonstra a representação gráfica de uma superfície de terreno gerada a partir dos dados do sistema SRTM e utilizados para o estudo preliminar de um projeto básico de infraestrutura.

Figura 03 – Superfície TIN gerada a partir de modelo DEM



Fonte: USGS

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento de campo utilizando Estação Total

Foram determinados locais de estudo denominados de A, B e C, de modo que as limitações físicas e geográficas fossem as mesmas para todos os diferentes métodos de coleta de dados. Esses dados foram coletados através de três metodologias: utilizando estação total, sistemas SRTM e ASTER e VANT (Drone), de modo que conjuntos de imagens e dados dos pudessem divergir entre si, possibilitando uma análise mais precisa em relação à fidelidade ao terreno real.

Foram cedidos, por duas entidades privadas especializadas em projetos de infraestrutura, dados dos terrenos, listados na Tabela 01. Informações complementares sobre procedimentos e métodos de coleta foram informados pelas entidades privadas e seguem a norma de levantamento topográfico ABNT NBR-13133 (1994).

Tabela 01 – Locais de estudo: A, B e C

Área	Local	Coordenadas		Área (m ²)	Perímetro (m)	Zona	DATUM
		(Máx ao N, Máx ao S)	(Máx ao O, Máx ao E)				
A	Joao Pessoa - PB	(9.201.300 N, 9.200.598 S)		195.7	2.050,00	25	SIRGAS 2000
		(298.150 O, 298.624 E)		23,00			
B	Campina Grande - PB	(9.202.540 N, 9.201.370 S)		524.5	4.035,00	25	WGS-84
		(178.690 O, 179.720 E)		90,00			
C	Campina Grande - PB	(9.202.040 N, 9.199.980 S)		2.259.	7.520,00	25	WGS-84
		(174.880 O, 176.640 E)		380,0 0			

Foram efetuados levantamentos de campo pelas equipes topográficas das entidades privadas que firmaram parceria com esse estudo, utilizando equipamentos topográficos do tipo estação total Topcon ES-105 (Figura 04) e prisma refletivo (Figura 05) possuindo precisão linear de 2mm+2ppm. As áreas de cadastro foram as listadas na Tabela 01.

Figura 04 – Estação Total Topcon ES-105



Fonte: Embratop

Figura 05 – Prisma Refletivo



Fonte: Topomap

Os resultados obtidos com os levantamentos de campo, utilizando estação total, compõem cadernetas de campo contendo pontos referenciados a partir das projeções WGS84 e SIRGAS 2000, de acordo com a definição do operador do equipamento. A utilização de duas projeções teve como objetivo verificar a qualidade do levantamento realizado após processamento dos pontos.

As cadernetas de campo possuem os seguintes parâmetros: número do ponto, descrição, referência inicial, coordenadas x, y e z. Informações complementares, como espaçamento das seções, método de extração, DATUM utilizado e DATUM processado foram adicionadas após o processamento dos dados.

4.2. Levantamento de campo utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT)

Para realizar o levantamento de campo, foi utilizado um veículo aéreo não tripulado (VANT) ou drone do tipo *Dji Phantom 4 Professional* (Figura 06), fornecido por empresa privada vinculada à Universidade Federal de Campina Grande. Esse equipamento foi escolhido baseado na capacidade de coleta de imagens aéreas com plano de voo pré-estabelecido. A coleta das imagens foi efetuada na localização do item B da Tabela 01.

Foi coletado um total de 528 imagens perpendiculares ao terreno, com 12 megapixels de resolução e 0,05m por pixel, totalizando 3,5 gigabytes de dados. Essas

imagens possibilitaram uma precisão considerada razoável para o tipo de estudo realizado.

Figura 06 – Drone Dji Phantom 4



Fonte: DJI

O drone efetuou voo a 70,00m de altitude a partir do seu ponto de decolagem. O voo teve duração de 30 minutos, com plano de voo gerenciado pelo *software* interno do equipamento.

Foram coletados, em duas empresas privadas especializadas, custos de execução desse tipo de serviço, possibilitando a análise do custo/benefício desse método de coleta de dados de terreno.

4.3. Geração de modelo digital de terreno (MDT) com os dados obtidos

4.3.1. Geração de MDT com os dados de levantamento com estação total

Para geração dos modelos digitais de terreno foi utilizado *software* computacional do tipo AutoCAD Civil 3D, com capacidade de importar os dados e cadernetas coletados em campo e processá-los de modo a obter superfície tridimensional. O *software* é do tipo *payware* (cadastro de uso pago) e foi obtido e fornecido por entidade privada vinculada à Universidade Federal de Campina Grande.

As gerações dos modelos digitais de terreno foram efetuadas através da criação de superfície TIN, utilizando como fonte principal as cadernetas de campo geradas pelos levantamentos com os equipamentos topográficos listados no item 4.1.

Uma Superfície TIN compreende os triângulos que formam uma rede triangulada irregular. Linhas TIN formam triângulos que compõem a triangulação de superfície. Para criar linhas, devem-se conectar os pontos de superfície que estão próximos entre si. A elevação de qualquer ponto da superfície foi definida computacionalmente pela interpolação das elevações dos vértices dos triângulos adjacentes.

Com isso obteve-se como produto final uma superfície pela triangulação de Delaunay, na qual é usado o critério de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, resultando em uma malha final com triângulos o mais próximo de equiláteros possível, evitando assim a criação de triângulos não representativos, possibilitando uma abordagem mais realista do terreno.

Superfícies TIN são úteis para:

- Mapear superfícies variáveis com distribuição irregular de amostra de dados que representa a influência de fluxos, estradas e lagos;
- Examinar as áreas localizadas (mapas em larga escala).

Em geral, as superfícies TIN possuem uma complexidade maior de processamento e requerem equipamentos mais sofisticados e maior espaço de armazenamento do que as superfícies de malha.

4.3.2. Geração de MDT com processamento de dados obtidos por VANT

A partir do conjunto de imagens obtidas pelo levantamento efetuado pelo drone citado no item 4.2, foi possível gerar um modelo digital de terreno utilizando o *software* Autodesk Recap Pro do tipo *payware* (cadastro de uso pago), fornecido por entidade privada vinculada à Universidade Federal de Campina Grande.

O *software* teve como finalidade reunir o conjunto de imagens captadas pelo drone e compilá-las em um mosaico tridimensional, do qual foi possível extrair um modelo digital de terreno com cotas altimétricas.

A precisão desses dados teve como parâmetro básico a qualidade das imagens e a altitude de coleta em campo, de modo que foi possível realizar uma análise gráfica da capacidade de coleta do drone em relação ao tempo e custo de execução desse serviço,

fornecendo, assim, um resultado do custo/benefício desse método de coleta de dados de campo.

4.3.3. Geração de MDT com processamento de dados SRTM e ASTER

Para a geração de modelos digitais de terreno foram utilizados dados extraídos do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e ASTER, obtidos através da plataforma da USGS (United States Geological Survey), entidade americana que disponibiliza de maneira gratuita dados geográficos.

Foram processadas imagens digitais no formato GEOTIFF, possuindo parâmetros geográficos em seu código fonte, necessitando-se *software* específico (3DEM, Gratuito) para adequação do DATUM do local em estudo, corrigindo sua projeção.

Após o tratamento e correção de DATUM, foi exportado um arquivo do tipo DEM (Digital Elevation Map). Tal arquivo permite a geração direta de superfícies de malha em *software* específico de tratamento (AutoCAD Civil 3D).

O mapa de elevação digital (DEM) possibilitou a criação de uma superfície de grade regular com pontos a cada 30m, padrão SRTM e ASTER.

A grade regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares, no qual a confiabilidade do terreno gerado para com a situação real se estabelece, principalmente, do menor espaçamento entre os pontos da grade.

A grade regular pode omitir diversas feições do terreno, como talvegues e divisórias de água, pelo simples fato dos seus pontos sempre obedecerem à distância estabelecida pelo sistema de processamento. Este fato torna a superfície triangulada de Delaunay um formato mais fiel à realidade da superfície terrestre.

4.4. Comparação entre os diferentes modelos obtidos

Após a geração dos diversos modelos digitais de terreno, através de dados de coletados com estação total, do VANT e do processamento de dados SRTM e ASTER, foram determinados parâmetros fundamentais de comparação de superfície.

Esta análise teve como objetivo verificar a correspondência dos dados planimétricos e altimétricos entre os diferentes modelos digitais de terreno gerados para as áreas A, B e C, com exceção da utilização do VANT nas áreas A e C, devido a

disponibilidade de equipamento e preços de levantamento, que tornaram inviável essa etapa do estudo. Os modelos estão posicionados geograficamente nas mesmas coordenadas e projeções de DATUM.

Foram verificadas coordenadas, cotas, declividades máximas, declividades médias, elevações máximas, elevações mínimas, elevações médias, número de pontos e distância média entre pontos.

Dos métodos de coleta de dados, foram comparados o tempo de aquisição, custo de aquisição e precisão dos dados de acordo com as suas variações entre si.

4.5. Análise de custo básico para projeto de infraestrutura

Como produto final, foi gerado um modelo de implantação de rodovia rural, contendo todos os seus elementos básicos como seção tipo, alinhamento principal, curvas horizontais, greide projetado, curvas verticais e taludes. Foi gerado modelo de vias urbanas, com todos os respectivos elementos, plataformas, calçadas, meio-fio e taludes.

Esses modelos básicos de projeto foram dimensionados utilizando, como superfície base, todos os modelos digitais de terreno gerados para as áreas A, B e C. Os modelos da rodovia e da via urbana foram projetados na mesma posição geográfica, obedecendo DATUM de mesma projeção e ajustes, de modo que os elementos geométricos do projeto estivessem alinhados geograficamente em todas as superfícies.

Com isso, foi possível gerar relatórios de movimentação de terra e de impacto às estruturas e edificações existentes, possibilitando a estimativa de custos para esse tipo de serviço.

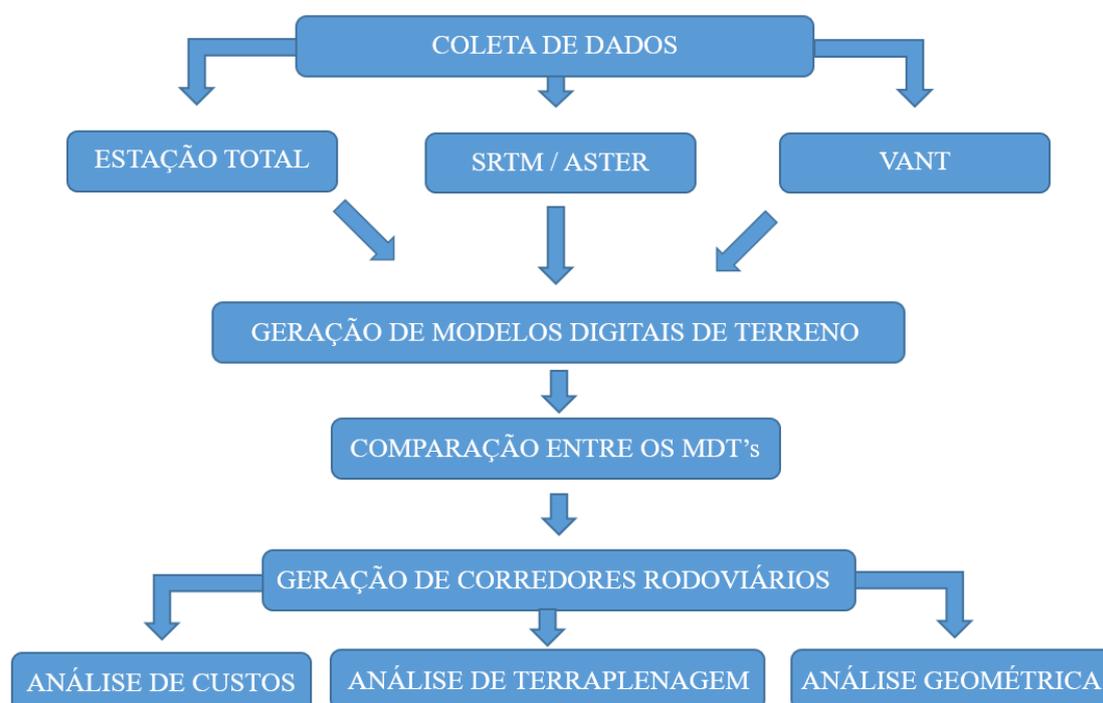
Os custos tiveram como base, tabelas de composição de custo do SEINFRA-CE (Secretaria da Infraestrutura do estado do Ceará) e como análise final, o percentual de diferença de custos dos projetos básicos para cada tipo de superfície gerada, fosse pelo o uso de dados coletados por métodos topográficos tradicionais (estação total), fosse pelo uso de dados coletados pelo sistema SRTM e ASTER, fosse pelo uso de dados coletados pelo VANT.

Com as análises de custo de aquisição, tempo de aquisição e tratamento dos dados, verificou-se o custo/benefício de cada projeto realizado nas superfícies de terreno geradas.

Por fim, foi realizada uma análise para verificar os custos de execução de serviços de movimentação de terra (corte e aterro) nos modelos de projetos gerados. Essa análise

possibilitou verificar para até que volume de movimentação de terra foi vantajoso utilizar modelos digitais de terreno gerados pelo uso do sistema SRTM e ASTER, modelos gerados a partir das imagens de drones, e em que ponto esses métodos passam a ter um custo/benefício menor do que utilizar topografia tradicional para geração de superfície tridimensional, levando em consideração, também, os custos de serviços topográficos fornecidos pela Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas (CEHOP-SE) e por duas empresas privadas, especializadas em topografia, da cidade de Campina Grande – PB.

O fluxograma abaixo diagrama os processos da metodologia utilizada nesse estudo:



5. RESULTADOS

Neste tópico, encontram-se os resultados obtidos ao se realizarem as análises dos modelos digitais de terreno gerados a partir dos dados disponibilizados pelas diferentes metodologias de coleta citadas no item 4.0. Também foram dispostas as simulações realizadas para a modelagem de projetos básicos de infraestrutura, especificamente para rodovias rurais.

As análises dos modelos digitais de terreno compreenderam em verificar e analisar a qualidade dos dados processados computacionalmente, em que se resumiram aos itens:

- Quantidade de pontos coletados;
- Espaçamento entre os pontos;
- Variação de altitude;
- Variação de declividade;
- Caracterização geométrica do terreno;

As diferentes metodologias de coleta de dados também foram analisadas e caracterizadas, podendo assim ser relacionada as seguintes características:

- Tipo de método;
- Tempo de aquisição;
- Custo de aquisição;

5.1. Modelos Digitais de Terreno (MDT)

Foram gerados um total de treze (13) modelos digitais de terreno, compostos de pontos e informações planialtimétricas, caracterizando as propriedades geométricas das áreas de estudo listadas na Tabela 01 do item 4.1. Esses modelos foram coletados a partir de bancos de dados listados na Tabela 02 abaixo:

Tabela 02 – Modelos digitais de terreno utilizados

Nomenclatura Adotada	Área de Estudo	Tipo	Nº de Pontos	Fonte
A1	A	Planialtimétrico	970	SRTM
A2			27.150	SRTM
A3			1.072	ASTER
A4			1.236	Estação Total
B1	B	Planialtimétrico	2.540	SRTM
B2			30.262	SRTM
B3			3.045	ASTER
B4				VANT (Drone)
B5			1.968	Estação Total
C1	C	Planialtimétrico	5.931	SRTM
C2			213.411	SRTM
C3			5.630	ASTER
C4			4.607	Estação Total

Os modelos possuíram propriedades diferentes, de modo que fosse possível gerar diferentes superfícies tridimensionais, com variações geométricas sutis, mas responsáveis por mudanças perceptíveis nos volumes de movimentação de terra quantificados. Tais modelos, assim como seu método de coleta, quantidade de pontos, tempo de aquisição, custo de aquisição e banco de dados fonte, são listados na Tabela 03 abaixo:

Tabela 03 – Método de coleta e custo MDT's

MDT	Método de Coleta	Nº de Pontos	Tempo de Aquisição	Custo de Aquisição
A1	USGS	970	1:00h	R\$ 100,00
A2	USGS	27150	1:00h	R\$ 100,00
A3	USGS	1072	1:00h	R\$ 100,00
A4	Em campo	1236	16:30h	R\$ 2.935,50
B1	USGS	2540	1:00h	R\$ 100,00
B2	USGS	30262	1:00h	R\$ 100,00
B3	USGS	3045	1:00h	R\$ 100,00
B4	Em campo	2150	0:30h	R\$ 350,00
B5	Em campo	1968	26:00h	R\$ 7.860,00
C1	USGS	5931	1:00h	R\$ 100,00
C2	USGS	213411	1:00h	R\$ 100,00
C3	USGS	5630	1:00h	R\$ 100,00
C4	Em campo	4607	61:30h	R\$ 33.890,00

Os custos de aquisição e o tempo de aquisição dos levantamentos em campo foram levantados a partir de pesquisas realizadas em empresas especializadas em serviços de topografia, onde obteve-se uma média de custo de R\$150,00 por hectare levantado e um tempo de 8:00h de serviço para a coleta de 600 pontos. Os valores de aquisição dos modelos digitais de terreno provenientes do USGS (United States Geological Survey) foram fornecidos pela Associação Técnico Científico Ernesto Luiz de Oliveira Junior – ATECEL.

As áreas de estudo foram separadas conforme listadas na Tabela 01 do item 4.1, e as análises de terreno foram feitas individualmente para cada uma destas respectivas áreas.

5.2. Área de estudo A

A área de estudo A compreende uma área total de 195.723,00m² com perímetro de 2.050,00m. Localiza-se em um terreno privado no setor sul da cidade de João Pessoa – PB, o terreno foi utilizado para a implantação de um condomínio privado. Para esta área

foram gerados quatro (04) modelos digitais de terreno compostos de curvas de níveis para representação altimétrica. A Tabela 04 discrimina os MDT's utilizados:

Tabela 04 – Modelos digitais de terreno (Área A)

MDT's (Área A)
A1, A2, A3 e A4

As características geométricas dos modelos são listadas na Tabela 05 e compreendem em declividades máximas, declividades médias, elevações máximas, elevações mínimas, elevações médias, número de pontos e distância média entre pontos.

Tabela 05 – Propriedades MDT's (Área A)

MDT	Declividade Máxima	Declivida de Média	Elevação Máxima (m)	Elevação Mínima (m)	Elevação Média (m)	N de Pontos	Distância média entre pontos (m)
A1	73,64%	6,46%	43,00	4,77	33,67	970	30,00
A2	28,28%	6,60%	43,00	8,00	35,41	27.150	5,00
A3	28,73%	5,52%	42,04	8,38	34,32	1.072	30,00
A4	37,70%	5,42%	37,00	7,16	29,82	1.236	15,30

Analisando a Tabela 05, foi possível verificar que os modelos digitais de terreno utilizados para caracterização do terreno da área de estudo A, estão compreendidos em um plano geográfico e altimétrico bastante próximos entre si, essa premissa é justificada pela observação da diferença máxima entre as elevações médias (5,59m) assim como da variação da declividade média (1,18%). Essa variação máxima (1,18%) pode ser considerada baixa, visto esse valor possibilita uma baixa probabilidade de mudança de intervalos de relevo conforme classificação fornecida pelo *sistema brasileiro de classificação de solos*, pág. 307 (EMBRAPA), no que se classifica os intervalos de declividade dos relevos.

Essas afirmações confirmam que todos modelos digitais de terreno utilizados nesta área de estudo configuram-se como um método de representação dessa parcela limitada da superfície terrestre, portanto poderiam ser utilizados em determinadas etapas na elaboração de projetos.

5.3. Área de estudo B

Para a área de estudo B foi utilizado uma área total de 524.590,00m² com perímetro de 4.035,00m. Está localizada em um terreno privado próximo à Universidade Federal de Campina Grande, no qual foi utilizado para a implantação de um loteamento residencial. Foram gerados cinco (05) modelos digitais de terreno compostos de curvas de níveis para representação altimétrica desta área. A Tabela 06 discrimina os MDT's utilizados:

Tabela 06 - Modelos digitais de terreno (Área B)

MDT's (Área B)
B1, B2, B3, B4 e B5

As características geométricas dos modelos são listadas na Tabela 07 e compreendem em declividades máximas, declividades médias, elevações máximas, elevações mínimas, elevações médias, número de pontos e distância média entre pontos.

Tabela 07 - Propriedades MDT's (Área B)

MDT	Declividade Máxima	Declivida de Média	Elevação Máxima (m)	Elevação Mínima (m)	Elevação Média (m)	N de Pontos	Distância média entre pontos (m)
B1	24,04%	8,52%	606,00	509,00	543,32	2.540	30,00
B2	28,28%	10,39%	571,00	519,00	542,37	30.262	5,00
B3	31,15%	8,55%	604,16	509,22	549,32	4.613	30,00
B4	35,15%	10,57%	568,25	522,24	561,25	2150	18,00
B5	36,41%	11,83%	566,00	517,00	566,62	1.968	14,45

Analisando a Tabela 07, foi possível verificar que os modelos digitais de terreno utilizados para caracterização do terreno da área de estudo B, estão compreendidos em plano geográfico e altimétrico próximos. Obteve-se uma diferença da elevação média entre os modelos utilizados no valor de 21,62m, apesar desta divergência altimétrica, as declividades médias se distanciam entre si em no máximo 3,32%, este valor possibilita a utilização dos diferentes MDT's utilizados para classificação de relevo do terreno. Essa variação máxima (3,32%) pode ser considerada baixa, visto esse valor possibilita uma

baixa probabilidade de mudança de intervalos de relevo conforme classificação fornecida pelo *sistema brasileiro de classificação de solos*, pág. 307 (EMBRAPA), no que se classifica os intervalos de declividade dos relevos.

Essas afirmações confirmam que todos modelos digitais de terreno utilizados nesta área de estudo configuram-se como um método de representação dessa parcela limitada da superfície terrestre, portanto poderiam ser utilizados em determinadas etapas na elaboração de projetos.

5.4. Área de estudo C

A área de estudo C compreende uma área total de 2.259.380,00m² com perímetro de 7.520,00m. O terreno está localizado as margens da alça sudoeste da cidade de Campina Grande – PB, próximo ao complexo penitenciário Serrotão. Para esta área foram gerados quatro (04) modelos digitais de terreno compostos de curvas de níveis para representação altimétrica. A Tabela 08 discrimina os MDT's utilizados:

Tabela 08 - Modelos digitais de terreno (Área C)

MDT's (Área C)
C1, C2, C3 e C4

As características geométricas dos modelos são listadas na Tabela 09 e compreendem declividades máximas, declividades médias, elevações máximas, elevações mínimas, elevações médias, número de pontos e distância média entre pontos.

Tabela 09 - Propriedades MDT's (Área C)

MDT	Declividade Máxima	Declividade Média	Elevação Máxima (m)	Elevação Mínima (m)	Elevação Média (m)	Número de Pontos	Distância média entre pontos (m)
C1	180,00%	9,42%	636,00	514,00	558,41	5.931	30,00
C2	44,72%	11,05%	644,00	513,00	561,66	213.411	5,00
C3	30,44%	8,82%	624,10	515,15	559,68	5.630	30,00
C4	-	11,87%	616,00	521,00	559,22	4.607	12,30

Analisando a Tabela 09, foi possível verificar que os modelos digitais de terreno utilizados para caracterização do terreno da área de estudo C, estão compreendidos em plano geográfico e altimétrico bastante próximos, essa premissa é justificada pela observação da diferença entre as elevações médias, no qual obteve-se um valor de 3,25m entre o valor mínimo e máximo, assim como da variação da declividade média de 3,05%. Essa variação máxima (3,05%) pode ser considerada baixa, visto esse valor possibilita uma baixa probabilidade de mudança de intervalos de relevo conforme classificação fornecida pelo *sistema brasileiro de classificação de solos*, pág. 307 (EMBRAPA), no que se classifica os intervalos de declividade dos relevos.

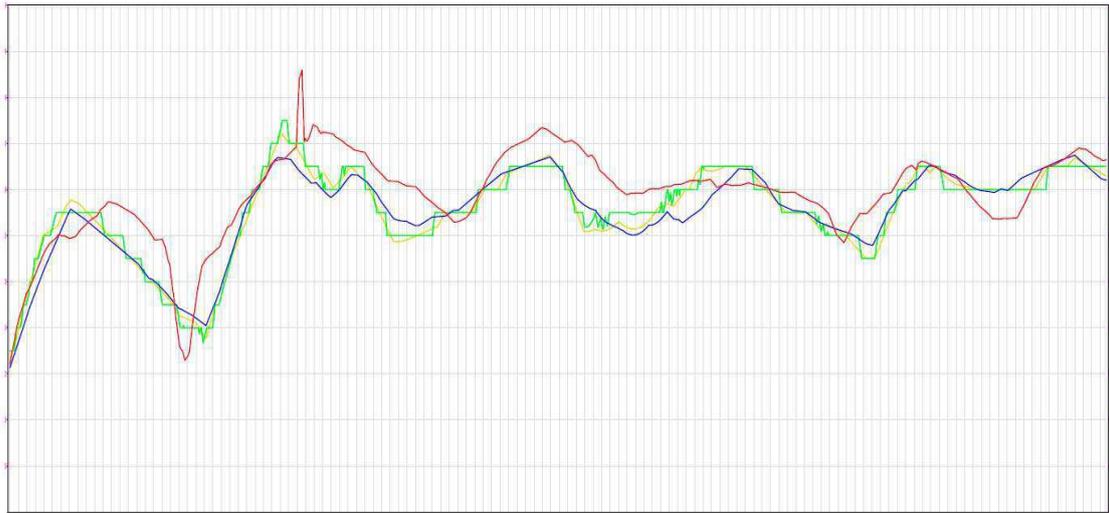
Essas afirmações confirmam que todos modelos digitais de terreno utilizados nesta área de estudo configuram-se como um método de representação dessa parcela limitada da superfície terrestre, portanto poderiam ser utilizados em determinadas etapas na elaboração de projetos.

5.5 Análise geométrica dos MDT's

Para a modelagem dos corredores das rodovias, se fez necessário a criação de perfis longitudinais e greides de projeto para cada modelo digital de terreno utilizado. A sobreposição destes perfis longitudinais de terreno permitem verificar o comportamento geométrico dos diferentes MDT's no decorrer dos trechos projetados. Tal verificação torna possível analisar a semelhança entre declividades (aclives e declives), pontos baixos, pontos altos, tangentes, erros geográficos, etc.

A Figura 07 mostra a sobreposição dos perfis longitudinais gerados para a área de estudo A, estão dispostos os perfis dos MDT's A1, A2, A3 e A4:

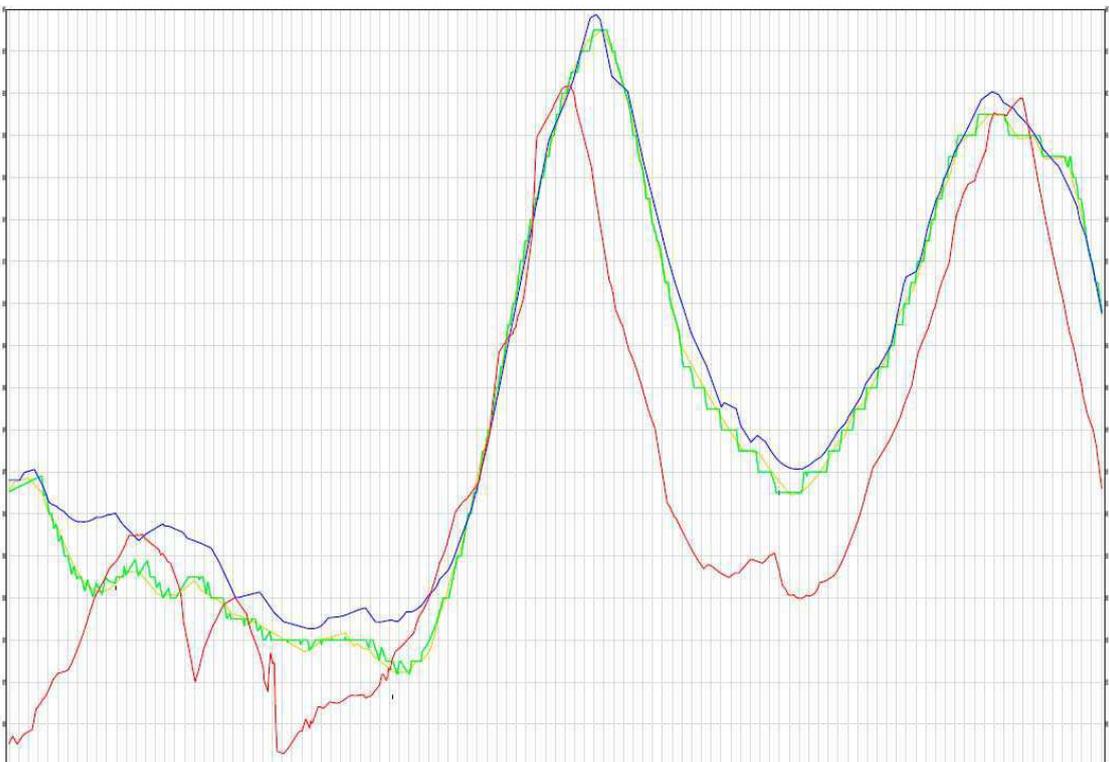
Figura 07 – Perfis longitudinais (Área A)



A1 — A2 — A3 — A4

A Figura 08 mostra a sobreposição dos perfis longitudinais gerados para a área de estudo B, estão dispostos os perfis dos MDT's B1, B2, B3 e B4:

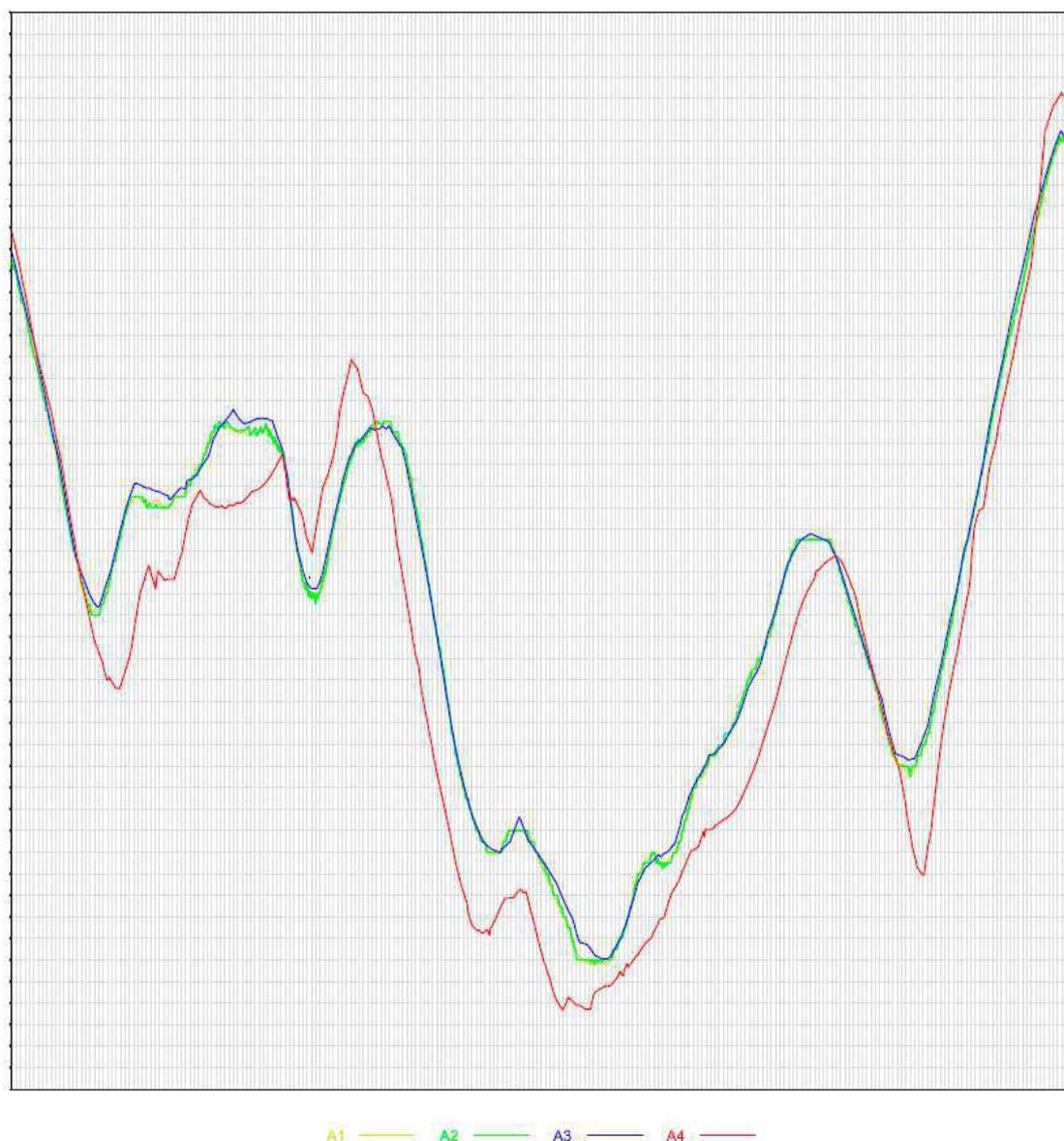
Figura 08 – Perfis longitudinais (Área B)



B1 — B2 — B3 — B4

A Figura 09 mostra a sobreposição dos perfis longitudinais gerados para a área de estudo C, estão dispostos os perfis dos MDT's C1, C2, C3 e C4:

Figura 09 – Perfis longitudinais (Área C)



A análise das Figuras 07, 08 e 09 possibilitou verificar que os diferentes modelos digitais de terreno geraram perfis longitudinais bastante próximos geometricamente entre si. Apesar de locais pontuais divergentes, a semelhança geométrica possibilita o uso destes perfis para classificação de relevo, análise preliminar de traçado, verificação de declividades médias, locais de pontos baixos e altos, entre outras análises pertinentes em processos de anteprojeto e projeto básico.

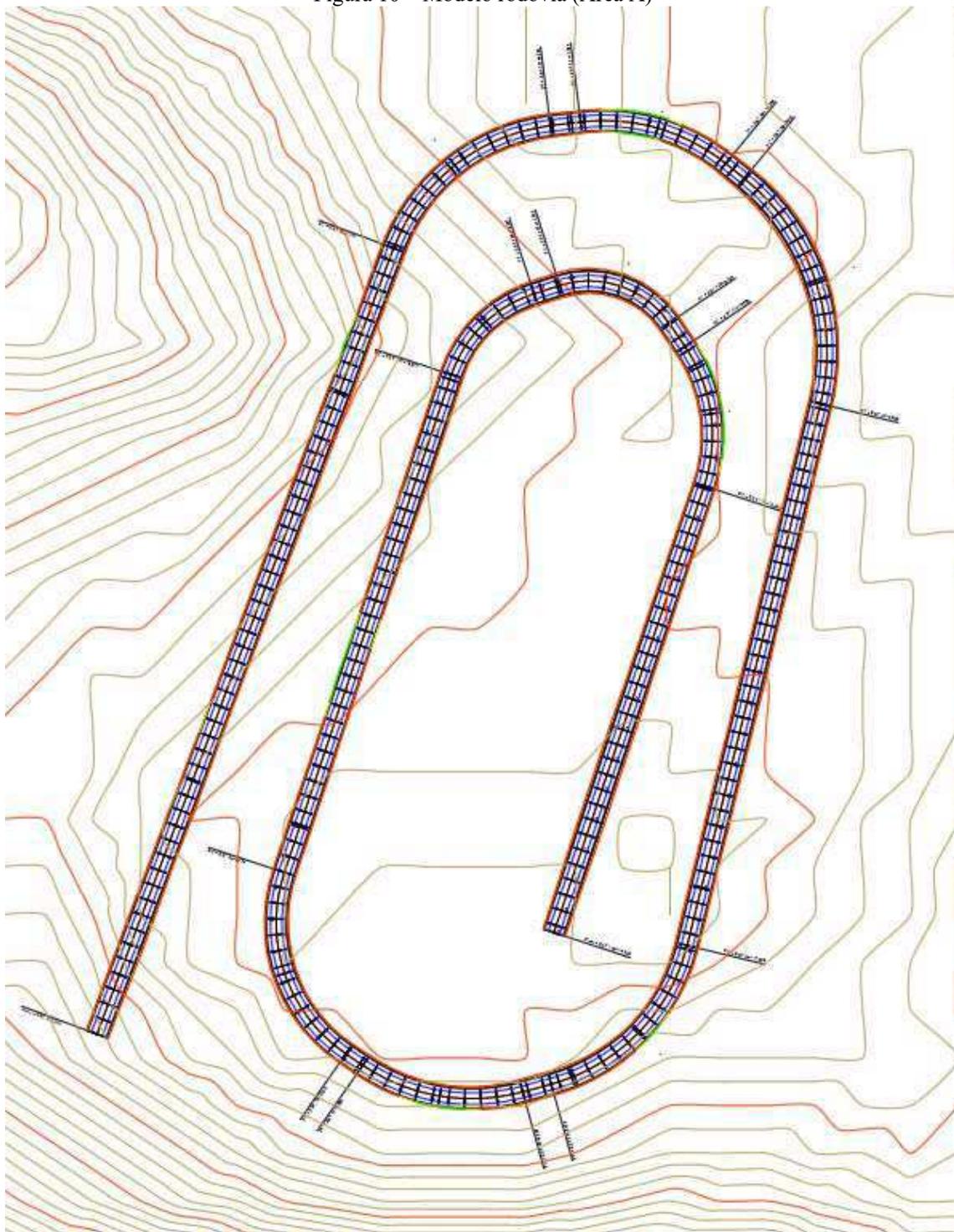
5.6. Corredores e volumes de movimentação de terra

Foram modelados corredores de rodovias rurais para cada uma das três áreas estudadas (A, B e C). Os corredores possuíram características geométricas idênticas (alinhamento horizontal, alinhamento vertical, seção-tipo), variando apenas as superfícies, isto é, os modelos digitais de terreno, aplicados a estas simulações. Os volumes de movimentação de terra (corte e aterro) adquiridos estão separados por área de estudo. Não foram obedecidas normas geométricas impostas pelo DNIT (rampa máxima, K, raios mínimos, etc), visto que não é o objetivo deste trabalho determinar essas condições.

5.6.1 Área de estudo A

Foi modelado para a área de estudo A um corredor de rodovia rural, sem variação de seção-tipo, com extensão total de 2.594,64m, esse modelo pode ser visualizado na Figura 10, mostrando seu eixo e curvas de nível do MDT A1.

Figura 10 – Modelo rodovia (Área A)



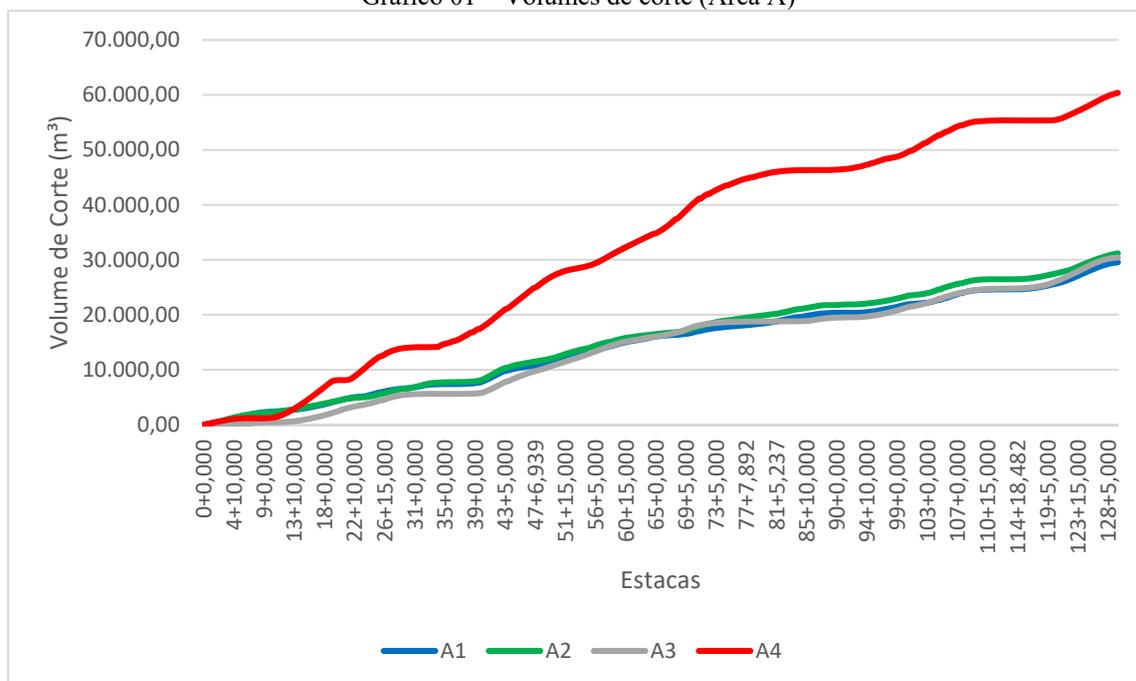
A Tabela 10 apresenta os diferentes volumes de corte e aterro adquiridos para os modelos digitais de terreno utilizados:

Tabela 10 – Volumes de corte e aterro (Área A)

Área de Estudo	Tipo de corredor	Extensão(m)	MDT Utilizado	Acumulado Corte(m ³)	Acumulado Aterro(m ³)
A	RODOVIA RURAL	2.594,64	A1	29.544,26	515,27
			A2	31.183,58	720,43
			A3	30.415,89	2.064,34
			A4	60.383,05	1.840,22

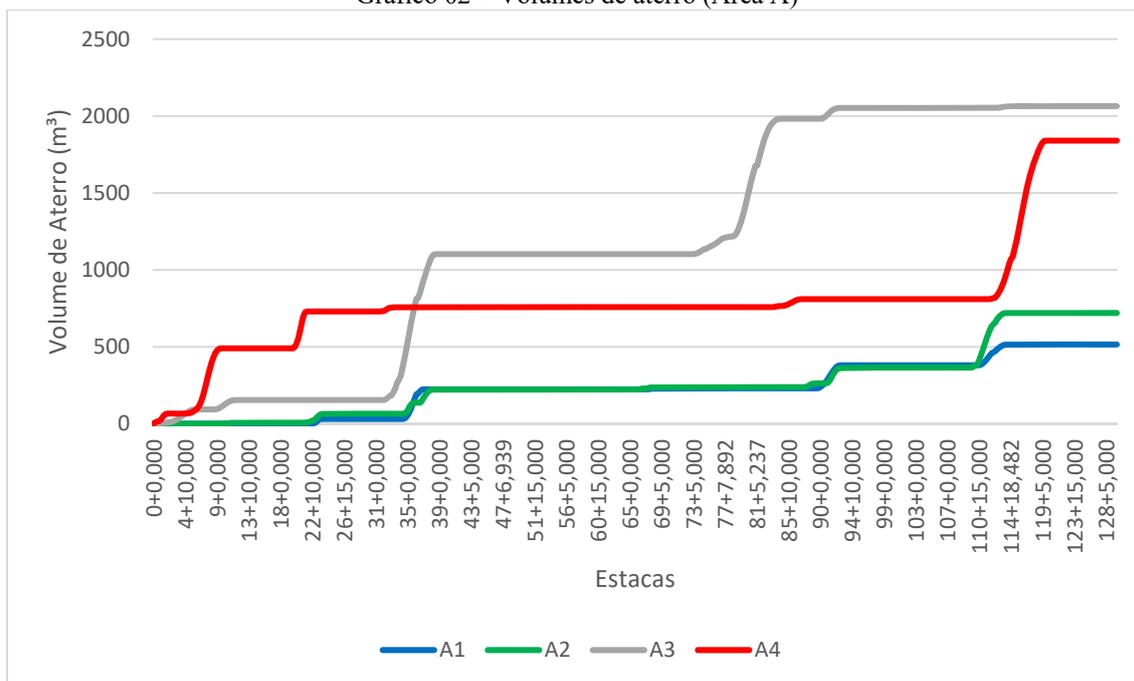
A partir do Gráfico 01 é possível verificar a diferença de acumulação de volumes de corte entre os MDT's:

Gráfico 01 – Volumes de corte (Área A)



A análise do Gráfico 02 possibilita verificar a diferença de acumulação de volumes de aterro entre os MDT's utilizados:

Gráfico 02 – Volumes de aterro (Área A)

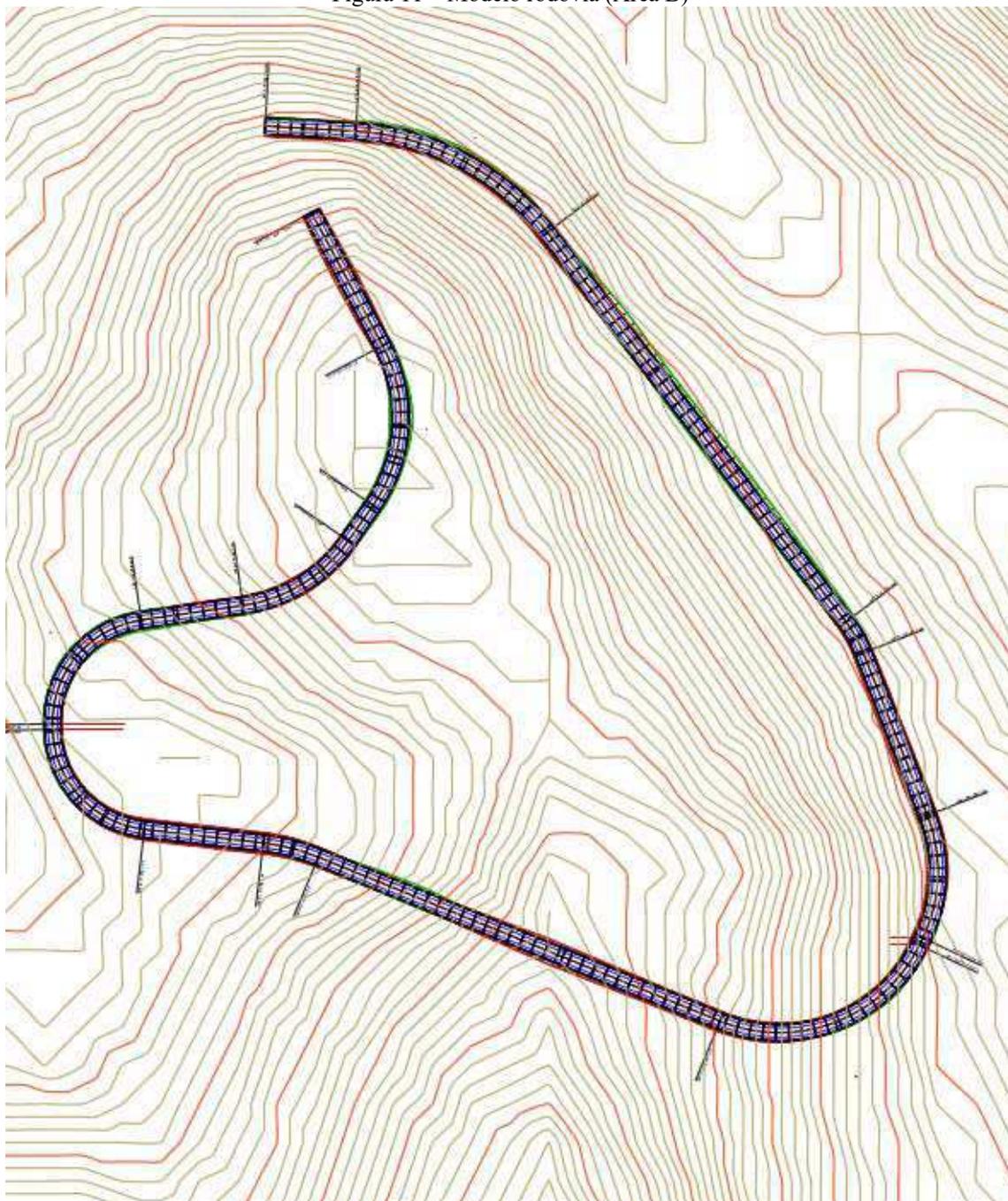


Com a análise dos Gráficos 01 e 02, pode-se concluir que os volumes de corte e aterro não sofrem um acréscimo lógico no decorrer da extensão do trecho. Os volumes de corte tiveram uma diferença de cerca de 100% entre os volumes quantificados do MDT obtido por estação total e dos MDT's obtidos pelo sistema SRTM e ASTER. O elevado valor de movimentação de terra com a utilização de superfície gerada a partir de dados de estação total, reflete a problemática na utilização de parâmetros geométricos (horizontal e vertical) definidos em outros MDT's, visto que esses parâmetros não foram definidos seguindo análise do comportamento físico real do terreno.

5.6.2. Área de estudo B

Foi modelado para a área de estudo B um corredor de rodovia rural, sem variação de seção-tipo, com extensão total de 2.241,41m, esse modelo pode ser visualizado na Figura 11, mostrando seu eixo e curvas de nível do MDT B1.

Figura 11 – Modelo rodovia (Área B)



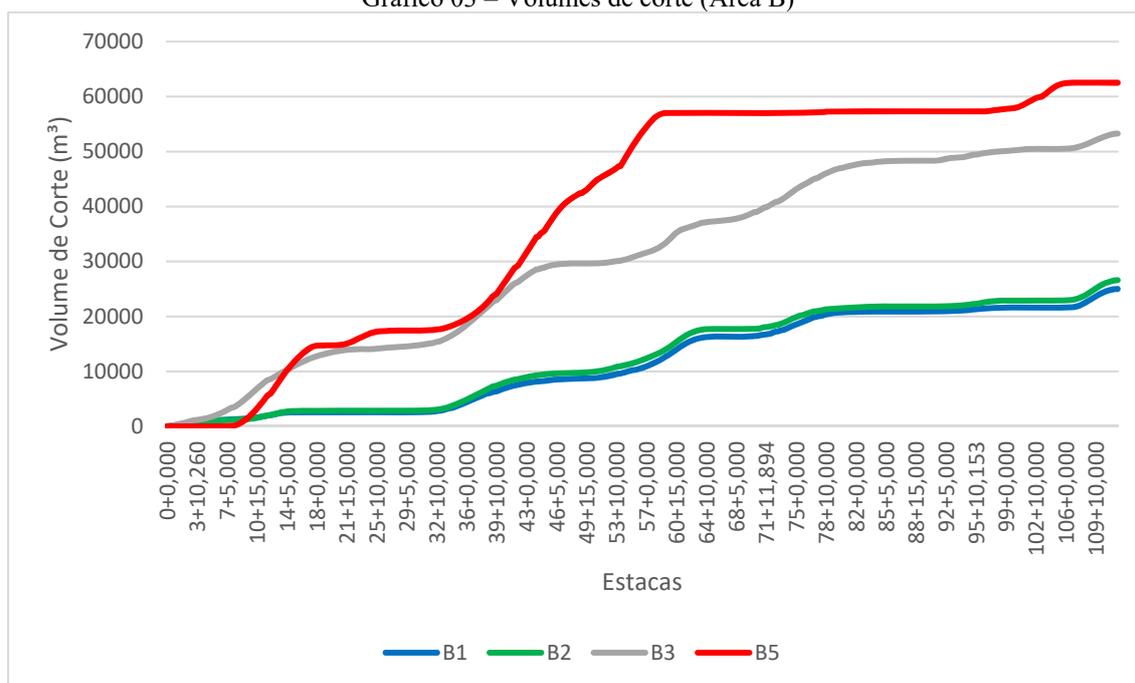
A Tabela 11 mostra os diferentes volumes de corte e aterro adquiridos para os modelos digitais de terreno utilizados:

Tabela 11 – Volumes de corte e aterro (Área B)

Área de Estudo	Tipo de corredor	Extensão(m)	MDT Utilizado	Acumulado Corte(m ³)	Acumulado Aterro(m ³)
B	RODOVIA RURAL	2.241,41	B1	24.999,72	8.420,17
			B2	26.610,87	9.289,96
			B3	53.274,20	934,21
			B4	59.725,62	54.258,14
			B5	62.527,61	73.781,41

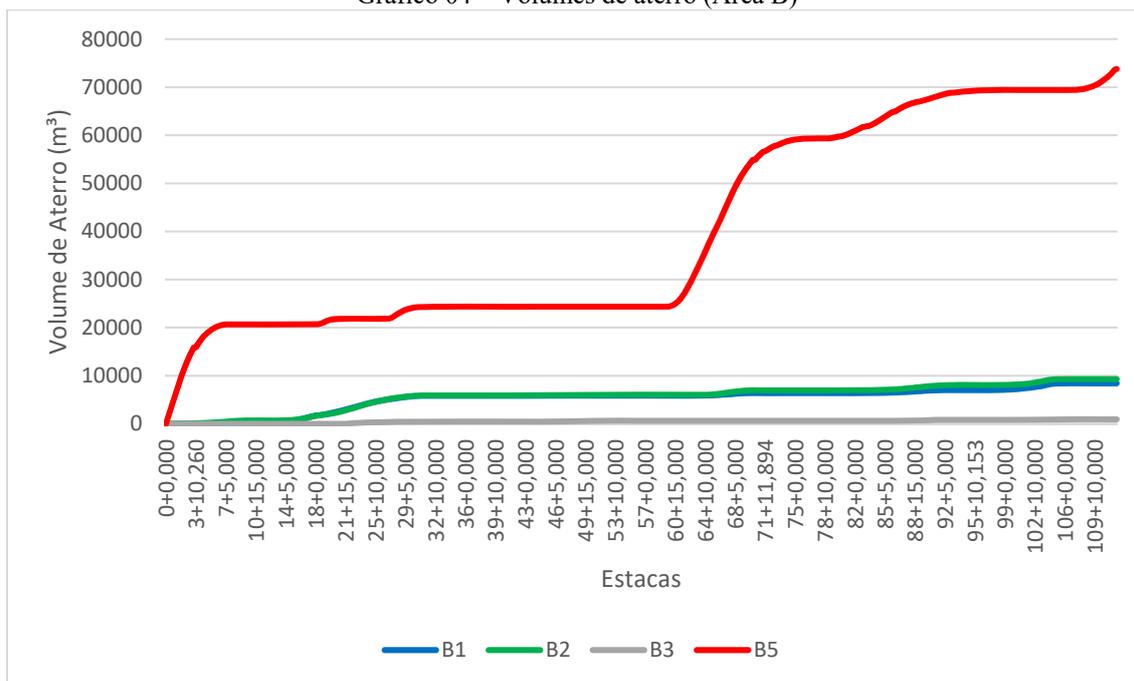
A partir do Gráfico 03 é possível verificar a diferença de acumulação de volumes de corte entre os MDT's:

Gráfico 03 – Volumes de corte (Área B)



A análise do Gráfico 04 possibilita verificar a diferença de acumulação de volumes de aterro entre os MDT's utilizados:

Gráfico 04 – Volumes de aterro (Área B)



Com a análise dos Gráficos 03 e 04, pode-se concluir que os volumes de corte e aterro não sofrem um acréscimo lógico no decorrer da extensão do trecho. Os volumes de aterro tiveram uma diferença de cerca de 700% entre os volumes quantificados do terreno obtido por estação total e dos terrenos obtidos pelo sistema SRTM e ASTER. O elevado valor de movimentação de terra com a utilização de superfície gerada a partir de dados de estação total, reflete a problemática na utilização de parâmetros geométricos (horizontal e vertical) definidos em outros MDT's, visto que esses parâmetros não foram definidos seguindo análise do comportamento físico real do terreno.

5.6.3 Área de estudo C

Foi modelado para a área de estudo C um corredor de rodovia rural, sem variação de seção-tipo, com extensão total de 4.887,11m, esse modelo pode ser visualizado na Figura 12, mostrando seu eixo e curvas de nível do MDT C1.

Figura 12 – Modelo rodovia (Área C)



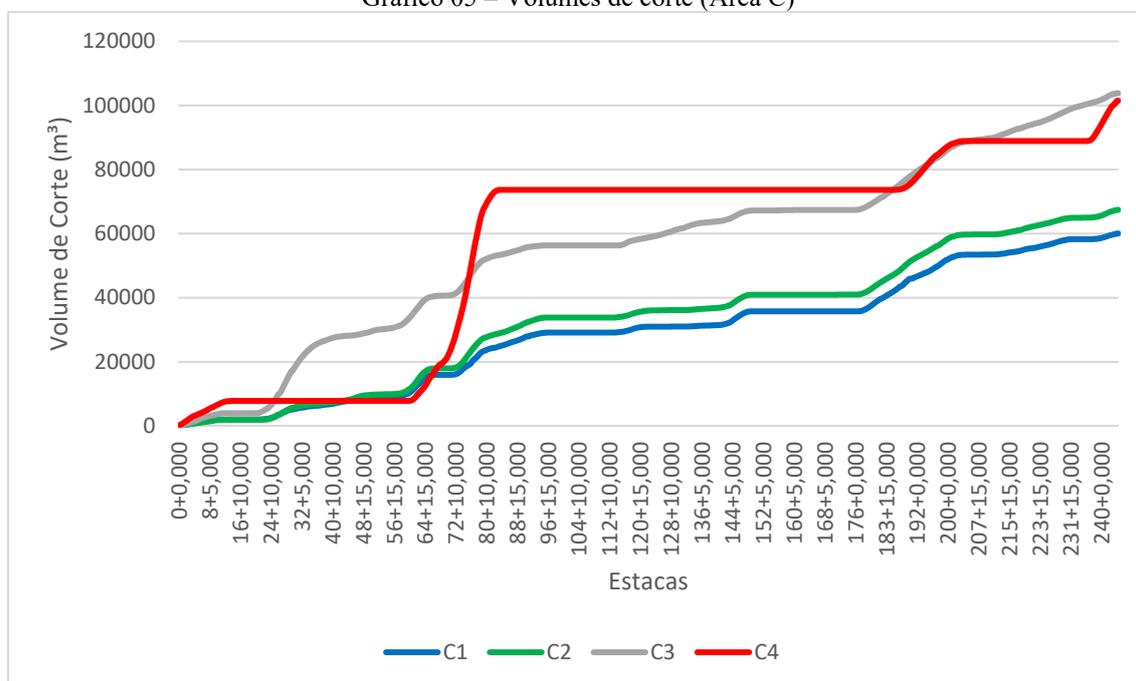
A Tabela 12 apresenta os diferentes volumes de corte e aterro adquiridos para os modelos digitais de terreno utilizados:

Tabela 12 – Volumes de corte e aterro (Área C)

Área de Estudo	Tipo de corredor	Extensão(m)	MDT Utilizado	Acumulado Corte(m ³)	Acumulado Aterro(m ³)
C	RODOVIA RURAL	4.887,11	C1	60.031,24	31.180,41
			C2	67.420,56	33.173,55
			C3	103.803,91	22.972,70
			C4	101.501,10	609.215,84

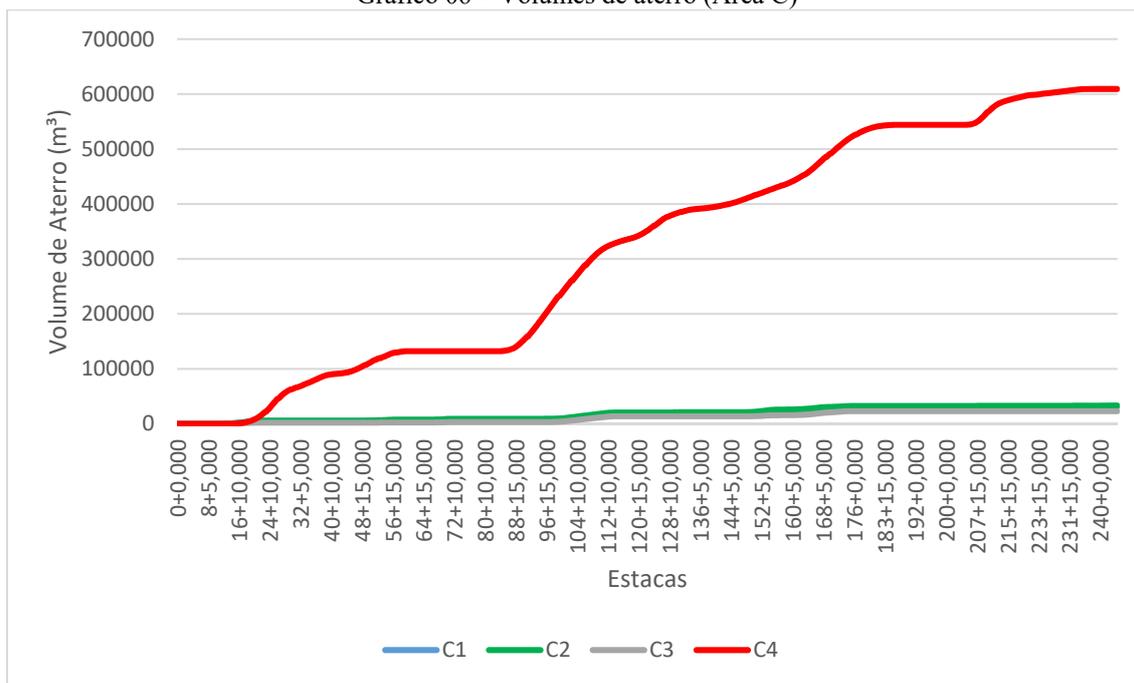
A partir do Gráfico 05 é possível verificar a diferença de acumulação de volumes de corte entre os MDT's:

Gráfico 05 – Volumes de corte (Área C)



A análise do Gráfico 06 possibilita verificar a diferença de acumulação de volumes de aterro entre os MDT's utilizados:

Gráfico 06 – Volumes de aterro (Área C)



Com a análise dos Gráficos 05 e 06, pode-se concluir que os volumes de corte e aterro não sofrem um acréscimo lógico no decorrer da extensão do trecho. Os volumes de aterro tiveram uma diferença de cerca de 2000% entre os volumes quantificados do terreno obtido por estação total e dos terrenos obtidos pelo sistema SRTM e ASTER. O elevado valor de movimentação de terra com a utilização de superfície gerada a partir de dados de estação total, reflete a problemática na utilização de parâmetros geométricos (horizontal e vertical) definidos em outros MDT's, visto que esses parâmetros não foram definidos seguindo análise do comportamento físico real do terreno.

5.7 Comparação de custos de execução

Por fim, com os volumes de movimentação de terra obtidos, foi possível simular um custo de execução desses serviços, utilizando valores base provenientes do SEINFRA-CE (Secretaria de Infraestrutura do estado do Ceará). Este banco de dados foi escolhido devido a simplicidade das composições de custo que são disponibilizadas.

Para o valor unitário de corte foi escolhido o item C3167, que detalha cortes com escavação, carga, transporte de material de 1ª categoria até 3000m, com valor de R\$12,69/m³. Para o valor unitário de aterro foi escolhido o item C0328, que detalha aterros com transporte, compactação mecânica de material de 1ª categoria e controle, com valor de R\$66,48/m³.

5.7.1 Custos de execução – Área A

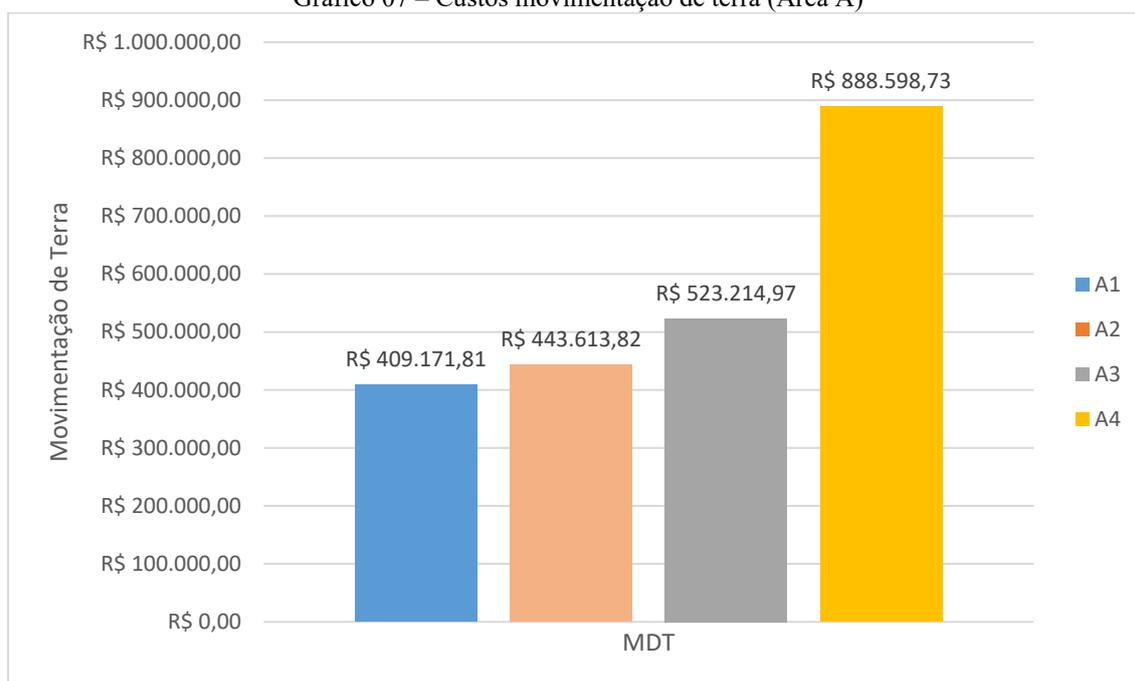
A Tabela 13 apresenta os valores totais de corte e aterro para cada MDT utilizado para a área A, no qual a somatória representa um valor estimado para a movimentação de terra dos modelos de rodovia simulados:

Tabela 13 – Composição de custos de movimentação de terra (Área A)

MDT	Volume Acumulado de Corte (m ³)	Volume Acumulado de Aterro (m ³)	Valor Unitário Corte / m ³	Valor Unitário Aterro / m ³	Valor total de Corte (R\$)	Valor total de Aterro (R\$)	Valor movimentação de terra (R\$)
A1	29.544,26	515,27			374.916,66	34.255,15	409.171,81
A2	31.183,58	720,43	R\$ 12,69	R\$ 66,48	395.719,63	47.894,19	443.613,82
A3	30.415,89	2.064,34			385.977,64	137.237,32	523.214,97
A4	60.383,05	1.840,22			766.260,90	122.337,83	888.598,73

O Gráfico 07 mostra a diferença entre os valores finais de movimentação de terra para cada MDT utilizado, no qual se torna perceptível a diferença de custos entre os valores do terreno gerado a partir dos dados de estação total (A4) e dos terrenos gerados pelo sistema SRTM e ASTER (A1, A2 e A3).

Gráfico 07 – Custos movimentação de terra (Área A)



Obteve-se uma diferença percentual entre o custo mais elevado (A4) e o custo mais baixo (A1) de 217%. Essa diferença de valores é ocasionada pela utilização dos parâmetros geométricos (alinhamento vertical e horizontal) sem sua adaptação para cada MDT modelado, esse fator proporciona o acréscimo de áreas de aterro e corte, que não necessariamente apareceriam em um dimensionamento adaptado ao terreno.

5.7.2 Custos de execução – Área B

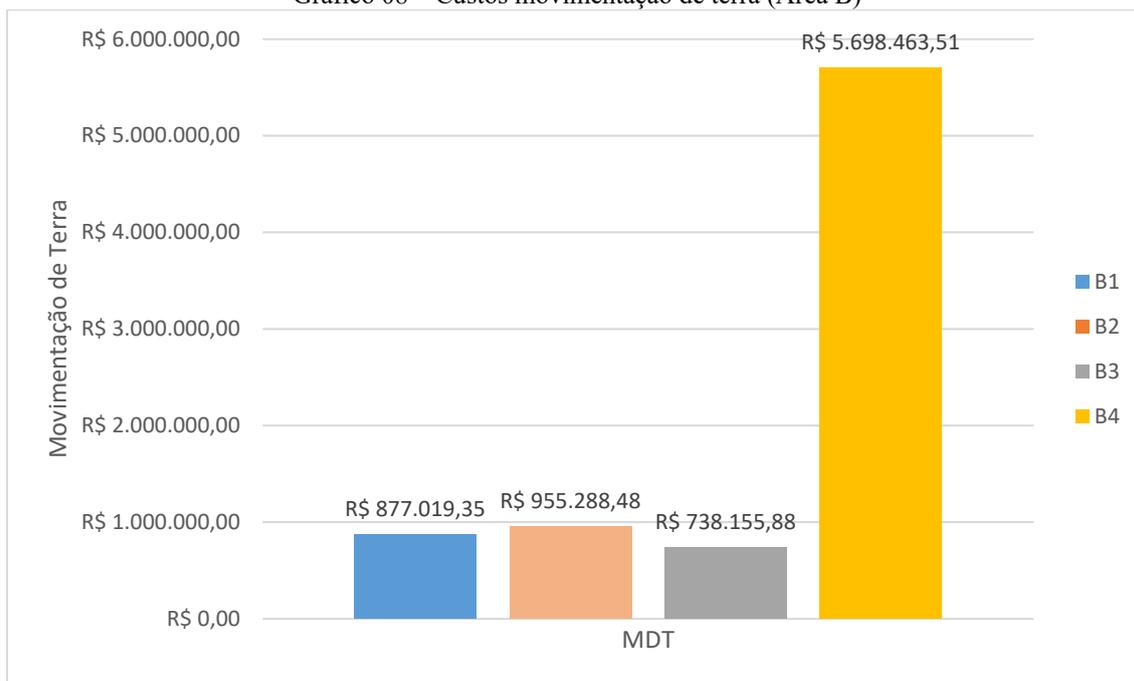
A Tabela 14 apresenta os valores totais de corte e aterro para cada MDT utilizado para a área B, no qual a somatória representa um valor estimado para a movimentação de terra dos modelos de rodovia simulados:

Tabela 14 – Composição de custos de movimentação de terra (Área B)

MDT	VOLUME Acumulado de Corte (m ³)	VOLUME Acumulado de Aterro (m ³)	VALOR Unitário Corte / m ³	VALOR Unitário Aterro / m ³	VALOR total de Corte (R\$)	VALOR total de Aterro (R\$)	VALOR movimentação de terra (R\$)
B1	24.999,72	8.420,17			317.246,45	559.772,90	877.019,35
B2	26.610,87	9.289,96	R\$ 12,69	R\$ 66,48	337.691,94	617.596,54	955.288,48
B3	53.274,20	934,21			676.049,60	62.106,28	738.155,88
B4	62.527,61	73.781,41			793.475,37	4.904.988,14	5.698.463,51

O Gráfico 08 mostra a diferença entre os valores finais de movimentação de terra para cada MDT utilizado, no qual se torna perceptível a diferença de custos entre os valores do terreno gerado a partir dos dados de estação total (B4) e dos terrenos gerados pelo sistema SRTM e ASTER (B1, B2 e B3).

Gráfico 08 – Custos movimentação de terra (Área B)



Obteve-se uma diferença percentual entre o custo mais elevado (B4) e o custo mais baixo (B3) de 772%. Essa diferença de valores é ocasionada pela utilização dos parâmetros geométricos (alinhamento vertical e horizontal) sem sua adaptação para cada MDT modelado, esse fator proporciona o acréscimo de áreas de aterro e corte, que não necessariamente apareceriam em um dimensionamento adaptado ao terreno.

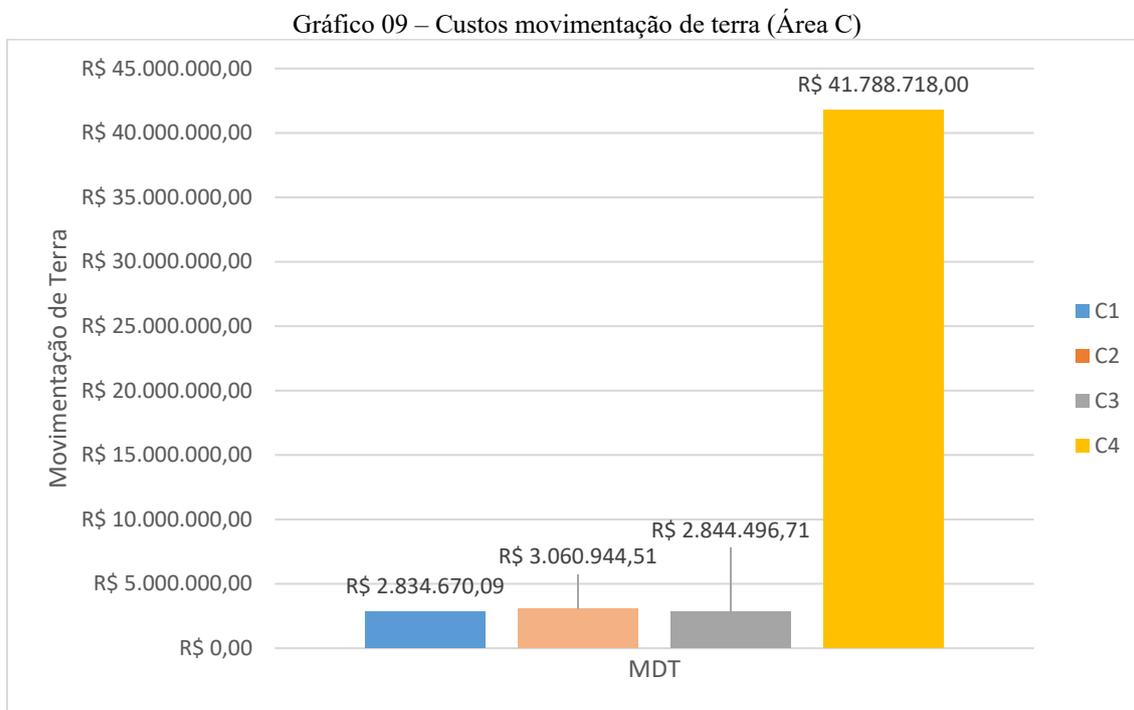
5.7.3 Custos de execução – Área C

A Tabela 15 apresenta os valores totais de corte e aterro para cada MDT utilizado para a área C, no qual a somatória representa um valor estimado para a movimentação de terra dos modelos de rodovia simulados:

Tabela 15 – Composição de custos de movimentação de terra (Área C)

MDT	Volume Acumulado de Corte (m ³)	Volume Acumulado de Aterro (m ³)	Valor Unitário Corte / m ³	Valor Unit. Aterro / m ³	Valor total de Corte (R\$)	Valor total de Aterro (R\$)	Valor movimentação de terra (R\$)
C1	60.031,24	31.180,41			761.796,44	2.072.873,66	2.834.670,09
C2	67.420,56	33.173,55	R\$ 12,69	R\$ 66,48	855.566,91	2.205.377,60	3.060.944,51
C3	103.803,91	22.972,70			1.317.271,62	1.527.225,10	2.844.496,71
C4	101.501,10	609.215,84			1.288.048,96	40.500.669,04	41.788.718,00

O Gráfico 09 mostra a diferença entre os valores finais de movimentação de terra para cada MDT utilizado, no qual se torna perceptível a diferença de custos entre os valores do terreno gerado a partir dos dados de estação total (C4) e dos terrenos gerados pelo sistema SRTM e ASTER (C1, C2 e C3).



Obteve-se uma diferença percentual entre o custo mais elevado (C4) e o custo mais baixo (C1) de 1474%. Essa diferença de valores é ocasionada pela utilização dos parâmetros geométricos (alinhamento vertical e horizontal) sem sua adaptação para cada MDT modelado, esse fator proporciona o acréscimo de áreas de aterro e corte, que não necessariamente apareceriam em um dimensionamento adaptado ao terreno.

6. CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível observar os diversos comportamentos geométricos de superfícies tridimensionais geradas a partir de diferentes metodologias de coleta de dados de campo. Foram utilizados dados planialtimétricos obtidos a partir de bancos de dados online, especificamente do sistema SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), dados obtidos a partir de levantamentos topográficos tradicionais, utilizando estação total, e modelos obtidos por sobrevoo de VANT (Drone).

Do ponto de vista de representação geométrica, todos os modelos digitais de terreno, independente da fonte de coleta de dados, conseguiram fornecer resultados satisfatórios, levando em consideração que as declividades e elevações médias apresentaram valores bastantes próximos entre si, configurando assim uma representação semelhante dos terrenos estudados. Esse resultado permite ao projetista utilizar os diferentes tipos de MDT's como os usados neste estudo, para elaboração de concepções para projetos, classificação de relevos, identificação de aclives e declives, entre outros parâmetros julgados necessários para etapas iniciais de projetos de infraestrutura.

Os estudos relacionados às simulações de modelos de rodovias rurais, conseguiram gerar relatórios volumétricos de movimentação de terra que divergiram substancialmente entre si. Os dados volumétricos obtidos através dos modelos de terreno com coleta através de estação total apresentaram valores bastante superiores aos que foram obtidos através dos sistemas SRTM e ASTER. Esta divergência de dados deve-se ao fator que os greides projetados não foram alterados com a mudança de terreno, ocasionando assim aparições de áreas de aterro e corte maiores do que as esperadas. Essas diferenças significativas, automaticamente inviabiliza o uso dos modelos digitais de terreno obtidos por SRTM e ASTER para quantificação de movimentação de terra, visto que os parâmetros obtidos não obedecem a situação real do terreno.

Por fim, a análise de custo financeiro realizado para as movimentações de terra, mostraram divergências de grande ordem, chegando a um superfaturamento estimado de 1474%, fator esse que também inviabiliza o uso de coleta de dados através de modelos geoespaciais para aplicações nas etapas de quantificação e orçamentação de projetos.

O presente estudo conclui que no cenário atual de elaboração de projetos de infraestrutura, a utilização de metodologias tradicionais de coleta de dados planialtimétrico de terreno, como o uso de equipamentos como estação total ou similares,

ainda se mantem como principal ferramenta para obtenção e processamento de modelos digitais de terreno, devendo estas ferramentas serem utilizadas nas etapas de detalhamento, isto é, de projeto básico e executivo, para que se reproduza uma representação fiel da superfície terrestre.

Conclui-se, portanto, que apesar das limitações impostas por modelos digitais de terreno obtidos por sistemas geoespaciais (SRTM, ASTER, etc), essas ferramentas podem ser utilizadas em processos que requisitem pouca precisão de dados, como etapas de anteprojeto e concepção inicial, validando assim a sua importância e o bom custo/benefício para o uso limitado em projetos de infraestrutura.

REFERÊNCIAS

GONÇALVES, M. L. A. M., CARVALHO, C. A. P., VIEIRA, A. J. B. Geração de modelo digital de terreno a partir de mapas digitas 3D, Departamento de geomática e desenho, UFPR, 2003.

MEDINA, A. S., MEDINA, S. S. S. A representação da superfície topográfica através de modelos digitais de terreno, Curso de pós graduação em ciências geodésicas, UFPR, 2014.

FONTES, E. S. A evolução histórica e tecnológica do instrumental topográfico, Departamento de Engenharia de Transporte e Geodésia – DETG, UFBA, 2009

ESPARTEL, L. Curso de Topografia. 9a Ed. Rio de Janeiro: Globo. 1987, 655p

ROCHA, C.H.B. Geoprocessamento Tecnologia. Transdisciplinar Juiz de Fora. Minas Gerais. Edição do Autor. 2000

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. Principles of geographical information Systems. Oxford University Press. 19988. 333p

SILVA, E. G. Medições de áreas por fotografias aéreas, em escala nominal, comparadas com a área obtida em fotos com escalas corrigidas por meio de um SIG. Faculdade de ciências agrônômicas, UNESP, 2009

VEIGA, L. A. K. ZANETTI, M. A. Z. FAGGION, P. L. Fundamentos de topografia, Engenharia cartográfica e de agrimensura, UFPR, 2012

BRINKER, R. C. Surveying field notes, data collectors. In: BRINKER, R. C.; MENNICK, R. ed. The surveying handbook. 2 ed. New York: Chapman & Hall, 1995. 967p.

VEIGA, L. A. K. Sistema para Mapeamento Automatizado em campo: conceitos, metodologia e implantação de um protótipo. São Paulo, 2000. 201p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FELGUEIRAS, C. A. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas, Divisão de processamento de imagens, Instituto de pesquisas espaciais – INPE, 2012

TOMAZONI, J. C. GUIMARÃES, E. GOMES, T. C. SILVA, T. G. Uso de modelo digital de elevação gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para caracterização de rede de drenagem, Curso de engenharia ambiental, UTFPR, 2011.

USGS EROS Data Center. Shuttle Radar Topography Mission <http://edc.usgs.gov/srtm/mission.html> . 2004b. (acessado em 10 de março de 2018).

TERRA: the EOS Flagship. <https://terra.nasa.gov/>. 2000a. (acessado em 10 de março de 2018).