



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCELO DE ALMEIDA HEIDEMANN

ANÁLISE COMPARATIVA DE ALTURAS ORTOMÉTRICAS DEFINIDAS POR
FONTES DIVERSAS PARA SUBSÍDIO A ESTUDOS HIDROLÓGICOS

BELÉM – PA

2015

MARCELO DE ALMEIDA HEIDEMANN

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ALTURAS ORTOMÉTRICAS DEFINIDAS POR
FONTES DIVERSAS PARA SUBSÍDIO A ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. André Montenegro Duarte

BELÉM – PA

2015



**ANÁLISE COMPARATIVA DE ALTURAS ORTOMÉTRICAS
DEFINIDAS POR FONTES DIVERSAS PARA SUBSÍDIO A ESTUDOS
HIDROLÓGICOS**

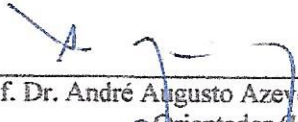
AUTOR:

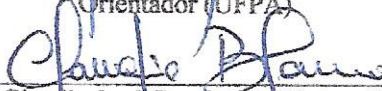
MARCELO DE ALMEIDA HEIDEMANN

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.


APROVADO EM: 31/10/2015

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte
Orientador (UFPA)


Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
Membro Interno (UFPA)


Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Membro Interno (UFPA)


Prof. Dr. Carlos Augusto Uchôa da Silva
Membro Externo (UFC)

Visto:

Prof. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLANCO, Ph.D.
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho aos familiares e amigos pelo
apoio em todos os momentos e, em especial, à
minha amada esposa Sueli e meus amados filhos
Victória e Vinicius.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor André Montenegro Duarte pela atenção e orientação na elaboração deste trabalho, sem as quais não seria possível sua conclusão.

Ao Professor Cláudio Blanco por sua incansável dedicação na coordenação da pós-graduação.

Aos Professores Lindemberg Lima Fernandes e Carlos Augusto Uchôa da Silva por contribuírem com este trabalho participando da banca examinadora

A Professora Ana Rosa Baganha por sua disposição em me orientar no início deste trabalho.

A todos os Professores do PPGEC, sem os quais não seria possível esta qualificação.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPA, pela oportunidade de evoluir o conhecimento.

Ao Instituto Federal do Pará, pela compreensão nos momentos em que não pude estar desenvolvendo minhas atividades docentes em virtude do mestrado.

A todos os colegas do curso de mestrado que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta jornada.

Aos meus pais, pelo amor e toda dedicação.

À minha esposa, Sueli, por todo apoio na criação de nossos filhos durante os períodos de ausência e por seu constante incentivo.

*“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original.”*

Albert Einstein

RESUMO

HEIDEMANN, Marcelo de Almeida. **Análise comparativa de alturas ortométricas definidas por fontes diversas para subsidio a estudos hidrológicos**. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

O presente trabalho busca realizar uma análise comparativa de dados altimétricos obtidos por topografia (nivelamento trigonométrico), geodésia física (rastreamento GNSS) e modelagem matemática (MAPGEO2010), tomando como referência as alturas ortométricas obtidas e transportadas pela primeira técnica (topografia), entre duas Referências de Nível (RN's) da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), com o objetivo de contribuir em estudos hidrológicos que necessitem de dados altimétricos, na decisão de quais métodos ou técnicas podem ser utilizadas em cada estudo, buscando a simplificação, a economicidade e a celeridade nos trabalhos. A pesquisa mostra que, considerando-se as características de relevo da região dos levantamentos e as variações apresentadas entre as distintas técnicas utilizadas, a aplicação de cada técnica é variável, sendo que nos cálculos do gradiente hidráulico de cursos d'água e da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica através da metodologia RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) todos os métodos são recomendáveis e no cálculo de áreas de inundação devido ao barramento de curso d'água, mostraram-se inviáveis as técnicas de geodésia e modelagem matemática.. Esta conclusão decorre de que a variabilidade nos resultados de cada estudo hidrológico utilizado é de: 0,003% a 0,385% para os gradientes, de 5,85% a 6,49% para a produção de sedimentos e de 29,71% a 79,23% para áreas de inundação.

Palavras chaves: Altitude ortométrica. Geóide. Alturas geométrica. Nivelamento trigonométrico. Nivelamento por GNSS.

ABSTRACT

HEIDEMANN, Marcelo de Almeida. **Comparative analysis of orthometric heights defined by various sources to subsidize the hydrological studies**. 2015. 76f. Thesis (MS in Civil Engineering) - Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, 2015.

This study aims to conduct a comparative analysis of elevation data obtained by topography (trigonometric leveling), physical geodesy (screening GNSS) and mathematical modeling (MAPGEO2010), with reference to those obtained orthometric heights and transported for the first technique (topography), between two Level references (RN's) of High Precision Altimetric Network (RAAP), aiming to contribute in hydrological studies requiring altimetry data in deciding which methods or techniques can be used in each study, seeking the simplification, economic efficiency and the speed in the works. Research shows that, considering the relevant characteristics of the survey region and variations presented between the different techniques used, the application of each technique is variable, and in the calculations of the hydraulic gradient waterways and production sediment in a small watershed through the methodology RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) all methods are recommended and the calculation of flood areas due to the waterway bus, proved unviable geodesy techniques and mathematical modeling. . This conclusion stems from the variability in the results of each study hydrological used is: 0.003% to 0.385% for gradients of 5.85% to 6.49% for the production of sediment and 29.71% to 79.23% for flood areas.

Keywords: Orthometric altitude. Geoid. Geometric heights. Trigonometric leveling. Levelling GNSS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1 - Estrutura Geral da Pesquisa.....	18
Fluxograma 2 - Delineamento da Pesquisa.....	19
Figura 1 – Modelo de RN.....	22
Figura 2 - Modelo de Chapa para RNs IBGE.....	22
Figura 3 – Exemplo de RN.....	23
Figura 4 – Nivelamento Trigonométrico.....	23
Figura 5 - Correção do Efeito da Curvatura Terrestre.....	25
Figura 6 – Correção do Efeito de Refração Atmosférica	27
Figura 7 – Ondulação Geoidal.....	30
Figura 8 – Discrepâncias entre o MAPGEO2010e dados de RNs da RAAP.....	31
Figura 9 – Modelo de interpolação geoidal MAPGEO2010 referido ao Datum SIRGAS2000 .	31
Figura 10 – Localização da Cidade de Castanhal em Relação ao Pará.....	35
Figura 11 – Seção de Nivelamento entre as RN’s 840U e 840R.....	36
Figura 12 - RN 840R (Estação Repetidora da Embratel em Castanhal)	36
Figura 13 – Calçada na Qual se Encontra Cravada a Chapa da RN 840R	37
Figura 14 – Chapa em Close da RN 840R	37
Figura 15 - RN 840U, Localizada no Campus IFPA-Castanhal-PA	38
Figura 16 – Pátio Frontal do Prédio Administrativo do IFPA, Castanhal-PA	38
Figura 17 – Chapa em Close da RN 840U	39
Figura 18 – Estação Total Topcon GTS-105N.....	40
Figura 19 – Prisma, bastão e tripé utilizados no nivelamento com altura ajustada em 1,5 m.....	41
Figura 20 – Estação Total GTS-105N da Topcon estacionada sobre o ponto P-6.....	41
Figura 21 – Receptor de Dupla Frequência (L1/L2) Hiper da Marca Topcon, Utilizado para Determinação das Alturas Elipsoidais	42
Figura 22 – Ocupação da Estação P-7 com Rastreador de Satélites da Marca Topcon, Modelo Hiper Plus	43

Figura 23 – Ocupação da Estação P-8 com Rastreador de Satélites da Marca Topcon, Modelo HiperPlus	43
Figura 24 – Tela de Entrada de Dados para o Modelo de Interpolação Geoidal MAPGEO 2010.....	44
Figura 25 - Localização da Cidade de Altamira em Relação ao Brasil e ao Estado do Pará	51
Figura 26 - Esquema de Composição da Barragem de Belo Monte no Estado do Pará.....	52
Figura 27 - Área de Inundação na Cota 100 m - 6.225.625,32 m2	52
Figura 28 – Esquema da Variação da Área de Inundação.....	54
Figura 29 – Esquema da Variação da Área de Inundação para Cada Caso.....	54
Figura 30 - Rio Mãe-do-Rio, trecho de Irituía, PA a São Miguel do Guamá, PA	56
Figura 31 - Perfil Longitudinal de um trecho do Rio Mãe-do-Rio	57
Figura 32 - Variação obtida em função da média de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS.....	58
Figura 33 – Variação obtida em função do desvio padrão de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS.....	58
Figura 34 – Variação obtida em função da amplitude de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS.....	59
Figura 35 – Variação obtida em função da média de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010	59
Figura 36 – Variação obtida em função da amplitude de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010	60
Figura 37 – Variação obtida em função do desvio padrão de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010.....	60
Figura 38 - Curso Principal do Rio Una.....	62
Figura 39 – Perfil Longitudinal Levantado de um Trecho do Rio Una, PE.....	63
Figura 40 – Locação dos Pontos Geodésicos na Bacia do Igarapé do Prata	66
Figura 41 – Monografia do Marco 017156	67
Figura 42 – Monografia do Marco 017160	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correção da Curvatura Terrestre.....	26
Tabela 2 – Nivelamento com Correções Devido a Refração Atmosférica e Curvatura Terrestre.....	46
Tabela 3 – Alturas Elipsoidais Obtidas após Rastreo.....	47
Tabela 4 – Interpolações Feitas no Modelo MAPGEO 2010.....	47
Tabela 5 – Alturas Ortométricas de Três Fontes Distintas.....	48
Tabela 6 - Análise Estatística dos dados	48
Tabela 7 – Variação área de inundação em função da média, desvio padrão e amplitude devido a diferença entre levantamento de altitudes ortométricas com GNSS e Nivelamento Trigonométrico Topográfico.....	55
Tabela 8 – Variação área de inundação em função da média, desvio padrão e amplitude devido a diferença entre levantamento de altitudes ortométricas com Modelagem Matemática (MAPGEO 2010) e Nivelamento Trigonométrico Topográfico.....	55
Tabela 9 - Dados Geométricos Obtidos por Levantamento Topográfico.....	57
Tabela 10 – Variação do Gradiente em Função da Média, Desvio Padrão e Amplitude para a análise do Método GNSS	61
Tabela 11 – Variação do Gradiente em Função da Média, Desvio Padrão e Amplitude para a análise do Método de Modelagem (MAPGEO2010).....	61
Tabela 12 – Dados de referência – Trabalho: Determinação e análise do perfil longitudinal do Rio Una, PE	63
Tabela 13 – Tabela de Variação do Gradiente em Função da Variação de Média, Desvio Padrão e Amplitude da Análise Feita entre Nivelamento Trigonométrico.....	64
Tabela 14 – Tabela de Variação do Gradiente em Função da Variação de Média, Desvio Padrão e Amplitude da Análise Feita entre Nivelamento Trigonométrico e MAPGEO2010 – Modelagem Matemática	64
Tabela 15 – Variação do Montante de Sedimento em Função da Variação da Declividade da Bacia	69
Tabela 16 - Variação do Montante de Sedimento em Função da Variação da Declividade da Bacia	69
Tabela 17 – Média, Desvio Padrão e Amplitude das Variações da Produção Anual de Sedimentos para a Bacia do Igarapé do Prata.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Eletronorte	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
GLONASS	<i>Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAGS	<i>Inter-American Geodetic Survey</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPA	Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
PEC	Padrão de exatidão cartográfico
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
RN	Referências de nível
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
RIMA	Relatório de Impactos Ambientais
RUSLE	<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA	17

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 ALTIMETRIA	21
2.1.1 Nivelamento Trigonométrico.....	23
2.1.2 Efeito da Curvatura Terrestre e Refração Atmosférica	24
2.1.3 Sistema de Posicionamentos por Satélites	27
2.1.4 Considerações a Respeito do Geoide e do Elipsoide.....	28
2.1.5 Determinação das Alturas Elipsoidais por Rastreamento de Satélites	31
2.2 USO DO REFERENCIAL ALTIMÉTRICO EM ESTUDOS HIDROLÓGICOS	32

CAPÍTULO 3

3 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO	35
3.1 LOCALIZAÇÃO DA SEÇÃO DE NIVELAMENTO	35
3.1.1 Localização das RN's do IBGE	36
3.2 NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO ENTRE AS RN's.....	39
3.3 LEVANTAMENTO COM GNSS AO LONGO DA SEÇÃO DE NIVELAMENTO.....	41
3.4 INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS PELO MODELO MAPGEO 2010	43

CAPÍTULO 4

4 TRATAMENTO DE DADOS E ANÁLISE COMPARATIVA	46
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	48

CAPÍTULO 5

5 ESTUDO DE CASO	51
5.1 ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE ALTAMIRA, ESTADO DO PARÁ, EM FUNÇÃO DA CRIAÇÃO DO LAGO GERADO PELO BARRAMENTO DO RIO XINGÚ	51
5.2 DETERMINAÇÕES DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO MÃE-DO-RIO NO ESTADO DO PARÁ	56
5.3 DETERMINAÇÕES DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO UNA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	62
5.4 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO ATRAVÉS DA METODOLOGIA RUSLE.....	65

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES	72
REFERÊNCIAS	74

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas na região norte do Brasil é a inexistência de um referencial altimétrico ortométrico local (altitudes), com precisão e confiabilidade compatíveis as necessidades de projetos e obras e estudos hidrológicos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) há falta de redes de nivelamento geométrico que possam transportar as altitudes ortométricas (IBGE, 2008b). Em função disso, técnicas modernas como, por exemplo, as que se utilizam de rastreamento de satélites, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), conhecido como nivelamento por satélites, vêm sendo cada vez mais utilizadas na determinação destes dados, devido seu baixo custo operacional e rapidez na obtenção dos resultados. Porém o referencial altimétrico dos sistemas de navegação por satélites, o elipsoide, não é o mesmo do utilizado para as altitudes ortométricas, o geoide. Todavia para subsidiar não só estudos hidrológicos, mas também grandes obras de engenharia o referencial ortométrico é o de maior interesse uma vez que o cálculo da superfície geoidal está atrelado ao campo gravitacional.

A pesquisa em questão busca, de forma simples e prática, realizar uma análise comparativa de dados de altimetria definidos por diversas fontes, quais sejam: geodésia, nivelamento por rastreio do sistema *Global Positioning System* (GPS), topografia convencional (nivelamento trigonométrico topográfico – O qual será o padrão para a análise comparativa devido sua maior precisão) e dados oriundos de modelo matemático de interpolação (MAPGEO2010) fornecido pelo IBGE. Após a análise da variação dos resultados obtidos em função do tipo de técnica utilizada a mesma é aplicada em três situações ou casos: cálculo de área de inundação para a cidade de Altamira no Estado do Pará, a determinação do gradiente do Rio Mãe-do-Rio, também no Estado do Pará e a determinação do gradiente do Rio Una, no Estado de Pernambuco.

Uma contribuição deste trabalho é demonstrar de forma prática a aplicabilidade dos distintos métodos alternativos aqui analisados, em função do tipo de estudo hidrológico a ser implantado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para obras de engenharia, na área de recursos hídricos, como redes de distribuição de água, drenagens, barragens, hidrovias, caracterização de bacias hidrográficas, entre outras, a

definição das alturas relativas (cotas) e mesmo absolutas (altitudes ortométricas) são importantes e devem ser obtidas de maneira segura para minimizar possibilidades de erros geométricos que gerem dificuldades construtivas e mesmos funcionais.

A definição destas alturas se fundamenta em áreas do conhecimento como a geodésia física e também as engenharias.

No aspecto mais pragmático, ou seja, dos trabalhos de campo que definem e materializam estas alturas, as engenharias, como a civil, são as responsáveis para realiza-los.

Esta pesquisa busca ser apoio a trabalhos de engenharia que definam estas alturas de maneira simples, econômica, célere e confiável.

Custos de equipamentos e profissionais especializados para determinações pontuais das altitudes ortométricas, são fatores que elevam o custo de execução de grandes obras, justamente por não haver confiabilidade nos valores altimétricos disponibilizados pelo governo (IBGE).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar e efetuar uma comparação dos dados altimétricos de distintas fontes (geodésica, topográfica e matemática) para definição de altitudes ou alturas ortométricas, as quais são imprescindíveis na caracterização de bacias hidrográficas, na análise de gradientes de rios para cálculo de vazões, cálculo de áreas de inundação em grandes centros urbanos, processos de avaliação de impactos ambientais, produção de sedimentos por processos erosivos e em estudos hidrológicos em geral.

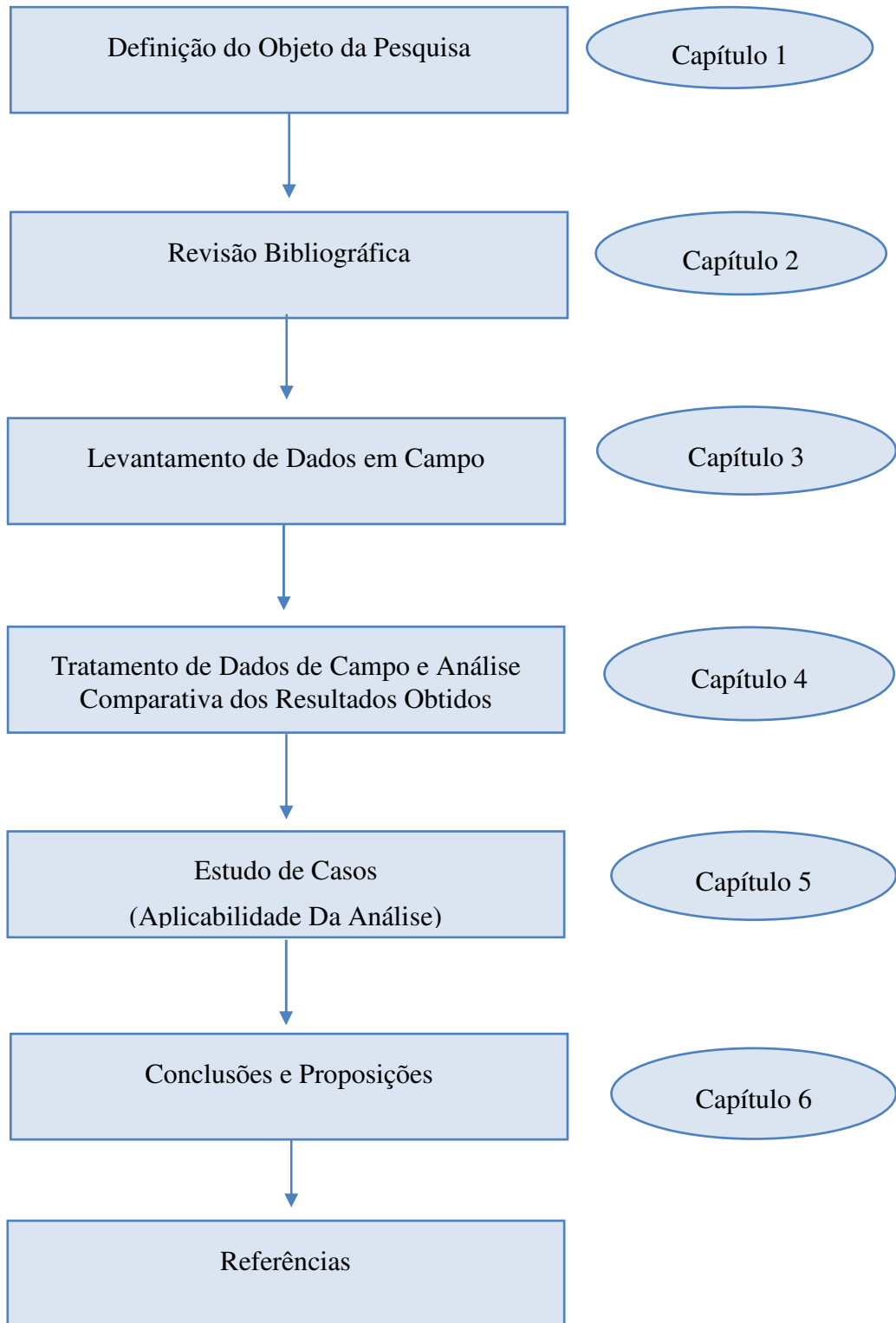
1.2.2 Objetivos Específicos

- Transportar altitudes ortométricas para pontos de uma seção de nivelamento trigonométrico, compreendida entre duas referências de nível (RN) pertencentes à Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE, utilizando estação total com visadas direta e invertida nas visadas a ré e vante;
- Ocupar os pontos materializados entre as duas RN's da RAAP com rastreador de satélites a fim de determinar a altitude elipsoidal (altitude referida ao elipsoide) de

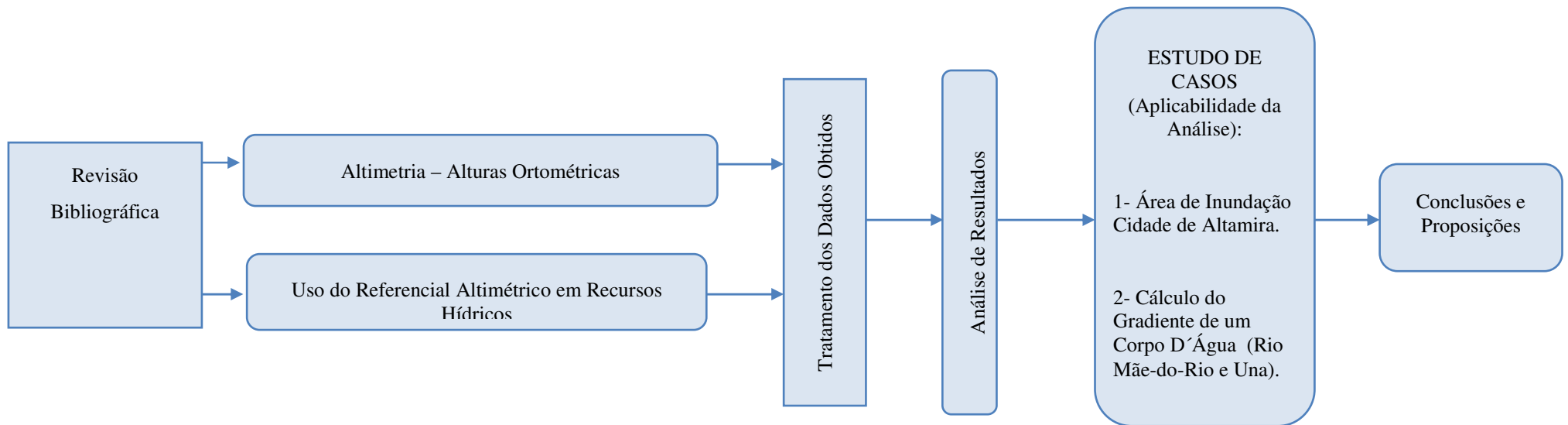
- cada ponto da seção de nivelamento, com o rastreador de satélites marca Topcon, modelo Hiper 1 (Receptor de dupla frequência L1 e L2 do sistema GPS);
- Calcular as ondulações geoidais dos pontos através de dados medidos (alturas geométricas do rastreio GNSS);
 - Calcular as ondulações geoidais utilizando o modelo matemático de interpolação geoidal MAPGEO2010 do IBGE;
 - Tabelar os resultados obtidos a fim de estabelecer um comparativo em função dos dados obtidos por nivelamento trigonométrico e estabelecer valores de ponderação para os usos das técnicas envolvidas na análise;
 - Aplicar as variações obtidas dos valores das cotas ortométricas provenientes das diferentes técnicas de levantamento no cálculo da área de inundação da cidade de Altamira devido à construção da usina de Belo Monte, no Estado do Pará e avaliar a aplicabilidade destes métodos;
 - Aplicar as variações obtidas dos valores das cotas ortométricas provenientes das diferentes técnicas de levantamento no cálculo do gradiente de corpos d'água para estudos hidrológicos;
 - Contribuir com metodologia alternativa de análise de dados altimétricos relativos que possam ser utilizados em estudos hidrológicos diversos, bem como em obras de engenharia de forma célere e prática.

1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho está estruturado em capítulos contendo embasamento teórico sobre o conteúdo, metodologia aplicada, resultados das análises, estudo de casos, conclusões e proposições. O fluxograma seguinte representa a forma de estruturação do trabalho.

Fluxograma 1 - Estrutura Geral da Pesquisa

Fonte: Autor, 2015.

Fluxograma 2 - Delineamento da Pesquisa

Fonte: Autor, 2015.

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ALTIMETRIA

A RAAP, Rede Altimétrica de Alta Precisão é o referencial vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), nela se encontram mais de 65 mil estações altimétricas, as chamadas RN ou RRNN, materializadas em todo o país (LUZ et al., 2002).

As altitudes das primeiras RN's deste referencial eram vinculadas ao Datum de Torres, definido pelo nível médio do mar entre 1919 e 1920 na cidade de Torres, RS. Essa referência foi adotada provisoriamente em 1948, para que fossem calculados valores aceitáveis das altitudes das RN, enquanto um Datum Vertical não fosse adequadamente definido (LUZ et al., 2002).

A partir de 1949, o serviço geodésico internacional da então agência militar de mapeamento dos Estados Unidos das Américas (IAGS = *Inter-American Geodetic Survey*) iniciou a implantação de uma rede de estações maregráficas ao longo de toda a costa brasileira. O Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro, denominado comumente Datum de Imbituba, foi definido pelo IBGE em 1959 através das médias anuais do nível do mar, no período de 1949 a 1957, no marégrafo implantado no Porto de Imbituba, SC (LUZ et al., 2002).

As RN's são materializadas através de marcos de concreto, com profundidade máxima de 80 cm e altura máxima de 20 cm acima do solo (Figura 1). Sobre os mesmos são fixadas chapas metálicas circulares e convexas, como podemos ver na Figura 2. Também existem estações compostas apenas pelas chapas metálicas cravadas em superfícies estáveis, como afloramentos rochosos, calçadas com espessura adequada, sapatas de sustentação de grandes estruturas de engenharia ou base de sustentação de monumentos, etc. (GOMES, 2006; IBGE, 2008b).

Figura 1 – Modelo de RN

Fonte: Gomes, 2006.

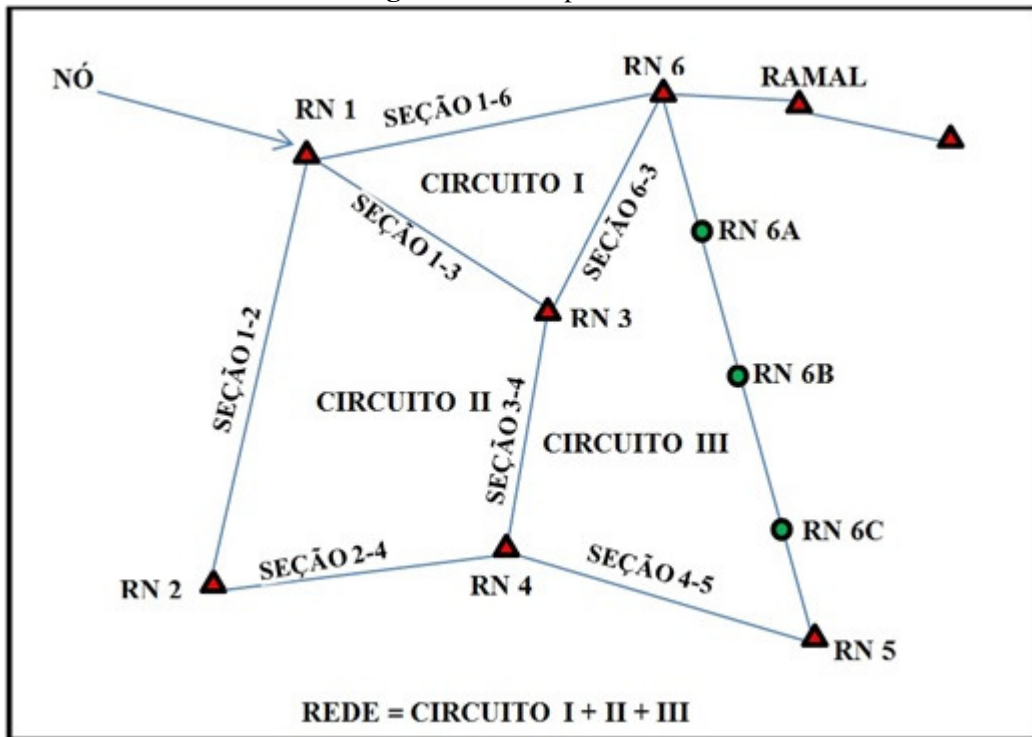
Figura 2 - Modelo de Chapa para RNs IBGE

Fonte: Autor, 2015.

As redes alimétricas são elaboradas a partir da execução de seções de nivelamento geométrico. A qualidade é controlada pela diferença entre o nivelamento e o contranivelamento de cada seção, sendo a tolerância de $3 \text{ mm}\sqrt{K}$, para levantamentos de alta precisão, $6 \text{ mm}\sqrt{K}$ para levantamentos de precisão em áreas mais desenvolvidas, 8 mm_K para as áreas menos desenvolvidas e $12 \text{ mm}\sqrt{K}$ para os levantamentos para fins topográficos, onde K é a média das distâncias nivelada e contra nivelada em quilômetros (IBGE, 1983).

A Figura 3 mostra uma rede de nivelamento, composta por seções, linhas, circuitos, nós e ramais. Seção é um trecho nivelado e contra nivelado entre duas RRNN's ou RN's, linha é uma composição de duas ou mais seções, circuito é uma composições de linhas ou seções e permite controle pelo erro de fechamento, nó é uma RN pertencente a três ou mais seções, e ramal é uma sequência de seções sem controle de fechamento via circuitos (IBGE, 2000). Uma composição de circuitos constitui uma rede de nivelamento, a qual permite múltiplos controles e fornece dados para o ajustamento, necessário para a distribuição dos erros aleatórios. Na região Norte de forma geral temos apenas 'ramais' ou seja, temos seções de nivelamento porém sem dados de fechamento.

Figura 3 – Exemplo de RN

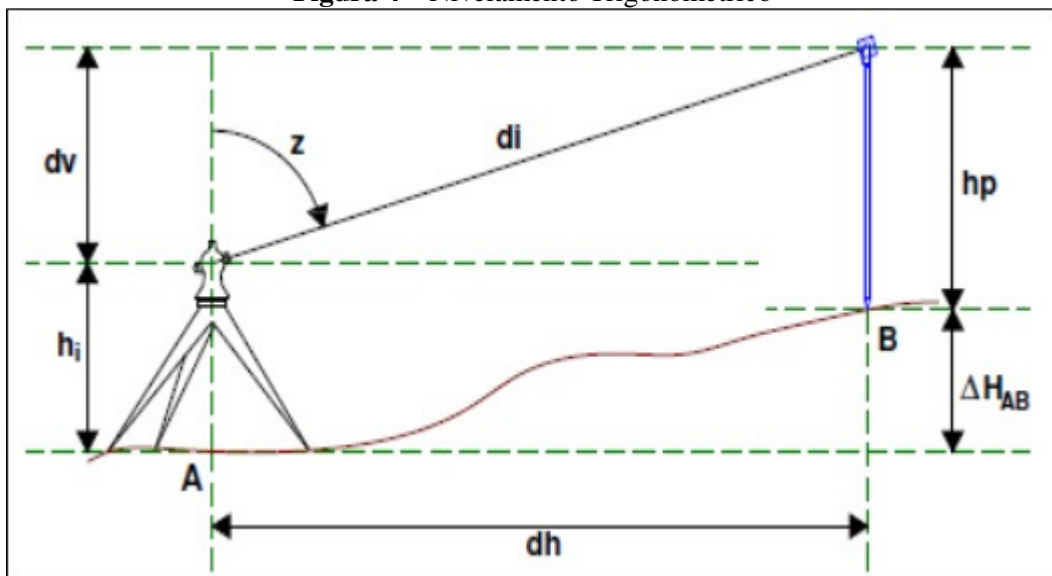


Fonte: Gomes, 2006.

2.1.1 Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico é um método indireto para a determinação de desníveis entre dois pontos, comparando-se ao nivelamento geométrico, possui precisão inferior.

Figura 4 – Nivelamento Trigonométrico



Fonte: Gomes, 2006.

Onde:

d_i = distância inclinada;

d_h = distância horizontal;

d_v = distância vertical entre o centro ótico do equipamento e o centro do alvo;

z = ângulo zenital;

h_i = altura do instrumento;

h_p = altura do alvo ou prisma refletor;

ΔH_{AB} = desnível entre os pontos A e B.

Da Figura 4 tem-se a seguinte relação:

$$d_v + h_i = h_p + \Delta H_{AB} \quad (1)$$

Isolando-se $+\Delta H_{AB}$:

$$\Delta H_{AB} = h_i + d_v - h_p \quad (2)$$

Utilizando os conceitos da trigonometria para triângulo retângulo pode-se expressar d_v em função de d_i e z que são grandezas medidas:

$$d_v = d_i \cos(z) \quad (3)$$

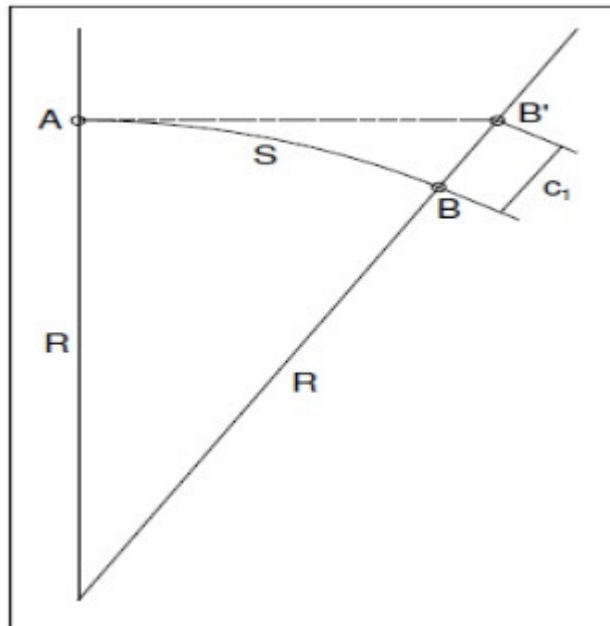
Substituindo (3) em (2) tem-se:

$$\Delta H_{AB} = h_i + d_i \cos(z) - h_p \quad (4)$$

2.1.2 Efeito da Curvatura Terrestre e Refração Atmosférica

Quando se instala a estação total sobre um ponto qualquer é materializado um plano horizontal. Tomando como exemplo a Figura 5, com o equipamento instalado sobre o ponto A e com visada para o ponto B, considerando que o ponto B tenha a mesma altitude do ponto A, aparentemente, para o instrumento instalado em A é o ponto B' que está à mesma altitude.

Figura 5 - Correção do Efeito da Curvatura Terrestre



Fonte: Adaptado de Kahmen e Faig, 1988.

Ainda observando a Figura 5, a altitude do ponto B medida a partir de A deve ser corrigida do valor c_1 , que é a diferença entre a altitude do ponto B e a altitude aparente vista a partir de A.

Segundo Kahmen e Faig (1988), a correção da curvatura terrestre é dada pela equação (13):

$$C_1 = \frac{S^2}{2R} \quad (5)$$

Onde:

C_1 = correção da curvatura terrestre;

S = Distância horizontal entre os pontos;

R = raio médio da Terra.

Na Tabela 1 pode-se observar os valores de correção da curvatura calculados para algumas distancias definidas.

Tabela 1 – Correção da Curvatura Terrestre

Distância	100 m	200 m	500 m	1.000 m	5.000 m	10.000 m
C_1	0,0008 m	0,0032 m	0,02 m	0,079 m	1,96 m	7,9 m

Fonte: Kahmen e Faig, 1988.

Na prática das operações altimétricas, o erro devido à curvatura da Terra, apresenta-se diminuído, em razão do efeito da refração atmosférica sobre o raio visual.

Quando se faz uma visada de um ponto para outro, o raio visual ao atravessar as camadas atmosféricas de densidades diferentes se refrata, seguindo uma trajetória curva, situada sobre o plano vertical visual, cuja concavidade é dirigida sobre a superfície do solo. Como consequência, o ponto B (Figura 6), quando visado de A é visto em C, originando o erro de refração: $ER = CD$. A superfície AD é dita superfície de nível ótico.

Este erro é dependente da temperatura e do estado higrométrico do ar, além de outras circunstâncias locais. Em condições normais, a equação do erro de refração é a seguinte:

$$E_{\text{Refr.}} = 0,1306.C_1 \quad (6)$$

sendo que 0,1306 representa o raio de curvatura de refração médio diário.

A correção a ser feita na determinação da altura do ponto B, visto de A, será:

$C_1 + E_{\text{Refr.}}$, somando 5 e 6, temos:

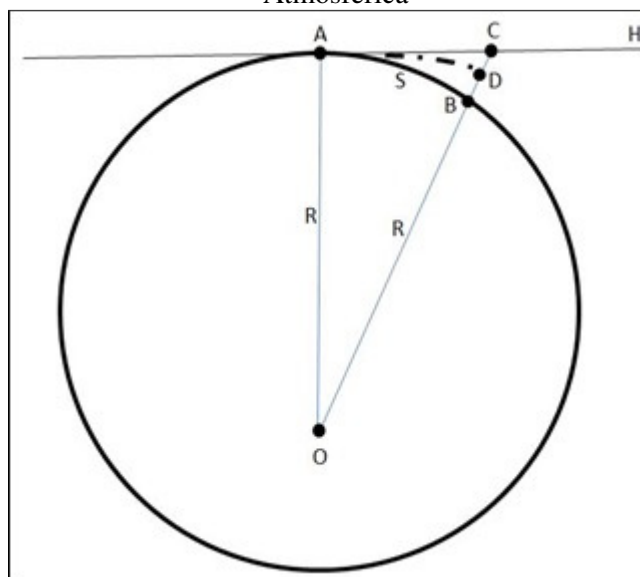
$$C = E_C - E_R$$

$$C = S^2 / 2R - 0,1306.S^2 / 2R = S^2 / 2.R.(1 - 0,1306)$$

$$C = 0,43.S^2 / R \text{ ou } C = 6,8.10^{-8}.S^2 \text{ (m)}$$

$$C = 0,068.S^2_{(\text{Km})}$$

Figura 6 – Correção do Efeito de Refração Atmosférica



Fonte: Adaptado de Kahmen e Faig, 1988.

2.1.3 Sistema de Posicionamentos por Satélites

O uso do GNSS, que engloba diversas constelações de satélites, tais como GPS de origem norte americana, o GLONASS de origem russa, o Galileu de origem europeia, etc., para fins de geoposicionamento, iniciou uma nova fase de levantamentos de campo, tanto na topografia convencional quanto na geodésia física, abrindo novas possibilidades, devido a fatores como: a possibilidade transpor grandes obstáculos como montanhas e rios, o que não acontece nos levantamentos convencionais, a disponibilidade de realizar medições a qualquer hora, uma vez que em todas as constelações de satélites os mesmos estão em órbita da Terra de forma que a qualquer hora do dia ou da noite há um mínimo de satélites para fornecer as coordenadas de um dado ponto na superfície terrestre, o custo cada vez menor para uso desta técnica, etc.

Com o uso cada vez mais difundido das técnicas de posicionamento por satélites, temos hoje rastreadores embutidos em relógios, celulares, em veículos, em fim o uso deste método de posicionamento tornou-se acessível do ponto de vista custo e facilidade de utilização para um amplo segmento da sociedade em geral.

Dentre os sistemas em mais uso atualmente no país, destaca-se o sistema GPS, tal sistema está concebido segundo os seguintes princípios básicos:

- a) Sistema de navegação e coleta de dados por satélite desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte-Americano;
- b) A navegação GPS utiliza a distância de satélites para determinar uma posição em relação a uma constelação de satélites orbitando a Terra;
- c) São necessários um mínimo de 4 satélites para a determinação das três coordenadas de um ponto na superfície do planeta.

De forma resumida, os sistemas de posicionamento, tais como o GPS, são na verdade sistemas de marcação de tempo de altíssima precisão, uma vez que o princípio geral que norteia tais sistemas é o fato de se ter satélites descrevendo órbitas previamente e precisamente conhecidas, com velocidades constantes e conhecidas e que ao descreverem tais orbitas, emitem constantemente sinais que entre outras informações transmitem sua posição dentro da órbita. Daí pode-se conhecer previamente em que posição dentro desta órbita se encontrará o satélite em um determinado instante.

2.1.4 Considerações a Respeito do Geoide e do Elipsoide

Cada vez mais se busca aumentar as possibilidades de utilização das técnicas GNSS, no caso da altimetria, onde as técnicas tradicionais são caras e pouco produtivas, busca-se converter as alturas elipsoidais dos sistemas GNSS (o elipsoide foi à superfície que mais se adequou aos sistemas de posicionamento por satélites) em alturas ortométricas ou geoidais (o geóide é a superfície cujos valores estão referidos ao nível médio dos oceanos não perturbados (GEMAEL, 1999), para aplicações em obras de engenharia.

O rastreamento GNSS proporciona o conhecimento das altitudes elipsoidais na altimetria, isto impõe a necessidade de se converter tais altitudes em alturas ortométricas.

A forma do geóide está diretamente relacionada ao campo da gravidade da Terra. No entanto o elipsóide é uma superfície matemática com a forma e dimensões próximas ao geóide, é utilizado em levantamentos geodésicos como superfície de referência no posicionamento horizontal. Estas superfícies, geralmente, não são coincidentes e nem paralelas e esta separação entre a superfície do geóide e a do elipsóide é denominada como ondulação ou separação geoidal representada pela letra N (Figura 7). Esta ondulação pode atingir até dezenas de metros, a inclinação dessas superfícies, em casos extremos é de até 1' (um minuto de arco) (GEMAEL, 1999). Assim, com o advento do GPS, o conhecimento do

geóide deixou de ser importante no posicionamento horizontal, mas tornou-se importantíssimo no posicionamento vertical (SÁ, 1993).

Na grande maioria de obras de engenharia, nos levantamentos geodésicos ou topográficos, utilizam a altitude ortométrica. Atualmente, o principal impedimento para o uso do GPS, com relação à altimetria, está na dificuldade da transformação das altitudes proporcionadas pelo GPS altitudes geométricas (referidas ao modelo matemático elipsoidal dos sistemas de satélites) em altitudes ortométricas (referidas a superfície matemática denominada geóide) (BIRARDI et al., 1995) ou seja, especificamente no conhecimento da ondulação geoidal.

Esta transformação constitui-se numa operação simples, envolvendo a altitude geométrica e a ondulação do geóide no ponto considerado. As altitudes, ortométrica e a geométrica, estão relacionadas pela equação (07).

$$\mathbf{H} = \mathbf{h} - \mathbf{N} \quad (7)$$

onde:

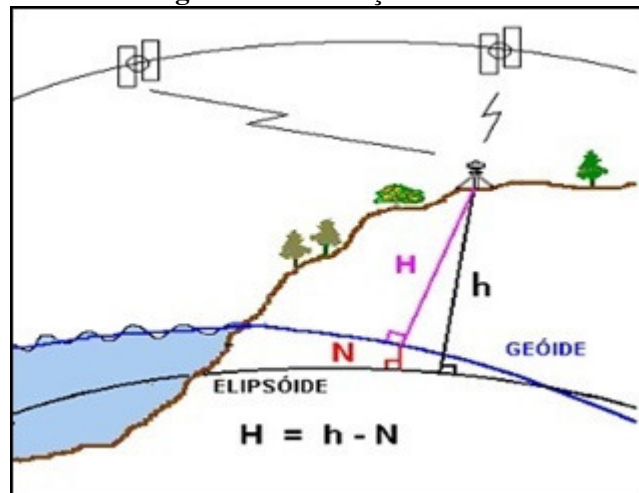
H - representa a altitude ortométrica, no ponto;

h - altitude geométrica; e

N - ondulação do geóide.

Na prática, nos canteiros de obra, nota-se que a mão de obra necessária para a manipulação dos equipamentos para rastreamento GNSS não precisa ser necessariamente uma mão de obra técnica especializada, uma vez que para posicionar os rastreadores de satélites, os quais já vêm previamente configurados do escritório de apoio da obra, nos pontos alvos e para ligar e após certo tempo de rastreamento, desliga-los, não requer grande conhecimento técnico o que acaba diminuindo os custos e o tempo de execução para emprego destas técnicas.

Figura 7 – Ondulação Geoidal



Fonte: IBGE, 2008b.

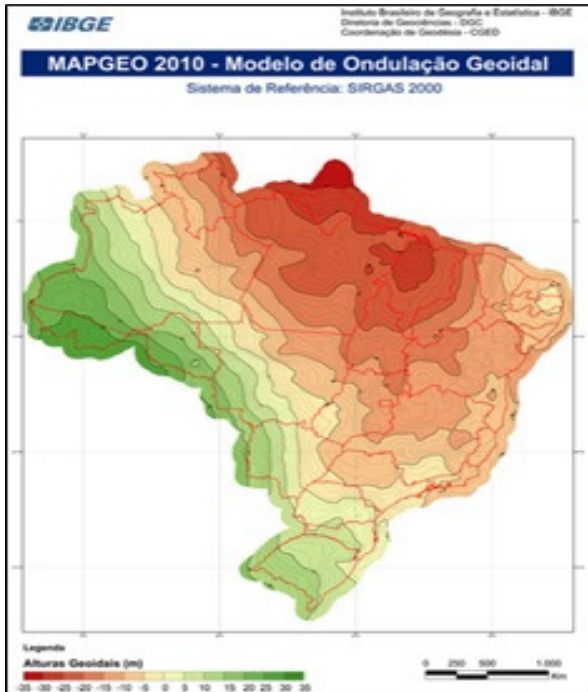
Onde:

N = ondulação geoidal (no caso do geóide acima do elipsóide a ondulação é positiva, caso contrário negativa).

As técnicas para posicionamento do geóide (determinação das altitudes ortométricas) em um determinado ponto da superfície física da Terra tais como medições de gravidade, de pressão, de níveis de marés, são caras, exigem equipamentos caros, pessoal técnico qualificado, além de demandarem muito tempo. Tais fatores tornam inviáveis para utilização na prática, no dia-a-dia das obras de engenharia. Daí a necessidade de através das técnicas de posicionamento por satélites e conseqüentemente a obtenção das alturas elipsoidais, realizar a conversão destes valores para o referencial ortométrico, ou seja, o geóide. Para este fim foi criado um modelo matemático de interpolação das alturas elipsoidais para as alturas ortométricas.

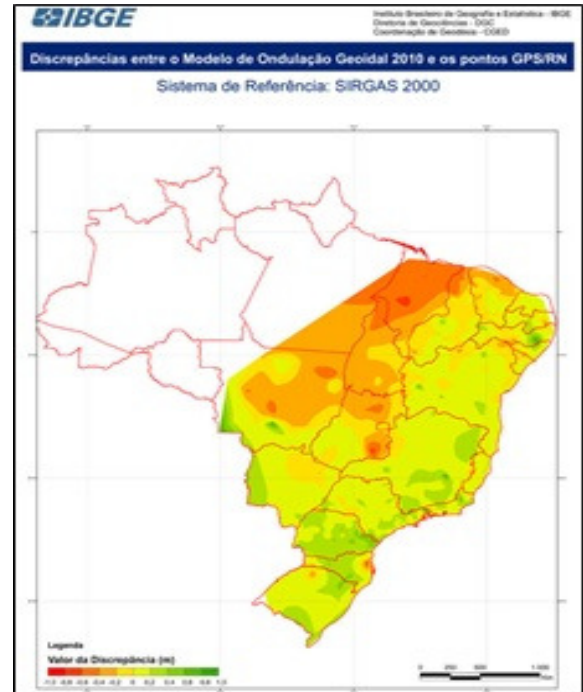
O modelo matemático oficial que simula o comportamento da superfície geoidal no Brasil, é o MAPGEO2010, modelo este elaborado pelo IBGE, porém para a região norte do Brasil, o órgão admite que embora haja linhas de nivelamento geométrico, elas não possuem precisão necessária para validação do modelo (Figura 8), uma vez que devido à região ser muito extensa e coberta por rios e florestas o que dificulta a realização do nivelamento geométrico e conseqüentemente o estabelecimento de uma rede altimétrica precisa. A Figura 8 mostra o modelo expresso no Datum geodésico Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) que é o Datum oficial atual no Brasil.

Figura 8 – Discrepâncias entre o MAPGEO2010 e dados de RNs da RAAP



Fonte: IBGE, 2008b.

Figura 9 – Modelo de interpolação geoidal MAPGEO2010 referido ao Datum SIRGAS2000



Fonte: IBGE, 2008b.

2.1.5 Determinação das Alturas Elipsoidais por Rastreamento de Satélites

A realização do rastreamento dos satélites do GNSS sobre as RN's nos propicia a determinação da ondulação do geóide (N), assim em uma seção (linha formada por duas RN's) com altitudes geométricas ou elipsoidais conhecidas, pode-se interpolar a ondulação do geóide em pontos desta linha, ou próximo à mesma.

Featherstone, Dentith e Kirby (1998), apresentam o modelo:

$$H_X = H_A + \Delta h_{AX} \cdot \frac{L_{AX}}{L_{AB}} \cdot \Delta N_{AB} \quad (8)$$

Onde:

H_X – representa a altitude ortométrica do ponto a ser interpolado;

H_A – altitude ortométrica da RN, situada em A;

Δh_{AX} – diferença de altitudes geométricas do ponto a ser interpolado e RN, situada em A;

L_{AX} – distância entre o ponto a ser interpolado e a RN, em A;

L_{AB} – distância entre as RRNN, situadas em A e em B; e

ΔN_{AB} – diferença de ondulações geoidais nas RN em A e em B.

Desta forma podemos obter a altitude ortométria através da altura elipsoidal lida para um dado ponto e as distâncias e ondulações geoidais das RN's que delimitam a seção na qual está inserido este ponto.

2.2 USO DO REFERENCIAL ALTIMÉTRICO EM ESTUDOS HIDROLÓGICOS

A importância do referencial altimétrico é imensa para subsidiar estudos hidrológicos a medida que auxilia o monitoramento de bacias hidrológicas, possibilitando assim um uso racional dos recursos hídricos. A correta utilização da referência altimétrica é essencial para avaliar a qualidade de dados hidrológicos obtidos por altimetria (MOREIRA, 2010). No caso específico da Bacia Amazônica, com área de drenagem de aproximadamente 6.869.000 km² (SILVA et al., 2007), por tanto a maior bacia hidrográfica do mundo, porém está situada em uma área de topografia pouco acidentada, ou seja, fazendo com que uma pequena variação altimétrica repercuta em uma grande extensão, a importância de um referencial altimétrico seguro e de rápida e fácil determinação, torna-se imprescindível para a realização de estudos hidrológicos e monitoramento do fluxo hídrico nesta bacia hidrográfica tão extensa.

Diversos autores tem realizado trabalhos onde o referencial altimétrico é abordado de forma enfática com relação ao estudo proposto. Souza et al.(2011), realizaram o cálculo do gradiente do Rio Una no estado de Pernambuco através da obtenção da altimetria de cada ponto à montante e à jusante dos trechos do rio estudados, através do *Google Earth*®, já Moreira 2010, afirma a importância de um referencial altimétrico comum as estações fluviométricas afim de melhor conduzir estudos hidrológicos e hidrodinâmicos na região amazônica. Poletto et al. (2008) trataram no artigo de metodologia de validação de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente através de padrão de exatidão cartográfico

(PEC), uma vez que tais modelos são amplamente utilizados em modelagem de bacias hidrográficas. Até mesmo a altimetria espacial, ou altimetria por satélite, técnica de sensoriamento remoto para obtenção da variação de nível de mares, oceanos e mesmo da bacia amazônica, utilizada há mais de dez anos (VERGASTA et al., 2011).

Além das aplicações acima citadas de uso do referencial altimétrico podemos destacar: saneamento urbano, drenagem de águas pluviais, irrigação, transposição de cursos d'água (caso da transposição do Rio São Francisco, no nordeste do país), monitoramento de níveis de lâminas d'água, através do referencial altimétrico atrelado a réguas liminimétricas, controle de áreas de inundação, na estimativa de impactos socioambientais e econômicos, como no caso da Usina Hidroelétrica de Belo Monte atualmente maior obra de engenharia do país, no transporte de efluentes, bacia de sedimentos, na determinação de área de contribuição de bacias hidrográficas, cálculo de gradiente de um curso d'água, potencial hidráulico, entre outros mais.

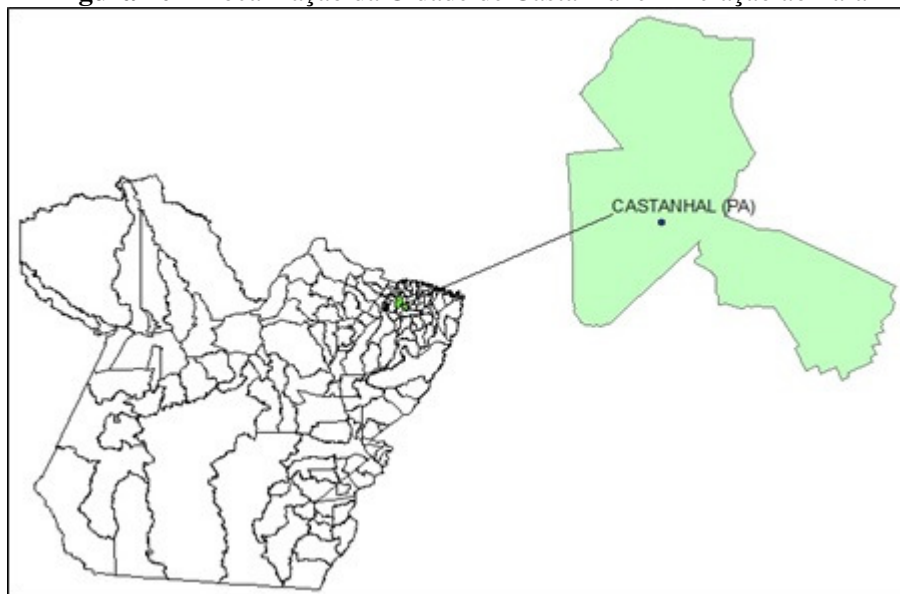
CAPÍTULO 3

3 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA SEÇÃO DE NIVELAMENTO

Como local de estudo escolheu-se a seção compreendida entre os RN's 840U (LAT- 01° 17' 51" e LONG- 47° 56' 59") e 840R (LAT- 01° 17' 39" e LONG- 47° 53' 32"), na cidade de Castanhal (Figura 10). Tal escolha baseou-se em fatos como o estado de conservação das RN's, uma vez que a RN 840U, está localizada no pátio frontal do prédio administrativo do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) enquanto que a RN 840R localiza-se na estação repetidora da Embratel, localizada na BR-010 na altura do quilometro 70, A localização das RN's em locais de acesso controlado possibilitou sua conservação e preservação.

Figura 10 – Localização da Cidade de Castanhal em Relação ao Pará



Fonte: Autor, 2015.

O trecho compreendido entre estas duas RN's tem uma extensão de aproximadamente 6.500 metros e corta a cidade de Castanhal (Figura 11).

Figura 11 – Seção de Nivelamento entre as RN’s 840U e 840R



Fonte: Autor, 2015.

3.1.1 Localização das RN's do IBGE

A localização da RN 840R é o Km 70 da BR-010, a estação está localizada na calçada da sala da estação repetidora da Embratel naquele município.

Figura 12 - RN 840R (Estação Repetidora da Embratel em Castanhal)



Fonte: Autor, 2015.

Figura 13 – Calçada na Qual se Encontra Cravada a Chapa da RN 840R



Fonte: Autor, 2015.

Figura 14 – Chapa em Close da RN 840R



Fonte: Autor, 2015.

Figura 15 - RN 840U, Localizada no Campus IFPA, Castanhal, PA



Fonte: Autor, 2015.

Figura 16 – Pátio Frontal do Prédio Administrativo do IFPA, Castanhal, PA



Fonte: Autor, 2015.

Figura 17 – Chapa em Close da RN 840U

Fonte: Autor, 2015.

3.2 NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO ENTRE AS RN's

Para o transporte topográfico da altura ortométricas entre as RN's o mais indicado seria o nivelamento geométrico, pois devido ser um método direto de leituras verticais em miras graduadas ou com código de barras entre os pontos nivelados, consiste em um método de nivelamento mais preciso que o nivelamento utilizado, ou seja, o nivelamento trigonométrico, no qual as diferenças de nível entre os pontos são obtidas por relações trigonométricas. A escolha deste tipo de nivelamento justifica-se devido a grande extensão da seção de nivelamento e contranivelamento compreendida entre as RN's utilizadas, cerca de 7,5 Km.

Sendo assim, optou-se por realizar o nivelamento trigonométrico com visadas ré e avante diretas e invertidas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 13.133, uma vez que neste tipo de levantamento altimétrico são possíveis lances de até 500 m (ABNT/NBR 13.133), diferente do levantamento geométrico que devido a maior precisão não admite lances de visada horizontal maior que 80 m (ABNT/NBR13.133), tornando assim muito demorado e oneroso esta etapa do trabalho.

Como já citado anteriormente, a localização de RN's na região é difícil devido à destruição da maioria, uma vez que se localizam em pontos de fácil acesso ao público. No

caso específico das RN's objetos deste trabalho, as mesmas só estão em bom estado devido ao fato de estarem materializadas em áreas de acesso limitado ao grande público.

Para a execução desta etapa do trabalho, foi utilizado os seguintes equipamentos:

- 1 Estação Total da marca Topcon, modelo GTS-105N, com leitura direta de 1 segundo e precisão de 5", duplo display de cristal líquido expandido com menus em Português (Alfanumérico), alcance de 2.000 m com 1 prisma, alcance de 2.700 com o uso de 3 prismas, precisão linear de 2 mm + 2ppm, prumo laser (Corpo da Estação Total), memória para 24.000 pontos com atributos ou 48.000 pontos de coordenadas, defini 30 arquivos de obra separados por arquivos, dotada de porta USB para descarga de dados, interface com principais softwares do mercado, A prova d'água e poeira na categoria IP54 conforme norma internacional IEC529, programa para coleta de dados, locação, cálculo de coordenadas, cálculo de área, intersecções à ré, distância de ponto à reta, elevação remota e excêntricos e estradas e montagem de biblioteca com 50 códigos (poste, guia, cerca, etc.);
- 1 Tripé de alumínio para estação total;
- 2 Tripés de alumínio para bastão;
- 2 Dois bastões com bolha de nível;
- 2 Prismas reflexivos.
- Para coleta e processamento dos dados foi utilizado o software Topograph98Se[®]

Figura 18 – Estação Total Topcon GTS-105N



Fonte: Topcon Coporation, 2014.

A Figura 19 mostra a estação P-6 sendo ocupada durante o nivelamento para transportar as alturas ortométricas, já a Figura 20 mostra o ponto 7 sendo ocupado durante o transporte das cotas através de nivelamento trigonométrico.

Figura 19 – Prisma, bastão e tripé utilizados no nivelamento com altura ajustada em 1,5 m



Fonte: Autor, 2015.

Figura 20 – Estação Total GTS-105N da Topcon estacionada sobre o ponto P-6



Fonte: Autor, 2015.

Para materialização dos pontos foi cravado um pino metálico, de cerca de 1^{1/2} polegada, em locais onde o piso já fora cimentado ou asfaltado.

Embora tanto a distância total da seção de nivelamento, quanto as distâncias entre os pontos do nivelamento tenham sido muito pequenas do ponto de vista da geodésia física; foi feito a correção das leituras altimétricas em função da curvatura terrestre e do efeito de refração atmosférica.

3.3 LEVANTAMENTO COM GNSS AO LONGO DA SEÇÃO DE NIVELAMENTO

Com as cotas ortométricas devidamente transportadas por nivelamento geométrico ao longo da seção compreendida entre as RN's 840U e 840R, passou-se para o levantamento das alturas geométricas ou elipsoidais através de rastreo GNSS de cada estação ocupada.

Para tal adotou-se o levantamento estático relativo, onde uma das RN's, a 840U, que também é uma estação de referência GNSS do SGB para planimetria (Estação 90609), foi ocupada como base por cerca de 342 minutos. As demais estações componentes da linha de nivelamento foram ocupadas, simultaneamente com a base, e foi utilizada uma taxa de gravação estática de 5 segundos, com um ângulo de leitura de sinais de 15° e janela de observações de cerca de 10 minutos para cada ponto. As Figuras 22 e 23 mostram a ocupação das estações P-7 e P-8, respectivamente.

Para esta etapa da pesquisa, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 2 Rastreadores de satélites (GPS e GLONASS), de precisão 1 mm + 5 ppm, ou seja, geodésicos, da marca Topcon, modelo Hiper 1 Plus;
- 2 Tripés de alumínio marca RMV, para rastreadores de satélites;
- 2 bastões de alumínio;
- Para processamento dos dados foi utilizado o software Topcon Tools®.

Figura 21 – Receptor de Dupla Frequência (L1/L2) Hiper da Marca Topcon, Utilizado para Determinação das Alturas Elipsoidais



Fonte: Autor, 2015.

Figura 22 – Ocupação da Estação P-7 com Rastreador de Satélites da Marca Topcon, Modelo HiperPlus



Fonte: Autor, 2015.

Figura 23 – Ocupação da Estação P-8 com Rastreador de Satélites da Marca Topcon, Modelo HiperPlus



Fonte: Autor, 2015.

3.4 INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS PELO MODELO MAPGEO 2010

Para a obtenção das ondulações geoidais através de modelo matemático foi utilizado o modelo oficial de interpolação geoidal do IBGE, o MAPGEO 2010. Os dados de entrada neste modelo são a Latitude e a Longitude do ponto do qual se quer obter a ondulação geoidal (N). Para a elaboração do modelo MAPGEO2004, anterior ao MAPGEO2010, foram utilizadas algumas informações para a criação do mesmo. Tais informações consistem nas anomalias ar-livre derivadas da altimetria por radar a bordo de satélite em áreas oceânicas, utilizando o modelo KMS99; o Modelo Digital de Terreno (MDT) de 1'x1', desenvolvido pela EPUSP, obtido a partir da digitalização de cartas topográficas e, quando não disponíveis, utilizando o modelo GLOBE; o modelo geopotencial EGM96 até grau e ordem 180 e o valor médio das anomalias de Helmert em cada quadrícula, onde o mesmo foi obtido empregando a média aritmética dos dados ali constantes, onde nas quadrículas que não haviam dados, foram utilizados recursos de interpolação do valor, também através de média aritmética, das quadrículas adjacentes. Com base na grade de 5' x 5', foi gerada a grade de 10' x 10' empregada no cálculo do modelo geoidal. Para a realização do presente trabalho, utilizou-se apenas da altitude ortométrica disponibilizada nos memoriais descritivos das estações

disponibilizadas pelo IBGE referenciada ao SIRGAS2000. A Figura 24 mostra a tela de entrada de dados para o ponto P-6.

Figura 24 – Tela de Entrada de Dados para o Modelo de Interpolação Geoidal MAPGEO 2010

The screenshot shows the 'IBGE - MAPGEO2010 - Versão 1.0' window. The title bar includes 'Entradas', 'Ilustrações', and 'Ajuda'. The main area is titled 'SISTEMA DE INTERPOLAÇÃO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL'. It features two main input sections: 'ENTRADA VIA TECLADO' (checked) and 'ENTRADA VIA ARQUIVO' (unchecked). The 'ENTRADA VIA TECLADO' section includes fields for 'ID do Ponto' (P-6), 'Latitude' (-01 17 50.0735), 'Longitude' (-47 56 05.6128), and 'Ondulação Geoidal' (-24.90). The 'ENTRADA VIA ARQUIVO' section has two columns of checkboxes for file formats. Below these are fields for 'Arquivo de entrada' and 'Arquivo de saída', and a 'Processa' button.

SISTEMA	
<input type="radio"/>	SAD69
<input checked="" type="radio"/>	SIRGAS2000

ENTRADA VIA TECLADO	
<input checked="" type="checkbox"/>	ENTRADA VIA TECLADO
ID do Ponto	P-6
Latitude	- 01 17 50.0735
Longitude	- 47 56 05.6128
Ondulação Geoidal	-24.90

ENTRADA VIA ARQUIVO	
<input type="checkbox"/>	ENTRADA VIA ARQUIVO
Formato Arquivo Entrada	
<input type="checkbox"/>	ID do Ponto
<input type="checkbox"/>	Lat Lon (Grau Decimal)
<input type="checkbox"/>	Lon Lat (Grau Decimal)
<input type="checkbox"/>	Lat Lon (GMS)
<input type="checkbox"/>	Lon Lat (GMS)
Formato Arquivo Saída	
<input type="checkbox"/>	ID do Ponto
<input type="checkbox"/>	Coordenadas de Entrada
<input checked="" type="checkbox"/>	Ondulação Geoidal

Arquivo de entrada: _____

Arquivo de saída: _____

Processa ▶

Fonte: Autor, 2015.

É importante observar que a obtenção das cotas ortométricas de cada ponto através do modelo matemático de interpolações de ondulações geoidais (MAPGEO 2010), não se constitui em um trabalho de campo, uma vez que esta técnica baseia-se em cálculos matemáticos, porém é necessário a definição da posição de cada ponto, trabalho este sim de campo, para que o modelo possa calcular a ondulação geoidal de cada ponto.

CAPÍTULO 4

4 TRATAMENTO DE DADOS E ANÁLISE COMPARATIVA

Após a execução do nivelamento e contra nivelamento trigonométrico na seção compreendida entre as duas RN's, obtiveram-se os seguintes dados:

Tabela 2 – Nivelamento com Correções Devido a Refração Atmosférica e Curvatura Terrestre

Transporte Altura Ortométrica por Nivelamento Geométrico				Dist. Horiz. (Km)	Erro Altimétrico Devido a Curvatura da Terra e Refração Atmosférica (m)	Altura Ortométrica Corrigida
Ponto	Nivelamento (E=0,069 m)	Contra Nivelamento (E= 0,102 m)	Altura Ortométrica Final			
840U (RN)	45,5228	45,5228	45,5228			
P1	45,217	45,217	45,217	0,053	0,000190	45,217
P2	44,647	44,646	44,647	0,240	0,003905	44,643
P3	40,951	40,951	40,951	0,395	0,010591	40,940
P4	45,825	45,828	45,827	0,404	0,011104	45,815
P5	43,773	43,768	43,771	0,248	0,004183	43,766
P6	37,019	37,022	37,021	0,377	0,009690	37,011
P7	29,470	29,467	29,469	0,375	0,009561	29,459
P8	36,345	36,340	36,343	0,299	0,006078	36,336
P9	40,986	40,989	40,988	0,231	0,003625	40,984
P10	41,793	41,787	41,790	0,121	0,001003	41,789
P11	43,304	43,298	43,301	0,333	0,007553	43,293
P12	42,785	42,767	42,776	0,269	0,004904	42,771
P13	42,634	42,610	42,622	0,381	0,009882	42,612
P14	42,563	42,551	42,557	0,481	0,015718	42,541
P15	42,069	42,053	42,061	0,505	0,017309	42,044
P16	42,410	42,400	42,405	0,398	0,010762	42,394
P17	42,550	42,531	42,541	0,395	0,010634	42,530
P18	44,134	44,119	44,127	0,439	0,013118	44,113
P19	45,192	45,187	45,190	0,504	0,017299	45,172
P20	44,467	44,465	44,466	0,066	0,000294	44,466
840R (RN)	44,53	44,53	44,53			

Fonte: Autor, 2015.

No nivelamento foi obtido um erro altimétrico de 0,069 metros e 0,102 metros para o contra nivelamento, em seguida foi obtida a média entre os nivelamentos e então foram realizadas as correções dos valores altimétricos obtidos devido a curvatura terrestre e refração atmosférica, então foram obtidas as alturas ortométricas finais (Tabela 2).

O levantamento por rastreamento GNSS (GLONASS e GPS) possibilitou a determinação das alturas elipsoidais das estações niveladas, a Tabela 3 mostra os dados obtidos.

Tabela 3 – Alturas Elipsoidais Obtidas após Rastreo

Ponto	Duração	Precisão Vertical (m)	Alt. Elipsoidal (m)
P-1	00:12:15	0,009	19,632
P-3	00:15:55	0,004	15,129
P-4	00:12:45	0,041	20,239
P-5	00:14:00	0,014	18,198
P-6	00:10:40	0,011	11,448
P-7	00:11:45	0,018	3,866
P-8S	00:10:10	0,014	10,765
P-10	00:12:30	0,013	16,26
P-11	00:10:25	0,011	17,762
P-12	00:09:55	0,017	17,866
P-13	00:13:05	0,008	17,053
P-14	00:10:25	0,054	16,993
P-15	00:13:25	0,064	16,522
P-18	00:10:15	0,012	18,634
P-20	00:13:40	0,053	18,997

Fonte: Autor, 2015.

A terceira técnica utilizada para obter os valores ortométricos para cada ponto foi o modelo matemático oficial do IBGE, o MAPGEO 2010, a Tabela 4 mostra as ondulações geoidais (N) obtidas pelo modelo e em função delas as respectivas alturas ortométricas ou geoidais calculadas em SIRGAS 2000.

Tabela 4 – Interpolações Feitas no Modelo MAPGEO 2010

Ponto	Latitude	Longitude	Altura Elipsoidal (m) Medida por GNSS	Ondulação Geoidal Interpolada APGEO2010	Altura Ortométrica Calculada
P-1	1°17'49,58859"S	47°56'58,45895"W	19,632	-24,89	44,522
P-3	1°17'50,18597"S	47°56'38,47028"W	15,129	-24,89	40,019
P-4	1°17'53,83136"S	47°56'25,45463"W	20,239	-24,89	45,129
P-5	1°17'52,98373"S	47°56'17,47688"W	18,198	-24,90	43,098
P-6	1°17'50,07357"S	47°56'05,61289"W	11,448	-24,90	36,348
P-7	1°17'48,58109"S	47°55'53,57572"W	3,866	-24,90	28,766
P-8S	1°17'48,49862"S	47°55'47,39433"W	10,765	-24,90	35,665
P-10	1°17'48,04940"S	47°55'32,52446"W	16,26	-24,90	41,160
P-11	1°17'47,42763"S	47°55'21,76197"W	17,762	-24,90	42,662
P-12	1°17'47,05821"S	47°55'15,45965"W	17,866	-24,90	42,766
P-13	1°17'45,51599"S	47°55'00,84141"W	17,053	-24,90	41,953
P-14	1°17'45,36936"S	47°54'45,29075"W	16,993	-24,91	41,903
P-15	1°17'43,90463"S	47°54'29,03547"W	16,522	-24,91	41,432
P-18	1°17'41,81850"S	47°53'49,24811"W	18,634	-24,91	43,544
P-20	1°17'39,75646"S	47°53'32,38469"W	18,997	-24,91	43,907

Fonte: Autor, 2015.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 5 mostra os valores de altura ortométrica obtidos para cada estação da seção nivelada a partir de três fontes distintas: topográfica, geodésica e modelagem matemática.

Tabela 5 – Alturas Ortométricas de Três Fontes Distintas

ALTURAS ORTOMÉTRICAS - FONTES: A, B E C			
Ponto	Fonte A (Topografia)	Fonte B (Geodésia - Nivelamento GNSS) Método de Featherstone	Fonte C (Modelo Matemático - MAPGEO2010)
P-1	45,217	45,339	44,522
P-3	40,940	40,856	40,019
P-4	45,815	45,980	45,129
P-5	43,766	43,948	43,098
P-6	37,011	37,210	36,348
P-7	29,459	29,641	28,766
P-8	36,336	36,546	35,665
P-10	41,789	42,057	41,160
P-11	43,298	43,571	42,662
P-12	42,771	43,681	42,766
P-13	42,612	42,884	41,953
P-14	42,541	42,840	41,903
P-15	42,044	42,387	41,432
P-18	44,113	44,541	43,544
P-20	44,466	44,922	43,907

Fonte: Autor, 2015.

A Tabela 6 faz uma abordagem estatística de média, desvio padrão, coeficiente de variação, amplitude, mínimo e máximo entre as diversas fontes, tendo como referência os valores de altura ortométrica obtidos por topografia convencional (Nivelamento).

Tabela 6 - Análise Estatística dos dados

Parâmetros Estatísticos	GNSS X MAPGEO 2010	Topografia X GNSS	Topografia X MAPGEO 2010
Média	0,902	0,293	0,6204
Desvio Padrão	0,056	0,2	0,1889
Coef. Var.	6,17%	68,27%	30,45%
Amplitude	0,198	0,826	0,9163
Mini	0,817	0,084	0,0051
Max	1,015	0,91	0,9214

Fonte: Autor, 2015.

Com base nos dados obtidos na tabela acima, pode-se concluir que:

1. A definição de altitudes por GPS mostra-se mais confiável do que pelo modelo matemático, pois apresenta a menor variação média com os valores de referência (Nivelamento).
2. A amplitude das variações entre os distintos métodos é similar, indicando a semelhança entre os resultados advindos dos dois métodos.
3. Esta amplitude, no caso de quase 1,00 m é bastante significativa ou representativa na cota ou dimensão vertical, ou seja, repercutem nos projetos e obras de engenharia, principalmente trabalhos de drenagem, irrigação, barragens, etc.

CAPÍTULO 5

5 ESTUDO DE CASO

Dentre os vários usos do referencial altimétrico já citados neste trabalho, são apresentados agora três casos importantes de utilização da altimetria na **área de recursos hídricos**. O cálculo da área de inundação por barramento de curso d'água, o cálculo do gradiente hidráulico de dois cursos d'água e o cálculo da produção de sedimentos em uma pequena bacia da Amazônia.

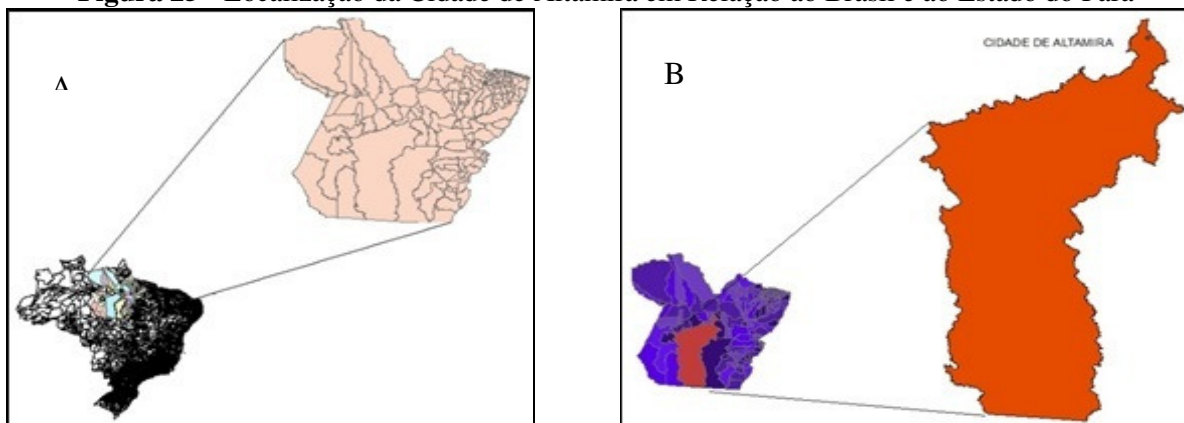
5.1 ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE ALTAMIRA, ESTADO DO PARÁ, EM FUNÇÃO DA CRIAÇÃO DO LAGO GERADO PELO BARRAMENTO DO RIO XINGÚ

A matriz energética brasileira é predominantemente composta por usinas hidroelétricas. Atualmente a usina hidroelétrica de Belo Monte, no estado do Pará (maior obra em execução no Brasil) tem sido alvo de diversos debates relacionados à sua viabilidade técnico-econômica.

O Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) da usina de Belo Monte determinou uma cota de inundação de 100 m (Referencial Ortométrico) para avaliação de impactos ambientais para a cidade de Altamira. A partir destes dados aplicou-se a variação de valores nas alturas ortométricas obtidas no presente trabalho de análise comparativa das mesmas devido a utilização de diferentes métodos de levantamento, o que conseqüentemente resultou em variações nos valores das áreas inundadas.

A Figura 25A mostra o estado do Pará no contexto nacional e a Figura 25B mostra a cidade de Altamira em relação ao estado do Pará, bem como o delineamento da provável área a ser inundada no caso da lâmina d'água atingir a cota 100 m.

Figura 25 - Localização da Cidade de Altamira em Relação ao Brasil e ao Estado do Pará



Nota: A) Estado do Pará no contexto nacional;
Fonte: Autor, 2015.

B) Município de Altamira em relação ao estado do Pará

Figura 26 - Esquema de Composição da Barragem de Belo Monte no Estado do Pará

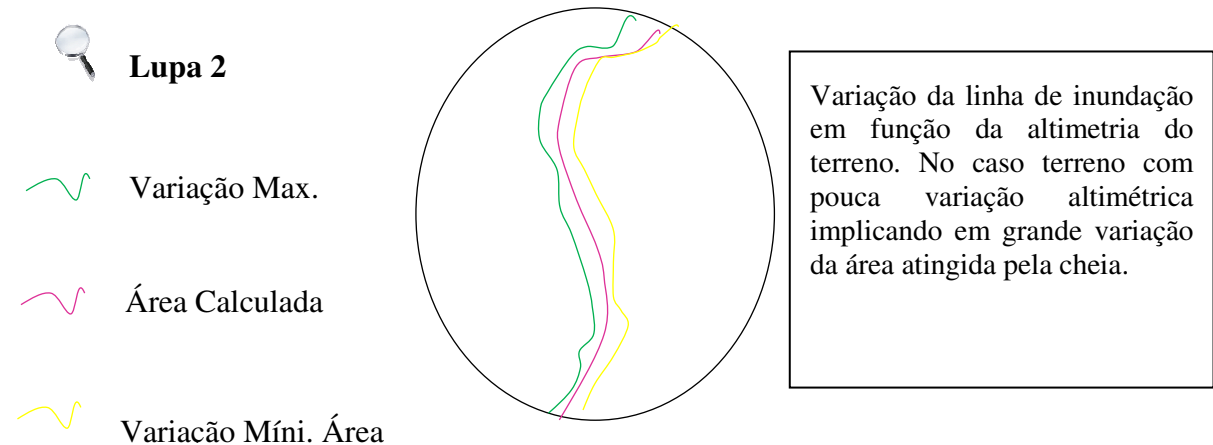
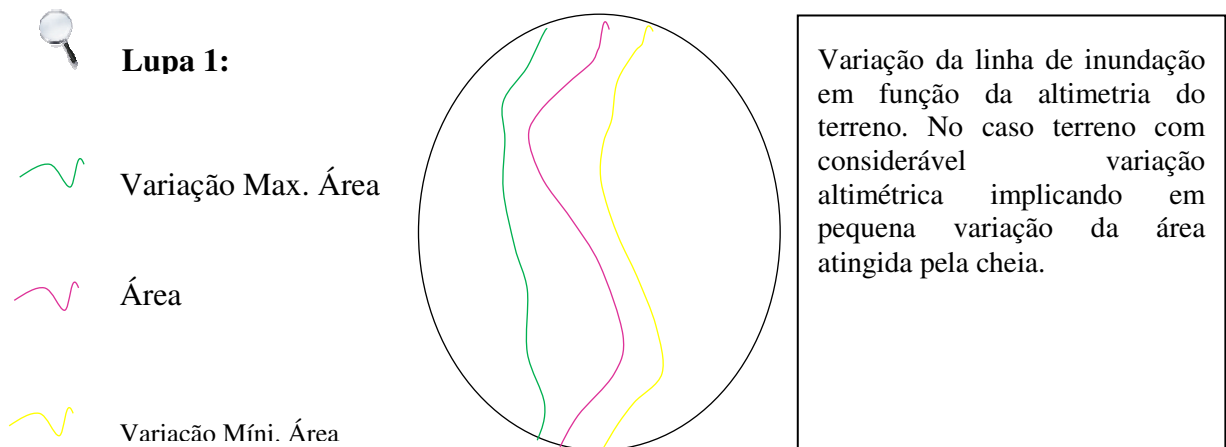


Fonte: Kamayurá, 2014.

Figura 27 - Área de Inundação na Cota 100 m - 6.225.625,32 m²

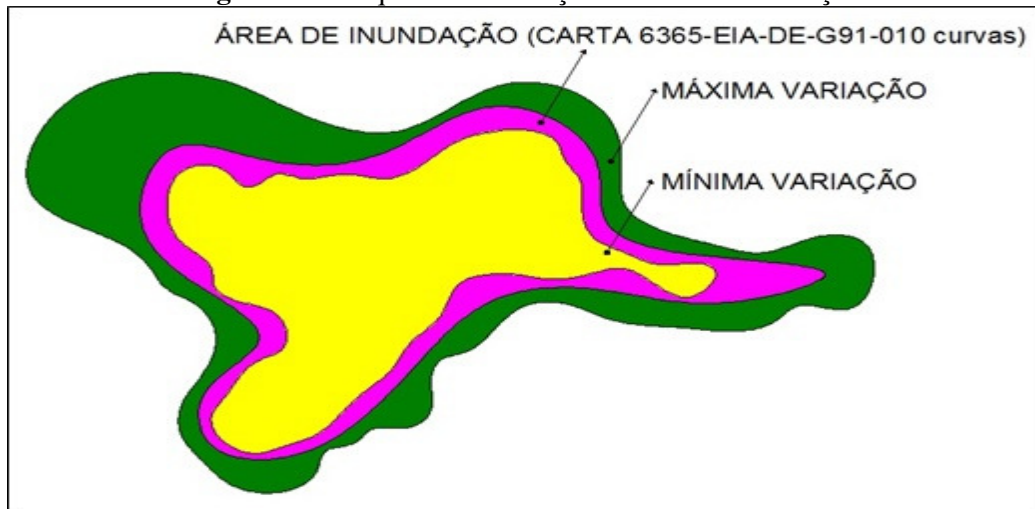


Fonte: Imagem - Google Earth.



Aplicando-se as variações obtidas de *média*, *desvio padrão* e *amplitude* em função da análise comparativa feita entre os métodos de levantamento das alturas ortométricas, ou seja, por GNSS e por modelagem matemática (MAPGEO 2010) em relação ao Nivelamento Trigonométrico Topográfico, obtiveram-se as seguintes variações na área de inundação (áreas calculadas em função da área de inundação obtida da carta 6365-EIA-DE-G91-010, disponibilizada pela Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A - Eletronorte) (BRASIL, 2009):

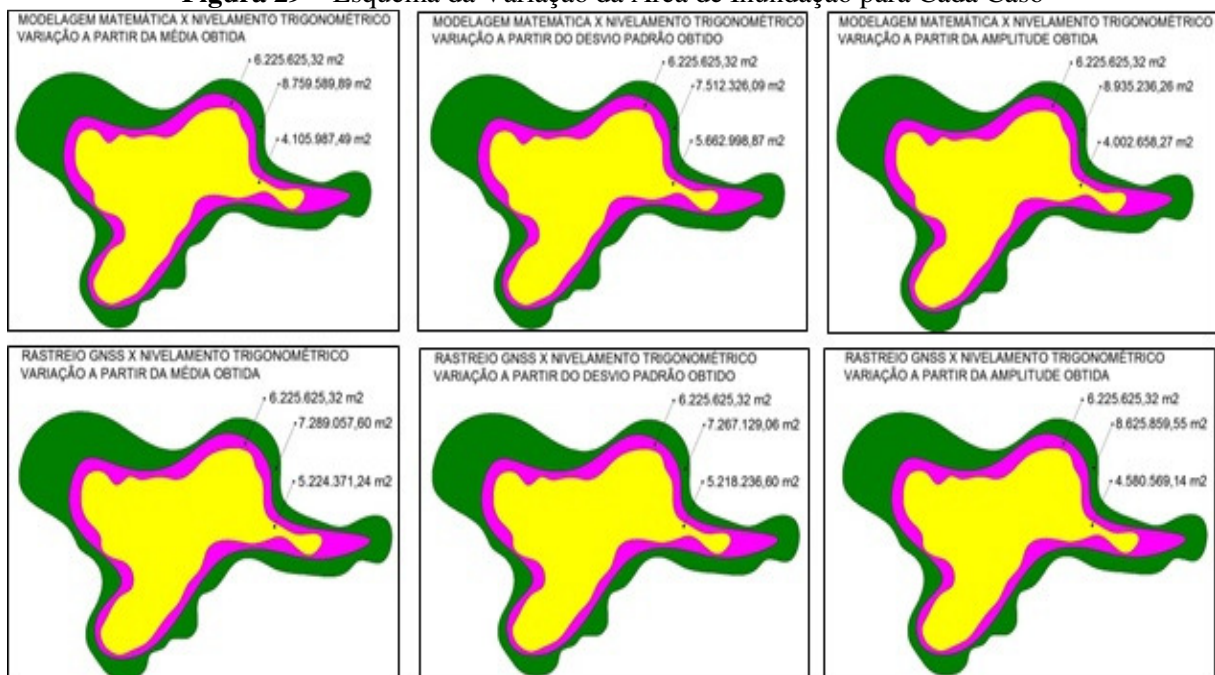
Figura 28 – Esquema da Variação da Área de Inundação



Fonte: Autor, 2015.

A Figura 29 demonstra o esquema de variações máximas e mínimas das áreas da Figura 28 para as variações obtidas em função da média, desvio padrão e amplitude das medidas devido a comparação entre os métodos de medição por GNSS (Geodésia) e MAPGEO 2010 (Modelagem Matemática) em relação aos valores obtidos no nivelamento trigonométrico (valores de referência), em seguida vemos estes dados tabelados (Tabelas 7 e 8).

Figura 29 – Esquema da Variação da Área de Inundação para Cada Caso



Fonte: Autor, 2015.

Tabela 7 – Variação da área de inundação em função da média, desvio padrão e amplitude devido a diferença entre levantamento de altitudes ortométricas com GNSS e Nivelamento Trigonométrico Topográfico

Modelo Matemático MAPGEO 2010 x Nivelamento Trigonométrico Topográfico					
Média (0,6204)		Desvio Padrão (0,1889)		Amplitude (0,9163)	
Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32	Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32	Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32
Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	8.759.589,89	Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	7.512.326,09	Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	8.935.236,26
Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	4.105.987,49	Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	5.662.998,86	Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	4.002.658,27
Amplitude de Variação	4.653.602,41	Amplitude de Variação	1.849.327,23	Amplitude de Variação	4.932.577,99
Variação da área Inundada em relação à média (%)	74,75%	Variação da área Inundada em relação à média (%)	29,71%	Variação da área Inundada em relação à média (%)	79,23%

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 8 – Variação área de inundação em função da média, desvio padrão e amplitude devido a diferença entre levantamento de altitudes ortométricas com Modelagem Matemática (MAPGEO 2010) e Nivelamento Trigonométrico Topográfico

GNSS x Nivelamento Trigonométrico Topográfico					
Média (0,293 m)		Desvio Padrão (0,200 m)		Amplitude (0,826 m)	
Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32	Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32	Área Inundada (Cota 100 m)	6.225.625,32
Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	7.289.057,60	Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	7.267.129,06	Área Inundada (Cota 100 m) + Variação	8.625.859,55
Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	5.224.371,24	Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	5.218.236,60	Área Inundada (Cota 100 m) - Variação	4.580.569,14
Amplitude de Variação	2.064.686,36	Amplitude de Variação	2.048.892,46	Amplitude de Variação	4.045.290,41
Variação da área Inundada em relação à média (%)	33,16%	Variação da área Inundada em relação à média (%)	32,91%	Variação da área Inundada em relação à média (%)	64,98%

Fonte: Autor, 2015.

Na Tabela 7 e 8 temos as variações máximas e mínimas, obtidas de valores de área de inundação calculada através dos dados disponíveis na ‘**CARTA 6365-EIA-DE-G91-010 curvas**’ fornecida pela Eletronorte (BRASIL, 2009), a partir das variações de **média, desvio padrão e amplitude**, advindas da análise comparativa feita entre nivelamento trigonométrico e os outros dois métodos, rastreamento de satélites (GNSS) e modelagem matemática (MAPGEO 2010).

Estes percentuais de variação podem ser considerados grandes se levarmos em conta o caso em questão, a inundação de áreas urbanas onde poucos metros quadrados podem representar o espaço de moradia de inúmeras famílias. Desta forma o uso desta técnica não é

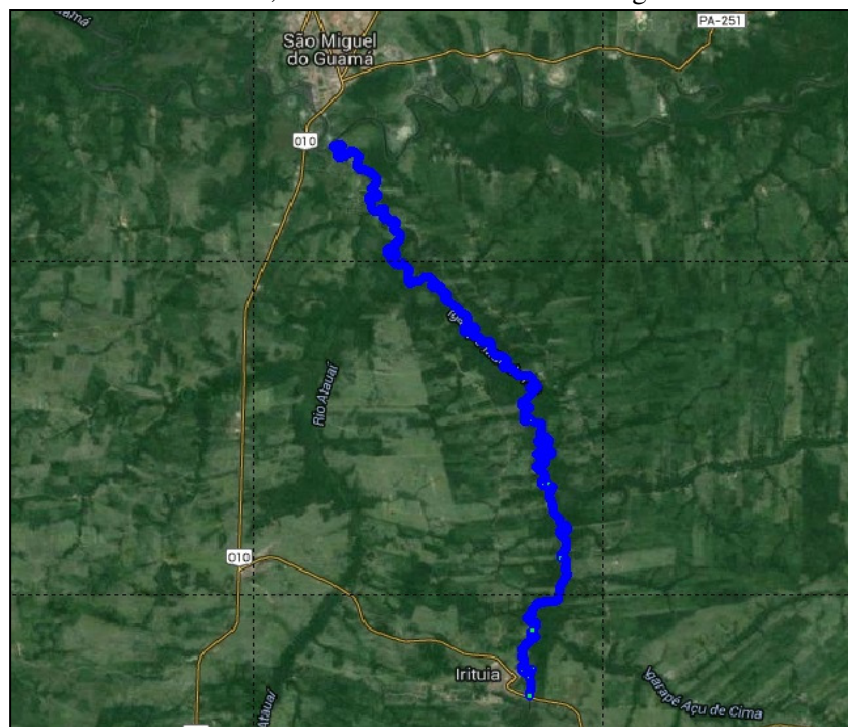
recomendando para este caso, em função da grande dispersão no valor obtido em relação à média calculada.

5.2 DETERMINAÇÕES DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO MÃE-DO-RIO NO ESTADO DO PARÁ

Através do perfil longitudinal (linha que une os pontos do seu leito, desde a nascente até à foz) podemos estudar com exatidão o declive do leito do rio ao longo do seu percurso. A representação longitudinal de um canal pode ser uma ferramenta muito importante quando aliada a estudos geomorfológicos por facilitar à compreensão dos condicionantes que equilibram ou desequilibram o sistema fluvial e também para entender fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica (SOUZA, R.; SOUZA, J.; GOLDFARB 2011).

Neste segundo estudo de caso, também visando a aplicabilidade dos métodos de levantamento analisados em função das variações obtidas entre os mesmos, iremos calcular o perfil longitudinal do Rio Mãe-do-Rio (Figura 30), partindo da Cidade de Irituia até sua desembocadura no Rio Guamá em um trecho com cerca de 27 Km de extensão e também o gradiente do mesmo, através de dados levantados topograficamente para em seguida aplicar as variações advindas da análise entre os métodos nas cotas iniciais a montante e finais a jusante de forma a obter as maiores variações possíveis para o trecho total levantado.

Figura 30 - Rio Mãe-do-Rio, trecho de Irituía-PA a São Miguel do Guamá-PA



Fonte: Google Earth.

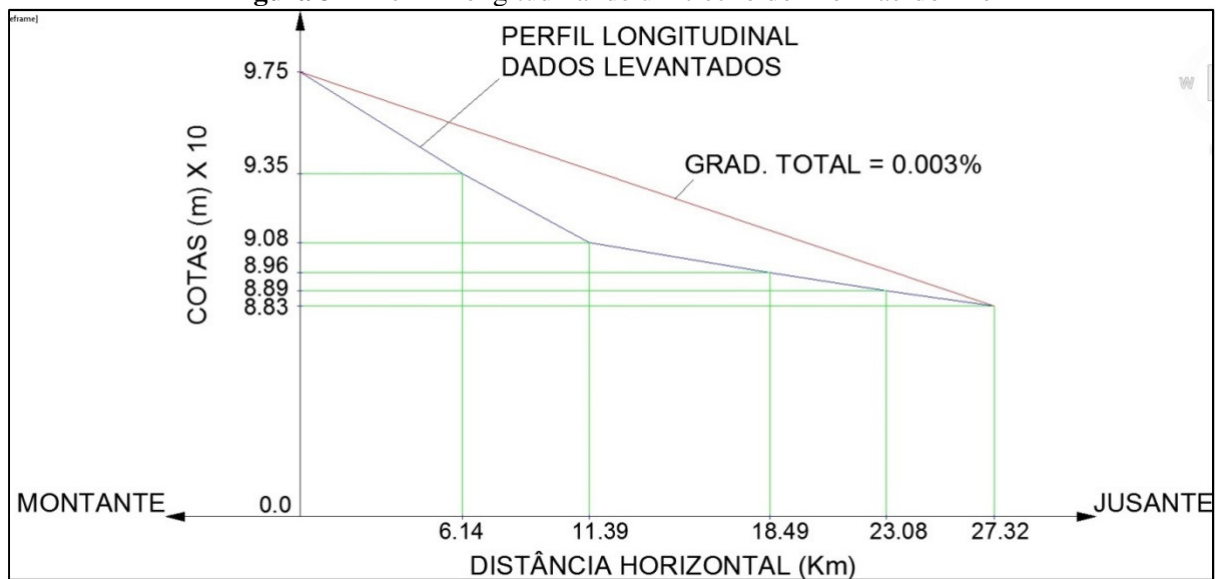
A Tabela 9 mostra os dados geométricos levantados para o curso d'água em questão e em seguida mostra-se o gráfico com o perfil longitudinal dos cinco trechos de rio levantado e o gradiente total calculado para a extensão levantada de 27,32 Km.

Tabela 9 - Dados Geométricos Obtidos por Levantamento Topográfico

Dados de campo						
Trecho	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (Km)	Extensão total Trecho (Km)	Gradiente do Trecho
1	9,75	9,35	0,4	6,14	6,14	0,007%
2	9,35	9,08	0,27	5,25	11,39	0,005%
3	9,08	8,96	0,12	7,1	18,49	0,002%
4	8,96	8,89	0,07	4,59	23,08	0,002%
5	8,89	8,83	0,06	4,24	27,32	0,001%

Fonte: Autor, 2015.

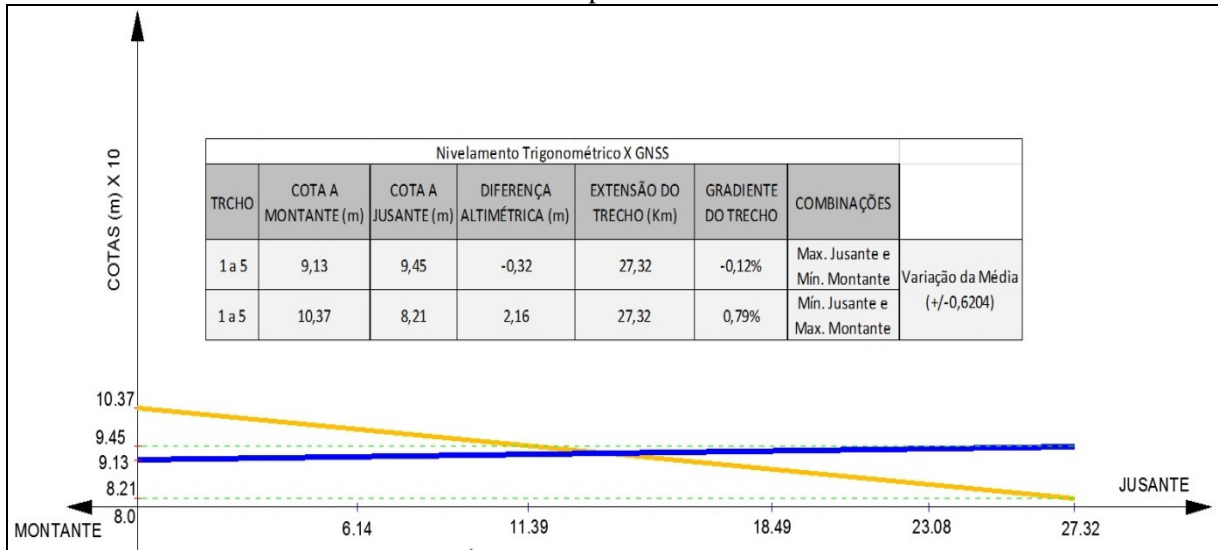
Figura 31 - Perfil Longitudinal de um trecho do Rio Mãe-do-Rio



Fonte: Autor, 2015.

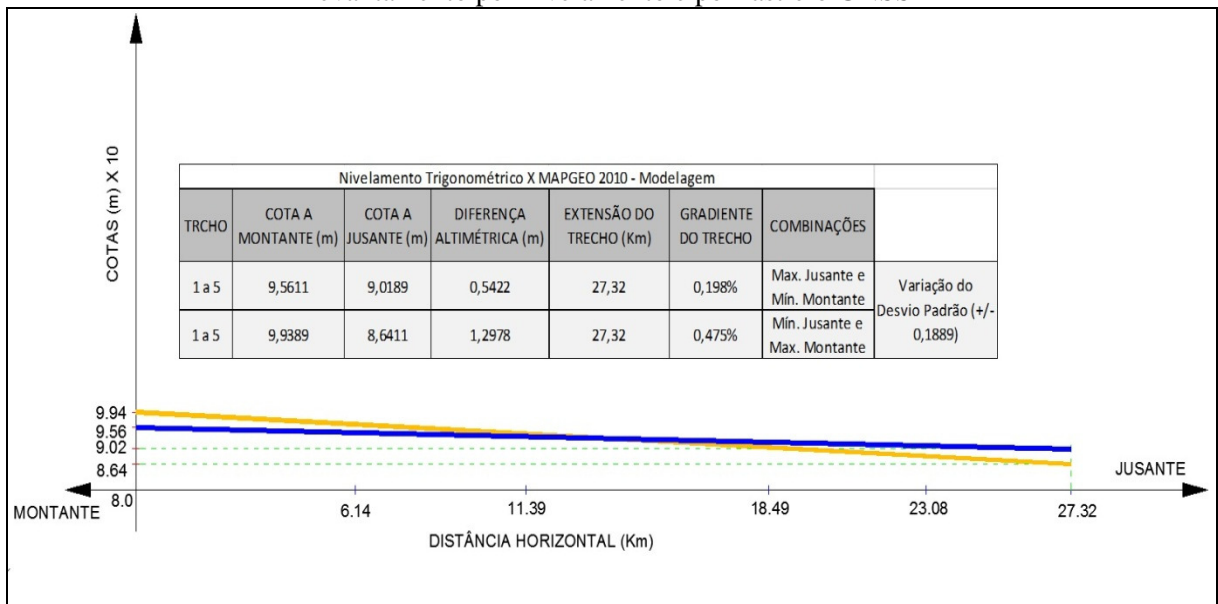
Aplicando-se as variações de média, desvio padrão e amplitudes oriundas da análise dos resultados obtidos por diferentes fontes altimétricas de forma a obter a máxima variação de gradiente, ou seja, vaiando-se a maior cota a montante ao máximo e a menor cota a jusante ao mínimo, e variando-se a maior cota a montante ao mínimo e a menor cota a jusante ao máximo, obtiveram-se os seguintes resultados para a extensão total de estudo:

Figura 32 - Variação obtida em função da **média** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS



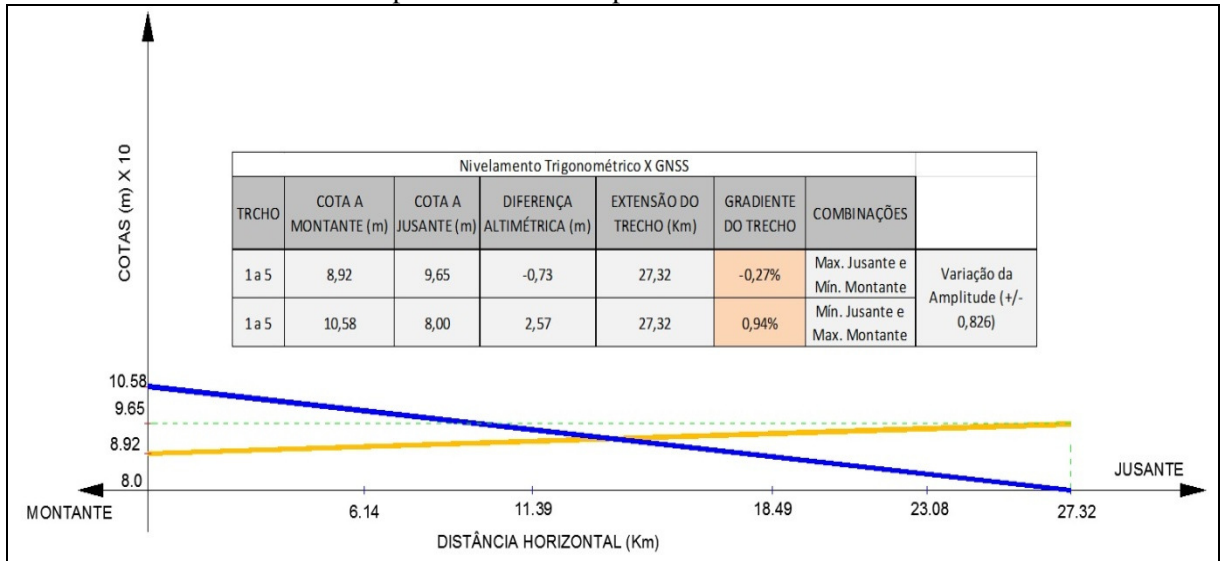
Fonte: Autor, 2015.

Figura 33 – Variação obtida em função do **desvio padrão** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS



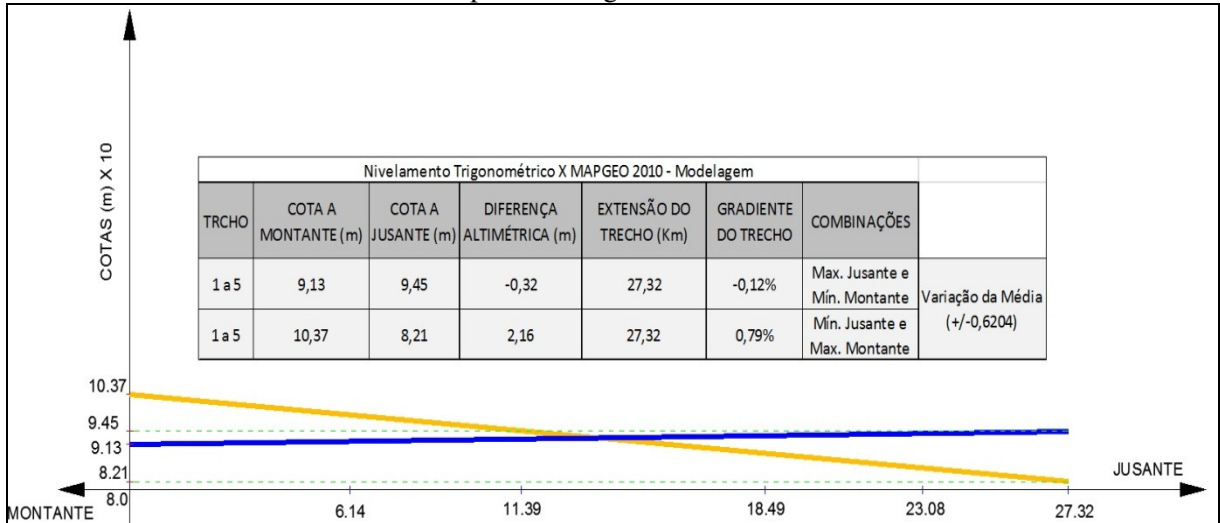
Fonte: Autor, 2015.

Figura 34 – Variação obtida em função da **amplitude** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por rastreo GNSS



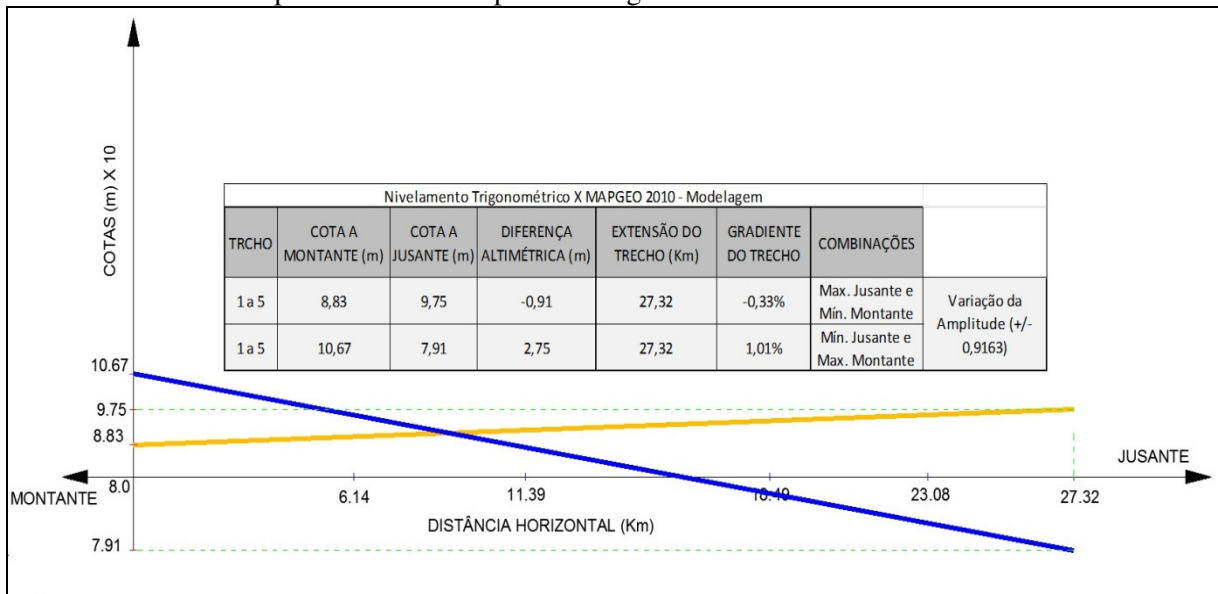
Fonte: Autor, 2015.

Figura 35 – Variação obtida em função da **média** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010



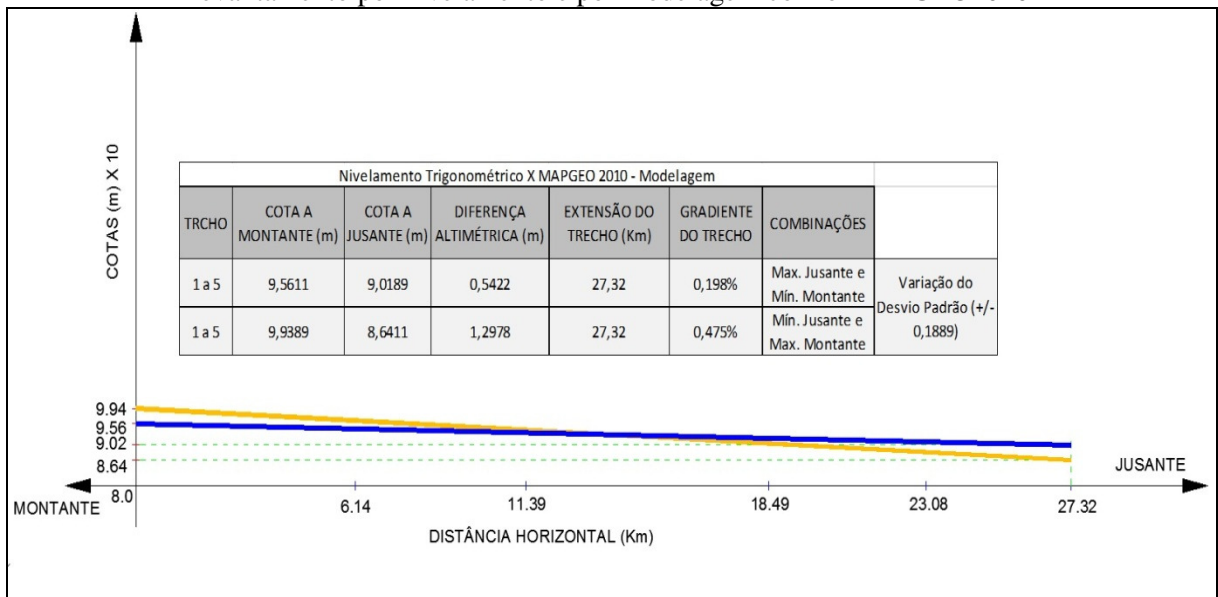
Fonte: Autor, 2015.

Figura 36 – Variação obtida em função da **amplitude** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010



Fonte: Autor, 2015.

Figura 37 – Variação obtida em função do **desvio padrão** de resultados entre os métodos de levantamento por nivelamento e por modelagem com o MAPGEO2010



Fonte: Autor, 2015.

A Tabela 10 e 11 demonstram as variações obtidas para o valor do gradiente em função das variações das cotas a montante e a jusante no trecho estudado.

Tabela 10 – Variação do Gradiente em Função da Média, Desvio Padrão e Amplitude para a análise do Método GNSS

Nivelamento Trigonométrico X GNSS							
Trecho	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (Km)	Gradiente do Trecho	Variações nas cotas em função da análise dos métodos	
1 a 5	9,75	8,83	0,92	27,32	0,003%	DADOS ORIGINAIS	
1 a 5	9,46	9,12	0,33	27,32	0,001%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Média (+/-0,293)
1 a 5	10,04	8,54	1,51	27,32	0,006%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 5	9,55	9,03	0,52	27,32	0,002%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação do Desvio Padrão (+/-0,2)
1 a 5	9,95	8,63	1,32	27,32	0,005%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 5	8,92	9,65	-0,73	27,32	-0,003%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Amplitude (+/-0,826)
1 a 5	10,58	8,00	2,57	27,32	0,009%	Mín. Jusante e Max. Montante	

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 11 – Variação do Gradiente em Função da Média, Desvio Padrão e Amplitude para a análise do Método de Modelagem (MAPGEO2010)

Nivelamento Trigonométrico X MAPGEO 2010 - Modelagem							
Trecho	Cota A Montante (m)	Cota A Jusante (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (Km)	Gradiente do Trecho	Variações nas cotas em função da análise dos métodos	
1 a 5	9,75	8,83	0,92	27,32	0,003%	DADOS ORIGINAIS	
1 a 5	9,13	9,45	-0,32	27,32	-0,001%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Média (+/-0,6204)
1 a 5	10,37	8,21	2,16	27,32	0,008%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 5	9,56	9,02	0,54	27,32	0,002%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação do Desvio Padrão (+/-0,1889)
1 a 5	9,94	8,64	1,30	27,32	0,005%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 5	8,83	9,75	-0,91	27,32	-0,003%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Amplitude (+/-0,9163)
1 a 5	10,67	7,91	2,75	27,32	0,010%	Mín. Jusante e Max. Montante	

Fonte: Autor, 2015.

Podemos observar, baseado nas tabelas 10 e 11 que a variação no valor do gradiente é pouco significativa se compararmos o valor do gradiente calculado a partir dos dados de campo com os valores de gradiente encontrados após aplicar as variações de média, desvio

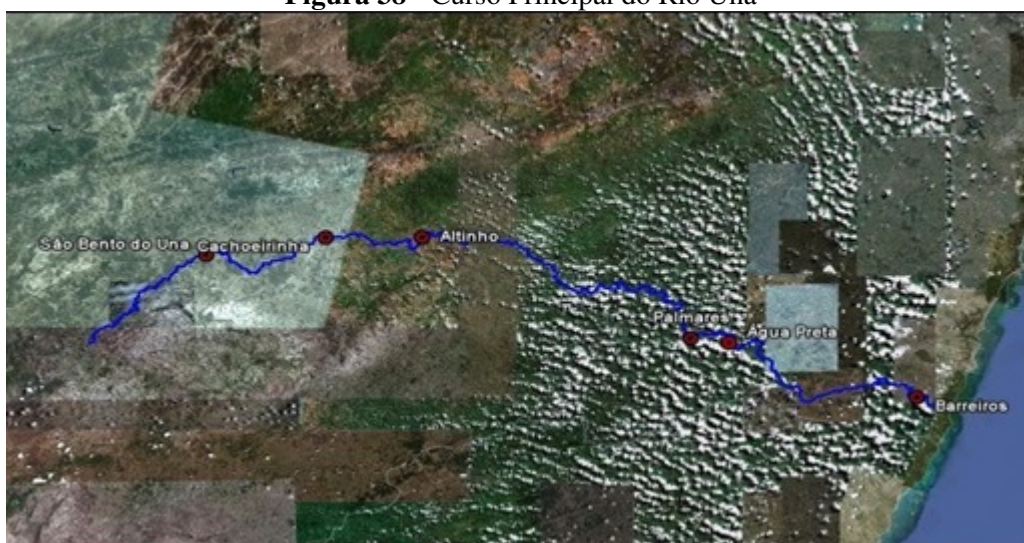
padrão e amplitude obtidas da análise feita entre as técnicas de rastreamento GNSS e modelagem matemática com relação a técnica convencional de levantamento por nivelamento trigonométrico, indicando assim a viabilidade de ambas as técnicas no cálculo de gradiente de cursos d'água com características semelhantes a do Rio Mãe-do-Rio.

5.3 DETERMINAÇÕES DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO UNA NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Neste terceiro estudo de caso, visando a aplicabilidade dos métodos de levantamento analisados em função das variações obtidas entre os mesmos, será caracterizado o perfil longitudinal do Rio Una, no estado de Pernambuco (Figura 38). Os dados utilizados foram retirados de um artigo intitulado '**Determinação e análise do perfil longitudinal do Rio Una-Pe**' apresentado no XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, de autoria de Souza et al. (2011). A aplicação das variações de média, desvio padrão e amplitude obtidas a partir da análise realizada entre as diferentes técnicas em um corpo d'água com características topográficas diferentes das verificadas no estudo de caso anterior servirá para uma melhor análise da real aplicabilidade das técnicas de GNSS e modelagem matemática no cálculo de gradiente de corpos d'água.

Após calculando o gradiente do Rio Una nos trechos 1 a 10, será em seguida aplicada as variações nas cotas iniciais a montante e finais a jusante de forma a obter as maiores variações possíveis para o trecho total levantado, conforme caso anterior.

Figura 38 - Curso Principal do Rio Una



Fonte: Souza et al., 2011.

A Tabela 12 mostra os dados geométricos levantados para o curso d'água em questão e em seguida mostra-se o gráfico com o perfil longitudinal do trecho de 1 a 10 do rio e o gradiente total calculado para a extensão levantada de 40,14 Km.

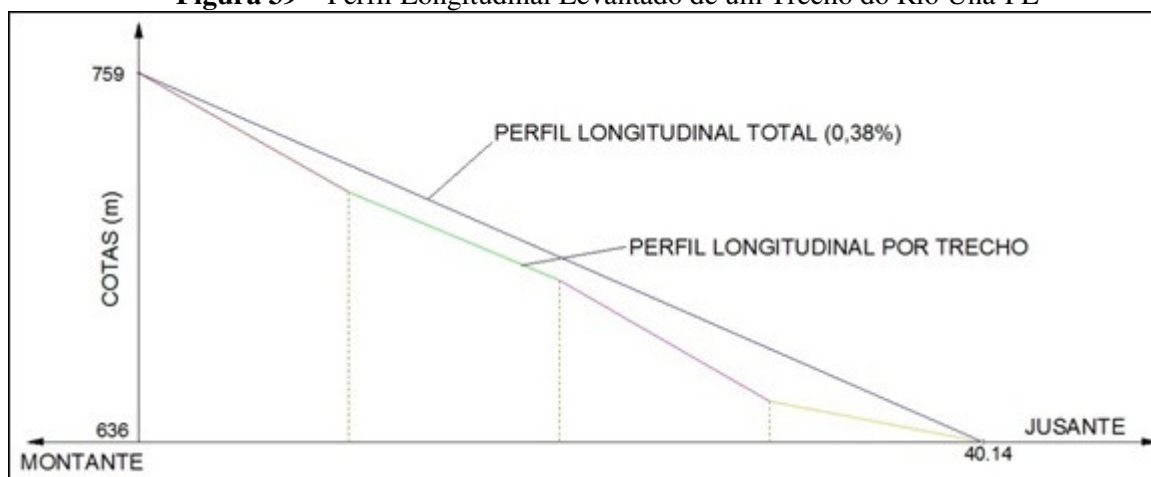
Tabela 12 – Dados de referência – Trabalho: Determinação e análise do perfil longitudinal do Rio Una-Pe

Trecho	Cota a montante (m)	Cota a jusante (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão do trecho (Km)	Extensão total (km)	Gradiente do trecho
1	759,00	744,00	15,00	4,22	4,22	0,36%
2	744,00	732,00	12,00	3,92	8,14	0,31%
3	732,00	712,00	20,00	3,86	12,00	0,52%
4	712,00	693,00	19,00	4,00	16,00	0,48%
5	693,00	673,00	20,00	4,24	20,24	0,47%
6	673,00	651,00	22,00	3,90	24,14	0,56%
7	651,00	636,00	15,00	3,90	28,04	0,38%
8	636,00	626,00	10,00	4,00	32,04	0,25%
9	626,00	618,00	8,00	4,20	36,24	0,19%
10	618,00	608,00	10,00	3,90	40,14	0,26%
TOTAL	759,00	608,00	151,00	40,14	40,14	0,38%

Fonte: Souza et al., 2011.

Abaixo vemos o gráfico do perfil longitudinal total do trecho considerado.

Figura 39 – Perfil Longitudinal Levantado de um Trecho do Rio Una-PE



Fonte: Autor, 2015.

Aplicando-se as variações de média, desvio padrão e amplitudes oriundas da análise comparativa dos resultados obtidos por diferentes fontes altimétricas de forma a obter a máxima variação de gradiente, ou seja, variando-se a maior cota a montante ao máximo e a menor cota a jusante ao mínimo, e variando-se a maior cota a montante ao mínimo e a menor cota a jusante ao máximo, obtiveram-se os seguintes resultados para a extensão total de estudo (Trecho 1 a10):

Tabela 13 – Tabela de Variação do Gradiente em Função da Variação de Média, Desvio Padrão e Amplitude da Análise Feita entre Nivelamento Trigonométrico e GNSS

Nivelamento Trigonométrico X GNSS							
TRECHO	Cota a montante (m)	Cota a jusante (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão do trecho (Km)	Gradiente do trecho	Combinações	
1 a 10	759,00	608,00	151,00	40,14	0,3762%	Dados originais	
1 a 10	758,71	608,29	150,41	40,14	0,3747%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Média (+/-0,293)
1 a 10	759,29	607,71	151,59	40,14	0,3776%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 10	758,80	608,20	150,60	40,14	0,3752%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação do Desvio Padrão (+/-0,2)
1 a 10	759,20	607,80	151,40	40,14	0,3772%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 10	758,17	608,82	149,35	40,14	0,3721%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Amplitude (+/-0,826)
1 a 10	759,83	607,17	152,65	40,14	0,3803%	Mín. Jusante e Max. Montante	

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 14 – Tabela de Variação do Gradiente em Função da Variação de Média, Desvio Padrão e Amplitude da Análise Feita entre Nivelamento Trigonométrico e MAPGEO2010 – Modelagem Matemática

Nivelamento Trigonométrico X MAPGEO 2010 - Modelagem							
Trecho	Cota a montante (m)	Cota a jusante (m)	Diferença altimétrica (m)	Extensão do trecho (Km)	Gradiente do trecho	Combinações	
1 a 10	759,00	608,00	151,00	40,14	0,3762%	Dados originais	
1 a 10	758,38	608,62	149,76	40,14	0,3731%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Média (+/-0,6204)
1 a 10	759,62	607,38	152,24	40,14	0,3793%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 10	758,81	608,19	150,62	40,14	0,3752%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação do Desvio Padrão (+/-0,1889)
1 a 10	759,19	607,81	151,38	40,14	0,3771%	Mín. Jusante e Max. Montante	
1 a 10	758,08	608,92	149,17	40,14	0,3716%	Max. Jusante e Mín. Montante	Variação da Amplitude (+/-0,9163)
1 a 10	759,92	607,08	152,83	40,14	0,3807%	Mín. Jusante e Max. Montante	

Fonte: Autor, 2015.

Constata-se que a alteração do gradiente para cada situação variou muito pouco em relação ao gradiente calculado a partir de dados originais de campo, demonstrando que para este tipo de estudo há possibilidade de utilizar ambos os métodos de levantamento altimétrico analisados, GNSS e modelagem por MAPGEO2010.

5.4 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO ATRAVÉS DA METODOLOGIA RUSLE

A equação universal de perda de solo revisada ou simplesmente RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) é um modelo empírico para cálculo do arrasto de sedimentos e tem aplicações diversas, como por exemplo, em pequenas bacias hidrológicas. Em dissertação de mestrado Santos (2013) avalia o uso deste modelo para cálculo do montante de sedimentos em uma pequena bacia hidrológica da Região Amazônica, a Bacia do Igarapé do Prata, no município de Capitão Poço - PA. Como mais um estudo de caso com a finalidade de avaliar o impacto em estudos hidrológicos de distintas técnicas de obtenção do referencial altimétrico ortométrico iremos aplicar as variações de média, desvio padrão e amplitude ao cálculo do montante de sedimentos transportados nesta bacia hidrográfica, utilizando para tanto os dados propostos pelo autor do trabalho acima citado, variando apenas o fator declividade (S) na equação RUSLE utilizada.

Neste modelo de perda de solo temos a equação:

$$A = R.K.LS.C.P$$

Onde:

A - perda de solo média por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R - fator de erosividade da chuva, ($MJ.mm ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$);

K - fator de erodibilidade do solo, ($t ha h MJ^{-1} ha^{-1}mm^{-1}$);

LS - fator comprimento e declividade de rampa;

C - fator de uso e cobertura do solo;

P - fator de práticas conservacionistas.

Santos (2013) propõe os seguintes valores da RUSLE para a Bacia do Igarapé do Prata, no Município de Capitão Poço, Estado do Pará:

$R = 12.145 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (fator de erosividade da chuva)

$K = 0,026 \text{ t.ha.h.MJ}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ (fator de erodibilidade do solo)

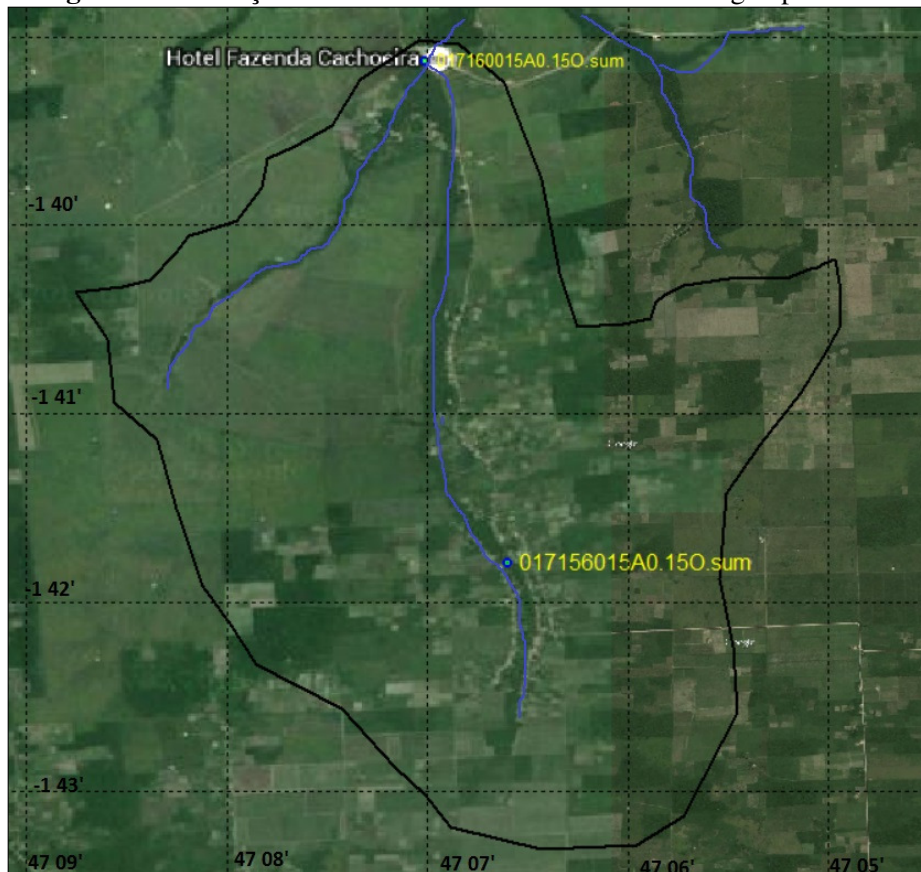
$SL = 0,38$ (fator comprimento e declividade de rampa)

$C = 0,031$ (fator de uso e cobertura do solo)

$P = 1$ (fator de práticas conservacionistas)

Com a finalidade de validar os valores de rampa e declividade (LS) utilizados por Santos (2013), foram levantados dois pontos geodésicos através de rastreamento do sistema GNSS, onde os mesmos tiveram seus dados processados pela técnica de posicionamento por ponto preciso ou PPP, processamento este realizado pelo IBGE, onde foi obtido a diferença de nível entre os mesmos. A Figura 40 demonstra a localização destes pontos em relação a Bacia do Igarapé do Prata.


Figura 40 – Localização dos Pontos Geodésicos na Bacia do Igarapé do Prata



Fonte: Autor, 2015.


A rampa de escoamento considerada (L= 8 Km) foi obtida graficamente a partir do modelo digital apresentado por Santos (2013). Assim os valores de L (rampa) e S (declividade) foram então determinados e servirão de referência para toda a bacia. As figuras 41 e 42 demonstram as monografias geradas para cada marco contendo os dados acima mencionados.

Figura 41 – Monografia do Marco 017156

		Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística				
		Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)				
Sumário do Processamento do marco: 017156						
Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS		2015/01/15 13:25:55,00				
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS		2015/01/15 14:41:55,00				
Modo de Operação do Usuário:		ESTÁTICO				
Observação processada:		CÓDIGO & FASE				
Modelo da Antena:		NÃO DISPONÍVEL				
Órbitas dos satélites: ¹		RÁPIDA				
Frequência processada:		L3				
Intervalo do processamento(s):		5,00				
Sigma ² da pseudodistância(m):		2,000				
Sigma da portadora(m):		0,015				
Altura da Antena ³ (m):		0,000				
Ângulo de Elevação(graus):		10,000				
Resíduos da pseudodistância(m):						
Resíduos da fase da portadora(cm):						
Coordenadas Sirgas						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) ⁴	-1° 41' 48,0838"	-47° 06' 35,6922"	56,07	9812336.220	265268.265	-45
Na data do levantamento ⁵	-1° 41' 48,0779"	-47° 06' 35,6942"	56,07	9812336.401	265268.203	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,000	0,000	0,000			
Modelo Geoidal	MAPGEO2010					
Ondulação Geoidal (m)	-24,22					
Altitude Ortométrica (m)	80,29					
Precisão esperada para um levantamento estático (metros)						
Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências			
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico		
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050		
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025		
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015		
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010		

Fonte: Autor, 2015.

Figura 42 – Monografia do Marco 017160

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)						
Sumário do Processamento do marco: 017160						
Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2015/01/15 15:49:50,00					
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2015/01/15 16:56:15,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	NÃO DISPONÍVEL					
Órbitas dos satélites:¹	RÁPIDA					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	5,00					
Sigma² da pseudodistância(m):	2,000					
Sigma da portadora(m):	0,015					
Altura da Antena³(m):	1,386					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,68 GPS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,34 GPS					
Coordenadas Sirgas						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada)⁴	-1° 39' 08,3775"	-47° 07' 00,1349"	27,82	9817242.230	264507.261	-45
Na data do levantamento⁵	-1° 39' 08,3717"	-47° 07' 00,1369"	27,82	9817242.409	264507.199	-45
Sigma(95%)⁶ (m)	0,017	0,050	0,088			
Modelo Geoidal	MAPGEO2010					
Ondulação Geoidal (m)	-24,22					
Altitude Ortométrica (m)	52,04					
Precisão esperada para um levantamento estático (metros)						
Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências			
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico		
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050		
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025		
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015		
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010		

Fonte: Autor, 2015.

Foi então determinado um valor de LS igual a 0,048, ficando este valor dentro da margem de variabilidade proposta por Santos (2013), que foi de 0,001 a 2,83 tendo como valor considerado pelo autor 0,38. Introduzindo-se na equação RUSLE este novo valor de LS para a bacia em estudo e mantendo-se constantes os demais valores dos termos da equação propostos pelo autor foi possível calcular o valor do montante anual de solo sedimentado para a bacia 0,47 t.ha⁻¹.ano⁻¹, valor este que será o referencial na análise.

Em seguida foi calculado diversos valores de produção de sedimentos para a bacia em questão em função da variação do fator R (declividade) da equação RUSLE, em função dos valores de média, desvio padrão e amplitude, valores estes vindos da análise comparativa de dados altimétricos determinados por fontes diversas (rastreamento GNSS, modelagem matemática e topografia convencional).

As Tabelas 14 e 15 demonstram as variações no quantitativo final de sedimentos ao aplicar as variações no fator declividade da bacia (R).

Tabela 15 – Variação do Montante de Sedimentos em Função da Variação da Declividade da Bacia.

Varição Produção Sedimentos Em Função do Fator Declividade R			
Nivelamento Trigonométrico X GPS			
Varição Aplic. S (LS)	Δ Decliv.	Δ LS	Δ A (t/ha.ano)
Decliv. Média Bacia (Ref.)	0,0035	0,0283	0,2765
Decliv. Max. (Média) ↑0,293	0,0036	0,0285	0,2794
Decliv. Min. (Média) ↓1,293	0,0035	0,0280	0,2737
Decliv. Max. (Desv. Padrão) ↑0,2	0,0036	0,0285	0,2785
Decliv. Min. (Desv. Padrão) ↓0,2	0,0035	0,0281	0,2746
Decliv. Max. (Amplitude) ↑0,826	0,0036	0,0291	0,2846
Decliv. Min. (Amplitude) ↓0,826	0,0034	0,0274	0,2684

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 16 – Variação do Montante de Sedimentos em Função da Variação da Declividade da Bacia.

Varição Produção Sedimentos Em Função do Fator Declividade R			
Nivelamento Trigonométrico X MAPGEO2010			
Varição Aplic. S (LS)	Δ Decliv.	Δ LS	Δ A (t/ha.ano)
Decliv. Média Bacia (Ref.)	0,0035	0,0283	0,2765
Decliv. Max. (Média) ↑0,6204	0,0036	0,0289	0,2826
Decliv. Min. (Média) ↓0,6204	0,0035	0,0276	0,2705
Decliv. Max. (Desv. Padrão) ↑0,1889	0,0036	0,0284	0,2784
Decliv. Min. (Desv. Padrão) ↓0,1889	0,0035	0,0281	0,2747
Decliv. Max. (Amplitude) ↑0,9163	0,0036	0,0292	0,2855
Decliv. Min. (Amplitude) ↓0,9163	0,0034	0,0273	0,2676

Fonte: Autor, 2015.

A **Tabela 17** mostra a média, o desvio padrão e a amplitude destas variações de produção de sedimentos em função das variações de declividade aplicadas a declividade média da bacia.

Tabela 17 – Média, Desvio Padrão e Amplitude das Variações da Produção Anual de Sedimentos Para a Bacia do Igarapé do Prata

Produção de Sedimentos A (t/ha.ano)				
	Média	Des. Pad.	Amplitude	Varição da Produção de Sedimentos em Relação ao Valor de Referência (%)
Nivelamento Trigonométrico X GPS	0,2765	0,0056	0,0162	5,85%
Nivelamento Trigonométrico X MAPGEO2010	0,2765	0,0069	0,0179	6,49%

Fonte: Autor, 2015.

Com base nos dados da tabela 17, podemos concluir a média dos valores de produção de sedimentos para ambas as comparações deu exatamente o valor de referência (0,2765 t/ha.ano) e as amplitudes refletiram pouca variação desta produção com relação ao valor de referência, indicando a aplicabilidade de ambos os métodos neste tipo de estudo hidrológico. Já os valores e desvio padrão semelhantes indica, para ambos os métodos, pouca dispersão no valor final de produção de sedimentos, tanto para levantamento com GPS, como para o método de modelagem por MAPGEO2010, no caso deste tipo de estudo de arrasto de sedimentos.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES

A análise feita entre as diferentes técnicas de obtenção das alturas ortométricas, geodésia, através de rastreamento de sistemas GNSS e a modelagem matemática, através do sistema de interpolação geoidal do IBGE (MAPGEO 2010) em relação as técnicas convencionais de levantamento ou seja o nivelamento trigonométrico topográfico, demonstram variações que quando aplicadas para cálculo de grandes áreas de inundação, *com topografia pouco acidentada*, como é o caso da área da cidade de Altamira, geram valores com diferença excessiva para serem considerados no caso de áreas densamente habitadas, gerando por tanto uma elevada margem de variação possível, uma vez que devido à natureza do terreno, pequenas variações nos valores altimétricos repercutem significativamente no valor da área inundada.

No estudo de caso analisado para área de inundação, as variações encontradas para o valor da área inundada foram da ordem de 74,75%, 29,71% e 79,23% respectivamente quando aplicadas a média, desvio padrão e amplitude advindos da análise feita entre a técnica de modelagem matemática e a técnica convencional de levantamento topográfico. Já da análise feita entre a técnica de rastreamento GNSS e a técnica convencional de levantamento topográfico, obteve-se variações de 33,16%, 32,91% e 64,98%, demonstrando a inaplicabilidade de tais técnicas para o caso analisado.

Já no caso de levantamentos de perfis longitudinais de rios a variação altimétrica alcançada em função da extensão do trecho calculado mostrou uma variação de gradiente muito pequena, mesmo quando se trata de cursos d'água com perfis longitudinais diferentes, no caso do rio Mãe-do-Rio o gradiente levantado foi de 0,003% sendo que a maior variação resultou em um gradiente de 0,010% e para o rio Una o gradiente de referência 0,376% deve sua maior variação para 0,380%, sugerindo ser possível a utilização de quaisquer dos dois métodos analisados para serem utilizados neste tipo de estudo hidrológico.

No caso do cálculo do montante de sedimentos em bacia hidrográfica na região amazônica (**método RUSLE**), verificou-se que a média das variações do quantitativo final de sedimentos (0,2765 t/ha.ano) foi idêntico ao valor de referência utilizado, sendo que este montante variou entre 5,85% e 6,49%, indicando aplicabilidade de ambos os métodos para este tipo de estudo hidrológico.

Como continuidade dos estudos, sugere-se aplica-se esta mesma metodologia utilizada em outra análise comparativa com características de relevos diferentes das utilizadas neste

estudo, tais como maior extensão da seção de nivelamento, com topografia mais acidentada, utilizar como valores de referência o levantamento geométrico que, em tese, é mais preciso que o trigonométrico utilizado neste trabalho, aumentar o tempo de ocupação GNSS nos pontos ao longo da seção de nivelamento aproximando-se do tempo de ocupação das RN's, aplicar as variações encontradas em estudos de casos de naturezas distintas em relação aos aqui abordados tais como cálculo de áreas de contribuição de bacias hidrográficas, estudos de drenagem, aquedutos, transposição de bacias, para que se possa obter outros estudo comparativo, buscando contribuir assim para que métodos alternativos, céleres, acessíveis do ponto de vista técnico e econômico possam ser cada vez mais utilizados na obtenção de dados altimétricos e alturas ortométricas que subsidiem estudos hidrológicos, para fins de engenharia.

REFERÊNCIAS

- ARANA, D.; ARANA, J. M. Associação GNSS/Nivelamento ao MAPGEO2010 na determinação da ondulação Geoidal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 5, 2014, Recife. **Anais [online]**... Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/geodesia/images/simgeo/papers/63-559-1-PB.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.
- BIRARDI, G., SANTARSIERO, D., TUFILLARO, D., SURACE, L. Setting-up local “mapping geoids” with the aid of GPS/LEV Traverses Application to the geoids of Sardinia and Calabria. **Journal of Geodesy**., Berlin. v 70. N. 1-2, 1995.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energias. **Aproveitamento hidrelétrico Belo Monte**: Diagnóstico da área de influência indireta – meio socioeconômico e cultural, estudo de impacto ambiental. Brasília, 2009. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BM/DocsOf/EIA-09/Vol%2011/TEXTOS/Diagn%C3%B3stico%20AID%20e%20ADA%20-%20Meio%20F%C3%ADsico.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2014.
- DE MATOS, A. C. O. C. et al. Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.l.], v. 18, n. 1, abr. 2012. ISSN 1982-2170. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/bcg/article/view/26462>>. Acesso em: 24 Jun. 2015.
- FEATHERSTONE, W. E., DENTITH, M. C.; KIRBY, J. F. Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS. **Survey Review**, New York, v. 34, n. 267, jan. 1998.
- GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Física**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná UFPR, 1999.
- GOMES, J. P. **Determinação de Desníveis de Precisão Utilizando Estação Total**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual para padronização de procedimentos de nivelamento geométrico**, Versão 1.b. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. **MAPGEO2004** – Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal. Versão 3.0. Dez., 2008a.
- _____. **Modelo de ondulação geoidal**. 2008b Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm> Acesso em: 1 fev. 2014.

_____. **Resolução - PR Nº 22**, de 21 de julho de 1983. Aprova as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/bservico1602.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: New York: Walter de Gruyter, 1988.

LUZ, R. T. **Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS**. 2008. 207 f. Tese (Doutorado - Ciências Geodésicas) - Universidade Federal da Paraná, Curitiba, 2008.

McCORMAC, J. C. **Topografia**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MEDEIROS JÚNIOR, F. A.; COSME, C. R.; MEDEIROS, F. Nivelamento Utilizando o GPS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2, 2014, Recife. **Anais [online]...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/cart_sig/013.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2014.

MOREIRA, A. S. B. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN da NBR 13.133**: limites e condições de compatibilidade. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

MOREIRA, D. M. **Rede de referência altimétrica para avaliação da altimetria por satélites e estudos hidrológicos na região amazônica**. 2010. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2010.

POLETO, L. J. et al. Validação de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2, 2008, Recife. **Anais [online]...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/>. Acesso em: 25 jan. 2014.

SÁ, N. C. Um geóide para aplicação do GPS em Geociências. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 3, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 584-589.

SANTOS, D. B. O. **Aplicação das RUSLE a uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia**. 2013. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFPA/PPGEC/ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Belém, 2013.

SILVA, J. S. et al. Variações Temporais de Níveis D'água na Bacia do Rio Negro Estimadas pelo Satélite Altimétrico. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, São Paulo (Brasil). **Anais ...** Porto Alegre - RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

SOUZA, R. B.; SOUZA, J. B.; GOLDFARB, M. C. Determinação e análise do perfil longitudinal do Rio Una – Pe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais [online]...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em:

<<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&PAG=8> >. Acesso em: 25 jan. 2014.

TOPCON CORPORATION. **Topcon, GTS-105N, total station**. 2014. Disponível em: <www.topcon.com>. Acesso em 25 ago. 2014.

VERGASTA, L. A. et al. Variabilidade temporal e sazonal do regime hidrológicono Bacia do Rio Napo estimadas pelo satélite altimétricoenvisat . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011, Maceió. **Anais [online]...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&PAG=8> >. Acesso em: 25 jan. 2014.