



**MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL**

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES PARA LEVANTAMENTOS
TOPOBATIMÉTRICOS EM CORPOS LÊNTICOS DE INTERESSE
AMBIENTAL**

HELGA GIOVANNA CARVALHO FONSECA

MACAÉ/RJ
2016

HELGA GIOVANNA CARVALHO FONSECA

**DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES PARA LEVANTAMENTOS
TOPOBATIMÉTRICOS EM CORPOS LÊNTICOS DE INTERESSE
AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense, Campus Macaé, na linha de Desenvolvimento e Sustentabilidade, área de atuação: Meio Ambiente e Materiais.

Orientação: D.Sc. Jader Lugon Júnior

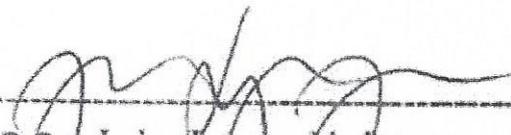
Co-orientação: D.Sc. Cristine Nunes Ferreira

MACAÉ/RJ
2016

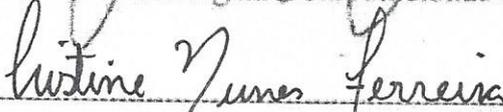
Dissertação intitulada, **DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES PARA LEVANTAMENTOS TOBATIMÉTRICOS EM CORPOS LÊNTICOS DE INTERESSE AMBIENTAL** elaborado por Helga Giovanna Carvalho Fonseca e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, na área de Meio Ambiente e Materiais, linha de Desenvolvimento e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovado em: 29/09/2016

Banca Examinadora:



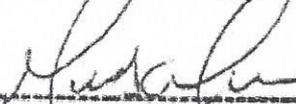
Orientação: Prof.: D.Sc. Jader Lugon Júnior
Doutor em Modelagem Computacional/UERJ, IFFluminense.



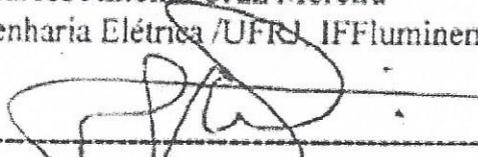
Co-orientação: Prof. D.Sc. Cristine Nunes Ferreira
Doutora em Física /CBPF, Pós-Doutorado em Física /UFRJ
E em Supercordas e teoria M /ICTP, IFFluminense.



Prof.: D.Sc. Francine de Almeida Kalas
Doutorado em Modelagem Computacional/ UERJ



Prof.: D.Sc. Marcos Antonio Cruz Moreira
Doutor em Engenharia Elétrica /UFRJ, IFFluminense.



Prof.: D.Sc. José Augusto Ferreira da Silva
Doutor em Geografia/ UNESP, IFFluminense.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F676d Fonseca, Helga Giovanna Carvalho, 1978-
Desenvolvimento de soluções para levantamentos
topobatimétricos em corpos lênticos de interesse ambiental/
Helga Giovanna Carvalho Fonseca. – Macaé, RJ, 2016.
74 f.: il. color.

Orientador: Jader Lugon Júnior.
Coorientador: Cristine Nunes Ferreira.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Recursos hídricos - Macaé, Rio, Bacia (RJ). 2. Topografia -
Macaé (RJ). 3. Canal do Capote (RJ). 4. Hidrologia - Medição.
5. Sensoriamento remoto. 6. Mapas batimétricos. I. Lugon
Júnior, Jader, 1962-, orient. II. Ferreira, Cristine Nunes,
coorient. III. Título.

CDD 551.48

23.ed.

Dedico esse trabalho aos meus filhos: Fernanda, Lucca e Luísa pelo tempo que lhes foram furtados para dedicar-me à pesquisa. Obrigada por apoiarem a realização desse sonho e por serem tão companheiros e amáveis.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força interior, pela racionalidade e inteligência emocional que sempre disponibilizou para minha vida e, pelo amparo nos momentos de desalento.

Ao apoio dado a mim pela CAPES por meio da bolsa de pesquisa que me auxiliou economicamente viabilizando este projeto. O fomento dessa instituição foi fundamental para garantir minha formação como mestra e, por conseguinte, pode ampliar o meu universo de conhecimento tornando exequível uma colaboração mais efetiva e técnica no que diz respeito a questões ambientais.

Aos meus filhos amados, mais uma vez, meu muito obrigada pela paciência, compreensão e colaboração. Na certeza de que estamos trilhando um caminho de sucesso, fundamentado em estudo, conhecimento, os momentos em que estive ausente, passaram! Essa conquista é para vocês!

Ao Jader e Cristine, meu muito obrigada por compartilhar, neste período, um pouquinho da competência de vocês direcionando-me de maneira mais objetiva e racional no projeto de pesquisa. De maneira especial, ao Jader, pela confiança, humildade, clareza nos estabelecimentos das metas e pela amizade construída.

Aos eternos amigos: Edinilson, Sabrina, Wilker, Saulo, Rosenhaim e Pedro que se prestaram como apoiadores emocionais e incentivadores. Cada sorriso, cada troca de ideias foi fundamental para conclusão desse mestrado. Equipe comprometida é tudo!

Minha gratidão ao Pedro pela disponibilidade e paciência em transmitir seus conhecimentos. Eles foram fundamentais ao progresso desse artigo.

Aos meus pais, minha eterna gratidão. Obrigada pelo apoio incondicional em tudo. Principalmente por cuidar, todas as férias, dos meus três filhos para que eu pudesse progredir com a pesquisa. Itatianni, minha irmã, agradecida pela gentileza e consideração em assistir seus sobrinhos nestas semanas finais.

Ao grande amigo Marcel por ter colaborado nos trabalhos em campo. Sua ajuda foi de grande valia para a elaboração dessa dissertação.

Ao ex-marido, Beethoven, meu sincero obrigada pela ajuda financeira e meu reconhecimento pela parceria nos projetos. A ex-sogra, Celestina, pelo suporte na logística com as crianças nos períodos em que tinha que me ausentar da cidade, minha gratidão.

“A matemática é o alfabeto no qual Deus escreveu o universo”.

Galileu Galilei

RESUMO

Os assuntos abordados nesta dissertação referem-se a métodos utilizados em levantamentos topobatimétricos, dados fundamentais em muitas ferramentas de simulações ambiental. A escolha da tecnologia a ser aplicada, bem como os referenciais geodésicos adotados implicam diretamente na qualidade dos resultados obtidos na representação dos cenários a serem investigados. Muitas decisões são fundamentadas tomando-se como premissa os produtos gerados por meio de ferramentas numéricas, por tanto, ser metódico e diligente com os parâmetros que subsidiarão essas ferramentas é crucial para deliberações mais assertivas. A dissertação aborda sobre as principais metodologias de levantamentos batimétricos existentes a fim de elucidá-las e, dessa maneira, delineou os procedimentos necessários para fazer o levantamento no canal. A topobatimetria também foi tema chave e, coadunado a ele, um conjunto de sistematizações acerca de referenciais altimétricos e planimétricos importantes para a materialização correta dos dados obtidos. De posse dessas metodologias, foi realizado o levantamento no corpo hídrico de interesse: Canal do Capote na cidade de Macaé/RJ para gerar Modelo Digital de Terreno (MDT) dessa área. Com a criação do Terreno Digital (TD), esse servirá de apoio para geração de simulações dos mais diversificados fenômenos de interesse ambiental contribuindo para gestão, com qualidade, de problemas como enchentes, assoreamento, qualidade da água, dentre outros. O objetivo geral da dissertação fica pautada na importância do levantamento batimétrico e topobatimétrico como parâmetros de entrada para a ferramenta de simulação, no caso em questão foi utilizado o MOHID, para construção de um TD mais fidedigno ao sistema real.

Palavras chaves

Batimetria. Topobatimetria. Mohid.

ABSTRACT

The issues addressed in this paper relate to methods used in topbathymetric surveys, key data in many tools of environmental simulations. The choice of technology to be applied, as well as the adopted geodetic reference directly affect the quality of the results in the representation of the scenarios to be investigated. Many decisions are based taking as a premise the products generated by numerical tools, therefore, be methodical and diligent with the parameters that subsidize these tools is crucial to more assertive decisions. The first article provides a literature review on the main methodologies of existing bathymetric surveys to elucidate them and thus, outlined the procedures necessary to survey the channel. The topbathymetric was discussed in the second article, incorporated to it, a set of systematization about altimetry referential and planimetric important for proper realization of the data. With these methodologies, survey was carried out in the water body of interest: Channel Capote in the city of Macaé / RJ to generate Digital Terrain Model (DTM) of the area. With the creation of Digital Terrain (DT) , this will support to generate simulations of the most diverse phenomena of environmental interest by contributing to management, quality problems such as flooding , siltation , water quality , among others. The general purpose of this work is guided by the importance of bathymetric survey and topobathymetric as input parameters for the simulation tool, in this case we used the MOHID , to build a more reliable system to the actual TD .

Keywords

Bathymetry. Topobathymetry . MOHID .

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

FIGURAS 01	
Mapa batimétrico do Gofu do México 1874-1875.....	20
FIGURAS 02	
Ilustração do prumo.....	21
FIGURAS 03	
Régua graduada	22
FIGURA 04	
Batimetria por RADAR.....	23
FIGURAS 05	
Ilustração didática do cálculo do perfil topográfico pela varredura por LIDAR.....	24
FIGURAS 06	
Ilustração das variáveis velocidade e profundidade.....	25
FIGURAS 07	
Ilustração do sondador multicanal.....	27
FIGURAS 08	
Feixe simples e multifeixe.....	28
FIGURAS 09	
Batimetria por ondas eletroespectrais.....	29

ARTIGO II

FIGURA 01	
Superfície da Elipsoide de Referência e Coordenadas Geodésicas de um Ponto na Superfície Física da Terra.....	40
FIGURA 02	
Esquema das SGR vertical.....	42
FIGURA 03	
Tela do software MAPGEO2015.....	42
FIGURA 04	
Layout do software de aquisição de dados do GPS/GLONASS.....	51
FIGURA 05	
Ilustração das variáveis utilizadas para o cálculo da topobatimetria.....	54

FIGURA 06	
Mapa panorâmico da região de interesse gerado no MOHID.....	57
FIGURA 07	
Geração do grid e polígonos no MOHID.....	57
FIGURA 08	
Representação das Topobatimetrias em relação ao elipsoide e geoide.....	58
FIGURA 09	
Representação dos Dados da NASA e Dados Ajustados aferidos pelos instrumentos.....	59
FIGURA 10	
Dados NASA associados a topobatimetria em relação ao elipsoide de referência WGS84.....	60

LISTA DE QUADROS**ARTIGO II**

QUADRO 01	
Constelação GPS.....	47
QUADRO 02	
Constelação GLONASS.....	49

LISTA DE FOTOS

FOTO 01	
Plataforma para embarcar os instrumentos.....	52
FOTO 02	
Método da régua em “L” com a trena afixada para leitura da profundidade do canal.....	52
FOTO 03	
Utilização do GPS/GLONASS, no limiar do ar e água.....	53
FOTO 04	
Canal do Capote – Bairro Glória em Macaé/ RJ.....	55
FOTO 05	
Gigogas.....	56
FOTO 06	
Esgoto doméstico.....	56
FOTO 07	
Área de alagamento no início do período das chuvas, sem o lançamento de efluentes.....	56

LISTA DE TABELAS**ARTIGO I**

TABELA 01	
Características da Onda.....	28

ARTIGO II

TABELA 01	
Sistema Geodésico Brasileiro.....	43
TABELA 02	
Parâmetros dos Semi-eixo maior e o achatamento dos elipsoides.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS - *Selective Availability*
BIH - *Bureau International de L'Heure*
CA - *coarse acquisition*
CTP - Pólo Terrestre Convencional
DTED - *Digital Terrain Elevation Data*
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
HTL - *Level of High Tide*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS - Instituto de Democracia e Sustentabilidade
IERS - *International Earth Rotation System*
IFSAR - *Interferometric Synthetic Aperture Radar*
ITRS - *Terrestrial Reference System*
LiDAR - *Light Detection and Ranging*
LTL - *Level of Low Tide*
MDT – Modelo Digital de Terreno
MSL - *Mean Sea Level*
NAD 27 - *North American Datum*
NADCON - *North American Datum Conversion Utility*
NAVD 88 - *Vertical do Norte Datum de 1988*
NGVD 29 - *Geodetic Vertical Datum Nacional de 1929*
NGS - *National Geodetic Survey*
NMEA - *National Marine Electronics Association*
NMM – Nível Médio do Mar
NOAA - *Natinal Oceanic and Atmospheric Administration*
PDOP - *Dilution of Precision*
PRN - *Pseudorandom Noise*
PZ90 - *Parametry Zemli*
RADAR - *Radio Detection And Ranging*
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro
SGR – Sistema Geodésico de Referência
SLR - *Satelite Laser Range*
SONAR- *Sound Navigation and Ranging*
SR - Sensoamento Remoto
TD – Terreno Digital
VLBI - *Very Long Baseline Interferometry*
WGS84 - *World Geodetic System de 1984*

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
<i>ABSTRACT</i>.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE FOTOS.....	XII
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIV
INTRODUÇÃO.....	17
ARTIGO CIENTÍFICO I	19
RESUMO	19
ABSTRACT	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Batimetria Rudimentar.....	21
2.1.1 Prumo de mão.....	21
2.1.2 Régua graduada.....	21
2.2 Sensoriamento Remoto.....	22
2.2.1 Sensoriamento remoto – sensor ativo.....	22
Batimetria por RADAR.....	23
Batimetria LiDAR – Laser.....	24
Batimetria por sistema acústico.....	25
I Sonar ativo.....	26
I.a Sonar feixe único.....	26
II.b Sonar multicanal.....	27
II.c Sonar multifeixe.....	27
III.d Varredura lateral.....	28
2.3 Sensoriamento remoto - sensor passivo.....	28
2.3.1 Eletroespectrais.....	29
3 MATERIAL E MÉTODO	29
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30

5 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ARTIGO CIENTÍFICO II.....	36
RESUMO.....	36
<i>ABSTRACT</i>	36
1 INTRODUÇÃO.....	37
2 REVISÃO NA LITERATURA.....	39
2.1 Sistema Geodésico.....	39
2.1.1 SGR Horizontal.....	40
2.1.2 SGB Vertical.....	41
2.2 Métodos de Transformação Entre Sistemas de Referências.....	43
3 TOPOBATIMETRIA E BATIMETRIA DO CANAL DO CAPOTE NA CIDADE DE MACAÉ: DEFINIÇÃO E INSTRUMENTOS REQUERIDOS PARA O SEU LEVANTAMENTO.....	45
3.1 GPS/GLONASS.....	45
3.1.1 Dados Obtidos em Campo do sensor GPS/GLONASS.....	49
3.2 Sonda/ Batimetria.....	51
4 METODOLOGIA PARA A TOPOBATIMETRIA.....	53
5 CANAL DO CAPOTE.....	54
6 CENÁRIOS DO CANAL – TERRENO DIGITAL.....	55
7 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
APÊNDICE.....	68

INTRODUÇÃO

A batimetria é o mais tradicional método de investigação de áreas submersas, possibilitando a medição da espessura da coluna de água em um ambiente. Dados batimétricos são subsídios fundamentais para alicerçar:

- Projetos de dragagens;
- Projetos de derrocamentos;
- Planejamento de portos e estuários;
- Planejamento de hidrovias;
- Outorga de rios;
- Análise da capacidade de reservatórios artificiais;
- Monitoramento do processo de Assoreamento de reservatórios, lagos e rios;
- Modelagens hidrodinâmicas.

Com a crescente preocupação a respeito da preservação do recurso hídrico, e da perenidade desse serviço ambiental, deter o maior número de informações sobre o mesmo, corrobora para ações mais assertivas de gestão das águas. As soluções apontadas por gestores públicos para solucionar questões de ordem hídrica são, comumente, saídas urgentes e imediatas, como a transposição e integração de sistemas, redução de consumo e de desperdício e uso do volume morto. O monitoramento contínuo é uma maneira de acompanhar o fenômeno e, mediante os dados, auxiliar no controle e nos riscos. Esse acompanhamento permite evitar ações emergenciais favorecendo, as preditivas. Apesar do acesso a muitos bancos de dados, a correlação entre eles não é feita (apenas a nível acadêmico) e a visão sistêmica da informação fica comprometida pela percepção isolada. As observações dos relevos pelas informações obtidas com o estudo da batimetria ajudam na compreensão de fatores como: quantidade de sedimentos, hidrodinâmica, investigação de habitats específicos, identificação do relevo do leito, contrastes texturais existentes na superfície de fundo, migrações de barras, formações de ilhas, e, de maneira indireta, área da bacia hidráulica de reservatório e medição de vazão em rios, córregos, investigação da pesca e estudos de patrimônio e arqueologia. Comprovando, pelos exemplos anteriores, esta técnica é uma ferramenta para gestão dos recursos hídricos.

Assim como a batimetria é um procedimento estratégico para imprimir características relevantes de uma área, a topografia também o é. Representar, em projeção horizontal, as dimensões, contornos e posições relativas de uma parte da superfície terrestre mostrando sua posição altimétrica e área faz a aplicabilidade desta ciência ser multidisciplinar. A informação de dado topográfico é indispensável aos planejamentos de drenagem, esgoto, florestal, conservação de solos, cadastro de imóveis, seções transversais, dentre tantos outros empregos. Levantamento topográfico desempenha um papel importante no monitoramento de rios, reservatórios, pois esses abastecem a área urbana, promove o desenvolvimento agrícola e industrial. O controle de enchentes também é beneficiado pela aplicação do seu uso.

Como a área de interesse desta dissertação é a topografia do fundo do canal, operações com a altimetria até o limite da lâmina d'água e os dados batimétricos foram desenvolvidas. Assim, criou-se pontos do perfil da área submersa e, por conseguinte, com o emprego da ferramenta Mohid, pôde-se gerar a feição do canal obtendo-se um modelo para estudos, futuros, de processos físicos e biogeoquímicos desse corpo de água superficial.

A presente dissertação abordou sobre o desenvolvido de soluções para o levantamento topobatimétrico em corpos lênticos. Com as soluções implementadas, alcançou-se a projeção do terreno de fundo do canal gerando um perfil compatível com o real.

A pesquisa teve dois momentos, uma de revisão bibliográfica e outra de implementação das soluções para o levantamento topobatimétrico. Sob a temática topobatimetria, abordou o tema de forma quantitativa, pois foram requeridas manipulações matemáticas para adequação dos dados adquiridos dos sensores utilizados ao formato da Terra, além de manipulação do software Mohid. Verificou-se que há uma pluralidade de fontes de informações planimétricas e altimétricas, mas, falta a documentação do referencial ao qual estão relacionadas. Isso gera erros de posicionamento prejudicando o desenvolvimento da criação do terreno. Essa preocupação foi apontada e solucionada com as metodologias ali elencadas. Ao abordar sobre a batimetria, foi feito um levantamento bibliográfico, exploratório dos habituais procedimentos dessa tecnologia para ambientes subaquáticos. A revisão contribuiu com a identificação dos limites e aplicações dos métodos existentes para fazê-la. Permitiu observar uma deficiência dessa técnica por métodos que gerassem dados mais precisos para águas rasas (0,20 – 3m) devido propriedade de atenuação por dispersão, absorção e refração do som. Estes fatores estão, respectivamente, relacionados com altura de lâmina de água, viscosidade e sedimentos, influenciando na velocidade de propagação da onda acústica neste meio.

Por tanto, o objetivo principal dos dois artigos foi elencar a importância do levantamento batimétrico e topobatimétrico em corpos hídricos continentais para contribuir, como parâmetros de entrada mais acurados à ferramenta de simulação MOHID, a fim de construir TD mais fidedigno ao sistema real. Assim, gerar diagnósticos contundentes do fenômeno de interesse a ser investigado.

ARTIGO CIENTÍFICO I

Revisão das Tecnologias Utilizadas para Levantamento Batimétrico em Corpos Hídricos ¹

RESUMO

A obtenção de informações confiáveis sobre corpos hídricos é substancialmente importante para a gestão, monitoramento e modelagem de tais sistemas. Empregar técnicas batimétricas apropriadas às diferentes aplicações contribui para a acurácia dos dados, permitindo uma melhor eficiência no diagnóstico do ecossistema estudado. O objetivo deste artigo foi fazer uma inquirição dos triviais procedimentos para investigação das topografias de fundo dos corpos hídricos. A pesquisa, do ponto de vista de sua natureza, é classificada como básica, abordando o assunto de maneira qualitativa. Foi identificada uma lacuna para estimar a batimetria em águas rasas, onde sedimentação, temperatura e viscosidade interferem na constante de velocidade do som.

Palavras-chave: Topografia; sensor remoto; habitat aquático

Review of the Technologies Used for Bathymetric Survey in Water Bodies

ABSTRACT

Reliable information is of substantial importance to management, monitoring and modeling of water bodies. Employ appropriate bathymetric techniques to different applications, contributing to accuracy of data allowing for better efficiency in the diagnosis of the studied ecosystem. The aim of this article was to make an inquiry of trivial procedures for investigation of bottom topographies of water bodies. From the point of view of its nature, the research is classified as basic, addressing the issue in a qualitative way. A gap has been identified to estimate the bathymetry in shallow waters, where sedimentation, temperature and viscosity affect the speed of sound constant.

Keywords: *Topography. Remote sensor. Aquatic habitat.*

¹ JESUS, H. G. C. F. M.; JUNIOR, J. L.; FERREIRA, C. N. Revisão das Técnicas Utilizadas para Levantamento Batimétrico em Corpos Hídricos. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.9 n.2, p. 145-163. DOI: 10.19180/2177-4560. jul./dez. 2015.

1 Introdução

Este trabalho fez um levantamento bibliográfico das principais tecnologias de batimetria levando em conta suas características, metodologias e aplicações. Os limites dos procedimentos, identificados na literatura, também estão presentes para servir de estímulo a novas pesquisas que visem encontrar soluções para mitigá-los.

Durante a Guerra Civil Americana, esforços foram criados para pesquisa da costa. No inverno de 1874-1875, começou o processo de mapeamento sistemático do Golfo do México, resultando no primeiro mapa batimétrico moderno e preciso do oceano profundo, como representado na Figura 1.

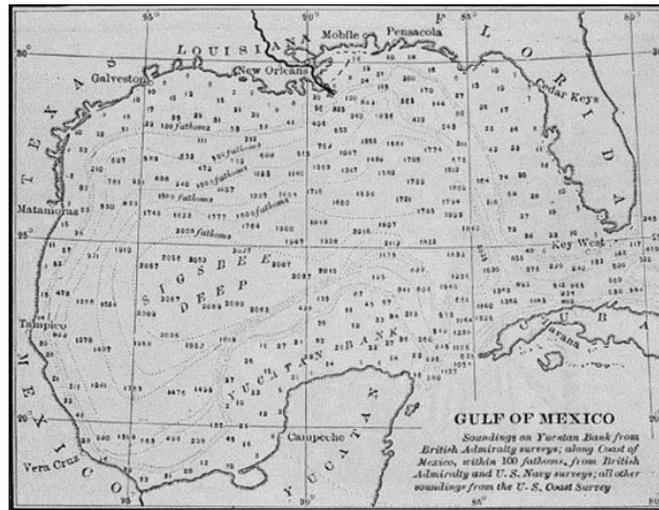


FIGURA 1: Mapa batimétrico do Gofu do México 1874-1875

(Em: <<http://oceanexplorer.noaa.gov/history/breakthru/breakthru.html>>. Acesso em: 4 de ago. 2015)

A tecnologia também é impulsionada pelo fator econômico. Em Ferreira (2013), é citada a importância da batimetria para a navegação como se observa abaixo:

Mais de 80% do comércio internacional é transportado por vias aquáticas e no Brasil não é diferente. Apenas esta afirmação já poderia ser suficiente para justificar o estudo relacionado a geodesia marinha. Contudo, principalmente no Brasil os conhecimentos acerca dos relevos submersos ainda são escassos.

Processos hidrodinâmicos e acompanhamento da erosão (KRUG; NOERNBERG, 2005), identificação de vulnerabilidade pela interferência antrópica (JESUS; CRUZ, 2014), derivação de critérios morfológicos para definir a extensão jurídica da plataforma continental (MARTINS; NUNES, 2006) ressaltam a importância da técnica. O conhecimento da topografia para compreensão física do oceano, da biologia marinha, da química e da geologia e estratégico (SMITH; SANDWELL, 1997), pois esse ambiente passa a evidenciar uma potencialidade de oportunidades econômicas com rica reserva natural e energética (RIORDAN et al., 2012). O monitoramento por batimetria permite detectar e apreciar a evolução de tendências do relevo do solo que é de muita valia científica, ambiental e econômica (VICENTE et al., 2004).

O imageamento acústico do ambiente subaquático é usado em uma ampla gama de aplicações operacionais e de pesquisa, motivando o estudo nesta área para aprimorar o transdutor ou métodos ligados ao melhoramento da propagação da onda sonora.

No decorrer do artigo serão apresentados os tipos de levantamentos batimétricos, aplicações e restrições a depender do método empregado e da plataforma.

2 Revisão bibliográfica

Nesta seção abordar-se-ão os métodos rudimentares mais utilizados para a medição de profundidade bem como os tipos de sensores remotos empregados para obtenção da batimetria.

2.1 Batimetrias Rudimentares

2.1.1 O prumo de mão

Consiste em um peso de chumbo contendo na sua parte superior uma alça, e na base um cavado, onde se coloca sabão ou sebo, com a finalidade de trazer uma amostra da qualidade do fundo. A linha de barca é amarrada na alça da chumbada, onde se faz uma graduação em metros. Geralmente, gradua-se a linha com o zero distante da alça da chumbada de um comprimento igual à altura da mão do operador acima do plano de flutuação. A partir do zero, faz-se marcações padronizadas na linha e estas são correspondentes a uma escala. A graduação deve ser feita com a linha molhada ou uma já usada e esticada previamente. A velocidade do navio deve ser em torno de 3 nós e, o operador deve lançar a chumbada para vante e fazer a leitura quando o prumo estiver a pique. A leitura de profundidade é geralmente maior que a real devido a catenária formada pela linha. O comprimento da linha varia de 25 a 45 metros e o peso da chumbada de 2,5 a 7 quilos (INSTRUMENTOS NÁUTICOS, *s.d.*). Esta técnica permitia a construção de mapas e gráficos de profundidade.

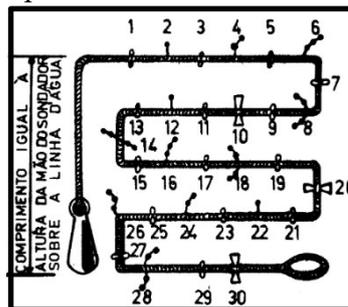


FIGURA 2: Ilustração do prumo (www.mar.mil.br)

2.1.2 Régua graduada

É um método que permanece em uso em alguns lugares pelo seu reduzido custo e simplicidade. Em contrapartida, erros de leitura são comuns como a imperícia do observador e posicionamento incorreto da régua. A régua pode ser de madeira ou metal e afere medidas de profundidade tanto sozinho quanto em conjunto a sonares para calibrá-los na correção do valor de velocidade do som na água (THOMAZINI, ALBUQUERQUE, 2008). É aplicável em rios pequenos, não muito largos e, principalmente, com profundidades inferiores a 1 m e velocidades abaixo de 1 m/s. O levantamento consiste no ato de caminhar pela seção com uma mira ou régua graduada, com o zero no leito (ANA, 2009), como mostra a figura 3.



FIGURA 3: Règua graduada - medida de profundidade com régua no Rio Salitre – Bacia do rio Paranaíba (ANA, 2009)

2.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto segundo Lillesand e Kiefer (1994) é a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno investigado.

Ainda sobre a definição dessa ciência, em Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar (2014):

O sensoriamento remoto (SR) se caracteriza pela obtenção de informações de um objeto sem existir um contato físico com o mesmo, e muitas vezes à longas distâncias. As primeiras medições por SR foram realizadas através de câmeras acopladas em aeronaves, balões, pipas, foguetes e até pássaros. Atualmente, imagens de sensores remotos podem ser obtidas a partir de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs)[...] (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014, p. 59).

“Estudos ambientais deram um salto enorme em termos de qualidade, agilidade e número de informações através do uso do SR” (INPE, *s.d.*). As aplicações dessa ciência são úteis pela possibilidade de monitoramento contínuo, diagnóstico especializado para subsidiar tomadas de decisão (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014), para atualizar a cartografia existente, levantar áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos (INPE, *s.d.*). A classificação dos sensores remotos quanto à fonte de radiação pode ser dividida em duas categorias: ativos e passivos (INPE, 2001) descritos nos subitens abaixo.

2.2.1 Sensores remotos - ativos

“São aqueles que proporcionam fonte própria de energia eletromagnética, como radares, sonares e LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Este último dispara pulsos de laser sobre o terreno e identifica os respectivos retornos, tornando possível saber com precisão as coordenadas X, Y e Z de pontos no terreno. Isso permite gerar “nuvens de pontos”, que podem ser utilizados para levantamentos topográficos” (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014, p. 62).

Diferentes informações são obtidas a depender da plataforma de coleta (terrestre, aéreo ou orbital) (INPE, 2001). A seguir, serão descritas cada uma delas com suas características.

Batimetria por RADAR (*Radio Detection And Ranging*)

As rugas, depressões, criam mudanças no campo magnético da Terra que provocam flutuações na altura da superfície do mar e, essas feições são estimadas pelo envio de pulso de rádio. Por esta técnica calcula-se a topografia do fundo do mar medindo o tempo que leva um pulso de radar ir do satélite até a superfície do mar e voltar àquele. Depois relaciona esse resultado com a posição de sua órbita (PEIXOTO, 2007). Ainda em Peixoto (2007), descreve como o método gera a feição topográfica do geóide através da relação entre as alturas do satélite acima do elipsoide (h^*) e acima da superfície do oceano (h). (Figura 4).

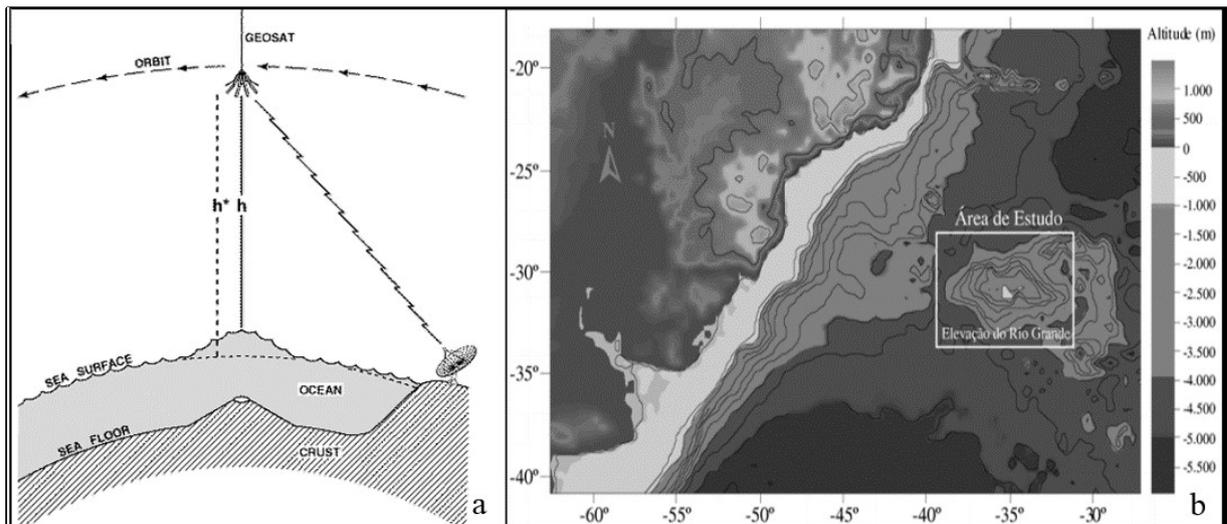


FIGURA 4: Batimetria por RADAR - (a) Ilustração didática do cálculo do perfil topográfico (PEIXOTO, 2007) e (b) Ilustração do perfil topográfico por radar na identificação de feições do fundo marinho: pode-se verificar que quanto mais escuro, mais profundo é em relação ao elipsoide (MARTINS; NUNES, 2006).

A aferição (h^*), é feita pelas estações globais de posicionamento com cálculos dinâmicos da órbita para refinar a trajetória e altura do satélite. Esta (h), é medida com um radar de micropulso, na frequência portadora maior que 13GHz (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012), melhor reflexão na superfície do oceano. Feitas as operações, o perfil topográfico é dado pela Equação 1:

$$N = \sum (h^* - h) \quad (\text{Eq. 1})$$

As limitações inerentes à técnica de radar estão relacionadas às resistências da ionosfera e litosfera. A instabilidade da superfície do oceano devido às marés, correntes, pressão atmosférica também geram erros no parâmetro de h (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). Áreas de mar com vulcões, ou fraturas têm correntes, logo, geram desvios das ondas emitidas pelo satélite, carecendo de tratamentos específicos para revelarem o perfil correto (HAXBY *et al.*, 2011). Anomalias da gravidade também influenciam na exatidão da medida da superfície marinha. Segundo Haxby, *et al.* (2011), cálculos com a equação de Laplace combinado com a fórmula de Bruns mostram que um micro radiano, aproximadamente $0,000057^\circ$ de inclinação da superfície oceânica correspondem aproximadamente a um miliGal ($0,001 \text{ cm/s}^2$) de anomalia da gravidade. Como consequência desse fenômeno, há prejuízo na leitura do tempo do pulso, parâmetro fundamental dessa técnica. Para minimizarem tantos erros, Sandwell e Smith (1997) acrescentam que é preciso fazer o levantamento com elevada taxa de repetição (1000 impulsos por segundo).

A vantagem do uso radar está no fato de permitir o monitoramento de uma grande área (varia de 15 a 200 km) e em locais remotos do oceano (MARTINS; NUNES, 2006). Ainda segundo Martins e Nunes (2006), outro aspecto relevante é que os gastos financeiros não são expressivos, visto que as informações estão disponíveis gratuitamente na rede mundial de computadores. A estimação e acompanhamento histórico do relevo subaquático, mostram-se possível pela integração e interpolação, respectivamente, de informações das assinaturas topográficas ao longo dos anos fornecidas pelos satélites: Geosat (1984- 1989), ENVISAT (2002- presente), ERS-1 (1991- 1998), ERS-2 (1995- presente) e Topex-Poseidon (1992-2006), GFO (1998- presente), Jason 2 (2008- presente) (SANDWELL; SMITH, 2009).

A aplicação na área de exploração de petróleo para localizar bacias sedimentares marítimas em zonas remotas onde farão pesquisas de sísmica, é empregada por grandes empresas tais como Exxon, Mobil e Texaco (SANDWELL; SMITH, 1997).

Batimetria por LiDAR (*Light Detection and Ranging*) – Óptico

A grande diferença desta técnica ao radar, é a faixa de comprimento de onda. O RADAR utiliza frequências variando entre MHz a GHz e, o LIDAR, faixa do infravermelho ao ultravioleta. Dependendo do objetivo do que se quer monitorar, trabalha com determinado (s) comprimento (s) de onda (s) (COSTA, 2011).

A figura 5 ilustra o princípio de funcionamento do método óptico a laser com a emissão de dois pulsos com comprimentos de ondas de 530 nm (azul-verde), indicada pela seta na parte inferior da figura e, 1064 nm (infravermelho), indicada pela outra seta. A topografia é levantada com as diferenças nos cálculos dos tempos de retorno entre este, que não refrata na água e aquele (KLEMAS, 2011).

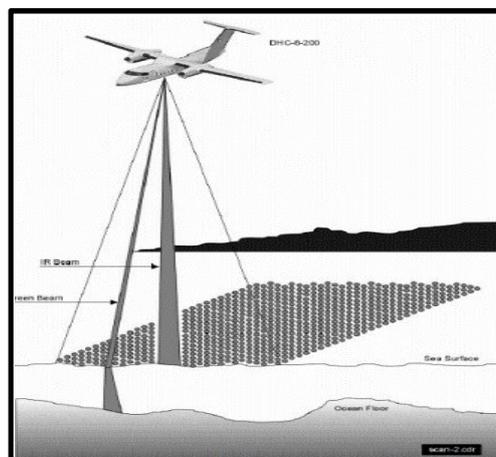


FIGURA 5: Ilustração didática do cálculo do perfil topográfico pela varredura por LIDAR. O feixe de luz perpendicular à lâmina d'água é o infravermelho (indicado pela seta mais acima na figura) e o inclinado, indicado pela seta mais abaixo na figura, é o azul-verde. (ARTILHEIRO, 2006).

O objeto de estudo é atingido por vários pulsos, sob determinadas taxas de frequência de repetição, e de varredura (BASTOS; ERCOLIN FILHO, 2012). “O sistema LIDAR é muito atrativo devido a algumas características específicas, tais como sua alta resolução espacial e temporal e a possibilidade de observação do objeto de estudo sem interferência direta e em tempo real” (COSTA, 2011).

Segundo o site da empresa MRA instrumentação, “o scanner a laser consegue penetrar em águas rasas para obter a profundidade das zonas costeiras, leitos de rios, etc”. Como a costa é uma área crítica a ser mapeada e estudos evidenciam a indubitável importância da batimetria nesta área para entender os processos geomorfológicos, hidrológicos e sedimentares

(KLEMAS, 2011) esta seria, então, a solução para fazer o levantamento topográfico em águas rasas. Mas, no seu endereço eletrônico, a empresa completa:

Neste caso, o LIDAR deve ir colocado numa aeronave e é o complemento perfeito para uma batimetria com uma sonda multifeixe em águas muito rasas onde não é possível operar com uma embarcação. Com esta tecnologia é possível medir profundidades que podem ir até 10 metros de profundidade” (MRA Instrumentação)

Segundo Klemas (2011), em áreas muito rasas, menores que 2 m, há limite técnico que são inerentes à propagação da onda. Também prejudicam a estimativa da profundidade, as zonas de arrebentação, onde há dificuldade de “penetração” na coluna de água pela agitação dos sedimentos avultando o grau de turbidez (Stoker *et. al.*, 2011). Para solucionar esse impasse, o mapeamento é feito em voos sucessivos na maré baixa, usando o sistema LIDAR, e na alta em conjunto com um batímetro (NIEMEYER *et. al.*, 2014).

Batimetria por sistema acústico

O som é uma energia acústica que necessita do meio para se propagar, deslocando-se melhor através de sólidos e líquidos. Ao contrário da luz, tem inúmeras aplicações em oceanografia (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

Os oceanos são ambientes caros de se monitorar tanto pelo meio aéreo, pelas limitações meteorológicas e relacionadas à luz, quanto a imagens de satélite, com fornecimento superficial, pouco nítidos, de informações subaquáticas para maiores profundidades (HOLEMANS, 2015; LIMERICK, 2012). Neste viés, o emprego de sonares é apropriado.

A qualidade dos dados depende de muitos fatores, dentre eles, a precisão do posicionamento do transdutor, a plataforma, a estabilidade do reboque (para scanner lateral), duração do pulso, o ângulo de incidência dos feixes e o ruído da coluna d’água (SILVA, 2010). A velocidade do som na água é dependente da pressão, temperatura e salinidade. A variação desses parâmetros, implica em algumas características na sua propagação. O aumento da temperatura da água diminui a densidade e, nas camadas superficiais do oceano, a cada 1°C de incremento na temperatura, leva ao aumento de cerca de 3m/s na velocidade do som neste meio. A profundidade também provoca um aumento da velocidade, exceto no canal de som. Já abaixo da termoclina, a temperatura e a salinidade variam pouco e, a pressão é o fator de controle dessa velocidade (c) (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

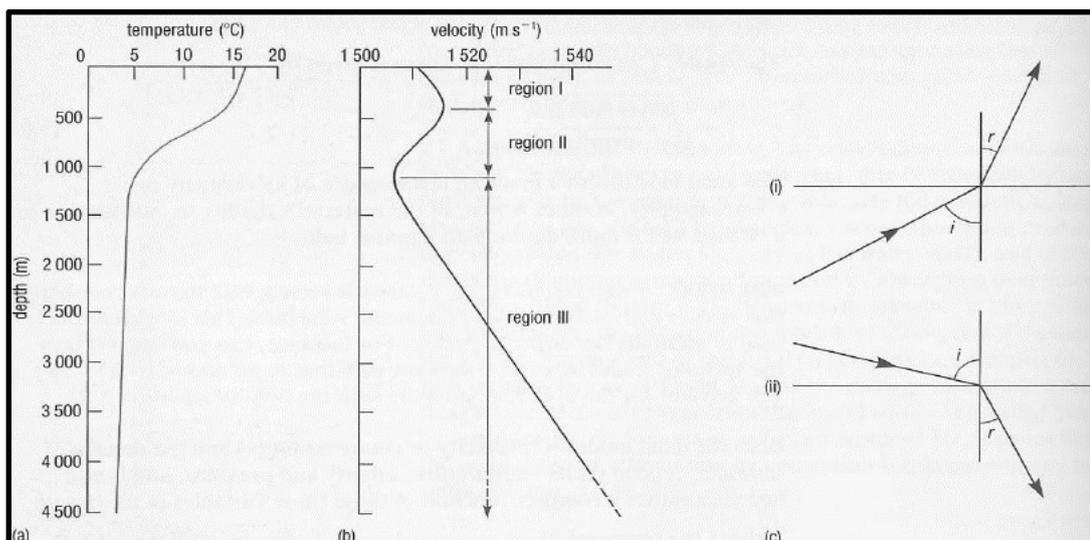


FIGURA 6: (a) e (b) Ilustração das variáveis velocidade e profundidade - Comportamento da temperatura e a velocidade do som em relação à profundidade. (c) O comportamento do ângulo de incidência e reflexão com a variação da densidade. (LUZ E SOM NO OCEANO, *sd*).

O método acústico é amplamente utilizado pela marinha, empresas de exploração, instituições de pesquisa, organizações governamentais, ecologistas marinhos, oceanógrafos para adquirir grande volume de informações. Destas, há várias citações quanto a quantidade de sedimentos, a hidrodinâmica, investigação de *habitat* específicos, à detecção de hidrocarbonetos e à identificação do relevo do leito ao reconhecer naufrágios e diversas paisagens submersas (FLENER *et. al.*,2010).

As características operacionais dos sondadores são determinadas pela frequência acústica. Quanto mais elevada, mais reduzidos são seus alcances devido às perdas por absorção ao longo da coluna de água (ARTILHEIRO, *s.d.*). A distância de varredura também é correlacionada com a frequência do sinal acústico. Desta maneira, se o objetivo do levantamento é cobrir amplas áreas em um curto espaço de tempo, o sinal deve ser de baixa frequência. A resolução ficará comprometida porque baixa frequência implicará em uma maior largura de pulso. Para alta resolução, mais detalhes na imagem, é necessário sinal de alta frequência; porém a menores distâncias. Os estratos sedimentares não são penetrados e o sinal retornam ao transdutor imprimindo a estrutura da superfície (SILVA, 2010).

I Sonar ativo

É emitido o sinal acústico, e os sons refletidos pelos objetos existentes são recebidos pelos transdutores e posteriormente processados. O principal parâmetro considerado na propagação sonora é a velocidade do som, dependente da temperatura, da densidade e pressão. A expressão, em líquidos, é empírica obtida a partir da equação de estado da termodinâmica. Segundo Correia Junior (2008 apud CLAY, 1977) a fórmula mais aplicada no meio científico para $0^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$, $0 < S < 45 \text{ ‰}$ e $0 < Z < 1000\text{m}$ é:

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029 T^3 + (1,34 - 0,01T) (S - 35) + 0,016z \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

T (temperatura) é expressa em $^{\circ}\text{C}$,

S (salinidade), em parte por milhão ($^{\circ}/_{\infty}$),

Z (profundidade) em metros,

C (velocidade do som) em metros por segundo.

I. a Sonar de feixe único

Sua base de funcionamento é comum aos sonares acústicos. Uma discrepância considerável está no tempo do levantamento hidrográfico. Este, utiliza um menor espaçamento entre os perfis batimétricos no levantamento, especialmente em profundidades mais elevadas suscitando morosidade quanto ao tempo e inferior quantidade de pontos, tendo uma resolução inferior ao multifeixe. As principais características estão na tabela 1.

Tabela 1: Características da onda - Relações as relações dos parâmetros de alcance, potência de transmissão, penetração nos sedimentos e abertura do feixe com as diferentes frequências da onda sonora. (ARTILHEIRO, 2006)

Frequência (kHz)	24 - 33	180 - 250
Alcance (m)	~1500	~ 100
Abertura do feixe (°)	15 - 25	5 - 15
Potência de transmissão (W)	500	100
Penetração nos sedimentos	Sim	Não

I.b Sonar multicanal

Contém vários transdutores com a mesma frequência e é utilizado para baixas profundidades. A vantagem sobre o de multifeixes é a cobertura do solo subaquático com a mesma largura de faixa. Abaixo, a figura 7 ilustra essa tecnologia.

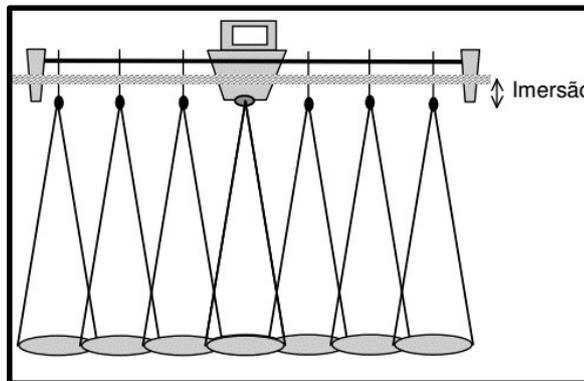


FIGURA 7: Ilustração do sondador multicanal (ARTILHEIRO, 2006)

I.c Sonar multifeixe

Este método revela o fundo do mar em detalhes. É uma base excelente para interpretações geológicas e identificação de relevo do leito de grande relevância ecológica (ELVENES *et. al.*, 2013).

Os sistemas multifeixe medem e registram o tempo decorrido entre a emissão e recepção do sinal do transdutor para o fundo do corpo hídrico ou objeto. Produzem uma "faixa" de sondagens com largura cerca de três a sete vezes a profundidade média. Geralmente há sobreposição de linhas paralelas para assegurar a cobertura integral de uma área (MCCONNAUGHEY, 2001). Eles têm frequência de operação de 12-450 kHz, são bastante sensíveis à movimentação da plataforma e à variação temporal e espacial do perfil de velocidade de propagação do som na água (ARTILHEIRO, 2006). Segundo Ilva (2010), a aquisição de dados desse sistema gera grande quantidade de informações necessitando de servidores de grande porte de memória. A figura 8 ilustra os tipos de feixe gerados pelos sonares e a resolução das imagens batimétricas.

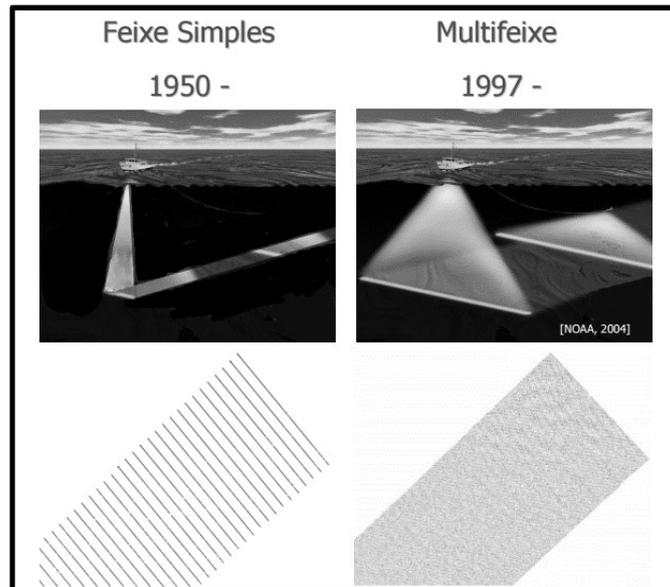


FIGURA 8: Feixe simples e multifeixe - Comparação dos métodos de batimetria por sonar multifeixe e varredura lateral com mono feixe.(ARTILHEIRO, 2010).

I.d Sonar de varredura lateral

O método usa feixes estreitos de energia acústica na direção paralela à rota de navegação (média de 2°) e na perpendicular, largo (40° a 50°) (SILVA, 2010). É projetado para fornecer imagens sem distorções acústicas para detectar obstruções gerando para cada intensidade de eco, um pixel. Aplicado para identificar mudanças de estruturas marinhas, desde leves inclinações a afloramentos rochosos. É um instrumento muito utilizado na indústria do petróleo na investigação de riscos englobando estruturas que possam prejudicar a integridade de oleodutos, gasodutos. O imageamento de rotas de navegação para verificação de necessidade de dragagem e monitoramento do local de descarte desse material são aplicações desse método. (MCCONNAUGHEY, 2011).

Como regra geral, a varredura lateral não efetua medida de profundidade. É usado, frequentemente, junto aos sonares multifeixe para obter esse parâmetro. Requer velocidade reduzida da embarcação (ARTILHEIRO, 2006).

Há forte correlação entre características da imagem e contrastes texturais existentes na superfície de fundo contribuindo para a interpretação dos dados (LIMERICK, 2012). Objetos duros (recifes, cabos, dutos) do fundo, enviam um eco forte e criam imagens escuras. Sombras são áreas suaves, como lama e areia, que enviam ecos mais fracos, criando assim uma imagem mais clara. Essa técnica, no entanto, não costumam fornecer dados batimétricos (SILVA, 2010).

2.3 SENSORES REMOTOS PASSIVOS

[...] “registram a energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo, como a radiação solar refletida ou radiação termal emitida. São exemplos de sensores passivos os sensores multiespectrais a bordo de diversos satélites” (Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar; 2014, p. 62).

Assim, sonar passivo não pode medir o intervalo de um objeto a menos que seja usada em conjunto com outros dispositivos de escuta passivas.

2.3.1 Eletrospectrais

As imagens hiperespectrais são radiometricamente calibradas para convertê-las em unidades de radiância. Softwares específicos são requeridos para obter valores de reflectância para cada pixel de imagem em cada banda espectral. Há diferentes estratégias para calibrar a profundidade derivada das imagens (LEGLEITER *et al.*, 2011). Uma grande vantagem do sistema é os sensores ópticos podem ser acoplados em aeronaves, foguetes, balões ou satélites artificiais. Cada tipo de plataforma utilizada implica em um grau de operacionalidade e custo (INPE, 2001).

A localização remota de alguns corpos hídricos torna difícil a implantação e manutenção de sistemas tradicionais de medição. O fomento ao livre uso dos dados dos satélites vem tornando o monitoramento pelo método óptico uma ferramenta atraente (ABILEAH *et al.*, 2011; ARSEN *et al.*, 2013), mas sua utilização como alternativa para obter profundidade, em rios, é pouca em número (MERSEL *et al.*, 2013) e, pelas propriedades ópticas de reflexão, difração e difusão, fica limitado o seu uso em grandes profundidades. Em Krug e Noernberg (2005), foram feitas comparações entre o valor estimado pelo sensor remoto e o colhido em campo. Observou-se que até um metro, a diferença entre a profundidade verdadeira e a estimada é pequena. Para profundidades entre um metro e três, os erros apresentam uma variação maior. A partir dessa profundidade, o erro aumenta consideravelmente.

Suas distintas aplicações dependem do tipo de banda que operam nas mais diferentes faixas do espectro eletromagnético. Com a banda mais adequada, pode-se fazer o mapeamento de águas costeiras e interiores (INPE, 2001). Há limitações de detecção quanto à profundidade e sedimentação dos corpos hídricos, bem conhecidas na literatura pelas características eletromagnética.

Em Legleiter *et al.*, (2011), fica clara a complexidade em se estimar a profundidade a partir dessa técnica em águas turvas. Segundo estudo, é viável, mas não tem boa precisão. Para um resultado satisfatório, há necessidade de medições em campo. Ainda relata a dificuldade do alinhamento correto entre as imagem (correlacionar cada pixel a uma área de campo).

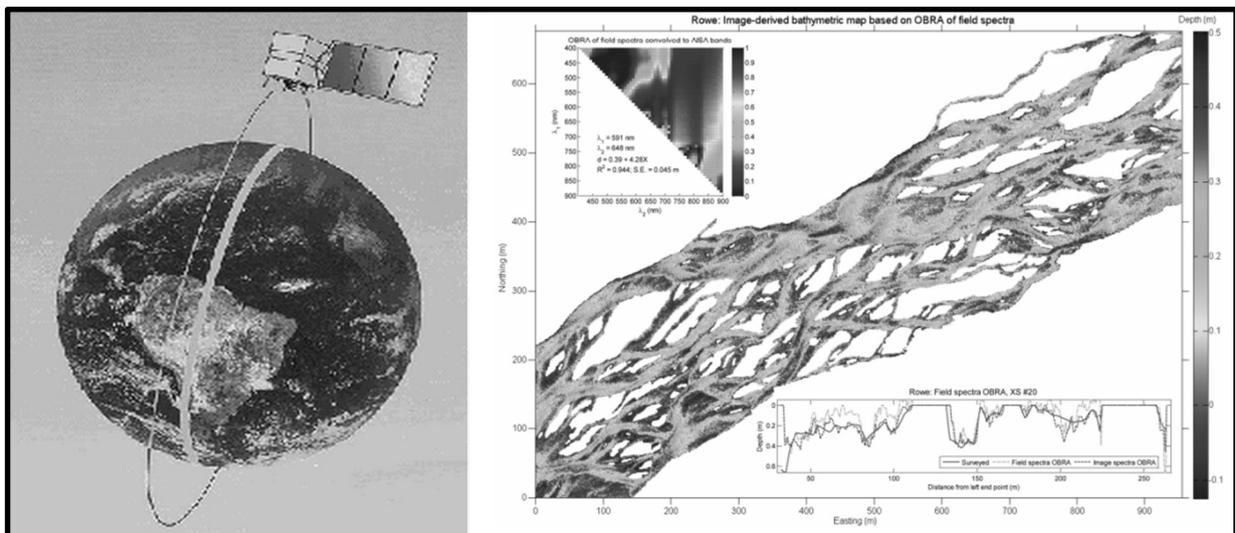


FIGURA 9: Batimetria por ondas eletrospectrais - Varredura do satélite CBERS sob a órbita polar da Terra (INPE, 2001) e a representação do mapa eletrospectral do rio Platte, Centro de Nebraska-EUA. As áreas, no lado direito, em tons de cinza escuro representam cotas de profundidade (0,3 - 0,5m) (LEGLEITER *et al.*, 2011)

3 Material e Método

A metodologia de pesquisa usada foi básica, dispondo de artigos, dissertações, teses, jornais, anais e livros como fonte primárias para conhecer mais detalhes técnicos e qualitativos

sobre a batimetria em corpos hídricos. Do levantamento inicial, gerou-se este artigo. Os objetivos iniciais de identificar como são feitas as leituras da altura da lâmina de água, de relevo, nas técnicas batimétricas para caracterização da topografia, foram alcançados. Além disso, foram exemplificadas aplicações e limitações para nortear o desenvolvimento de uma nova proposta para melhorar a leitura em águas de baixo calado (0,2 – 3m).

4 Considerações Finais

Todas as técnicas de batimetria levantadas têm um princípio em comum de funcionamento: a propagação de energia. Seja ela sonora, eletromagnética ou a rádio, entender as limitações e funcionamento das técnicas contribui para utilizá-las de maneira coerente aos seus princípios fundamentais (reflexão, refração, difusão) no melhor cenário de rendimento (MÁXIMO, ALVARENGA, *s.d.*, p.703-815).

Sabe-se que não são apenas fatores técnicos que influenciam na tomada de decisões para escolha de uma determinada tecnologia, por exemplo. Os econômicos, sociais, políticos e ambientais também são considerados. No caso da Noruega, com o programa de monitoramento ambiental financiado pelo governo (ELVENES *et. al.*, 2013), com 40% do valor são investidos em batimetria. O custo não foi fator limitante e, através desse projeto, dados importantes sobre o clima e *habitat* marinho estão sendo revelados.

A batimetria pela técnica da propagação do som é mais usada, por ele propagar-se na água melhor do que as outras formas de energias. Todos os métodos de um só feixe, multifeixe, estão disponíveis em várias frequências, e, por ser uma onda mecânica, a interferência dos sedimentos, em comparação com a luz, não atenuam esta como aquela. A pesquisa teórica na literatura é fundamental para o embasamento técnico possibilitando discutir, propor e sugerir alternativas para o aperfeiçoamento dos trabalhos na área investigada. Em Haris *et. al.*, (2011) e Pereira e Baracury (2008) houve a pesquisa com o multifeixe. Os primeiros, testaram o desempenho em várias frequências, comparando-o com o valor real de profundidade, em três comprimentos de ondas; enquanto os últimos determinaram a bacia hidráulica do açude Bodocongó. Com uma visão de melhoramento do sistema de batimetria, Tianjin (2014) propôs medidas inovadoras como a proposta de embarcações autônomas, com rotas prédefinidas, que enviam os dados lidos em campo para uma base em terra ou armazena para leitura futura. Isso conferirá a estas pequenas embarcações a função de alimentar uma grande base de dados integrada para estudos em águas rasas e colaborar para a gestão hídrica. Em Juliano *et. al.*, (2012) foi utilizada a batimetria para aplicações da plataforma MOHID para simulação computacional de deriva oceânica de petróleo na bacia de Campos, no Rio de Janeiro.

Dados batimétricos foram usados como entrada para modelagem de sistemas ambientais aplicada à gestão de recursos hídricos em PESSANHA *et. al.*, (2011). No caso deste artigo, usaram-se conceitos de modelagem matemática para simular cenários da lagoa de Imboacica considerando impactos ambientais para fazer projeções futuras desse patrimônio natural.

Com os problemas evidenciados quanto à questão hídrica no mundo, principalmente pela necessidade vital desse recurso, pesquisas que abordam esse tema terão grau de relevância alto.

5 Conclusão

Este artigo elencou algumas das técnicas para levantamentos batimétricos além de informar aplicações e limites próprios do método a ser empregado. Eles se mostram eficientes a depender do meio onde serão utilizados exigindo um conhecimento das peculiaridades técnicas ímpares da área a ser monitorada.

A batimetria, pela técnica de som que consome tempo e custo expressivos para o levantamento (NIEMEYER; SOERGEL, 2013), mas ainda é o meio mais utilizado em atividades à base de água, porque as ondas sonoras atenuam menos do que radar e ondas de luz. Melhor resolução de imagem com curta distância é produzida em frequência mais alta de som (até 1 Mhz); e, do contrário, frequências entre 50 kHz a 100 kHz (MCCONNAUGHEY, 2001). A acurácia da medida de profundidade está fortemente relacionada com a velocidade do som na água. Esta depende de variáveis como temperatura, salinidade, pressão, cobertura vegetal, biota e outras partículas na coluna de água, podendo afetar a precisão dessa medida (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). Em águas rasas, o método acústico fica limitado, sendo possível o uso de sensores batimétrico por luz. O limitante aqui são as características inerentes às propriedades ópticas influenciadas, por exemplo, pela turbidez, gerando erros na leitura de profundidade. Sedimentos e fitoplâncton absorvem a luz superestimando esta medida. Águas claras permitem uma qualidade de reflexão melhor favorecendo uma estimativa mais precisa (LEGLEITER *et. al.*, 2011). Outro entrave é a atmosfera, que acrescenta mais fótons ao sinal, sendo um desafio fazer a correção. Não são técnicas baratas para áreas reduzidas. Os ópticos ativos, LIDAR (*Light Detection and Ranging*) por laser, diferem dos passivos por não dependerem da luz do sol, podendo operar à noite. São capazes de mapear terra e água na mesma missão, proporcionando o maior conhecimento do nível do mar em zona costeira. Apesar de aplicação desta técnica ser para profundidades de até 6m, segundo a maioria da literatura pesquisada, em Dierssen e Theberge JR, (2012), cita ser conveniente a estimativa no *range* de até 40m e, em condições muito ideais relativas à propagação da luz, até 60m de profundidade.

Em área remotas, onde há pouco tráfego de navios, usa-se a altimetria. Ela permite o monitoramento batimétrico em uma larga extensão com melhor cenário em bacias oceânicas profundas onde os sedimentos são finos, do contrário, surgem erros (DIERSSEN; THEBERGE JR, 2012). São muito complexos os cálculos para essa técnica, visto que a anormalidade da gravidade, fatores da ionosfera e atmosfera, também são variáveis presentes para a estimativa de profundidade.

Todas as técnicas passam por processamentos para interpretação dos dados obtidos e há uma demanda expressiva em melhorar os modelos de maré para avaliar mais acertadamente as estimativas em águas rasas. É desafiador também, a caracterização do geoide para aprimorar as técnicas gravimétricas. É notória a maior preocupação com o levantamento batimétrico da massa líquida marinha.

Indiscutivelmente, todas as técnicas, devidamente aplicadas, corroboram para ajudar na compreensão dos processos dinâmicos do planeta. Neste ínterim, os conhecimentos das paisagens subaquáticas tornar-se-ão cada vez mais dominadas auxiliando as autoridades na gestão dos recursos naturais e impetrando medidas, de cunho científico, para a sustentabilidade dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILEAH, R.; VIGNUDELLI, S.; SCOZZARI, A. **A completely remote sensing approach to monitoring reservoirs water volume**. XV International Water Technology Conference (IWTC). Alexandria, Egypt. p. 1-17, 2011.

Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014. 596 p.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico/ Agência Nacional de Águas** – Brasília. 88p, ISBN: 987-85-89629-34-8, 2009.

ARSEN, A.; CRÉTAUX, J-F.; NGUYEN, M. B.; RIO, R. A. D. *Remote sensing-derived bathymetry of lake Poopó*. **Journal Remote Sens.** V.6, p. 407-420, doi: 103390/rs6010407. Disponível em: <<file:///C:/Users/HP1/Downloads/remotesensing-06-00407.pdf>> Acesso em: 27 de jul. 2015.

ARTILHEIRO, F. M. F. **Fundamentos de hidrologia**. Documento de trabalho, p. 1-50, 2006. Disponível em: <http://www.bombeiros.pt/wp-content/uploads/2013/03/Fundamentos_Hidrografia.pdf>. Acessado em: 29 de jul. de 2015.

_____. Engenharia Hidrográfica: do fio-de-prumo ao sondador multifeixe. Hidrográfico marinha de Portugal. 2010. Disponível em: www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/9a5cf933bb72d4288de00dbee8a93227.pdf. Acesso em: 29 de jul. 2015.

BASTOS, B. da C.; ERCOLIN FILHO, L. **Utilização da tecnologia lidar em projetos de engenharia de infraestrutura viária**. XI Congresso nacional y VIII Latinoamericano de agrimensura. Curitiba/PR/Brazil. 2012.

_____. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **RBGF – Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, n.01, v.01, 2008. p. 73-85.

CONGRESSO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA – APMTAC, 2015, Lisboa. **Estudo sobre a propagação acústica em águas rasas**. APMTAC, Lisboa – Portugal.

CORREA JUNIOR, C. **Estudo da Propagação Acústica no Mar na Camada de Mistura**. 2008 IX, 71 p. Dissertação (mestrado em Ciências na área de Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE 1, Rio de Janeiro.

COSTA, R. F. da. **Estudo das propriedades ópticas dos aerossóis no estado de São Paulo com a técnica de LIDAR RAMAN**. 2011. 85f. Dissertação (mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.

DIERSSEN; H. M.; THEBERGE JR, A. E. **Bathymetry: Assessing Methods**. *ENCYCLOPEDIA OF NATURAL RESOURCES*, p. 1-25, 2012.

ELVENES, S.; DOLAN, M. F. J. ;MORTENSEN, P. B.; BELLEC, V. K. Na evaluation of compeiled single-beam bathymetry data as a basis for regional sediment and biotope mapping. **Journal of marine Science of Oxford**. V. 71, p. 867-881, doi: 10.1093,ISSN: 20724292, 2013.

FERREIRA, Í. O.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, A. DE P. **Levantamento batimétrico automatizado aplicado à gestão de recursos hídricos, estudo de caso: represamento do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa – MG**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 2012, p. 001 – 008.

FLENER, C.; LOTSARI, E; ALHO, P.; KAYHKO, J. *Comparisom of empirical and theorecal remote sensing based bathymetry models in river environments*. **Journal** River research and applications. Departament geography university of Turku, Filand. v. 28, p. 118-133, doi: 101002/rra.1441, 2010.

HARIS, K.; CHAKRABORTY, B.; DE, C.; PRABHUDESAI, R. G.; FERNANDES, W. [Model-based seafloor characterization employing multi-beam angular backscatter data--a comparative study with dual-frequency single beam](#). **Journal** Acoustical Society of America. V. 130, 2011.

HAXBY, W. F.; KARNER, G. D.; LABRECQUE J. L.; WEISSEL J. K. *Digital images of combined oceanic and continental data sets and their use in tectonic studies*. **Journals** Transactions Geophysical Union (AGU). Malden, MA- USA. V. 64, p. 995 – 1004, DOI: 10.1029/EO64i052, 2011.

HOLEMANS, W. (Washington, DC). **Autonomous sailboat for oceanographic monitoring**. Walter Holemans. US 8973511 B2. 18 de mar. de 2013, 10 de mar. de 2015. 17p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Disponível em: < <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> >. Acessado em 27 de jul. 2015.

_____. **Sistemas Sensores**. Maurício Alves Moreira. 2001. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/LER5831/Angulo/sensores.pdf>>. Acessado em 02 de ago. de 2015.

INSTRUMENTOS NÁUTICOS: **As “ferramentas” do navegante**. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap11.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. de 2015.

JESUS, J. B. de; CRUZ, M. A. S. Modelagem do nível superficial e vulnerabilidade dos aquíferos de Sergipe. *In: Anais VII Encontro de Recursos Hídricos*. Sergipe, 2014.

JULIANO, M. M. F.; NEVES, R.; RODRIGUES, P. P. G. W.; JADER JUNIOR, L.; FERNANDES, R. Aplicação da Plataforma MOHID para simulação computacional de deriva oceânica de petróleo na bacia de Campos - RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ*, v. 6 n. 1, p. 161-172, jan. / jun. 2012.

KLEMAS, V. *Beach Profiling and LIDAR bathymetry: an overview with case studies*. **Journal** of Coastal Research. Florida – USA. V. 27, p. 1019- 1028, 2011.

KRUG, Lilian Anne; NOERNBERG, Maurício Almeida. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. *In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, 2005. p.3077-3084.

LEGLEITER, C. J.; KINZEL P. J.; OVERSTREET B. T. **Evaluating the potential for remote bathymetric mapping of a turbid, sand-bed river: 2**. Application to hyperspectral image data from the Platte River, *Water Resources Research*. V. 47, p. ,W09532, doi:10.1029/ 2011WR010592. 2011.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

LIMERICK, Universidade (Limerrick, IE). Riordan, James; Toal, Daniel; Thurman, Edward. **Method and apparatus for determining the topography of a seafloor and a vessel comprising the apparatus**. US 8305841 B2, 14 de fev. de 2010, 11 de jun. de 2012. 20p.

LUZ E SOM NOS OCEANOS. Em: <<http://www.cgmdesign.net/docs/oceanografia/3%20-%20Luz%20e%20Som.pdf>>. Acessado em: 03 de ago. de 2015.

MARTINS, LUIZ R.; NUNES, S. Aplicações de Imagens de Satélites Altimétricos na Identificação de Feições do Fundo Marinho. **Revista Gravel**, Porto Alegre, vol. 4, p. 119-124, 2006.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. 3ª ed., editora Harbra Ltda. v.2, São Paulo.

MCCONNAUGHEY, Dr. B. **Klein 5000 side scan sonar**. Research Fishery Biologist and Project Chief Scientist RACE Division, NMFS Alaska Fisheries Science Center, Seattle, WA, 15 de jul de 2001.

MERSEL, M. k.; SMITH, L. C.; ANDREADIS, K. M.; DURAND, M. T. *Estimation of river depth from remotely sensed hydraulic relationships*. **Journal Water Resources Reserch**. V. 49, p. 3165-3179, DOI: 10.1002/wrcr.20176, 2013.

NIEMEYER, J.; SOERGEL, U. *Opportunities of airborne laser bathymetry for the monitoring of the sea bed on the Baltic sea coast*. **Journal International Archives on the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences**. v. 40, p. 179-184, 2013.

NIEMEYER, J.; KOGUT, T.; HEIPKE, C. **Airborne laser bathymetry for monitoring the German Baltic Sea Coast. 2014**. Disponível em: <<http://www.dgpf.de/neu/Proc2014/proceedings/papers/Beitrag117.pdf>> . Acesso em: 25 de jul. de 2015.

PEIXOTO, P. da S. **Jason-1: Lendo os dados de altimetria por satélite para o nível do mar**. Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (USP). Trabalho de conclusão do curso de especialização em “medição, análise, previsão e modelagem do nível do mar. p. 1-40.

PEREIRA, J. P.; BARACUHY, J. G. V. **Ecobatimetria teoria e prática**. Campina Grande- PB. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE- UFCG. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. 1ª ed., ISBN: 978-85-60592-06-7, 2008. 84p.

PESSANHA, C. M. D.; JADER JUNIOR, L.; FERREIRA, M. I. P.; SOUZA, P. R. N.; HORA, H. M. C. Uso de modelagem computacional aplicada à gestão sanitário-ambiental: uma proposta de adaptação da plataforma MOHID Water para corpos lênticos aplicada à lagoa Imboacica, Macaé-RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ**, v. 5 n. 2, p. 45-70, jul. / dez. 2011

QUINN, R. *Acoustic seafloor mapping*. **Digital Resources for Common Module in Offshore Multidisciplinary Operations in Marine Science**. University of Ulster. p. 1-10.

SANDWELL, D. T. ; SMITH, W. H. F. **Exploring the ocean basins with satellite altimeter data**. Scripps Institution of Oceanography of University of California, Santa Cruz, 1997.

_____. *Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate*. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-18, B01411, doi:10.1029/2008JB006008, 2009.

SILVA, J. G. S. **A utilização do sonar de varredura lateral e do ecobatímetro multifeixe na interpretação e análise da morfologia da baía de Vitória (ES)**. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências- Departamento de Geologia/ LAGEMAR. Monografia em Geofísica. Niterói, 2010.

STOKER, J.; TURNIPSEED, D. P.; WILSON, K. V. **Using regional-scale pre- and post Hurricane Katrina Lidar for Monitoring and Modeling, Recent Hurricane Research - Climate, Dynamics, and Societal Impacts**. Ed. Prof. Anthony Lupo. ISBN: 978-953-307-238-8, p.556-592, 2011.

THOMAZINI, D.; ALBURQUEQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações**. 2ª ed., editora Érica, Campina Grande, 2008.

TIANJIN Northern Blue Water Technology Co., Ltd (Tianjin, Nankai District). Sunya Lin; Zhang Anmin; Cao Weixin; **Utility model for a new measurement: USV**. CN 204037874 U. 3 de jul de 2014, 24 de dez. de 2014. 9p.

VICENTE, J.; ARTILHEIRO, F.; PEIRIÇO, A. A primeira história dos sondadores multifeixe do IH. *In: Anais do Instituto Hidrográfico, português*, nº 17, 2004.

ARTIGO CIENTIFICO II

TOPOBATIMETRIA DO CANAL DO CAPOTE NA CIDADE DE MACAÉ/RJ: MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de criar Modelos Digitais de Terreno (MDT), a partir do levantamento topobatimétrico, que possibilitou representar cenários do Canal do Capote, na cidade de Macaé. Esses cenários foram construídos subsidiados pelos parâmetros de entrada obtidos por instrumentos e, com suportes dos softwares GPSView, MPGEO2015 e MOHID. Para o levantamento topobatimétrico, adotaram-se ferramentas modernas como o uso do GM-3 Wired GPS Receiver e ecobatímetro, além de instrumento clássico (régua graduada). Para o sistema de coordenadas planimétricas e altimétricas foram adotados o WGS84 e o nível médio dos mares (geoide) como referência respectivamente. Técnicas de transformações de coordenadas entre sistemas geodésicos discrepantes são procedimentos cruciais para não gerarem deformações na materialização dos cenários. É necessário conhecer os parâmetros de inter-relação entre os sistemas de referência a fim de poder estimar as coordenadas que estão em *data* divergentes com finalidade de torná-las referenciadas sob um mesmo *datum* e assim, poder validar o MDT. Além da criação digital da geometria do canal, foi possível identificar pontos altimétricos abaixo do nível do mar, ao longo desse corpo hídrico, com os dados aferidos. Esses pontos são coincidentes com as áreas de alagamento relevantes no território.

Palavras-chave: Geodesia, MOHID, topobatimetria.

TOPOBATHYMETRY OF THE CAPTURE CHANNEL IN MACAÉ CITY / RJ: DIGITAL MODELING OF THE LAND

ABSTRACT

This study was developed with the goal of creating Digital Terrain Models (DTM) from topobatimétrico survey, which represent possible scenarios Channel Capote in the city of Macaé. These scenarios were built subsidized by the input parameters obtained by instruments, with supporters GPSView software , MPGEO2015 and MOHID. For topobatimétrico survey were, adopted modern tools such as the use of GM -3 Wired GPS Receiver and echo sounder, as well as classical instrument (graduated ruler). Even the system of planimetric and altimétricas coordinates were provided with the WGS84 and the mean sea level (geoid) as a reference respectively. Technical coordinate transformations between disparate geodetic systems are crucial procedures not generate deformations in the materialization of scenarios. You need to know the parameters of interrelation between the reference systems in order to estimate the coordinates that are in different date with the purpose of making them referenced under one datum and thus to validate MDT. In addition to the digital creation of channel geometry, It was possible to identify altimetric points below sea level, Along this water body, with the measured data. These points coincide with relevant flood areas in the.

Keywords: Geodesy , MOHID , topobatimetria

1 Introdução

A necessidade da humanidade em conhecer o espaço no qual está inserido tem sido constante desde os tempos mais remotos. A curiosidade acerca dos fenômenos naturais ou causados pela interferência antrópica no ambiente é progressiva. Com o desenvolvimento tecnológico, muitas ferramentas foram desenvolvidas para investigar, simular e conseqüentemente, prever situações sem a necessidade de estudar o sistema de forma real (*in loco*). Com essa evolução, as simulações passaram a ser importantes aliadas em diversas áreas de estudos como: aeronáutica, meteorologia, ambiental, entre tantas. Saber como um determinado fenômeno se comporta sob diversas condições de simulação, para através das respostas apresentadas, avaliar a melhor maneira de intervir, passa a ser um instrumento ímpar de gestão. Esse sistema é vantajoso porque não incorre em despesas elevadas, demoras e riscos, algumas vezes inevitáveis, quando se trabalha diretamente na região, *in situ*, em condições reais (UTFPR, 2016).

Para se simular, há necessidade da criação de um modelo, este é associado a um método numérico com seqüências ordenadas de comandos a fim de reproduzir, simplificada, a realidade (GUMIER; LUVIZOTTO JR, 2007).

Com o intuito de criar um Modelo Digital de Terreno (MDT) do Canal do Capote, da cidade de Macaé, para servir como base a estudos futuros de gestão ambiental do mesmo, este artigo vai pontuar os degraus para atingir a construção desse cenário.

Nessa seara de como construí-lo, gerando uma superfície representativa da distribuição espacial, possibilitando a análise e avaliação de características intrínsecas ao terreno, insere-se o conceito de MDT, Segundo Simões (1993):

Os Modelos Digitais de Terreno (MDTs) geram informações espaciais de grande importância na análise de dados tridimensionais, modelando e analisando uma superfície. Uma das aplicações mais frequentes destes modelos é aquela que envolve dados topográficos. Além da representação do terreno, a partir dos modelos digitais, outras informações espaciais a eles relacionadas são extraídas, manipuladas e integradas aos SIG (SIMÕES, 1993, pág. 14-15).

O termo MDT teve sua origem nos trabalhos realizados pelo professor Charles L. Miller do *Massachusetts Instituto f Technology* (MIT) entre 1955 e 1960 (MILLER, 1957; MILLER; FLAMME, 1958). Ele, junto com seus colegas, elaborava projetos de rodovias através do uso do computador utilizando dados do terreno adquiridos por fotogrametria para o Departamento de Obras Públicas do Massachusetts (*Massachusetts Department of Public Works*) e para Agência Federal de Rodovias Públicas (*U.S. Bureau of Public Roads*).

De acordo com Oliveira e Camargo (2005), a partir da década de 1950 houve uma preocupação mundial relacionada à criação de modelos para representar superfícies através da computação gráfica, objetivando rapidez, precisão e versatilidade. A principal vantagem desta técnica em relação aos modelos analíticos é a possibilidade de se incorporar todos os termos das equações dinâmicas e utilizar aproximações bastante reais das topografias e dos contornos. (DE SOUZA, 2009).

Com a iniciativa pioneira de criar modelos representativos da superfície, do professor Charles Miller, muito se tem desenvolvido em termos de viabilizar racionalmente o conhecimento e o uso da informação topográfica. As tecnologias recentes têm contribuído na geração de informações com mais facilidades e os computadores, continuamente mais eficientes, permitem o armazenamento e processamento de quantidades de dados cada vez maior.

As tecnologias hoje disponíveis à aquisição dos dados para a geração de MDT, além da fotogrametria, são o *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (IFSAR), o *Light Detection and Ranging* (LIDAR), o *Sound Navigation and Ranging* (SONAR), Teodolito, dentre outros (MATOS, 2005). Cada tecnologia tem aplicações distintas na construção de um MDT das quais não serão aqui abordadas.

No Brasil, apenas a partir da década de 1990, o uso de ferramentas capazes de gerar o MDT tornou-se popular entre os profissionais de engenharia, apesar de existirem no país pesquisas relacionadas com MDT e representação gráfica de superfícies desde o início dos anos oitenta, como a realizada por Pettinati em 1983 a título de exemplificação do esforço acadêmico nessa área (PETTINATI, 1983).

Agências e órgãos científicos têm esforçado constantemente para o desenvolvimento desses modelos. Para reiterar essa afirmação, alguns exemplos de MDTs globais são aqui citados como: ETOPO5, TERRAINBASE, JGP95E, GTOPO30, GLOBE, ETOPO2, ACE, DTM2002 e SRTM. Todos eles têm suas coordenadas horizontais referenciadas ao WGS84 e a altitude, em metros, acima do nível médio do mar (NMM).

A precisão planimétrica dos pontos de um modelo varia em função das diferentes fontes utilizadas e, pode diferir inclusive dentro de uma mesma fonte. O *Digital Terrain Elevation Data* (DTED), usados por muitos dos modelos acima citados, retiram seus dados de cartas e imagens. Com isso, erros no referencial planimétrico ou curvas de nível posicionadas erradas, resulta em um deslocamento da posição horizontal não documentada e, por conseguinte, a erros altimétricos. Já as imagens de satélites, existem os erros de deslocamento entre a órbita real e a prevista. Se não for corrigida durante o desenvolvimento do MDT, resulta em um deslocamento da posição planimétrica que, chegam a ser de uma célula em modelos de 30" devido falta de precisão na localização do satélite. A interpolação feita em áreas com pouca densidade de pontos também causa o deslocamento horizontal. (MATOS, 2005).

Referindo-se ainda ao posicionamento feito por satélite no que tange transformar as coordenadas para os sistemas locais relacionados com a área de interesse, é necessário aplicar algoritmos com parâmetros determinados por métodos probabilísticos no sentido de ajustar aquelas medições à rede estabelecida por sistemas locais, com as inevitáveis deformações. Todos os elipsóides posicionados localmente apresentam desvios em relação ao geocentro adotado no sistema *World Geodetic System* de 1984 (WGS84), devido não só à diferença de parâmetros entre os elipsóides mas também à diferente posição do centro e orientação dos eixos. Então, as coordenadas geodésicas de um ponto num *Datum* local são diferentes das coordenadas num *Datum* global, diferenças que traduzidas em distância podem ser da ordem das centenas de metros (IHO, 2016). Por isso, a necessidade de instrumentos mais precisos para minimizar os erros, afim de tornar as medições mais confiáveis. A confiabilidade é diretamente relacionada à exatidão da representação tanto em termos posicionais como em termos de conhecimento dos atributos das feições mapeadas (MARTINS, 2013). Fundamental à construção do MDT é o conhecimento e à experiência do profissional que a partir de um objetivo definido submete seus dados a um tratamento específico, para obter os resultados desejados. Não está ligada somente a sofisticação e capacidade do processamento, mais que isso, é importante a experiência do usuário (PACHECO, 2010). Com essas premissas, torna-se possível criar cenários concisos e, conseqüentemente, conduz o usuário a elaborar decisões mais assertivas. As simulações são ferramentas multifinalitárias e estão cada dia mais abrangendo projetos ambientais (SÁ *et. al.*; 2010).

2 Revisão na Literatura

A fase de coleta de dados é fundamental para produzir modelos de terrenos consistentes e verossímil ao real. Um dos erros mais comuns é a utilização de instrumentos com referenciais discrepantes e, por conseguinte, os parâmetros adquiridos sendo materializados sob um mesmo sistema de coordenadas como se fossem coincidentes. Isso gera distorções no terreno por falta de homogeneidade referencial nos dados. Para evitar esses erros, vale salientar que é importante o conhecimento conceitual em sistema geodésico objetivando a criação de modelo subsidiado com dados coerentes. Para atingir esse objetivo, alguns conceitos a seguir são elencados para o levantamento ser preciso.

2.1 Sistema Geodésico

Pela diversidade de base de dados disponíveis para *download* com informações planimétricas e altimétricas, além das atualizações resultantes do ajustamento global, é crucial conhecer os conceitos na área de Geodésia para selecionar os que estão sob um mesmo referencial ou, quando não, transpô-los adequadamente compatibilizando as informações (COSTA, 2000). Muitos negligenciam esse pré-requisito fundamental e torna-se preocupante a facilidade com que dados incompletos são compartilhados por usuários do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Muitos arquivos que contêm latitudes e longitudes estão desprovidos da informação essencial a respeito do *datum* planimétrico (ALEGRE, *sd.*). Segundo este mesmo autor, os dados armazenados na base de SIG, referem-se usualmente a uma certa projeção cartográfica que, por sua vez, relaciona-se diretamente a um sistema geodésico de referência. Um sistema geodésico é então, um sistema de referência terrestre definido por algumas características terrestres que compreendem a adoção de um elipsoide de revolução, sobre o qual são aplicadas injunções de posição e orientação espacial (UFF, 2012). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define sistema geodésico como:

Sistema de referência composto por uma figura geométrica representativa da superfície terrestre, posicionada no espaço, permitindo a localização única de cada ponto da superfície em função de suas coordenadas tridimensionais, e materializado por uma rede de estações geodésicas. Coordenadas, como latitude, longitude e altitude, necessitam de um sistema geodésico de referência para sua determinação (IBGE <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#1>>. Acessado em: 20 de julho de 2016).

De acordo com o IBGE (2016), a determinação de posições precisas sobre a superfície terrestre através de métodos clássicos em Geodésia, tradicionalmente implicou na necessidade de adoção de dois Sistema Geodésico de Referência (SGR): um horizontal e um vertical. Este fornece a referência para a determinação precisa da componente altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), enquanto o SGR horizontal fornece a referência para a determinação precisa das componentes planimétricas (latitude e longitude). *Data* planimétricos e altimétricos possuem superfícies terrestre de referência discrepantes. O vertical tem o geoide como referencial ao passo que aquele é o elipsoide. *Data* horizontais medem posições sobre a superfície da terra, enquanto *data* verticais são usados para medir elevações de terra e profundidades de água (USACE, 2016).

2.1.1 SGR Horizontal

É definido por um elipsoide e seu posicionamento no espaço. O elipsoide escolhido tem que garantir uma boa adaptação ao geóide na região de interesse. A materialização de um SGR horizontal clássico usa a metodologia da triangulação e poligonação (OLIVEIRA, 2006). A exemplo dos SGR clássico tem-se o Córrego Alegre, Chuá Astro-Datum e o SAD-69. O posicionamento e a orientação, segundo Costa (2000), são feitos através de parâmetros topocêntricos:

- 1- Coordenadas de um ponto origem
- 2- Orientação (azimute inicial)
- 3- Separação geóide-elipsóide (ondulação geoidal) (ΔN)
- 4- Componentes do desvio da vertical (componente meridiana ξ e componente primeiro vertical η)

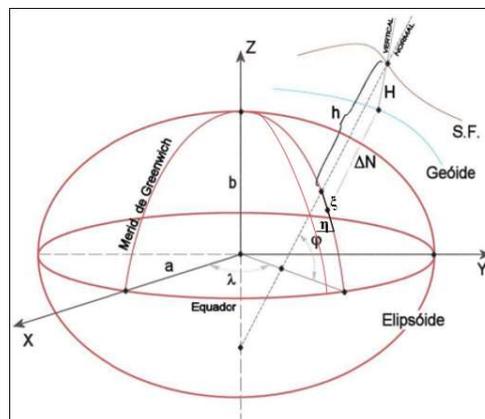


FIGURA 1 - Superfície da Elipse de Referência e Coordenadas Geodésicas de um Ponto na Superfície Física da Terra.

FONTE: Adaptada (FREITAS, 2005; SÁ, *sd*).

Já o sistema geodésico moderno adota sua posição e orientação referenciado a Terra como um todo, o elipsoide geocêntrico, onde o seu centro geométrico é definido como coincidente com o centro de massa da Terra, para uma dada época e, com o eixo de revolução coincidente com o eixo de rotação da Terra. A materialização é dada mediante rede de estações geodésicas com coordenadas tridimensionais (3D). Esse sistema possui quatro componentes, três de definição espacial e uma, temporal e essas são suas vantagens sobre o sistema clássico. A exemplo desse sistema moderno tem-se o *International Earth Rotation System* (IERS) *Terrestrial Reference System* (ITRS). Os métodos e procedimentos utilizados no estabelecimento de coordenadas são as técnicas espaciais de posicionamento como o *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), *Satellite Laser Range* (SLR) e o GPS (IBGE, 2016). Constantes físicas também definem os SGR modernos através de quatro parâmetros:

- 1- Raio equatorial (a);
- 2- Constante gravitacional geocêntrica (GM);
- 3- Achatamento terrestre (f);
- 4- Velocidade angular de rotação da Terra (ω).

Expostas as explicações acima, os SGRs horizontal diferem quanto a escolha do esferoide e dos pontos de origem que são utilizados para aproximar a superfície da Terra. Pode-se utilizar um sistema horizontal local como o Datum Norte Americano de 1927 (NAD27) que utiliza a esferoide de Clarke de 1866 onde sua origem está localizada na superfície da Terra, no Meades

Rancho, Kansas. Já o NAD83, outro Datum Norte-Americano, usa o elipsoide do sistema de referência geodésico de 1980 com a origem localizada no centro de massa da Terra; este mais avançado e moderno que aquele (IHO, 2016).

Nos últimos cinquenta anos foi reconhecida a necessidade de encontrar um sistema de referência único para todo o globo. Com o advento da geodesia por satélite, houve um avanço no quesito melhor aproximação média para todas as partes do globo. Seu desenvolvimento foi efetivado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos culminando em criação de modelos da superfície terrestre cada vez mais confiáveis. Assim, foram produzidos os *World Geodetic System* (WGS): WGS60, WGS66 e o WGS72. Essas tentativas conduzem para um sistema geodésico e universal em 1984, o WGS84. Sua superfície de referência é o elipsoide com o equador de raio $a = 6378137\text{m}$ e o raio de achatamento $f = 6356752,3142\text{m}$. Constituído por um sistema de eixos cartesianos, OXYZ com origem no centro de massa convencional da Terra. O eixo Z dirigido para o pólo Norte, Pólo terrestre convencional (CTP), como definido pelo *Bureau International de L'Heure* (BIH) em 1984, hoje designado por IERS. O eixo X resulta da intersecção do plano no meridiano de Greenwich e o plano equatorial referente ao CTP. O eixo Y é estabelecido no plano equatorial a 90° do eixo X (USACE, 2016). O WGS84 fica a 5,31 segundos de arco (102,5 m) a leste do Meridiano de Greenwich na latitude do observatório real ($51^\circ 28' 40,12''\text{N}$). (IHO, 20016).

2.1.2 SGR vertical

Assim como no SGR horizontal, o vertical, para definição de altitude, também precisa de referência. Isso estabelecido, a medição dá-se pela elevação ortogonal, perpendicular, à horizontal. De acordo com o sistema estabelecido, definem-se diferentes altimetrias tais como:

a) “h” altitude elipsoidal – É a distância, contada segundo a normal ao modelo adotado como imagem geométrica da Terra por um sistema geodésico, entre um ponto da superfície física e a superfície deste modelo (CASAN, 2006). O Sistema de Posicionamento Global (GPS) fornece esta altura (USACE, 2016).

b) “H” altitude ortométrica (altura acima da superfície do geóide) – adota como superfície de referência a superfície equipotencial do campo gravítico terrestre, aproximada ao *Mean Sea Level* (MSL) quando se ignoram as oscilações periódicas (IHO, 2016). Também podem ser utilizadas como referência a maré e adotar registros de *Level of High Tide* (HTL), *Level of Low Tide* (LTL) dentre outras, muito comuns em alguns mapas de cartas náuticas dos Estados Unidos e Canadá publicados no *Natinal Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

As ondulações do geóide (N) designam a diferença entre as duas superfícies, elipsoide e geóide, necessárias para relacionar os dois sistemas altimétricos (CASAN, 2006). A altura geoidal é variável, sendo as variações devidas às geometrias e orientações entre as superfícies em questão e as anomalias da gravidade. Pode-se conseguir os valores de ondulações geoidal através do software do IBGE MAPGEO2015. Como dito acima, “h” é mensurável com o GPS enquanto “H” é observável a partir de operações de nivelamento corrigidas de observações gravimétricas. A altimetria tradicional (ortométrica), que se utiliza para obras de engenharia, atribui convencionalmente ao referencial MSL a elevação zero. Tanto a altura ortométrica como a geométrica, dependem de um referencial e modelo, respectivamente para uniformidade entre os dados adquiridos, fundamental à geração de informações assertivas. A relação entre a altitude elipsoidal e ortométrica é ilustrada na figura abaixo:

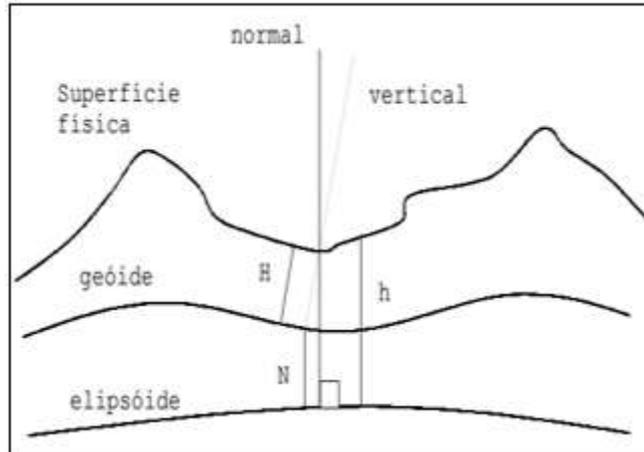


FIGURA 2 – Esquema das SGR vertical
 FONTE: (ITAME, 2001)

O software MAPGEO2015, do IBGE, fornece a ondulação geoidal tão categórica para resolução da equação que fornece a altura ortométrica. A figura abaixo ilustra a o layout dessa ferramenta.

A interface do software 'SISTEMA DE INTERPOLAÇÃO DE ONDULAÇÃO GEODAL (SIRGAS2000)' apresenta as seguintes opções e dados:

- ENTRADA VIA TECLADO
- ID do Ponto: INICIO
- Formato de Saída: Graudecimal, GMS
- Latitude: 22 23 38.3900
- Longitude: 41 48 03.3100
- Ondulação Geoidal: -06.77
- ENTRADA VIA ARQUIVO
- Formato Arquivo Entrada:
 - ID do Ponto
 - Lat Lon (Grau Decimal)
 - Lon Lat (Grau Decimal)
 - Lat Lon (GMS)
 - Lon Lat (GMS)
- Formato Arquivo Saída:
 - ID do Ponto
 - Coordenadas de Entrada
 - Ondulação Geoidal
- Arquivo de entrada: [campo vazio]
- Arquivo de saída: [campo vazio]
- Botão: Processa

FIGURA 3 - Tela do software MAPGEO2015
 FONTE: Próprios autores

Para exemplificar *data* ortométricos, além dos já elencados, tem-se *Geodetic Vertical Datum Nacional* de 1929 (NGVD 29), *Vertical do Norte Datum* de 1988 (NAVD 88) que, a diferença entre um mesmo ponto neles materializados podem ser de 2,2 metros (USACE,2016). No Brasil, as estações com instalações de marégrafos, segundo IBGE (2016) para referenciar o MSL são: Santana (AP)/EMSAN; Fortaleza (CE)/EMFOR; Salvador (SA)/EMSAL; Macaé (RJ)/EMMAC e Imbituba (SC)/EMIMB.

2.2 Método de Transformação Entre Sistemas de Referência

Avanços tecnológicos como uso de GPS diferencial, redes de referência de alta precisão, têm permitido a criação de elipsoides e geoides cada vez mais precisos. Com isso, as redes geodésica horizontal e vertical têm sido reajustadas para ficarem mais consistente e semelhante aos novos valores de referência. Para tanto, transformações através de uma série de equações matemáticas fazem-se necessárias na materialização desses pontos em um novo referencial. Também, ao combinar dados de diferentes usuários ou eras, é importante transformá-los em *data* geodésicos comuns. A magnetude do deslocamento desses pontos materializados entre as redes antiga e nova não são uniformes (GIS, 2016).

Para conversão horizontal entre dados do *North American Datum* (NAD 27) em (NAD83), o *National Geodetic Survey* (NGS) desenvolveu um programa chamado *North American Datum Conversion Utility* (NADCON) para relacionar coordenar entre os dois sistemas (IHO, 2016). Pode-se fazê-las pelo link: <http://www.ngs.noaa.gov/cgi-bin/nadcon.prl>. Há uma grande quantidade de *datum* e, para muitos deles, existem ferramentas de conversões apropriadas (NOA, 2016).

No Brasil, já foram oficialmente adotados quatro referenciais geodésicos. Destes, um provisório, no vértice de Chuá, que foi estabelecido pelo IBGE como transição para inaugurar o *datum* SAD69 (IBGE, 2016). Os parâmetros dos respectivos *data* brasileiros estão elencados na tabela a seguir.

TABELA 1 – Sistema Geodésico Brasileiro

Sistema Geodésico	Córrego Alegre	SAD-69	SIRGAS
elipsóide	Hayford	Referencia 1967	GRS-80
a	6378388,000m	6378160,000m	6378137,000m
b	6356911,946m	6356774,719m	6356752,3141m
f	1/297	1/298,25	1/298,257222101
e ²	0,006722670	0,0066946053	0,00669438002290
a-b	21476,054m	21385,281m	21384,6859m

FONTE:(NADAL, 2016)

Segundo IBGE (2016), a rede SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - constitui-se numa das redes geodésicas continentais mais precisas do mundo. O WGS 84 possui características muito próximas ao SIRGAS, podendo, para efeitos práticos da Cartografia, serem considerados como equivalentes. Do mesmo modo, o WGS 84 pode ser considerado coincidente com as realizações do ITRS, uma vez que a diferença entre coordenadas de um ponto referido aos dois sistemas está estimada em algo menor do que cinco centímetros (FREITAS 2005; DALAZOANA, 2011).

A Resolução do IBGE N°22, de 21/07/83, estabeleceu para o SGB, as fórmulas oficiais de transformação entre os mesmos. Utilizando o modelo matemático pelo método das equações

diferenciais simplificadas de Molodenski com cinco parâmetros (três de translação, um de diferenças entre os semi-eixos maior e o outro de achatamento dos dois sistemas). As equações estão listadas abaixo.

$$\Delta\phi = \frac{1}{M_1} ((a_1 \cdot \Delta f + f_1 \Delta a) \text{sen}^2 \phi_1 - (\Delta X \cdot \text{sen} \phi_1 \cdot \text{cos} \lambda_1) - (\Delta Y \cdot \text{sen} \phi_1 \cdot \text{sen} \lambda_1) + (\Delta Z \cdot \text{cos} \lambda_1)) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (\text{eq.1})$$

$$\Delta\lambda = \frac{1}{N_1 \cdot \text{cos} \phi_1} (-\Delta X \cdot \text{sen} \lambda_1 + \Delta Y \cdot \text{cos} \lambda_1) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (\text{eq.2})$$

$$\Delta h = ((a_1 \cdot \Delta f + f_1 \Delta a) \text{sen}^2 \phi_1 - \Delta a + \Delta X \cdot \text{cos} \phi_1 \cdot \text{cos} \lambda_1 + \Delta Y \cdot \text{cos} \phi_1 \cdot \text{sen} \lambda_1 + \Delta Z \cdot \text{sen} \phi_1) \quad (\text{eq.3})$$

$$\phi_2 = \phi_1 + \Delta\phi$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$$

$$h_2 = h_1 + \Delta N$$

(eq.4)

$$e_1^2 = f_1(2 - f_1)$$

(eq.5)

$$N_1 = \frac{a_1}{\sqrt{1 - e_1^2 \text{sen}^2 \phi}}$$

(eq.6)

$$M_1 = \frac{a_1(1 - e_1^2)}{(1 - e_1^2 \text{sen}^2 \phi)}$$

(eq.7)

Os termos :

a_1 = semi-eixo maior do Elipsóide 1

f_1 = achatamento do Elipsóide 1

ϕ_1 = latitude do ponto no elipsóide 1

λ_1 = longitude do ponto no elipsóide 1

a_2 = semi-eixo maior do elipsóide 2

f_2 = achatamento do elipsóide 2

ϕ_2 = latitude geodésica do ponto no elipsóide 2

λ_2 = longitude geodésica do ponto no elipsóide 2

e_1 = excentricidade do elipsóide 1

N_1 = grande normal do ponto no elipsóide

M_1 = raio da seção meridiana do ponto no elipsóide 1

h_1 = altitude geométrica do ponto no elipsóide 1

h_2 = altitude geométrica do ponto no elipsóide 2

h = diferença de altitudes

Δx , Δy e Δz são parâmetros de transformação do elipsóide 1 para o elipsóide 2.

TABELA 2 - Parâmetros dos Semi-eixo maior e o achatamento dos elipsoides

ANO	NOME	a (m)	f^1
1830	Airy	6 377 563	299,325
1830	Everest	6 377 276	300,802
1841	Bessel	6 377 397	299,153
1858	Clarke	6 378 294	294,261
1866	Clarke	6 378 206	294,978
1880	Clarke	6 378 249	293,466
1907	Helmert	6 378 200	298,300
1909	Hayford	6 378 388	297,000
1927	NAD 27	6 378 206,4	294,9786982
1948	Krassovsky	6 378 245	298,300
1960	Fischer	6 378 155	298,3
1966	WGS 66	6 378 145	298,25
1967	IUGG	6 378 160	298,247
1972	WGS 72	6 378 135	298,26
1980	Internacional	6 378 137	298,257222101
1983	NAD 83	6 378 137,0	298,257222101
1984	WGS 84	6 378 137	298,257223563

FONTE: (DALAZOANA, 2011)

A tabela 2 têm os parâmetros dos semi-eixos maiores e do achatamento dos elipsoides. Esses valores, a depender de qual elipsoide foi adotando, serão substituídos nas variáveis “ a_1 ” e “ f_1 ” nas equações diferenciais simplificadas de Molodenski para assim, encontrar os valores de “ $\Delta\lambda$, $\Delta\phi$ e ΔN ”. Esses valores serão aplicados a equação 4 e assim, descobrem-se os pontos de latitude, longitude e altura no novo elipsoide de referência.

3 Topobatimetria e Batimetria do Canal do Capote na Cidade de Macaé: Definição e Instrumentos Requeridos para o seu Levantamento

A topobatimetria tem como objetivo determinar e representar a forma, a dimensão e a posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre. Esta representação desconsidera a curvatura resultante da esfericidade terrestre, projetando, sobre um plano, os limites da superfície que se quer representar juntamente com as particularidades naturais ou artificiais do terreno. Para tanto, utiliza-se instrumentos e estações que culminam na geração de dados planialtimétricos (PERINI; FURASTÉ, 2011). Esses dados precisam ser minuciosamente levantados segundo a NBR 13133, que estabelece um conjunto de operações topográficas destinadas à determinação das posições planialtimétricas dos pontos que permitirão a representação do terreno (UERJ, 2016).

Para eliminar, ou em última análise, minimizar os erros, é necessária a adoção de procedimentos técnicos a fim de unificar e/ou uniformizar os dados obtidos das mais diversas fontes, assim, a qualidade das informações que subsidiarão o MTD serão as mais representativas possíveis do cenário (SALDANHA, 2005).

Para a criação do MDT do canal do Capote, foram utilizados softwares de aquisição de dados de ondulação geoidal (MAPGEO2015) e posição global, status de satélites (GpsView v2.0.24). Ambos sob os mesmos referenciais ou referenciais compatíveis. Assim, não houve necessidade de transformações entre os sistemas de referência, apenas modelagem matemática para chegar aos valores topobatimétricos de cada ponto do levantamento. Contou-se também

com instrumentos abaixo relacionados para fornecer os parâmetros primordiais à construção do MDT do canal (dados altimétricos e planimétricos).

Seguem os instrumentos utilizados e esclarecimentos sobre os mesmos.

3.1 GPS/GLONASS

Há muitos métodos e trabalhos realizados para a determinação da altitude ortométrica com base no GPS (ANANGA, SAKURAI, 1996; BIRARDI *et al.* 1995; COLLIER; CROFT, 1997; FIELDER, 1992; JAKSA *et al.* 1991; KUANG *et al.*, 1994; WU; LIN, 1996; PARKS *et al.*, 1995). Esse sistema promete fornecer a posição (em latitude, longitude e altitude) em qualquer lugar do planeta, em qualquer condição climática por ter à disposição do usuário, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados (MONICO, 2007). É um sistema composto por 31 satélites (alguns desativados) em órbitas elípticas inclinadas 55° em relação ao equador, distribuídos em seis planos orbitais com quatro satélites em cada plano. Segundo Broering (2010), A potência de transmissão é em torno de 27 watts, pesando 900Kg com 5 metros de extensão, e giram em torno da Terra a uma velocidade aproximada de 11000 Km/h. Sua altitude é de 22.200km e o sinal é constituído por duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas da frequência fundamental de 10,23Mhz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente culminando nas frequências L e os comprimentos de ondas seguintes:

L1=1575,42MHz e $\lambda= 19$ cm

L2=1227,60MHz e $\lambda= 24$ cm

Ainda segundo Monico (2007), essas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo corrigir grande parte dos efeitos provocados pela ionosfera. Sobre as ondas portadoras, há códigos modelados, o *coarse acquisition* (CA) com comprimento de onda por volta de 300 m, transmitido em uma razão de 1,023MHz. Cada satélite transmite um código C/A diferente, que pela sua baixa correlação das características básicas, possibilita a rápida distinção dos sinais recebidos de vários satélites. Esse código também é conhecido como *Pseudorandom Noise* (PRN). O outro código modelado é o código *precise* (P) que é transmitido com uma frequência de 10,23MHz sendo mais preciso que o C/A. Ele é criptografado passando a ser denominado de Y, não disponível para usuários civis, quando está operando em *Selective Availability* (AS).

Já está disponível, no bloco IIF, uma terceira frequência portadora a qual é multiplicada por 115 da frequência fundamental produzindo L5= 1176,45MHz e $\lambda= 25,5$ cm. Também o código L2C está sendo incorporado ao bloco IIR-M que apresenta uma melhor sensibilidade que o código C/A.

Dessa explanação, observa-se que atualmente há três tipos de sinais no GPS: as portadoras (L1, L2 e L5), os códigos (C/A, L2C e P (Y)) e os dados (navegação, relógio etc.) (MONICO, 2008).

QUADRO 1 – Constelação GPS

SVN	PRN	CLOCK	LAUNCHED	USABLE
TYPE: Block IIA				
23	32		11-26-90	
34	04		10-26-93	
TYPE: Block IIR				
43	13	Rb	7-23-97	1-31-98
46	11	Rb	10-7-99	1-3-00
51	20	Rb	5-11-00	6-1-00
44	28	Rb	7-16-00	8-17-00
41	14	Rb	11-10-00	12-10-00
54	18	Rb	1-30-01	2-15-01
56	16	Rb	1-29-03	2-18-03
45	21	Rb	3-31-03	4-12-03
47	22	Rb	12-21-03	1-12-04
59	19	Rb	3-20-04	4-5-04
60	23	Rb	6-23-04	7-9-04
61	02	Rb	11-6-04	11-22-04
TYPE: Block IIR-M				
53	17	Rb	9-26-05	12-16-05
52	31	Rb	9-25-06	10-12-06
58	12	Rb	11-17-06	12-13-06
55	15	Rb	10-17-07	10-31-07
57	29	Rb	12-20-07	1-2-08
48	07	Rb	3-15-08	3-24-08
50	05	Rb	8-17-09	8-27-09
TYPE: Block IIF				
62	25	Rb	5-28-10	8-27-10
63	01	Rb	7-16-11	10-14-11
65	24	Cs	10-4-12	11-14-12
66	27	Rb	5-15-13	6-21-13
64	30	Rb	2-21-14	5-30-14
67	06	Rb	5-17-14	6-10-14
68	09	Rb	8-2-14	9-17-14
69	03	Rb	10-29-14	12-12-14
71	26	Rb	3-25-15	4-20-15
72	08	Cs	7-15-15	8-12-15
73	10	Rb	10-31-15	12-9-15
70	32	Rb	2-5-16	3-9-16

Disponível em: [http:// www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com).

O GLONASS tem uma constelação de 24 satélites ativos e 3 reservas. São divididos em três planos orbitais com oito satélites em cada um, órbitas circulares separadas de 120° e inclinação de $64,8^\circ$ em relação ao equador. Por conta desta maior inclinação, proporciona, em relação ao GPS, melhor cobertura para altas altitudes. O peso dos satélites é em torno de 1415 Kg, com um comprimento de 7,84 m (EM ÓRBITA, 2016). Segundo Seeber (p.384, 2003) são visíveis entre seis e oito satélites em qualquer lugar da Terra, com todo o sistema funcionando. Dista 19.100 Km da Terra, com período orbital de 11h 15 min.. Os sinais do GLONASS não são degradados intencionalmente, pois o código PRN é o mesmo para todos os satélites. A frequência C/A e P é, aproximadamente, a metade daquela do GPS: 0,511 MHz e 5,11 MHz respectivamente (MONICO, 2008).

A identificação dos mesmos dá-se pela frequência do sinal. Esse sistema transmite seus sinais em duas bandas L1 e L2. A frequência é determinada segundo Seeber (2003) como:

$$L1 = f_{01} + k * \Delta f_{L1} \quad \text{com } k = 0, 1, 2, \dots, 24 \quad (\text{eq. 8})$$

$$L2 = f_{02} + k * \Delta f_{L2} \quad \text{com } k = 0, 1, 2, \dots, 24 \quad (\text{eq. 9})$$

Onde:

$$f_{01} = 1602 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{L1} = 0,5625 \text{ MHz}$$

$$f_{02} = 1246 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{L2} = 0,4375 \text{ MHz}$$

K= representa o número do satélite. K=0 é usado só para testes.

Segundo a equação, as bandas de frequência para L1 vão de 1598,625 a 1604,25 Mhz e para L2 de 1242,9375 a 1247,75 MHz (MONICO, 2008). Alguns satélites possuem as mesmas frequências, mas esses estão localizados em posições antipodais dos planos orbitais e não aparecem no mesmo horizonte do utilizador.

QUADRO 2– Constelação GLONASS

GLONASS NUMBER	KOSMOS NUMBER	LAUNCHED	USABLE	ALMANAC/ SLOT	CHANNEL	ORBIT PLANE	NOTES
100 (714)	2419	12-25-05	4-15-15	(17)		3	A
101 (715)	2424	12-25-06	4-3-07	14	-7	2	
102 (716)	2425	12-25-06	10-12-07	15	0	2	
103 (717)	2426	12-25-06	4-3-07	10	-7	2	
105 (719)	2432	10-26-07	11-27-07	20	2	3	
106 (720)	2433	10-26-07	11-25-07	19	3	3	
107 (721)	2434	12-25-07	2-8-08	13	-2	2	
109 (723)	2436	12-25-07	1-22-08	(11)		2	B
111 (725)	2443	9-25-08	11-5-08				C
116 (730)	2456	12-14-09	1-30-10	1	1	1	
117 (733)	2457	12-14-09	1-24-10	6	-4	1	
118 (734)	2458	12-14-09	1-10-10	5	1	1	
119 (731)	2459	3-1-10	3-28-10	22	-3	3	
120 (732)	2460	3-1-10	3-28-10	23	3	3	
121 (735)	2461	3-1-10	3-28-10	24	2	3	
122 (736)	2464	9-2-10	10-4-10	16	-1	2	D
123 (737)	2465	9-2-10	10-12-10	12	-1	2	E
124 (738)	2466	9-2-10	10-11-10				F
125 (701)	2471	2-26-11		(20)	-5	3	G
126 (742)	2474	10-2-11	10-25-11	4	6	1	
127 (743)	2475	11-4-11	3-5-13	8	6	1	
128 (744)	2476	11-4-11	12-8-11	3	5	1	
129 (745)	2477	11-4-11	12-23-11	7	5	1	
130 (746)	2478	11-28-11	12-23-11				H
131 (747)	2485	4-26-13	7-4-13	2	-4	1	
132 (754)	2491	3-24-14	4-13-14	18	-3	3	
133 (755)	2500	6-14-14	8-3-14	21	4	3	

Disponível em: <http://www.gpsworld.com>.

As vantagens da utilização desses dois sistemas juntos é a melhor precisão em áreas com visibilidade restrita, melhoria da qualidade no posicionamento isolado, maior possibilidade em obter uma boa geometria *position (3D) Dilution of Precision (PDOP)* pelo maior número de satélites disponível. Com essas potencialidades, a integração do GPS/GLONASS vem despertando crescente interesse da comunidade científica internacional (LAGO *et. al.*, 2002). Antes, o sistema de referência entre o GPS e GLONASS precisavam de pequenos ajustes, pois aquele fornece posições relacionadas ao WGS84 e, este fornecia ao *Parametry Zemli 1990 (PZ-90)*. A partir de 2007, o GLONASS passou a transmitir suas coordenadas referenciadas ao PZ-90.02 que se aproximou ao ITRF2000 (POLEZEL, 2010).

3.1.1 Dados Obtidos em campo com o sensor GPS/GLONASS

O protocolo de comunicação usado pelo sensor GPS/GLONASS é o *National Marine Electronics Association (NMEA)*, que envia linhas de frases padronizadas à interface. A frase sempre se inicia com “\$”, seguida do tipo de dispositivo (GP dispositivo GPS; GL, GLONASS e GN, GPS/GLONASS) e o tipo de dado que virá naquela frase. Esses são separados por vírgula, o checksum é constituído por um “*” e dois dígitos hexadecimais. Como exemplo, primeiras frases dos dados de campo com o sensor:

```
$GPGGA,130203.000,2222.027924,S,04147.691145,W,2,17,0.61,3.301,M,-6.066,M,0000,0000*7A
```

```
$GNGSA,A,3,19,05,09,07,13,17,30,28,,,,,1.36,0.61,1.22*10
```

```
$GNGSA,A,3,85,86,66,65,74,84,75,72,76,,,,,1.36,0.61,1.22*17
```

\$GPGSV,3,1,10,28,68,255,43,33,50,052,40,30,49,173,50,19,48,050,44*72
 \$GPGSV,3,2,10,09,40,041,32,07,37,126,42,17,31,004,41,05,26,264,47*77
 \$GPGSV,3,3,10,13,19,217,41,23,04,040,28*78
 \$GLGSV,3,1,09,65,51,263,47,72,38,342,32,75,36,191,47,85,33,073,32*62
 \$GLGSV,3,2,09,84,19,126,28,76,18,248,38,74,17,135,29,86,15,019,25*67
 \$GLGSV,3,3,09,66,14,214,41*5B
 \$GNRMC,130203.000,A,2222.027924,S,04147.691145,W,0.01,117.66,011215,,D*7B

Decodificação segundo SiRF Technology (2016):

GGA=Informa dados essenciais 3D da localização e sua precisão:

Hora UTC

Latitude,

Longitude,

Qualidade (0 = inválido; 1 = GPS fixo (SPS); 2 = DGPS fixo; 3 = PPS fixo; 4 = real dinâmico; 5 = flutuante; RTK 6 = estimado; 7 = manual; 8 = modo simulação)

Número de satélites

Precisão da posição horizontal (precisão boa HDOP < 1,5)

Altitude em relação ao elipsoide WGS84

Ondulação da geóide em relação WGS84 (negativo está abaixo do elipsoide de referência e positivo está acima)

Campo vazio

Campo vazio

GSA=Informa o status dos satélites:

Seleção automática da posição 2D ou 3D,

A correção (1= sem correção; 2= correção 2D e 3= correção 3D)

PRN dos satélites utilizados para correção (limite de 12)

Precisão da posição tridimensional (PDOP)

Precisão na posição horizontal (HDOP)

Precisão na posição vertical (VDOP)

DOP (< 1= ideal; 1-2= excelente; 2-5= boa; 5-10= moderado)

GSV=Informa almanaque dos satélites visualizados (só pode fornecer dados para até 4 satélites por frase):

Número de linhas de mensagens

Número da mensagem

Número de satélites a vista (pode precisar de outra frase se for maior que 4)

PRN do satélite

Elevação em graus (máximo 90)

Azimute em graus (0 a 359)

Ruído (range= 0 a 99 quanto maior, menos distorção)

.
.

PRN do satélite

Elevação em graus (máximo 90)

Azimute em graus (0 a 359)

Ruído (range= 0 a 99 quanto maior, menos distorção)

RMC=Informa dados mínimos de posição, velocidade e tempo:

Tempo em UTC (hhmmss.ss)

Status (A= ativo, V= não válido)

Latitude (ddmm.mmmm)

Longitude (dddmm.mmmm)

Velocidade sobre a Terra (nós)

Ângulo do curso em cima da Terra (grau)

Data (ddmmyy)

A visualização do software GPSView que fez a aquisição dos dados do sensor GPS/GLONASS:

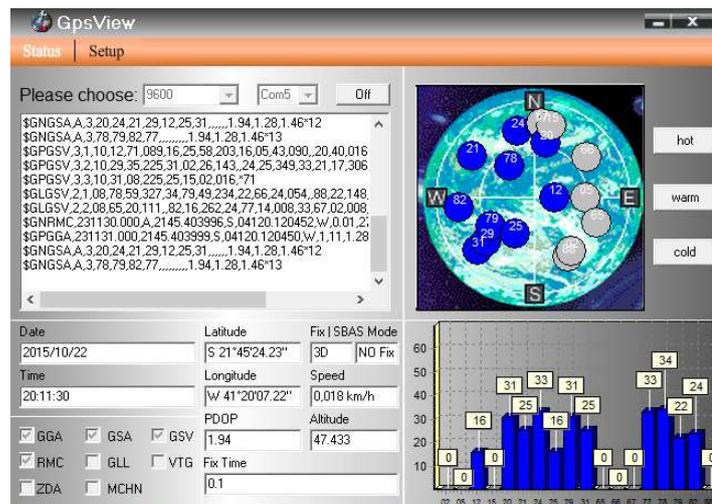


FIGURA 4 – Layout do software de aquisição de dados do GPS/GLONASS
FONTE: Próprios autores

3.2 SONDA/ batimetria

Para o levantamento em campo do canal na cidade de Macaé foi utilizada a sonda da Garmin 521s. Foram tabuladas as alturas da lâmina d'água bem como as posições nesses respectivos pontos. Para menores erros de posicionamentos, usou-se uma antena externa, junto ao equipamento da sonda. O ecobatímetro opera em duas frequências de trabalho: 50 e 200kHz. Aquela é própria para aferir leituras de profundidades maiores, em água salgada e com feixes mais largos (40°); já esta, utilizada para baixas profundidades, água doce, abertura de feixe menor (10°) e produzem sinais com melhores definições. O *range* de profundidade (lâmina d'água) que o ecobatímetro lê é de 0,75 m a 457m.

A plataforma usada para embarcar o equipamento foi crucial para concretizar a pesquisa em campo, essa plataforma é de fácil manejo e mobilidade; leve; minimamente invasiva e possui uma versatilidade tanto na forma como os equipamentos podem ser dispostos em sua base como no layout das amarrações para executar o monitoramento. Além disso, sabe-se que, em muitos monitoramentos ou partes deles, os dados são aproximados ou nem são possíveis de serem investigados pelo pesquisador; por não conseguir chegar com o instrumento até o (s) local (is) desejado (s) prejudicando o estudo. Áreas de difícil acesso para barcos convencionais (locais estreitos e rasos) e/ou insalubres são componentes que restringem o acesso, mas, com

essa plataforma, obteve-se maior independência no levantamento dos dados permitindo abarcar toda a extensão planejada.



FOTO 1 – Plataforma para embarcar os instrumentos
Fonte: Próprios autores

LEGENDA:

- (1) - São presilhas plásticas presas por parafusos para afixar os instrumentos (sonda, interface, antena).
- (2) - Invólucros onde ficam a bateria e os cabos.
- (3) - Suporte para a antena (feito com um invólucro, fixo pela tampa com parafusos).
- (4) - Pesos de chumbo para auxiliar na estabilidade da prancha colocados nas quatro extremidades (usados prumos e estes são enroscados na base inferior).
- (5) – Orifícios selados pelas laterais por mangueiras e com ambas as extremidades vasadas por onde passa a corda para guiar a prancha no levantamento ambiental.

Uma parte da área planejada para o levantamento dos dados estava com muita vegetação. Essa com raízes grandes e entrelaçadas dificultou a passagem da plataforma com a sonda. O canal apresentou pontos com profundidades abaixo do *range* mínimo da sonda, então, essas áreas foram feitas as medidas de lâmina d'água pelo método da régua graduada (uma trena afixada) como ilustrado na foto 2. Como anteriormente houve testes entre os valores de profundidade lidos pela sonda e as medidas apresentadas pela trena (para os mesmos pontos) pode calcular a correlação entre eles: 98% em profundidades acima de 1m, 92,86% para profundidades entre 0,50m e 0,70m e, entre 0,70m e 0,99m, 94,74%. Com um nível de correlação alto entre as duas técnicas, pode-se utilizar a régua graduada sem risco de gerar dados inconsistentes em relação a sonda.



FOTO 2 – Método da régua em “L” com a trena afixada para leitura da profundidade do canal.
FONTE: Próprios autores

4 Metodologia para a topobatimetria

Após a aquisição dos dados de todos os instrumentos adotados no levantamento, do suporte dos softwares para certificação da consistência lógica (Google Earth) e geométrica (MAPGEO2005 e GPS/GLONASS) pode-se modelar matematicamente as relações dos valores tabulados. Os valores das variáveis inseridas no modelo, oriundas das medições, visam encontrar as feições do terreno compatíveis com o real e sob um mesmo referencial.

Primeiramente, o referencial horizontal de todos os instrumentos é a elipsoide WGS84. Mesmo o GPS/GLONASS que, pela fusão dos dois sistemas de posicionamento (americano e russo) onde o GLONASS usa o PZ-90.02 como base, ficou comprovado, segundo Polezel (2010), que os dois sistemas têm a materialização dos seus pontos sem distorções relevantes, sendo compatíveis. Além disso, a integração dos dados dos dois permite maior aceitação da comunidade científica pela precisão e acurácia das efemérides e almanaque.

O referencial vertical usado pelo sensor GPS/GLONASS é o elipsoide WGS84, mas, a altura requerida para a topografia é a ortométrica. Esta referenciada ao MSL que é considerado equipotencialmente ao geoide. Mas há irregularidades no geoide tornando necessário conhecer a diferença entre as superfícies desse ao elipsoide, isto é, a altura ou ondulação geoidal (N) nos pontos estudados. Assim, pode-se obter a altitudes acima do nível médio do mar (ortométrica). As altitudes ortométricas e as alturas em relação ao elipsoide de referência são retiradas das frases GNGGA do protocolo NMEA fornecidas pelo próprio sensor (GPS/GLONASS). Para título de comparação, essa mesma variável (N) foi verificada com o auxílio do software MAPGEO2015. Os valores em ambas as fontes são compatíveis, com pouca variação. Para exemplificar, em um mesmo ponto de levantamento em campo, o valor da ondulação geoidal fornecido com o software do IBGE foi -6,77 m e com o sensor, -6,066 m. Para efeito de metodologia, foi usado no cálculo da altitude ortométrica o valor de ondulação geoidal do software MAPGEO2015. Especificadas as considerações acima, o cálculo foi feito tomando como referência a equação exposta em IBGE (2015):

$$h=H + N \quad (\text{eq. 10})$$

Onde:

h= altura fornecida pelo GPS/GLONASS (elipsoide)

N= ondulação geoidal

H= altura ortométrica (geoide/nível médio do mar)

Para a topografia de fundo do canal em questão, teve que diminuir desse valor calculado o da batimetria, pois o sensor GPS/GLONASS foi colocado na altura limiar entre o ar e a lâmina d'água.



FOTO 3 – Utilização do GPS/GLONASS, no limiar do ar e água.

FONTE: Próprios autores

A figura abaixo deixa ilustrado o cálculo da topobatimetria em relação ao geóide.

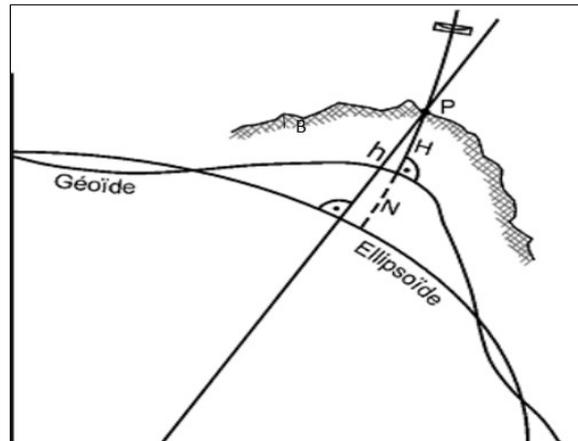


FIGURA 5 – Ilustração das variáveis utilizadas para o cálculo da topobatimetria. Linha onde está o ponto P= terreno, B= batimetria, Área hachurada= canal. A reta \overline{Ph} é normal ao elipsoide (relaciona-se ao centro geométrico do elipsoide se o usado como referência for local \bar{e} , se global, ao centro de massa da Terra) e semi-reta H é normal ao geóide.

FONTE: Adaptada pelos autores (<www.google.com.br> Acessado em: 10 de setembro 2015)

$$TB = H - B \quad (\text{eq. 11})$$

Onde:

TB= topobatimetria do canal

H= altura ortométrica calculada

B= batimetria

Já o cálculo topobatimétrico em relação ao elipsoide, basta diminuir a leitura oferecida pelo sensor GPS/GLONASS da batimetria (h - B).

5 Canal do Capote

O Canal do Capote tem aproximadamente 5,63 Km de extensão, desde o bairro da Glória até desaguar no rio Macaé. Bairros como Jardim Santo Antônio, Malvinas e Aroeiras estão no seu entorno. É uma região com históricos de inundações influenciadas pelas cheias do rio Macaé. A foto 4, ao lado da linha Verde, ilustra características desse corpo hídrico.



FOTO 4 - Canal do Capote - Bairro da Glória em Macaé/ RJ

FONTE: Próprios autores

Há no canal pontos de lançamento de esgoto *in natura* tornando-o poluído (foto 6), propícios ao desenvolvimento das gigogas (foto 5), plantas que filtram a matéria orgânica e evitam a degradação do curso d'água. Como elas proliferam muito nessas águas poluídas, sua remoção periódica é necessária para que não ocupem completamente a superfície da água. Esse recurso hídrico também está assoreado contribuindo para o não escoamento da massa líquida e, consequentemente colaborando para o seu transbordo.



FOTO 5 – Gigogas
FONTE: Próprios autores



FOTO 6 – Esgoto doméstico
FONTE: Próprios autores

Por ser o ponto receptor mais próximo, receberá o esgoto tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Centro. A estação, depois dos três módulos construídos, vai tratar 300 litros de esgoto por segundo (NOVA ETE, 2015). Lançar essa vazão de efluente no canal, concomitantemente com os efeitos de maré, podem contribuir para agravar as inundações em épocas de chuvas. Como ilustrada na foto 7, sem o lançamento do resíduo tratado e, no início do período das chuvas, já há pontos relevantes de acúmulo de água. Investigar as consequências de se propelir o efluente no canal deve ser um procedimento de uma pesquisa futura. Os dados desse artigo podem auxiliar como levantamentos preliminares. Caso seja validada a hipótese de que lançar a vazão total agrave a situação de enchente, pensar em dar outro destino ao resíduo líquido como, por exemplo, o reuso do mesmo.



FOTO 7 – Área de alagamento, no início do período das chuvas, sem o lançamento de efluentes
FONTE: Próprios autores

6 Cenário do Canal – Terreno Digital

Os terrenos digitais foram construídos no MOHID. Este é um modelo que teve como base o Fortran 77 e, continuamente é aperfeiçoado e atualizado devido sua aplicação em muitos projetos de Engenharia. Era anteriormente um modelo bidimensional forçado pela maré usada no estudo dos estuários e zonas costeiras resolvidos pelo método de Diferenças Finitas (NEVES, 1985). Hoje, o MOHID é desenvolvido em ANSI Fortran 95, o que permite uma

independência do sistema operacional (Windows, Linux, Unix) e um código de fácil implementação em qualquer ambiente (PRECIOSO, 2010). Por ter programação orientada a objeto e fazer uso do Método dos Volumes Finitos para resolver suas equações, permite a modelagem de diferentes processos tanto químicos como físicos, além de modelagem de bacias hidrográficas, cheias e outros tantos sistemas (SOUZA, 2010).

Como exemplo da aplicação da batimetria e topobatimetria associadas a ferramenta Mohid, em Martins (2013), tem-se a criação do MDT a partir do levantamento topobatimétrico que possibilitou o monitoramento da dinâmica fluvial de um trecho do ribeirão Guaratinguetá onde foram identificadas grandes mudanças em seu leito em um curto período de tempo. Dados de topobatimetria também foram fornecidos ao modelo para consolidar o modelo que determinou as características de transporte e dispersão no rio Piabanha/RJ com uso de traçadores fluorescentes (SILVA, 2013). Já a batimetria foi usada na construção do MTD para a modelação da qualidade da água da lagoa de Óbidos (IST, *sd.*) bem como em Souza (2010), como caracterização geográfica do TD da Baía do Espírito Santo a fim de simular a dispersão de óleo.

No caso em questão, após verificado que todas as fontes de dados dos quais foram requeridos os valores das variáveis desejadas à elaboração do terreno digital estão uniformemente referenciados e, feitos os devidos ajustes para adequar essas variáveis de interesse ao objeto de estudo (construir o MTD do canal) subsidiou-se o software MOHID com os parâmetros de entrada (batimetria, topobatimetria, grid, polígonos). Com essa consistência no processamento dos dados, imprimiu-se às feições geradas, uma qualidade final fundamentada na confiabilidade da integridade lógica e geográfica aplicadas.

Com a alta performance desta ferramenta (Mohid Studio), foram construídos, primeiramente, o perfil topobatimétrico do canal em relação ao elipsoide e geóide. Fez-se uma justaposição, a partir daquele perfil, com dados de altimetria da NASA. O referido canal foi escolhido por ser o receptor do efluente gerado pela ETE Centro, como evidenciado no item anterior. Os dados de campo aqui levantados juntamente com o TD criado poderá contribuir para estudos hidrodinâmicos a fim de avaliar, por exemplo, o quanto a implementação dessa ETE interferirá nos alagamentos (enchentes) corriqueiros nesta região em época de chuvas intensa, agravando ou não o problema. Também identificou as áreas mais suscetíveis às inundações contribuindo para embasar ações pública no tocante a evitar o adensamento populacional nessas regiões. Já que quando o volume precipitado não pode infiltrar, grande parte dele, que seria dirigido ao lençol freático não o é mais, desse modo, vai engrossando as águas do escoamento superficial exacerbando os efeitos das enchentes. Outros problemas, além da impermeabilização dos terrenos, são: o destino do lixo nessas áreas; as construções no leito dos canais, diminuindo a seção transversal. Esse conjunto de situações decresce a vazão de escoamento causando as inundações urbanas. Esse artigo colabora com a visão holística de batimetria e topografia apresentada no modelo para orientar melhores soluções que mitiguem o problema fornecendo subsídios para estudos técnicos que minorem os efeitos dos alagamentos.

Para suporte à criação do TD, o mapa panorâmico com o canal do Capote foi gerado e, a partir dele, isolada a área de interesse onde foi feito o levantamento dos dados. Com o objetivo de delimitar a área, criou-se o grid com espaçamento constante entre as grades e, depois, delineou-se os polígonos para isolar o canal. A seguir, as figuras ilustram essas fases essenciais à construção do TD.

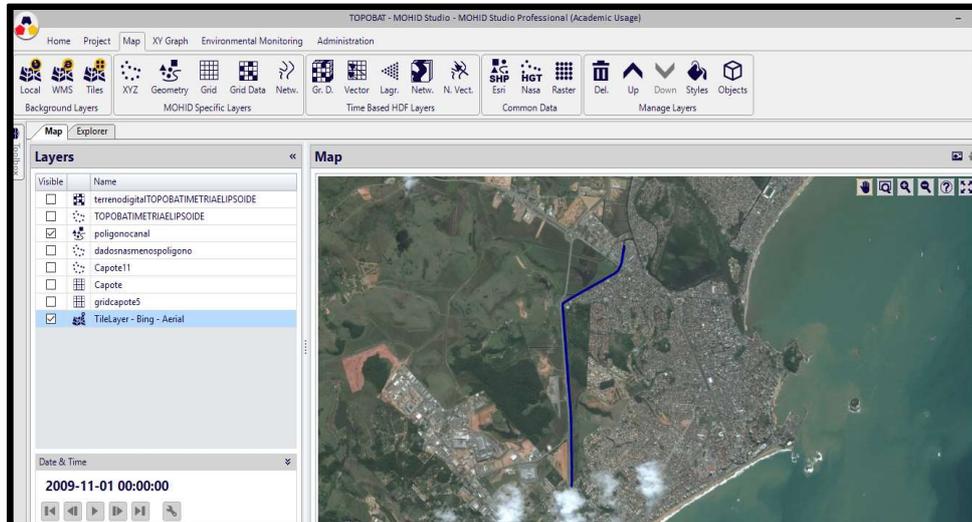


FIGURA 6 – Mapa panorâmico da região de interesse gerado no MOHID com destaque do local onde foi feita a batimetria e altimetria
 FONTE: Próprios autores

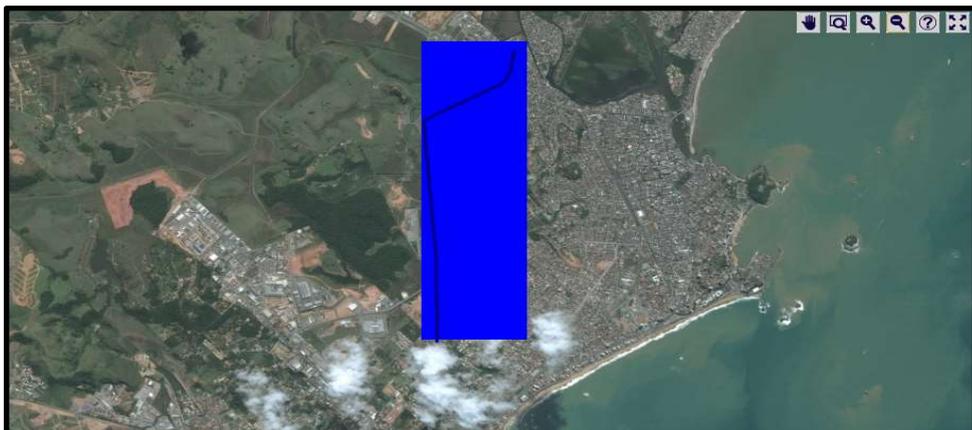


FIGURA 7 – Geração da grade em azul mais claro para isolar a área de interesse (com tamanho entre as células do grid, em graus, ao longo de x e y equivalentes a 0,0001) e dos polígonos, em azul escuro, para separar o canal da área de terra.
 FONTE: Próprios autores



FIGURA 8 – Representação das topobatimetrias: em relação ao elipsoide na figura à esquerda e em relação ao geóide à direita.

FONTE: Próprios autores

O TD foi feito, primeiramente, tendo como base os dados de DEM gerados pela NASA disponibilizados com a extensão HGT, referenciados ao *datum* WGS84 e com altitudes em metros. Apesar dos pontos positivos; como gerar um modelo digital de elevação quase global (80% da superfície terrestre), resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 metros com possibilidade de adquiri-los com resolução de 30 x 30 metros dependendo de acordos analisados individualmente pela NASA, os dados apresentam alguns problemas. Dentre eles estão valores espúrios nas proximidades do mar e áreas de sombra ao sinal não gerando valores. As correções desses problemas são diversas, tais como uso de programas que diminuem tais incorreções até substituição, da área de interesse, por dados oriundos de outros produtos (BARROS *et. al.*, 2005). Essa foi a metodologia adotada para a construção do TD.

Retirou-se, através de polígonos, o local onde foram feitas a batimetria e altimetria em campo do arquivo da NASA. Depois, com o método de triangulação dos pontos de topobatimetria, para aproximação de valores em pontos onde não foram aferidos os dados, somou-se estes àquele. Dessa associação, necessitaram alguns pequenos ajustes (dos 206 pontos de altimetria em campo, 31 foram adequados para altitudes menores). Ainda segundo Barros *et. al.* (2005), esses erros são comuns e, em experiência feita *in loco*, em seus trabalhos, encontraram discordâncias da ordem de até 5 metros na vertical.

A figura a seguir ilustra os terrenos com dados exclusivos disponibilizados pela NASA e com a junção desses aos aferidos em campo.

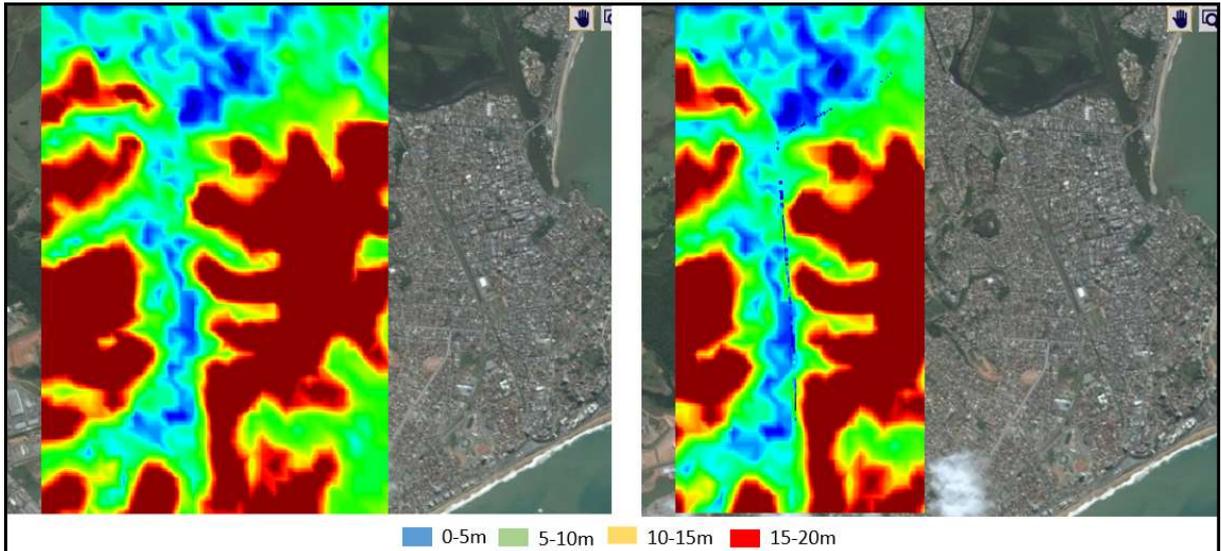


FIGURA 9 – À esquerda, representação dos dados exclusivos da NASA de altimetria do terreno e, à direita a inserção dos dados ajustados aferidos em campo àquele. Todos referenciados ao elipsoide WGS84.

FONTE: Próprios autores

A inclusão dos dados de topobatimetria do canal ao arquivo da NASA conferiu maior detalhamento a esta parte do terreno garantindo melhor visualização de onde as águas tendem a se acumular formando alagamentos. Sabendo-se quais terrenos são mais propícios a inundações, consegue-se planejar a ocupação do solo com maior segurança relacionada às cheias de maneira alicerçada. Além disso, a visualização do próprio canal do Capote que antes não era captado pela imagem de satélite, permite, agregada as feições topobatimétricas geradas, melhorar o aproveitamento desse curso de água artificial como elemento de drenagem. Pelo estudo, verifica-se que, ao final da Avenida Vitória Régias no bairro Nova Aroeira até o limite do bairro Village Parque Aeroporto na cidade de Macaé, o canal apresenta pontos de altimetria abaixo do nível do mar. Essas áreas aparecem no TD com “manchas” de acúmulo de água significativos a sua margem esquerda. O fator complicador desse fenômeno natural é que este bairro é densamente povoado. Na linha verde, também há pontos de alagamentos, mas o corpo hídrico tem cotas altimétricas decrescentes (apresentando declividade no terreno) acima do nível do mar. Com esse parecer, permite-se fazer estudos no sentido de propor soluções técnicas para minorar os locais de acúmulo de água e contemplar a população com menos perdas materiais e mais qualidade de vida.

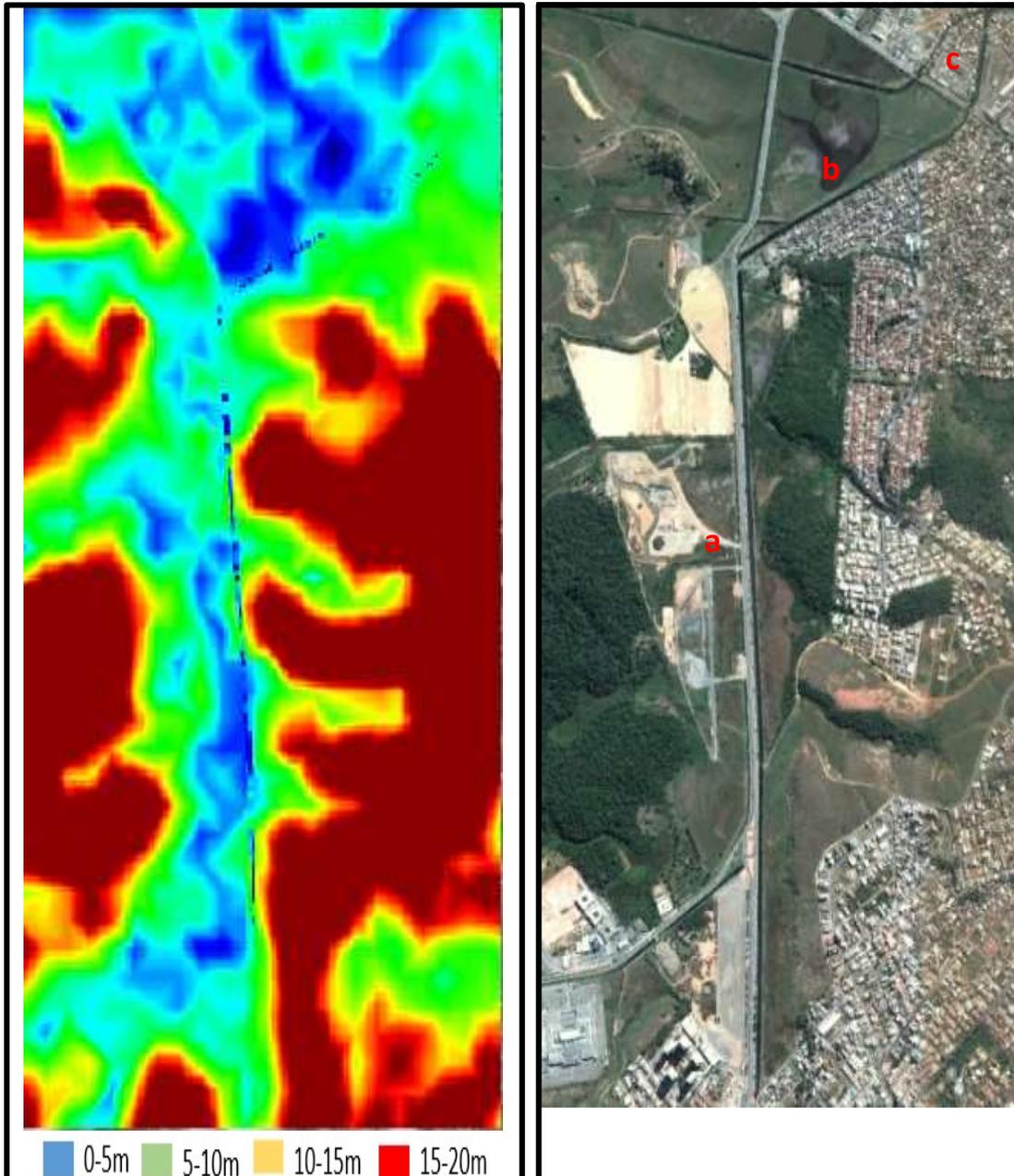


FIGURA 10 – Dados NASA associados a topobatimetria em relação ao elipsoide de referência WGS84 na figura à esquerda. Região real à direita: a) Linha verde, b) Nova Aroeira e c) Vilage Parque Aeroporto.

FONTE: Próprios autores

7 Conclusão

É fundamental salientar que, pela pluralidade de referenciais geodésicos existentes, tem que se ter atenção ao requerer dados, pois os mesmos necessitam estar todos padronizados (usando o mesmo referencial) para garantir qualidade ao produto final. São vários os fatores que contribuem para a construção apurada de qualquer modelo, entre eles destaca-se a confiabilidade dos dados de entrada. É crucial a uniformização para que os mesmos sejam materializados sem distorções com o cenário real. Outro cuidado a ser observado é o grau de acurácia requerido para se ter controle sobre a qualidade. Nessa seara, o dimensionamento do tamanho da amostra é importante: concentrar menores pontos de amostras onde a declividade é menor (mais suave) e, mais pontos em terrenos com grandes declividades. Para ter informação do que é “menos” ou “mais” pontos, saber previamente qual o tamanho das células do grid que pretende usar na construção do TD, assim ajuda planejar o espaçamento entre cada ponto do levantamento deixando cada célula com pelo menos um ponto de informação (ITAME, 2001).

Observa-se que muitas são as fontes para aquisição de dados planimétricos e altimétricos, mas, corriqueiramente, ajustes são necessários. Em informações oriundas de satélites, são muitos os erros que podem afetar as observações planialtimétricas principalmente. Dentre elas, destacam-se erros no relógio, embora muito precisos, não são perfeitos. A cada um nanosegundo (0,000000001 s) resulta em um desvio da dimensão de 30 cm na medição da distância. Outro potencial gerador de erro é determinar o posicionamento exato do satélite; pois o campo gravítico terrestre, forças gravitacionais da lua e sol, atrito atmosférico e pressões das radiações solares provocam variações em sua órbita, interferindo no rigor da posição medida. Os multi-trajetos, qualidade do receptor também são fatores que causam discrepâncias entre os valores reais e aferidos pelo satélite.

Muito tem sido feito para melhorar a precisão desses dados, mas, a nível gratuito ou de acesso livre, ainda há incorreções consideráveis. Por isso, o conhecimento e experiência do pesquisador com a ferramenta, com a área de estudo, são fundamentais para a correta interferência nesses ajustes. Mesmo com limitações, boas aproximações são alcançadas pela modelagem matemática e as feições que se quer estudar são bem representadas.

Dito isso, após adequações dos dados topobatimétricos medidos no canal, imprimiu-se um cenário mais autêntico nesse local ao terreno disponibilizado pela NASA. O Capote encontra-se com o rio Macaé próximo a sua foz fazendo com que ambos sofram interferências da maré. Em época de cheias esse fenômeno natural pode agravar a situação de alagamento em algumas áreas por dificultar o escoamento da massa de água desses corpos hídricos. Com o levantamento, cálculos hidrodinâmicos podem ser feitos afim de obter, com maior segurança, a capacidade de efluente que pode ser despejada no Capote, em momentos diversos, com a interferência da maré. Ou, caso não seja apropriada a vazão de 300 litros por segundo, o reuso do efluente pode fazer parte das soluções evitando o desperdício de uma água sanitariamente segura para fins agrícolas e industriais (irrigação de jardins, manutenção paisagística, alimentação de caldeiras, combate a incêndio) otimizando o uso racional da água e não agravando o problema de inundação já existente em época de chuvas intensas. A revitalização do canal com ecossistemas flutuantes é outra ação coadjuvante, pois melhora a vida aquática filtrando os poluentes e contribuindo para a resiliência do canal. De igual forma, com o conhecimento prévio dos espaços propícios ao alagamento elencados nessa pesquisa, as autoridades podem projetar melhor a ocupação urbana naquelas áreas conferindo ações que culminem em uma melhor qualidade de vida à população.

É válido ressaltar que rapidez na execução e custo baixo são características evidentes diferenciadas desta ferramenta de modelagem (o Mohid). As simulações que são feitas, como declarado anteriormente, abordam os mais variados processos dentre eles: hidrodinâmicos, fenômenos de dispersão, propagação de ondas, transporte de sedimentos, qualidade da água, redes hidrográficas, bacias hidrográficas (BRAUNSCHWEIG, 2010; BRAUNSCHWEIG *et. al.*, 2010; PESSANHA *et. al.*, 2011) e, mesmo sendo processos complexos, são bem retratados e reproduzem adequadamente os fenômenos naturais/ artificiais. Sendo assim, sua contribuição para gestão, nas mais diversificadas áreas, é importante e permite deliberações com um elevado grau de qualidade.

Para estudos futuros, sugerimos fazer a mesma metodologia de construção do cenário citado usando curvas de nível. Depois, compara-lo ao feito por satélite. Outra investigação a ser feita seria usar programas que melhorassem os dados do arquivo da NASA para verificar se há modificações nas suas feições e/ou se as mesmas são relevantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, J. C. L. D. **Coordenadas Geodésicas e Sistemas de Informação Geográfica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Divisão de Processamento de Imagens – DPI. São José dos Campos – SP.

ANANGA, N.; SAKURAI, S. *The Use Of GPS Data For Improving Local Geoid Determination*. Survey Review. v 33. 1996.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B.; COSTA JÚNIOR, N. A. Avaliação do Modelo de Elevação do SRTM na Ortoretificação de Imagens Landsat 7 – Área de Aplicação: Angra dos Reis – RJ. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE. Pg. 39997-4004. 2005.

BIRARD, 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. Springer-Verlag. Berlin. v 70. n. 1-2.1995.

BRAUNSCHWEIG, F; FERNANDEZ, L. **MOHID. Manual do Usuário**. Campos dos Goytagazes. Essentia Editora .2010.

BRAUNSCHWEIG, F.; TRANCOSO, A. R.; GAMBOA, M.; FRANCA, M. J. **Análise De Risco De Cheias Utilizando Um Modelo Hidrológico Distribuído Em Regime Variável**. In 10th Congresso da Água, Alvor. 2010.

BROERING, A. W. **Localização de Estações Móveis Praticada sob GSM e GPS**. Dissertação de graduação em Sistemas de Telecomunicações pelo Instituto Federal de Santa Catarina. São José – SC, 2010.

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. Manual para Execução de Serviços Topográficos. Florianópolis, SC. 3^o edição. 2006.

COLLIER, P. A.; CROFT, M. J. **Heights from GPS in an engineering environment**. Survey Review, Uk, ed. Board, n. 263.1997.

COSTA, S. M. A. **Soluções na Compatibilização de Diferentes Materializações de Sistema de Referência**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 1^o Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil. 2000.

DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS**. Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

DE SOUZA, Ronald Buss (Ed.). **Oceanografia por Satélites**. Oficina de Textos, 2009.
EM ÓRBITA. **Astronáutica e Conquista do Espaço: GLONASS**. Maio de 2016. Disponível em: < <http://www.orbita.zenite.nu/russia-lanca-novo-satelite-para-a-rede-de-navegacao-glonass/>>. Acessado em 07 de agosto de 2016.

FIELDER, J. *Orthometric heights from Global Positioning System*. **Journal of Surveying Engineering**. New York. v 118. n 3.1992.

FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos de Referência e Bases Cartográficas**. PADCT. UFPE-UFPR. Recife: 2005.

GIS – Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: <http://gisgeography.com/geodetic-datums-nad27-nad83-wgs84/>. Acessado em: 1 de agosto de 2016.

GUMIER, C. C.; LUVIZOTTO JR, E. **Aplicação de Modelo de Simulação-Otimização na Gestão de Perda de Água em Sistemas de Abastecimento**. Artigo Técnico de Engenharia Sanitária e Ambiental. V.12, nº1, pág. 32-41. 2007.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#1>>. Acessado em: 20 de julho de 2016.

IHO- *International Hydrographic Organization*. **Posicionamento**. Disponível em: https://www.iho.int/iho_pubs/CB/C-13/portugues/C13_C2_Posicionamento.pdf. Acessado em 20 de julho de 2016.

ILLER, C.; FLAMME, R. A. L. *The Digital Terrain Model-Theory and Applications*. **Photogrammetric Engineering**. v. 24, n. 3, p. 433-442, 1958.

IST – **Instituto Superior Técnico**. **Programa de Monitorização da Lagoa de Óbidos e do Emissário Submarino da Foz do Arelho. Modelação da Qualidade da Água: Situação de Referência e Situação Futura**. Projeto co-financiado pela União Europeias.

ITAME, O. Y. **Controle de Qualidade Aplicado na Modelagem Digital de Terreno**. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. 2001.

JAKSA, D. S., GILLILAND, J. R., TAN, C. K. F. *The Evaluation Of Australian Height Datum Values From Global Positioning System Measurements*. **Australian Journal of Géodesy Photogrammetry and Surveying**. Australia. n 54.1991.

KUANG, S.; FIDIS, C.; THOMAS, F. *Modeling of the local geoid with GPS and leveling: A case study*. Curitiba. 1994.

LAGO, I. F. DO; FERREIRA, L. D. D.; KRUEGER, C. P. K. Gps E Glonass: Aspectos Teóricos e Aplicações Práticas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 8, no 2, p.37-53, 2002.

Souza, M. P. G. **Simulação da Dispersão de óleo na Baía do Espírito Santo Usando o Modelo Numérico MOHID – 2D**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2010.

MARTINS, W. R. **Topobatimetria E Geração De Modelo Digital De Terreno No Monitoramento Da Dinâmica Fluvial Do Ribeirão Guaratinguetá..** Trabalho de conclusão

de curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. 64 f. 2013.

MATOS, A. C. de O. C. **Implementação De Modelos Digitais De Terreno Para Aplicações Na Área De Geodésia E Geofísica Na América Do Sul.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

MILLER, C. *The Spatial Model Concepto Photogrammetry.* Photogrammetric Engineering. V. 23, n. 1, p. 31. 1957.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** 2º ed. São Paulo. Editora Unesp. ISBN 978-85-7139-788-0. 2008.

NADAL, C. A. **Sistemas de Referência e Tempo em Geodésia.** Universidade Federal do Paraná-UFPR. Disponível em: <<http://livrozilla.com/doc/207966/aula-6-%E2%80%93-sistemas-geod%C3%A9sicos-de-referencia>>. Acessado em 01 de agosto de 2016.

NEVES, R. J. J. *Étude expérimentale et modélisation des circulations transitoire et résiduelle dans l'Estuaire du Sado.* Ph.D. Thesis, Liège University, Liège. 1985.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/>>. 2016.

NOVA ETE vai tratar esgoto de 23 bairros de Macaé, no RJ. G1, Região dos Lagos, 19 de maio de 2015.) Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/nova-ete-vai-tratar-esgoto-de-23-bairros-de-macaee-no-rj>>.

OLIVEIRA, M.A.; CAMARGO, Y.J.M. Aplicativo Integrado A Um Sistema CAD Para A Geração Do Modelo Digital Do Terreno. (Projeto apresentado à Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás), 106p. 2005.

OLIVEIRA, M. A. **Compatibilização de Dados, em Diferentes Referenciais, Para Atualização Cartográfica: Estudo de Caso Na SABESP.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PARKS, W.; MILBERT, D. *A geoid height model for San Diego Couty, Accuracy of GPS – Derived orthometric height.* Surveying and Land Information System. v. 55, n.1. 1995.

PERINI. A. B.; FURASTÉ. R. E. **Mapeamento Cadastral e Geração de Banco de Dados Geográfico da Escola Superior de Educação Física e Densificação da rede Geodésica da UFRGS – RS/BR Porto Alegre: UFRGS, 2011.**

PESSANHA, C. M. D.; LUGON JR, J.; FERREIRA, M. I. P.; SOUZA, P. R. N.; HORA, H. M. C. **Uso De Modelagem Computacional Aplicada À Gestão Sanitário-Ambiental: Uma Proposta De Adaptação Da Plataforma MOHID Water Para Corpos Lênticos Aplicada À Lagoa Imboacica, Macaé-RJ.** BOAL, 5 (2), pp. 45–70. 2011.

PETINATTI, F. **Modelamento Digital e Representação Gráfica de Superfícies**. São Paulo, Dissertação: (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Escola Politécnica da USP. 1983.

POLEZEL, W. G. C. **Investigação Sobre O Impacto Da Modernização Do GNSS No Posicionamento**. Dissertação de mestrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista - Presidente Prudente- SP. 2010.

PRECIOSO, C.H.O., KALAS, F.A., RODRIGUES, P.P.G.W.; LUGON JR., J. Avaliação da Variabilidade de Parâmetros Ambientais Numa Lagoa Urbana (Campos Dos Goytacazes, RJ) Com Auxílio do Sistema MOHID. **Boletim** do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Vol. 4, No. 1, p. 185-204. 2010.

SÁ, N. C. **Elementos de Geodésia**. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Pág 1-97.

SÁ, T. F. F. **Sistema De Informações Geográficas (Sig) para a Gestão Ambiental De Bacias Hidrográficas**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, p. 002 – 004. 2010.

SALDANHA; M. F. S. **Validação De Dados Geográficos Espaciais Em Ambiente Orientado A Objeto**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós- Graduação, em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção título de mestre. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul - Porto Alegre. 2005.

SEEBER, G. **Stellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2 ed., Berlin, New York: Walter de Gruyter, 589p. 2003.

SIMÕES, M. G. **Modeladores Digitais de Terreno em Sistemas de Informação Geográfica**. Tese de mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1993.

SILVA, P. V. R. M. **Uso de Traçadores Fluorescentes para Determinar Características de Transporte e Dispersão no Rio Piabanha/RJ**. Dissertação de Mestrado do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2013.

SiRF- **Technology Holdings**. Disponível em: <
<https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf> >.
 Acessado em: 7 de agosto de 2016.

SOUZA, M.P.G. **Simulação da dispersão de óleo na baía do Espírito Santo usando o modelo numérico MOHID-2D**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2005.

UERJ – **Universidade Estadual do Rio de Janeiro**. NBR 13133. Engenharia Cartográfica. Disponível em:<
<http://www.carto.eng.uerj.br/cdecart/download/NBR13133.pdf>>. Acessado em: 03 de agosto de 2016.

UFF - **Universidade Federal Fluminense. Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. SIGCIDADE. 2012.** Disponível em: <

http://www.uff.br/sigcidades/images/Download/sgb_sigcidades_2012.pdf>. Acessado em: 20 de julho de 2016.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Engenharia Cartográfica**. Disponível em: <www.ufrgs.br>. Acessado em: agosto de 2016.

USACE – *United States Army Corps of Engineers*. Disponível em: , http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-1005.pdf>. Acessado em 22 de julho de 2016.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Introdução a Engenharia: Capítulo 6 – Simulação**. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/kathya/Disciplinas/introducao_engenharia/introducao-a-engenharia/Simulacao.pdf>. Acessado em 03 de agosto de 2016.

TULER, M. *Fundamentos de Topografia: Série Tekne*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

WU, K.; LIN, S. G. Leveling by GPS relative positioning with carrier phases. **Journal of Surveying Engineering**. New York.1996.

APÊNDICES

DADOS AFERIDOS E MODELADOS DO LEVANTAMENTO NO CANAL DO CAPOTE EM MACAÉ/RJ

A= ALTIETRIA/GPS-GLONASS; **B=**PROFUNDIDADE/ **BATIMETRIA**;
C=TOPOBATIMETRIA em relação ao elipsoide; **D=**ONDULAÇÃO GEOIDAL;
E=TOPOBATIMETRIA em relação ao geóide; **F=**LONGITUDE; **G=LATITUDE**;
H=TOPOBATIMETRIA em relação ao elipsoide adaptada.

A	B	C	D	E	F	G	H
14	0,7	13,3	6,77	20,07	-41,800925	-22,393997	8,30
14	0,58	13,42	6,77	20,19	-41,800919	-22,393936	8,42
14	0,3	13,7	6,77	20,47	-41,800903	-22,393872	8,70
14	0,5	13,5	6,77	20,27	-41,800886	-22,393794	8,50
14	0,58	13,42	6,77	20,19	-41,800878	-22,393722	8,42
14	0,57	13,43	6,77	20,2	-41,800867	-22,393647	8,43
14	0,58	13,42	6,77	20,19	-41,800867	-22,393386	8,42
14	0,6	13,4	6,77	20,17	-41,800864	-22,393439	8,40
14	0,58	13,42	6,77	20,19	-41,800864	-22,393328	8,42
14	0,7	13,3	6,77	20,07	-41,800861	-22,393206	8,30
14	0,49	13,51	6,77	20,28	-41,800867	-22,393086	8,51
14	0,6	13,4	6,77	20,17	-41,800864	-22,392967	8,40
14	0,57	13,43	6,77	20,2	-41,800867	-22,392833	8,43
14	0,57	13,43	6,77	20,2	-41,800867	-22,392833	8,43
14	0,6	13,4	6,77	20,17	-41,800872	-22,392736	8,40
14	0,65	13,35	6,77	20,12	-41,800872	-22,393217	8,35
14	0,9	13,1	6,77	19,87	-41,800983	-22,392517	8,10
14	0,9	13,1	6,77	19,87	-41,800869	-22,392475	8,10
14	0,88	13,12	6,77	19,89	-41,800858	-22,392425	8,12
14	0,9	13,1	6,77	19,87	-41,800864	-22,392344	8,10
13,581	1	12,581	6,77	19,351	-41,800864	-22,392239	7,58
13,581	1	12,581	6,77	19,351	-41,800861	-22,392147	7,58
13,581	1,04	12,541	6,77	19,311	-41,800861	-22,392058	7,54
12,184	1,10	11,084	6,77	17,854	-41,800861	-22,391972	7,08
12,184	1,09	11,094	6,77	17,864	-41,800861	-22,391856	7,09
12,184	0,91	11,274	6,77	18,044	-41,800867	-22,391778	7,27
12,184	0,92	11,264	6,77	18,034	-41,800869	-22,391689	7,26
11,448	1,15	10,298	6,77	17,068	-41,800869	-22,391567	7,30

11,448	1,17	10,278	6,77	17,048	-41,800881	-22,391489	7,28
12	1,19	10,81	6,77	17,58	-41,800883	-22,391397	7,81
12	1,1	10,9	6,77	17,67	-41,800886	-22,391358	7,90
12	1,07	10,93	6,77	17,7	-41,800889	-22,391275	7,93
9,077	1,15	7,927	6,77	14,697	-41,800878	-22,391164	6,93
9,077	0,9	8,177	6,77	14,947	-41,800881	-22,391036	7,18
8,09	1	7,09	6,77	13,86	-41,800883	-22,390861	6,09
8,09	1,15	6,94	6,77	13,71	-41,800897	-22,390781	5,94
9	1,07	7,93	6,77	14,7	-41,800903	-22,390747	6,93
9,703	1,08	8,623	6,77	15,393	-41,800892	-22,390572	7,62
9,92	1,1	8,82	6,77	15,59	-41,800894	-22,390478	7,82
7,9	0,97	6,93	6,77	13,7	-41,800900	-22,390397	6,93
9,439	1	8,439	6,77	15,209	-41,800903	-22,390303	8,439
9,439	1,1	8,339	6,77	15,109	-41,800908	-22,390194	8,339
6,643	0,92	5,723	6,77	12,493	-41,800908	-22,390058	5,723
8,056	0,98	7,076	6,77	13,846	-41,800911	-22,390006	7,076
8,056	1,1	6,956	6,77	13,726	-41,800908	-22,389883	6,956
6,152	1	5,152	6,77	11,922	-41,800906	-22,389806	5,152
6,152	0,92	5,232	6,77	12,002	-41,800908	-22,389700	5,232
7,69	1,1	6,59	6,77	13,36	-41,800906	-22,389603	6,59
7,69	0,95	6,74	6,77	13,51	-41,800922	-22,389433	6,74
8,361	1	7,361	6,77	14,131	-41,800928	-22,389311	7,361
8,361	0,47	7,891	6,77	14,661	-41,800933	-22,389178	7,891
6,661	0,98	5,681	6,77	12,451	-41,800931	-22,389036	5,681
6,661	0,98	5,681	6,77	12,451	-41,800939	-22,388917	5,681
7,435	1	6,435	6,77	13,205	-41,800939	-22,388800	6,435
7,435	1	6,435	6,77	13,205	-41,800939	-22,388669	6,435
3,08	1,04	2,04	6,77	8,81	-41,800942	-22,388536	2,04
4,879	0,91	3,969	6,77	10,739	-41,800942	-22,388400	3,969
8,345	1	7,345	6,77	14,115	-41,800947	-22,388150	7,345
8,345	1	7,345	6,77	14,115	-41,800944	-22,387975	7,345
0,541	0,6	0,059	6,77	6,711	-41,800944	-22,387822	0,059
0,541	0,9	0,359	6,77	6,411	-41,800936	-22,387722	0,359
0,936	1	0,064	6,77	6,706	-41,800956	-22,387589	0,064
0,984	0,9	0,084	6,77	6,854	-41,800950	-22,387492	0,084
2,97	1	1,97	6,77	8,74	-41,800956	-22,387389	1,97
2,97	0,98	1,99	6,77	8,76	-41,800964	-22,387258	1,99
2,97	0,9	2,07	6,77	8,84	-41,800956	-22,387136	2,07
1,814	0,98	0,834	6,77	7,604	-41,800978	-22,387011	0,834
2,96	1	1,96	6,77	8,73	-41,800978	-22,386869	1,96

2,96	1	1,96	6,77	8,73	-41,800967	-22,386747	1,96
2,96	1	1,96	6,77	8,73	-41,800956	-22,386611	1,96
2,86	1	1,86	6,77	8,63	-41,800956	-22,386533	1,86
2,86	1	1,86	6,77	8,63	-41,800975	-22,386400	1,86
2,86	0,98	1,88	6,77	8,65	-41,800978	-22,386253	1,88
2,86	0,98	1,88	6,77	8,65	-41,800989	-22,386186	1,88
2,67	0,9	1,77	6,77	8,54	-41,800989	-22,385522	1,77
3,586	1	2,586	6,77	9,356	-41,800994	-22,385117	2,586
5,676	0,87	4,806	6,77	11,576	-41,801006	-22,384811	4,806
6,75	0,97	5,78	6,77	12,55	-41,801017	-22,384756	5,78
5,811	0,9	4,911	6,77	11,681	-41,801022	-22,384664	4,911
5,933	0,9	5,033	6,77	11,803	-41,801028	-22,384572	5,033
7,714	0,9	6,814	6,77	13,584	-41,801036	-22,384458	6,814
5,364	1	4,364	6,77	11,134	-41,801047	-22,384372	4,364
3,741	1	2,741	6,77	9,511	-41,801053	-22,384289	2,741
2,914	1,1	1,814	6,77	8,584	-41,801058	-22,384236	1,814
2,074	1	1,074	6,77	7,844	-41,801064	-22,384181	1,074
1,659	1	0,659	6,77	7,429	-41,801072	-22,384142	0,659
0,999	0,9	0,099	6,77	6,869	-41,801081	-22,384081	0,099
1,291	0,9	0,391	6,77	7,161	-41,801083	-22,384033	0,391
2,808	0,9	1,908	6,77	8,678	-41,801083	-22,383983	1,908
2,125	0,9	1,225	6,77	7,995	-41,801086	-22,383936	1,225
0,781	1	0,219	6,77	6,551	-41,801092	-22,383861	0,219
0,493	0,9	0,407	6,77	6,363	-41,801100	-22,383772	0,407
3	0,9	1,817	6,77	8,587	-41,801122	-22,383600	1,817
0,256	0,9	0,644	6,77	6,126	-41,801158	-22,383319	0,644
1,473	1	0,473	6,77	7,243	-41,801175	-22,383164	0,473
1,642	1	0,642	6,77	7,412	-41,801172	-22,382853	0,642
2,444	0,9	1,544	6,77	8,314	-41,801222	-22,382281	1,544
2,039	1	1,039	6,77	7,809	-41,801278	-22,381639	1,039
2,928	0,9	2,028	6,77	8,798	-41,801331	-22,381189	2,028
3,637	0,9	2,737	6,77	9,507	-41,801342	-22,380944	2,737
2,51	1	1,51	6,77	8,28	-41,801369	-22,380622	1,51
2,606	1,1	1,506	6,77	8,276	-41,801419	-22,380231	1,506
4,352	1,15	3,202	6,77	9,972	-41,801431	-22,380122	3,202
3,159	1,15	2,009	6,77	8,779	-41,801444	-22,379978	2,009
3,751	1,15	2,601	6,77	9,371	-41,801450	-22,379878	2,601
5,845	1,2	4,645	6,77	11,415	-41,801456	-22,379672	4,645
2,42	1,2	1,22	6,77	7,99	-41,801475	-22,379494	1,22
3,119	1,15	1,969	6,77	8,739	-41,801494	-22,379314	1,969

2,8	1,15	1,65	6,77	8,42	-41,801517	-22,379094	1,65
2,268	1,15	1,118	6,77	7,888	-41,801542	-22,378769	1,118
4,024	1,15	2,874	6,77	9,644	-41,801575	-22,378472	2,874
1,671	1,1	0,571	6,77	7,341	-41,801603	-22,378269	0,571
0,456	1,1	0,644	6,77	6,126	-41,801619	-22,378036	0,644
-2,206	1,1	3,306	6,77	3,464	-41,801642	-22,377822	3,306
4,452	1,1	3,352	6,77	10,122	-41,801661	-22,377478	3,352
-0,714	1,05	1,764	6,77	7,106	-41,801683	-22,377328	1,764
-2,886	1,05	3,936	6,77	4,934	-41,801692	-22,377200	3,936
-1,331	1,15	2,481	6,77	6,589	-41,801706	-22,377111	2,481
4,067	1,2	2,867	6,77	9,637	-41,801714	-22,377006	2,867
2,804	1,1	1,704	6,77	8,474	-41,801725	-22,376903	1,704
0,97	1,1	0,13	6,77	6,64	-41,801731	-22,376786	0,13
-0,018	1,15	1,168	6,77	7,902	-41,801750	-22,376672	1,168
-1,154	1	2,154	6,77	6,616	-41,801756	-22,376544	2,154
0,473	1,15	0,677	6,77	6,093	-41,801753	-22,376417	0,677
-1,627	1,15	2,777	6,77	6,293	-41,801772	-22,376378	2,777
1,916	1,15	0,766	6,77	7,536	-41,801781	-22,376150	0,766
2,74	1,2	1,54	6,77	8,31	-41,801925	-22,376072	1,54
1,961	1	0,961	6,77	7,731	-41,801786	-22,375894	0,961
0,154	1	0,846	6,77	5,924	-41,801811	-22,375700	0,846
-0,613	1,15	1,763	6,77	7,307	-41,801850	-22,375114	1,763
0,556	1,1	0,544	6,77	6,226	-41,801861	-22,374911	0,544
4,941	1,1	3,841	6,77	10,611	-41,801883	-22,374578	3,841
1,131	1,15	0,019	6,77	6,751	-41,801914	-22,374508	0,019
2,887	1,15	1,737	6,77	8,507	-41,801942	-22,374275	1,737
1,691	1	0,691	6,77	7,461	-41,801953	-22,374094	0,691
1,562	1,2	0,362	6,76	7,122	-41,802003	-22,373536	0,362
2,408	0,9	1,508	6,76	8,268	-41,802194	-22,371261	1,508
1,083	1	0,083	6,76	6,843	-41,802181	-22,371189	0,083
3,223	1,1	2,123	6,76	8,883	-41,802197	-22,370919	2,123
3,223	1,1	2,123	6,76	8,883	-41,801958	-22,370464	2,123
3,971	1	2,971	6,76	9,731	-41,801694	-22,370456	2,971
5,807	1	4,807	6,76	11,567	-41,801447	-22,370308	4,807
5,387	1,15	4,237	6,76	10,997	-41,801278	-22,370233	4,237
4,335	1,15	3,185	6,76	9,945	-41,801019	-22,370078	3,185
2,607	1,2	1,407	6,76	8,167	-41,800811	-22,369969	1,407
3,805	1,3	2,505	6,76	9,265	-41,800436	-22,369775	2,505
3,785	1,3	2,485	6,76	9,245	-41,800297	-22,369703	2,485
1,578	1,3	0,278	6,76	7,038	-41,800122	-22,369608	0,278

1,578	1,3	0,278	6,76	7,038	-41,799853	-22,369486	0,278
2,615	1,3	1,315	6,76	8,075	-41,799433	-22,369272	1,315
4,08	1,1	2,98	6,76	9,74	-41,799158	-22,369125	2,98
1,504	1,1	0,404	6,76	7,164	-41,798869	-22,368992	0,404
2,38	1,15	1,23	6,76	7,99	-41,798644	-22,368875	1,23
2,38	1,1	1,28	6,76	8,04	-41,798503	-22,368808	1,28
-0,9	1,1	2	6,76	6,96	-41,798389	-22,368744	2
-0,141	1,1	1,241	6,76	7,719	-41,797889	-22,368519	1,241
-0,141	0,9	1,041	6,76	7,519	-41,797517	-22,368322	1,041
-0,141	0,6	0,741	6,76	7,219	-41,796939	-22,368153	0,741
-2,07	0,7	2,77	6,76	5,39	-41,796961	-22,368050	2,77
-4,048	0,5	4,548	6,76	3,212	-41,796636	-22,367903	4,548
-4,048	0,6	4,648	6,76	3,312	-41,796497	-22,367819	4,648
-1,923	0,9	2,823	6,76	5,737	-41,796378	-22,367772	2,823
-1,193	0,7	1,893	6,76	6,267	-41,796031	-22,367569	1,893
-3,12	0,23	3,35	6,76	3,87	-41,795964	-22,367544	3,35
-4	0,25	4,25	6,76	3,01	-41,795772	-22,367456	4,25
-2,133	0,8	2,933	6,76	5,427	-41,795517	-22,367333	2,933
-2,153	0,3	2,453	6,76	4,907	-41,795103	-22,367136	2,453
-2,153	0,9	3,053	6,76	5,507	-41,794753	-22,366953	3,053
-2,349	0,75	3,099	6,76	5,161	-41,794344	-22,366717	3,099
-2,349	0,8	3,149	6,76	5,211	-41,794256	-22,366619	3,149
0,595	0,8	0,205	6,76	6,555	-41,794044	-22,366431	0,205
0,595	1,1	0,505	6,76	6,255	-41,802197	-22,370919	0,505
3,223	1,1	2,123	6,76	8,883	-41,801958	-22,370464	2,123
3,971	1	2,971	6,76	9,731	-41,801694	-22,370456	2,971
5,807	1	4,807	6,76	11,567	-41,801447	-22,370308	4,807
5,387	1,15	4,237	6,76	10,997	-41,801278	-22,370233	4,237
4,335	1,15	3,185	6,76	9,945	-41,801019	-22,370078	3,185
2,607	1,2	1,407	6,76	8,167	-41,800811	-22,369969	1,407
3,805	1,3	2,505	6,76	9,265	-41,800436	-22,369775	2,505
3,785	1,3	2,485	6,76	9,245	-41,800297	-22,369703	2,485
1,578	1,3	0,278	6,76	7,038	-41,800122	-22,369608	0,278
1,578	1,3	0,278	6,76	7,038	-41,799853	-22,369486	0,278
2,615	1,3	1,315	6,76	8,075	-41,799433	-22,369272	1,315
4,08	1,1	2,98	6,76	9,74	-41,799158	-22,369125	2,98
1,504	1,1	0,404	6,76	7,164	-41,798869	-22,368992	0,404
2,38	1,15	1,23	6,76	7,99	-41,798644	-22,368875	1,23
2,38	1,1	1,28	6,76	8,04	-41,798503	-22,368808	1,28
-0,9	1,1	2	6,76	4,76	-41,798389	-22,368744	2

-0,141	1,1	1,241	6,77	5,529	-41,797889	-22,368519	1,241
-0,141	0,9	1,041	6,77	5,729	-41,797517	-22,368322	1,041
-0,141	0,6	0,741	6,77	6,029	-41,796939	-22,368153	0,741
-2,07	0,7	2,77	6,77	4	-41,796961	-22,368050	2,77
-4,048	0,5	4,548	6,77	2,222	-41,796636	-22,367903	4,548
-4,048	0,6	4,648	6,77	2,122	-41,796497	-22,367819	4,648
-1,923	0,9	2,823	6,77	3,947	-41,796378	-22,367772	2,823
-1,193	0,5	1,693	6,77	5,077	-41,796031	-22,367569	1,693
-3,12	0,5	3,62	6,77	3,15	-41,795964	-22,367544	3,62
-4	0,4	4,4	6,77	2,37	-41,795772	-22,367456	4,4
-2,133	0,5	2,633	6,77	4,137	-41,795517	-22,367333	2,633
-2,153	0,7	2,853	6,77	3,917	-41,795103	-22,367136	2,853
-2,153	0,7	2,853	6,77	3,917	-41,794753	-22,366953	2,853
-2,349	0,6	2,949	6,77	3,821	-41,794344	-22,366717	2,949
-2,349	0,4	2,749	6,77	4,021	-41,794256	-22,366619	2,749
0,595	0,7	0,105	6,77	6,665	-41,794044	-22,366431	0,105
	0,5		6,77		-41,793656	-22,365728	
	0,5		6,77		-41,793642	-22,365681	
	0,4		6,77		-41,793608	-22,365569	
	0,5		6,77		-41,793572	-22,365453	
	0,7		6,77		-41,793458	-22,364936	
	0,7		6,77		-41,793394	-22,364617	
	0,6		6,77		-41,793350	-22,364325	
	0,4		6,77		-41,793314	-22,364119	
	0,7		6,77		-41,793286	-22,363922	