

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA/LAGEMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

CHRISTOPHER FLORENTINO

ANÁLISE DA QUALIDADE DE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS DE REFERÊNCIA
PARA USO EM INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS

Niterói - RJ
Outubro de 2018

CHRISTOPHER FLORENTINO

ANÁLISE DA QUALIDADE DE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS DE REFERÊNCIA
PARA USO EM INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Hidrografia.

Orientador: Dr. Arthur Ayres Neto

Niterói - RJ
Outubro de 2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG

F633a Florentino, Christopher
Análise da qualidade de superfícies batimétricas de referência para uso em Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos / Christopher Florentino ; Arthur Ayres Neto, orientador. Niterói, 2018.
100 f. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT> .2018.m.21961538857

1. Batimetria. 2. Controle de qualidade. 3. Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC). 4. Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM). 5. Produção intelectual. I. Título II. Ayres Neto, Arthur, orientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências.

CDD -

CHRISTOPHER FLORENTINO

ANÁLISE DA QUALIDADE DE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS DE REFERÊNCIA PARA USO EM INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.
Área de Concentração: Hidrografia

Aprovada em 09 de outubro de 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Arthur Ayres Neto, Dr (Orientador)
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF



Prof. Cleverson Guizan Silva, Dr.
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF



Prof. Hélio Heringer Villena, Dr.
UERJ



Prof. Luiz Antonio Pereira de Souza, Dr.
IPT

*Com todo meu carinho dedico este trabalho a
minha amada esposa Denise, companheira
inseparável e fonte de inspiração
na busca pelo conhecimento!*

AGRADECIMENTOS

A construção do conhecimento se faz pela gana e persistência individual, aliados ao acúmulo de colaborações diretas ou indiretas que merecem todo destaque. Assim agradeço.

À Marinha do Brasil, à Diretoria de Hidrografia e Navegação e ao Centro de Hidrografia da Marinha que, através de seu Plano de Capacitação de Pessoal, designou meus esforços aos estudos da hidrografia e cartografia náutica, proporcionando-me um aperfeiçoamento profissional e pessoal fundamental.

Ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DoT/UFF), com especial atenção a meu orientador Prof. Dr. Arthur Ayres Neto, profissional extremamente dedicado, sempre disponível e atento em suas valiosas correções e sugestões ao aperfeiçoamento da pesquisa. Ao Prof. Dr. André Belém, pelo incentivo e contribuições na elaboração do projeto, e aos demais professores e funcionários do Instituto de Geociências. Aos companheiros de curso, João, Rodrigo, Fabrício e Rafael pelas discussões acadêmicas e todo apoio.

Aos exemplares Comandantes que sempre me apoiaram na busca pelo conhecimento, desde minha chegada ao Rio de Janeiro como ao longo do período em que estive na região Amazônica. Ao Contra-Almirante Augusto e aos Capitães de Mar e Guerra Obino e Sebastião, Ex-Diretores e atual Diretor do CHM, por terem me incentivado a seguir na construção dessa pesquisa. Ao Capitão de Mar e Guerra Muthz Barros, bem como os Capitães de Fragata Adriano Vieira, Rodrigo Carvalho e Flávia Mandarino, pelo constante apoio e compreensão, além das orientações técnicas claras e objetivas. Aos Tenentes Pinheiro, Aderson, Pâmella Maia, Maisa, Ana Lima e Isadora, pela dedicação e amizade construídas com base no profissionalismo e belo caráter. Aos Suboficiais Dimas, Ronaldo, Pamplona e Wladimir, além dos Sargentos Cláudio Márcio, Edsom Melo, Sérgio e Wander, cuja transmissão das ricas experiências nas lides hidrográficas a mim foram essenciais. Em especial, agradeço ao Capitão de Corveta Vitor B. Pimentel, que me acompanhou e ajudou diversas vezes ao longo deste curso com seu incomensurável apoio, suas críticas e sugestões para o sucesso desta importante etapa acadêmica.

Aos integrantes do Plano LEPLAC, em destaque aos Capitães de Mar e Guerra Luiz Carlos Torres, Ana Angélica e Izabel King, pela atenção dedicada nas orientações e gentil cessão dos dados batimétricos e informações necessárias ao desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos Ednei, Lilian, Dudu, César, Adriana, Fabi, Aranha, Condé, Jeane, Talita e Comandantes Fávero e Velozo, que apesar da distância e dos raros encontros, sempre se fazem presentes em meu percurso como grandes motivadores às minhas conquistas.

A meus queridos pais Mozart e Regina, pelo abnegado esforço despendido com tanto amor e carinho ao longo de minha vida, e a minhas queridas irmãs Raiane e Allanys, fontes de muita alegria e orgulho. A meus sogros Cido e Rosa, e a pessoa mais preciosa que conheci, minha esposa “Dê”; bem como a meus amigos e cunhados Leonardo e Bárbara, fonte das pérolas Olívia e Ravenna.

Enfim, a todos que acreditaram e me impulsionaram frente a conclusão de mais este desafio, meu muito obrigado.

“Collect once, use many times”
IHO-MSDIWG

RESUMO

Nos últimos anos, os dados batimétricos têm apresentado seu potencial de uso para além daquele estrito à navegação marítima, variando desde o conhecimento do território, a defesa, a economia, a pesquisa, as relações internacionais a outros. Devido as dificuldades inerentes à sua obtenção, que envolve o aprimoramento de técnicas de medições e elevados custos, diversas são as iniciativas em busca de um mapeamento do fundo marinho adequado às escalas: local, regional e global. Contudo, percebe-se ainda que a indisponibilidade de acesso à tal informação de forma simples e ágil, por vezes tem comprometido os avanços técnico-científicos nacionais. Recentes trabalhos apontam que devido à complexidade e volume deste tipo de dado espacial, a busca pela eficiência em sua gerência, armazenamento e divulgação perpassa por soluções baseadas no conceito *Marine Spatial Data Infrastructure* (MSDI). Assim, concatenado aos regulamentos e princípios da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e da Norma de Acesso aos Dados e Informações Abertas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (NAD-DHN), bem como as orientações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) e da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), este trabalho visa promover a análise dos dados batimétricos oficiais ora disponíveis, bem como apresentar o estudo de parte da superfície batimétrica desenvolvida no âmbito do projeto LEPLAC (Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira). Tal ação tem como objetivo principal prover subsídios para a qualificação inédita desta superfície batimétrica regional, para fins de seu uso como referência à futuras análises e pesquisas brasileiras. A metodologia desenvolvida a este estudo contempla a aplicação de um conjunto de ferramentas estatísticas capazes de auxiliar as análises quantitativas e qualitativas, por meio da comparação desta superfície (LEPLAC Sul), bem como de outros modelos digitais de terreno disponíveis (ETOPO1 e GEBCO_2014), frente à dados batimétricos de controle oriundos de um levantamento hidrográfico. Os resultados obtidos mostram que a superfície LEPLAC Sul atingiu os maiores índices de correlação e determinação, bem como o menor valor ao REMQ (Raiz do Erro Médio Quadrático) junto ao dado de controle. Ademais, os modelos batimétricos GEBCO_2014 e ETOPO1 apresentaram a existência de artefatos, ou seja, dados espúrios; enquanto a superfície LEPLAC Sul foi a única que não demonstrou este tipo de comportamento. Portanto, a superfície LEPLAC Sul mostra-se capaz de contribuir à implantação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marítimos (IDEM), demonstrando sua eficiência como base a novas pesquisas científicas, como caso da modelagem climatológica e oceanográfica ou da delimitação de províncias geomorfológicas submarinas e limites territoriais. Por fim, pretende-se desta forma incentivar a discussão sobre as políticas de intercâmbio de dados hidrográficos nacionais com uso de boas práticas à gestão de soluções tecnológicas sustentáveis.

Palavras chave: Batimetria, LEPLAC, Controle de Qualidade, Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM).

ABSTRACT

In the last years, bathymetric data has presented potential use beyond those restricted to the safety of navigation, varying since of knowledge of the territory, defense, economy, scientific research, external affairs to others. Because of difficulties inherent from their survey, which could involve the improvement of measurement's technics and high costs, there are many initiatives looking for a seabed mapping suitable of different scales: local, regional and global. Unfortunately, it is still possible to realize the negative impacts from an inefficient availability of that spatial data information for the national researches. Regarding the complex and huge volume of this type of spatial data, recent works present the Marine Spatial Data Infrastructures (MSDI) concept as the best approach to deal with data management, storage, and sharing. So, committed to Brazilian National Spatial Data Infrastructure (INDE) and the Policy of Open Data and Information Access by Directorate of Hydrography and Navigation (NAD-DHN), aligned with the technical guidelines from International Hydrographic Organization (IHO) and Intergovernmental Oceanographic Commission (ICO), this work proposes to analyze the current bathymetric data available and presents a study over a part of a bathymetric surface created by LEPLAC (Brazilian Continental Shelf Survey Project). This action aims to provide a support to an unpublished qualification of this regional bathymetric surface in order to allow it to be used as a reference for national scientific studies. The methodology developed for it concerns on an application of a set of statistical tools capable to support quantitative and qualitative analyses, by the comparison of this surface (LEPLAC Sul) against others digital terrain models available (as ETOPO1 and GEBCO_2014) and a bathymetric data control derived from hydrographic surveys. The tests results show the LEPLAC Sul surface has achieved the highest index of correlation and determination, in addition the lowest value of RMSE (Root Mean Square Error) related to the data control. Furthermore, the bathymetric models GEBCO_2014 and ETOPO1 presented the existence of artifacts; while the LEPLAC Sul was the only one without it. Thus, the LEPLAC Sul surface looks capable to contribute to the implementation of a MSDI, presenting itself as an efficient reference to further scientific researches, like the climate and oceanographic modeling or the detection and set of marine geomorphological provinces and the terrestrial boundaries. Finally, this paper intends to promote the discussion of national interchanges policy of hydrographic data using the best practices involved in the management of sustainable technological solutions.

Keywords: Bathymetry, LEPLAC, Quality Control, Marine Spatial Data Infrastructures (MSDI).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da área de estudo em destaque sobre a Carta náutica nº1 – Costas e Ilhas ao Largo.	7
Figura 2 - Mapa das principais feições morfológicas da região de estudo. Adaptado de Torres et al. (2008) e LEPLAC (2015).	8
Figura 3 - Elevação do Rio Grande (ERG – setores Leste e Oeste) e Rife Cruzeiro do Sul (polígono cinza); Platô e Dorsal de São Paulo; Canais Vema e Hunter e os Montes Submarinos Jean Charcot (MSJC – segmentos Norte e Sul).	9
Figura 4 - Componentes principais de uma IDE. Adaptado de Fadaie (2016).	11
Figura 5 – Exemplo da organização dos temas de uma IDEM. Adaptado de Fowler et al. (2010)	12
Figura 6 - Pilares de uma IDEM. Adaptado de IHO (2017a).	13
Figura 7 - Apresentação do dado batimétrico por meio de uma nuvem de pontos (imagem à esquerda) e de um MDT (imagem à direita).	16
Figura 8 - Superfície GEBCO_2014. Fonte: WEATHERALL et al., 2015.	22
Figura 9 - ETOPO1 "Superfície de Gelo". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009	23
Figura 10 - ETOPO1 "Escudo Rochoso". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009	24
Figura 11 - Mapa da região marinha brasileira com as linhas de levantamento geofísicos do Projeto LEPLAC na sua Fase I. Fonte: Adaptado de Torres et al. (2008)	26
Figura 12 - Dados batimétricos aplicados na construção da Superfície LEPLAC Sul (exceto informações do SRTM30_Plus). Fonte: LEPLAC, 2015	28
Figura 13 - Vista de topo do MDT com os dados do SRTM30_Plus incorporados, complementando a área oceânica mais distal da margem continental brasileira, onde havia escassez de dados. Fonte: LEPLAC, 2015.	31
Figura 14 – Fluxograma aplicado à análise das superfícies batimétricas de interesse.	37
Figura 15 - Plataforma de distribuição da superfície ETOPO1 (https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/). Fonte: NOAA, 2018.	39
Figura 16 - Plataforma de distribuição da superfície GEBCO_2014 (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/). Fonte: GEBCO, 2018.	40
Figura 17 - Apresentação da participação nacional junto ao IHO-DCDB. Dados batimétricos brutos coletados pela DHN e fornecidos à IHO para distribuição mundial. Em destaque na cor azul, segue a representação do polígono envolvente ao LH realizado pelo NHo Cruzeiro	

do Sul, em 2015 (https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/csb/index.html).	
Fonte: IHO, 2018.....	42
Figura 18 - Disposição dos dados de controle (sondagens em vermelho) sobre a área de estudo representada pela superfície LEPLAC Sul.....	43
Figura 19 - Distribuição da frequência dos valores de profundidades dos MDT's GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul. O retângulo vermelho destaca os elementos inferiores à profundidade de zero metros.	48
Figura 20 - Destaque à distribuição da frequência dos valores de profundidades "inferiores a zero metros" dos MDT's. Percebe-se que apenas as superfícies GEBCO_2014 e ETOPO1 possuem elementos representativos.....	48
Figura 21 - Histograma dos Erros entre a superfície GEBCO_2014 e o dado de controle (RA003-2016).....	49
Figura 22 - Histograma dos Erros entre a superfície ETOPO1 e o dado de controle (RA003-2016).....	50
Figura 23 - Histograma dos Erros entre a superfície LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).....	50
Figura 24 - Histograma dos Erros entre as superfícies GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).....	51
Figura 25 - Distribuição das Frequências Acumuladas aos Erros entre os MDT e o dado de controle. O retângulo vermelho destaca a tendência encontrada pelos modelos GEBCO_2014 e ETOPO1.....	51
Figura 26 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO_2014 e o dado de controle (RA003-2016).....	53
Figura 27 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT ETOPO1 e o dado de controle (RA003-2016).	53
Figura 28 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).....	54
Figura 29 - Disposição do perfil (em vermelho) e suas seções (A, B, C, D), traçadas sobre os dados de controle e a área de estudo representada pela superfície LEPLAC Sul.....	55
Figura 30 - Perfil batimétrico completo. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. Os retângulos apresentam setores do Canal Vema (em amarelo), da ERG (em cinza) e do Rifte Cruzeiro do Sul (em roxo).	56

Figura 31 - Telas de cômputo dos limites superior (a) e inferior (b) ao dado de controle para ordem nº2 da S-44 5ed. OHI.	57
Figura 32 - Perfil batimétrico: Seção A. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem nº2, acordo S-44 5ed. OHI.	57
Figura 33 - Perfil batimétrico: Seção B. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem nº2, acordo S-44 5ed. OHI.	58
Figura 34 - Perfil batimétrico: Seção C. Os pontos e linhas em vermelho destacam os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem nº2, acordo S-44 5ed. OHI e, os retângulos em vermelho destacam o afastamento do dado de controle dos MDT.	59
Figura 35 - Perfil batimétrico: Seção D. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem como GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem nº2, acordo S-44 5ed. OHI.	59
Figura 36 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e LEPLAC Sul. Profundidades (m) escalonadas em classes.	61
Figura 37 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e GEBCO_2014. Os quadros vermelho e amarelo apresentam elementos de valor extremo. Profundidades (m) escalonadas em classes.	61
Figura 38 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e ETOPO1. O quadrado amarelo apresenta a manutenção do elemento de valor extremo neste local. Profundidades (m) escalonadas em classes.	62
Figura 39 - Artefato detectado no MDT GEBCO_2014 (quadrado de cor vermelha das Fig.36 e 37). O elemento em destaque (setor em verde) possui uma discrepância vertical da ordem	

de 1.500 m em relação as sondagens (números) obtidas por LH's realizados sobre o local.
..... 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais atributos das superfícies batimétricas em estudo.....	38
Tabela 2: Estatísticas globais das superfícies batimétricas	46
Tabela 3: Estatísticas entre as superfícies batimétricas e o dado de controle.....	47
Tabela 4: Principais características entre as superfícies batimétricas avaliadas	66

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AUV	<i>Autonomous Underwater Vehicles</i>
BDB	<i>BathyDataBASE</i>
BNDO	Banco Nacional de Dados Oceanográficos
BSBD	<i>Baltic Sea Bathymetric Database</i>
CEP	<i>Caspian Environment Programme</i>
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CIESM	<i>Mediterranean Science Commission</i>
CIRM	Comissão Interministerial para Recursos do Mar
COI	Comissão Oceanográfica Intergovernamental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
CSB	<i>Crowdsourced Bathymetry</i>
CLPC	Comissão de Limites da Plataforma Continental
CNUDM	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DCDB	<i>IHO Data Centre for Digital Bathymetry</i>
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EMODnet	<i>European Marine Observation and Data Network</i>
ENC	<i>Electronic Navigational Chart</i>
ERG	Elevação do Rio Grande
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEBCO	<i>General Bathymetric Chart of the Oceans</i>
GEODAS	<i>GEophysical Data System</i>
HPD	<i>Hydrographic Production Database</i>
IBGE	Instituto Geográfico Brasileiro de Geografia e Estatística
IBCSO	<i>International Bathymetric Chart of Southern Ocean</i>
IBCAO	<i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean</i>
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
IDEM	Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos
IHO	<i>International Hydrographic Organization</i>
IHB	<i>International Hydrographic Bureau</i>
IHT	Incerteza Horizontal Total
ITP	Incerteza Total Propagada
IVT	Incerteza Vertical Total
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INSPIRE	<i>Infrastructure for Spatial Information in the European Community</i>
IODE	<i>International Oceanographic Data and Information Exchange</i>
IOC	<i>Intergovernmental Oceanographic Commission</i>
JAMSTEC	<i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>
JODC	<i>Japan Oceanographic Data Center</i>
km	Quilômetro(s)
LB	Linha de Base
LEPLAC	Plano Levantamento da Plataforma Continental
LH(s)	Levantamento(s) Hidrográfico(s)
LIBSR	<i>Leibniz Institute for Baltic Sea Research</i>

LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LINZ	<i>Land Information New Zealand</i>
m	Metro(s)
MB	Marinha do Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT(s)	Modelo(s) Digital(is) de Terreno
ME	<i>Mean Error</i>
MSDI	<i>Marine Spatial Data Infrastructures</i>
MyGDI	<i>Malaysia Geospatial Data Infrastructure</i>
NAD-DHN	Norma de Acesso aos Dados e às Informações Abertos da Diretoria de Hidrografia e Navegação
NaLIS	<i>National Infrastructure for Land Information System</i>
NGA	<i>National Geospatial Intelligence Agency</i>
NGDC	<i>National Geophysical Data Center</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Administration</i>
NORMAM-25	Norma da Autoridade Marítima nº25
NRCan	<i>Natural Resources Canada</i>
NSDI	<i>National Spatial Data Infrastructure</i>
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
PEM	Planejamento Espacial Marinho
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A.
REMAC	Reconhecimento da Margem Continental
REMLAC	Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira
REVIZEE	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
REMQ	Raiz do Erro Médio Quadrático
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RNC	<i>Raster Navigational Chart</i>
SID	<i>Source Identifier Grid</i>
SIO	<i>Scripps Institution of Oceanography</i>
SOLAS	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UNCLOS	<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>
UN-GGIM	<i>United Nations initiative on Global Geospatial Information Management</i>
web	<i>World Wide Web</i>
WGS84	<i>World Geodetic System of 1984</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	1
1.2. SITUAÇÃO PROBLEMA VINCULADA AO ESTUDO	3
1.3. QUESTÕES DA PESQUISA	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo Geral	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
2. ÁREA DE ESTUDO	7
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.1. O CONCEITO DE IDE, IDEM E SUA COMPONENTE BATIMÉTRICA.....	10
3.2. A BATIMETRIA NACIONAL.....	16
3.3. A MODELAGEM DIGITAL DE TERRENOS MARINHOS.....	19
3.3.1. Superfície GEBCO_2014	21
3.3.2. Superfície ETOPO1	23
3.3.3. Superfície LEPLAC Sul	24
3.4. FERRAMENTAS DE ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS REGULARES	31
3.4.1. Dados de Controle	32
3.4.2. Sumário Estatístico	33
3.4.3. Histogramas	34
3.4.4. Regressão Linear e Coeficiente de Correlação	34
3.4.5. Gráfico de Perfis	35
3.4.6. Superfície Diferença	36
4. METODOLOGIA.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1. Sumário estatístico.....	46
5.2. Histogramas.....	48
5.3. Regressão Linear e Coeficiente de Correlação.....	52
5.4. Gráfico de Perfis.....	55
5.5. Superfície Diferença.....	60
6. CONCLUSÃO.....	64
6.1. POTÊNCIAIS USOS E BENEFÍCIOS	68
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Historicamente, os avanços tecno-científicos têm proporcionado que o uso dos dados batimétricos ultrapassasse a temática original da segurança da navegação. Diversas são as iniciativas em busca de um mapeamento do fundo marinho adequado às escalas: global (IHO, 2014; JAKOBSSON et al., 2017), regional (EMODnet, 2016, 2018b; HALL, 2014) e local (LINZ, 2015). No âmbito das pesquisas científicas, a importância do uso de superfícies batimétricas de referência, as mais fidedignas possível, pode ser observada desde trabalhos voltados à modelagem numérica utilizada no aperfeiçoamento de modelos meteorológicos e oceanográficos (CASTELLO e KRUG, 2015; GABIOUX et al., 2013; LACASCE, 2017), como na compreensão dos fenômenos geomorfológicos submarinos (FERNANDES, 2010; GUERRA e GUERRA, 2011; IBGE, 2011; CPRM, 2003; SZATMARI e MILANI, 2016). Nota-se também a empregabilidade do dado batimétrico no reconhecimento e delimitação de províncias geomorfológicas e nas análises de risco geológicos de pequena e larga escala, sendo imprescindíveis às discussões sobre a expansão de limites territoriais em direção ao mar (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; GALVÃO, 2017; LOPES, 2017; MOHRIAK e TORRES, 2017; STAGPOOLE; SCHENKE; OHARA, 2016; TORRES et al., 2008).

Evidencia-se, portanto, que os avanços no campo da cartografia náutica, das previsões climatológicas ou das análises geomorfológicas marinhas, seus métodos e resultados, dependem da disponibilidade de dados batimétricos discretos (como profundidades isoladas) ou contínuos (caso das superfícies batimétricas ou modelos digitais de terreno - MDT). Importante também que estes dados sejam devidamente qualificados ao ponto de serem utilizados como referência para assim garantir a qualidade dos resultados destas análises (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; FAPESP, 2012). Assim, o crivo sobre estas superfícies ocorre por análises qualitativas e quantitativas que contemplem a correlação existente entre a superfície batimétrica ora disponível e dados de controle tomados sobre o terreno, estatísticas intrínsecas ao MDT e a detecção da existência de artefatos (ABRAMOVA, 2012; IHO&IOC, 2018; MATOS et al., 2012; ŠILJEG; LOZIĆ; RADOŠ, 2015).

Neste contexto, o desenvolvimento de ferramentas e processos capazes de proporcionar o devido tratamento à gestão e qualificação dos dados batimétricos, tem como

referência as boas práticas que envolvem a escolha, a preparação, o armazenamento e a divulgação destas informações espaciais de modo controlado e eficiente, por meio de uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM), conhecida mundialmente pelo termo *Marine Spatial Data Infrastructures* (MSDI) (IHO, 2017a).

Os benefícios do fornecimento de superfícies batimétricas por meio de IDEM são inúmeros (COOPER; PEPPER; OSBORNE, 2010; LINZ, 2015; QUADROS, 2012). Variam desde o atendimento das necessidades de aumento do intercâmbio de dados e informações aos setores públicos quanto privados. Tais como as Universidades e Centros de Pesquisas, Autarquias Estaduais e Federais, Agências e Ministérios, além de empresas de desenvolvimento de software, gerenciamento ambiental, marítimo, etc., bem como à disseminação da informação marítima e fluvial (CONTI et al., 2013). Estas benesses têm chamado a atenção de Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) nacionais e internacionais, a exemplo da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais brasileira – INDE (BRASIL, 2008), para inserção da batimetria em seu conjunto de dados de referência (SOUTO e MENEZES, 2013). Ademais, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), organização militar componente do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e responsável pela cartografia náutica brasileira (BRASIL, 1967a), vislumbra a implementação futura de uma IDEM (DHN, 2016).

Ao longo dos anos, o Brasil vem desenvolvendo diversas pesquisas relacionadas à temática marinha, tal qual os projetos REMAC (Reconhecimento da Margem Continental) na década de 70, seguido pelo LEPLAC (Plano Levantamento da Plataforma Continental) com início no final dos anos 80 (MOHRIAK e TORRES, 2017). Têm-se ainda, os programas REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) e REMPLAC (Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira), respectivamente aprovados pelas Resoluções n°003/94 e n°004/97 da CIRM (Comissão Interministerial para Recursos do Mar) nos anos 90 (SOUZA et al., 2009). Tais iniciativas reuniram uma grande quantidade de dados e informações espaciais sobre o território marinho, promovendo o conhecimento e a geração de produtos específicos ao atendimento das demandas destes programas.

Desta forma, o Plano LEPLAC, que tem por objetivo o estabelecimento do limite exterior da plataforma continental brasileira de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – CNUDM (UNCLOS, 1994), destaca-se pela união de um significativo número de dados batimétricos oriundos de diferentes levantamentos

hidrográficos (LH's). Tais sondagens tornaram-se base para construção de modelos digitais de terreno destinados à representação marinha da região costeira brasileira, sua plataforma continental e o alto mar.

1.2. SITUAÇÃO PROBLEMA VINCULADA AO ESTUDO

O Manual de Hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional (IHB, 2011), ressalta a alta dependência da ciência marinha ao dado batimétrico. Este é amplamente utilizado por modelos computacionais locais, regionais e globais para a compreensão de fenômenos meteoceanográficos, geológicos e geofísicos.

Devido a essa importância, percebe-se a existência de alguns modelos digitais de terreno (MDT) de caráter global capazes de representar, de modo aproximado, o relevo marinho, como exemplo das superfícies ETOPO1 - *1 Arc-Minute Global Relief Model* (AMANTE e EAKINS, 2009) e GEBCO_2014 - *30 Arc-Second Bathymetric Grid* (WEATHERALL et al., 2015). Contudo, devido a características intrínsecas à sua construção que conta com medidas satelitais que possuem grande variação, tais modelos não atendem completamente à algumas finalidades como a modelagem de fenômenos meteoceanográficos de grande escala (GABIOUX et al., 2013; MARTA-ALMEIDA; PEREIRA; CIRANO, 2011), ou mesmo a caracterização geomorfológica de algumas províncias marinhas (como: bancos e canais oceânicos, *guyots* e montes submarinos) (IBGE, 2011). Estes modelos globais partem do uso de um conjunto de dados batimétricos de controle (oriundos de métodos acústicos tomados por navios) para o ajuste de um volume muito superior de dados derivados de satélites altimétricos, como o SRTM30_Plus - *Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc-Seconds Resolution* (BECKER et al., 2009).

As informações obtidas pelos satélites altimétricos são importantes para expressar em determinada escala o comportamento de modo geral dos oceanos. Contudo, suas medidas não atingem os padrões de confiabilidade advindos dos métodos acústicos, como os aplicados nos levantamentos hidrográficos. Cabe ressaltar que tais medidas podem possuir falhas na formação de seus valores quando comparados a realidade topográfica, imputando erros ao longo dos processos subsequentes para a formação do MDT (MACNAB e VARMA, 2008).

Um exemplo de impactos oriundos de uma cobertura inadequada do fundo marinho se deu quando da queda do voo da *Malaysia AirLines* MH370, em 08 de março de 2014. Na

época, mesmo contando com o apoio de modelos batimétricos globais, ficou evidente a necessidade de um conhecimento maior do comportamento batimétrico daquela região do Oceano Índico. As buscas pelos destroços requisitaram um detalhamento geomorfológico, ordinariamente oriundo de levantamentos hidrográficos, que na região em questão eram muito esparsos. Isso implicou em grandes esforços na mobilização e execução de LH's multifeixe na região, mapeando mais de 710.000 km², para só então proceder com o refinamento desta cobertura por meio de sensores acoplados em veículos autônomos submarinos (*Autonomous Underwater Vehicles* - AUV). Este fato levantou discussões e ideias sobre a carência de investimentos em um mapeamento marinho global mais detalhado, acurado e preciso (MAYER et al., 2018).

Atentos a estas necessidades, diversos projetos locais e regionais já buscavam mitigar esse problema. Em 2010, nos Estados Unidos, pesquisadores da *National Oceanic and Administration* (NOAA) já apontavam a necessidade de investimentos e estratégias adequadas à aplicação de dados geospaciais marinhos de maior escala para maximizar os resultados socioeconômicos e científicos dos projetos. Vislumbrava-se a aplicação destes dados espaciais, por meio do uso de IDEM, em apoio ao conceito de Planejamento Espacial Marinho (PEM). O PEM parte de uma perspectiva ecossistêmica baseada na análise de dados espaciais marinhos em diversas escalas. Segundo Fowler et al. (2010), a maioria das informações de referência disponíveis sobre a geologia e o fundo marinho - incluída a batimetria - de maior cobertura nacional, ainda possuíam à época resoluções insuficientes para suportar iniciativas como o PEM.

Uma pesquisa realizada em 2012, pelos governos da Austrália e da Nova Zelândia registra os principais grupos de demanda por batimetria como: operações marítimas, gerenciamento costeiro, geoserviços, mapeamento e modelagem. Aproximadamente 64% das atividades mencionadas recaem na dependência do dado batimétrico. O estudo também aponta o elevado custo envolvido na aquisição do dado batimétrico como um ponto comum observado pelos usuários. Tal fato, é descrito como justificativa à necessidade de soluções integradas ao intercâmbio desta informação pelas organizações interessadas, sejam elas públicas ou privadas (QUADROS, 2012).

Entretanto, a indisponibilidade de acesso a informações batimétricas de forma simples e ágil, por vezes tem comprometido as pesquisas nacionais, impossibilitando que os pesquisadores dediquem maior tempo de análise sobre os dados espaciais e suas interações com o ambiente (FAPESP, 2012). A ausência de um produto como uma superfície

batimétrica oficial brasileira, implica na adoção de modelos batimétricos globais e/ou no retrabalho frequente de digitalização, vetorização e extração da batimetria oriunda das cartas náuticas ou plantas batimétricas disponíveis. Geralmente, a partir deste processo moroso parte-se à construção de MDT's por iniciativas independentes de instituições públicas e privadas que carecem de tal informação.

No Brasil, tal situação tem sido apontada em artigos e eventos científicos especializados, como ocorrido em 2012, no workshop internacional *Marine Data Management*, na sede da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (FAPESP, 2012), bem como pela matéria intitulada “Quanto custa não investir em dados geoespaciais?” da revista eletrônica MundoGeo (LEONARDI, 2012). Destaca-se então, a necessidade do avanço por soluções, tal qual a apresentação de uma superfície batimétrica nacional como referência de alta confiabilidade, quando comparada às demais superfícies globais.

Assim, em consonância aos anseios da DHN (2016) e de Mohriak e Torres (2017), que incentivam a adoção dos frutos do Projeto LEPLAC para desenvolvimento de pesquisas nacionais; nota-se que o uso de parte disponível do MDT desenvolvido pelo projeto LEPLAC como recorte ao presente estudo, traz como benefício um maior conhecimento sobre a margem continental Sul brasileira, bem como a produção de subsídios basilares ao avanço para uma solução em escala nacional.

1.3. QUESTÕES DA PESQUISA

Frente ao cenário supramencionado, a presente pesquisa visa responder aos seguintes questionamentos:

- i) Como a informação batimétrica nacional tem sido divulgada e disponibilizada para a sociedade?
- ii) Em comparação às principais superfícies batimétricas disponíveis, o MDT construído pelo projeto LEPLAC para região Sul brasileira é o que melhor à representa?
- iii) A adoção e o fornecimento da superfície LEPLAC Sul por meio de uma IDEM, atende as normas e orientações técnicas nacionais e internacionais?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo Geral

A presente pesquisa objetiva a avaliação de superfícies batimétricas a fim de contribuir para a definição de uma referência regional à implantação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos.

1.4.2. Objetivos Específicos

Para o alcance deste propósito foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Analisar o histórico da gestão dos dados batimétricos nacionais e a possibilidade de representação destes por meio de MDT's.
- ii) Verificar as características das principais superfícies batimétricas disponíveis para a área de estudo.
- iii) Desenvolver uma metodologia para avaliação da qualidade de superfícies batimétricas, em termos qualitativos e quantitativos, sobre dados de controle da área de estudo; bem como sobre outros MDT's disponíveis;
- iv) Identificar a adequabilidade às normas e orientações técnicas nacionais e internacionais quanto a divulgação e disseminação deste produto através de uma IDEM.

2. ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa desenvolve-se sobre uma extensa área geográfica do Oceano Atlântico Sul, que compreende 2.826.385,52 km² inseridos na NAVAREA/METAREA V¹. Especificamente, esta região segue limitada pela Linha de Base Nacional (LBN) (BRASIL, 2015) em conjunto das latitudes 27°S a 37°S e longitudes 25°W a 54°W, conforme figura abaixo.

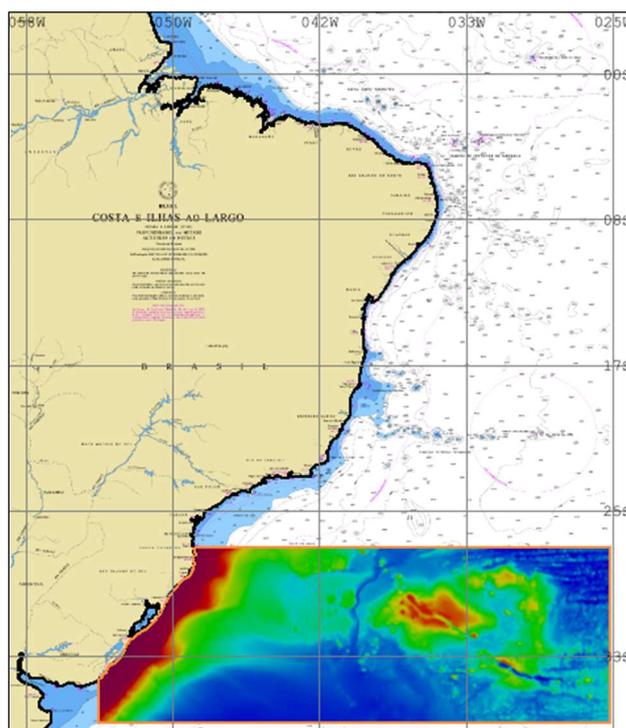


Figura 1 - Representação da área de estudo em destaque sobre a Carta náutica nº1 – Costas e Ilhas ao Largo.

O Brasil possui uma das maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com bacias sedimentares de características geológicas distintas. A região ora em estudo compreende parte dos segmentos do Atlântico Central e Austral, e alcança porções das bacias sedimentares de Santos e Pelotas (margem continental) até as bacias oceânicas do Brasil e da Argentina (IBGE, 2011; CPRM, 2003), conforme Figura 2.

¹ NAVAREA/METAREA V, são áreas marítimas onde as informações de segurança da navegação (Avisos Rádio-Náuticos, Boletins Climatológicos, Resgate e Salvamento...) constam sob a responsabilidade do Brasil.

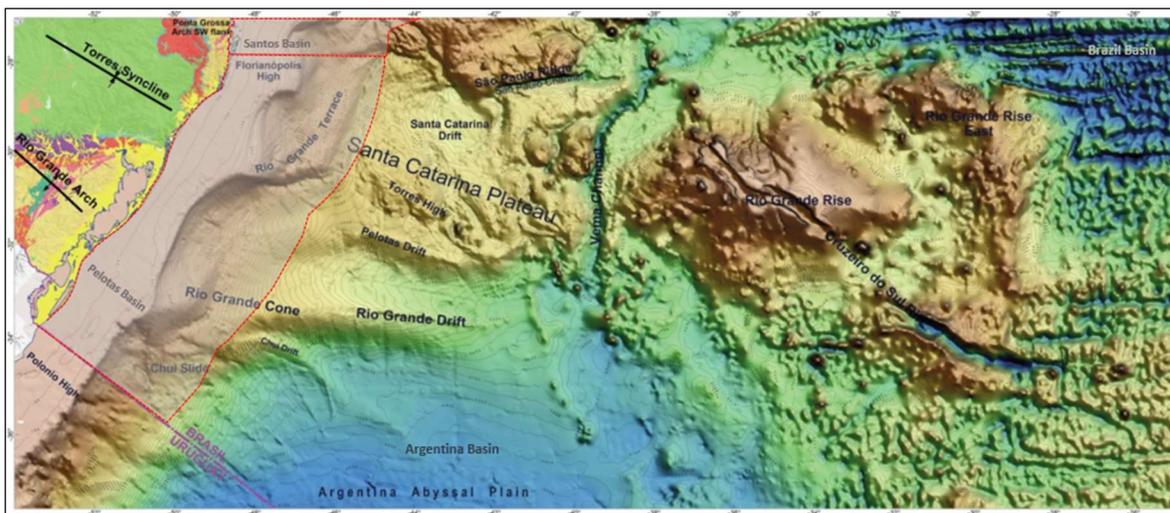


Figura 2 - Mapa das principais feições morfológicas da região de estudo. Adaptado de Torres et al. (2008) e LEPLAC (2015).

A batimetria nesta área alcança uma variação significativa em suas profundidades (de 0 a 5.000 m), partindo de um fundo marinho de comportamento suave (pouco rugoso) à complexo em vários setores. Esta característica pode ser observada pelas alterações abruptas de gradientes em partes do terreno, devido ao elevado número de feições geomorfológicas distintas, como montes e canais submarinos e escarpas elevadas (Fig. 2). Esta região contempla como principais elementos naturais: a Elevação do Rio Grande (ERG), o Platô de São Paulo e de Santa Catarina, o Cone do Rio Grande e o Deslizamento do Chuí.

Dentre estes componentes geomorfológicos destacam-se a ERG e o Platô de São Paulo. A ERG é uma das maiores expressões morfológicas do Atlântico Sul, atingindo 4.000 m acima do fundo oceânico típico em uma área semicircular de 3.000 km². Ela é recortada por um rifte abortado (~1.500 km), denominado Rifte Cruzeiro do Sul, cujo o vale central encontra-se cercado por escarpas de até 3.500 m de altura (Fig.3). Esta estrutura encontra-se a uma distância de cerca de 1.500 km da margem sudeste do Brasil, sendo delimitada entre as bacias do Brasil e da Argentina e pelos canais Vema e Hunter (GALVÃO, 2017). O Platô de São Paulo, segue caracterizado por uma larga província de diápiros de sal na região sudeste e com estreitamento na direção norte (CPRM, 2003).

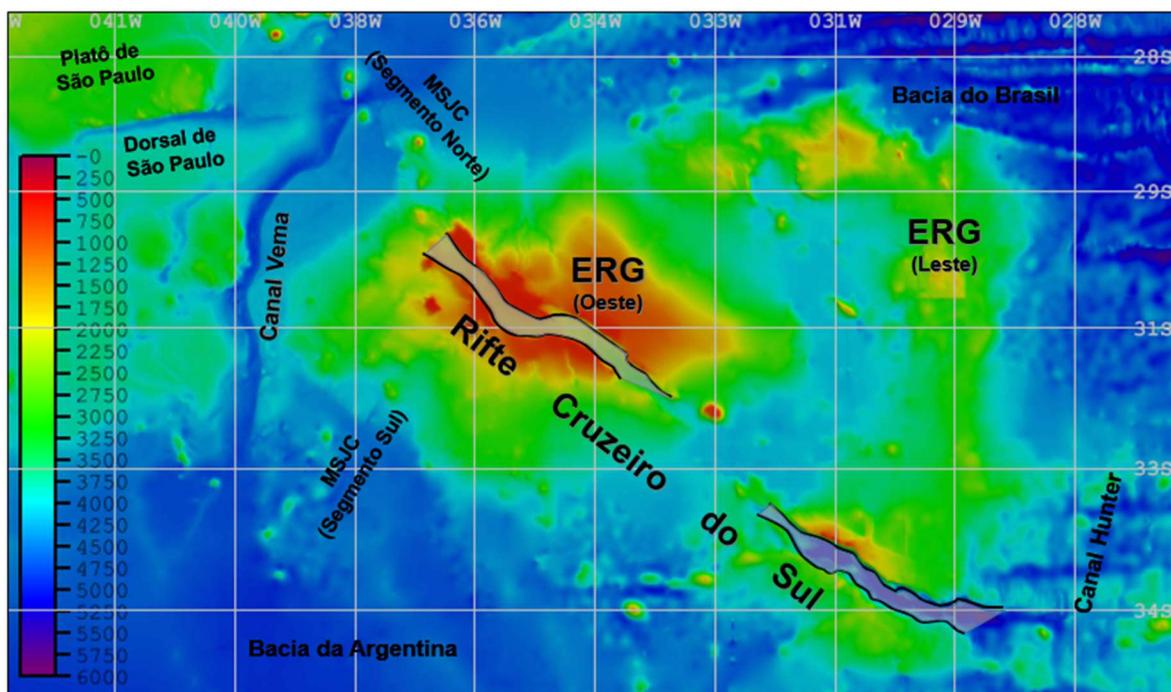


Figura 3 - Elevação do Rio Grande (ERG – setores Leste e Oeste) e Rife Cruzeiro do Sul (polígono cinza); Platô e Dorsal de São Paulo; Canais Vema e Hunter e os Montes Submarinos Jean Charcot (MSJC – segmentos Norte e Sul).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. O CONCEITO DE IDE, IDEM E SUA COMPONENTE BATIMÉTRICA

A ideia de uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) parte de uma organização de dados geoespaciais dos Centros produtores², mediante o uso de tecnologias, padrões, políticas e acordos institucionais a fim de facilitar a geração, armazenamento, distribuição e o acesso destes ao público (OGC, 2018; BRASIL, 2008). Ou seja, consiste em otimizar recursos e potencializar os resultados entre os entes que dela participam ou usufruem. Deste modo, uma IDEM segue o mesmo preceito, atribuindo destaque ao propósito marítimo, relacionando então seus respectivos conjuntos de dados ora organizados em diversos temas ou camadas (IHO, 2017a).

De acordo com Cromptvoets et al. (2004) é possível notar o surgimento de estudos envolvendo o conceito de IDE, ou *Spatial Data Infrastructures* (SDI), em meados dos anos 80, com os exemplos de Estados Unidos da América e Austrália. Ainda que limitados pela própria inexperiência, cada país buscava soluções geográficas que integrassem o atendimento das demandas e prioridades específicas à suas características nacionais, dando início assim ao que hoje chamamos de *National Spatial Data Infrastructure* (NSDI) (FGDC, 1997). Contudo, após um amadurecimento impulsionado principalmente pelo desenvolvimento tecnológico e econômico, tem-se o aparecimento de uma segunda geração de IDE nos anos 2000.

Ocorreu neste período uma mudança na forma de gestão do assunto, trazendo boas práticas voltadas aos modelos de gerenciamento público e privado, analisando seus impactos no desenvolvimento sustentável das sociedades (ALFORD, 1993). O trato das IDE passou a seguir uma organização sistemática mais formal, sendo destacada a importância do uso de padrões para o armazenamento dos dados e seus metadados, da tecnologia envolvida e das políticas de gestão de todo esse conjunto (AALDERS e MOELLERING, 2001).

A distribuição das IDE passa também por uma hierarquia em níveis (local, regional e global), e ainda, houve a criação de fóruns e comunidades voltadas a discussão do tema (RAJABIFARD; FEENEY; WILLIAMSON, 2002). Nebert (2004) aponta que o aumento

² Centros Produtores – para efeito da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE-BR), referem-se as instituições do governo, academia, autarquias públicas ou privadas e demais setores responsáveis pela produção e manutenção do respectivo dado ou informação geoespacial de referência, temáticas ou de valor agregado (BRASIL, 2008).

do uso de ferramentas interoperáveis dos geoserviços por meio da internet e da capacidade de pós-processamento dos dados espaciais permitiu o estabelecimento da relação das IDE ao conceito de gerenciamento de banco de dados espaciais. A figura abaixo, apresenta de forma simplificada as principais componentes de uma IDE.

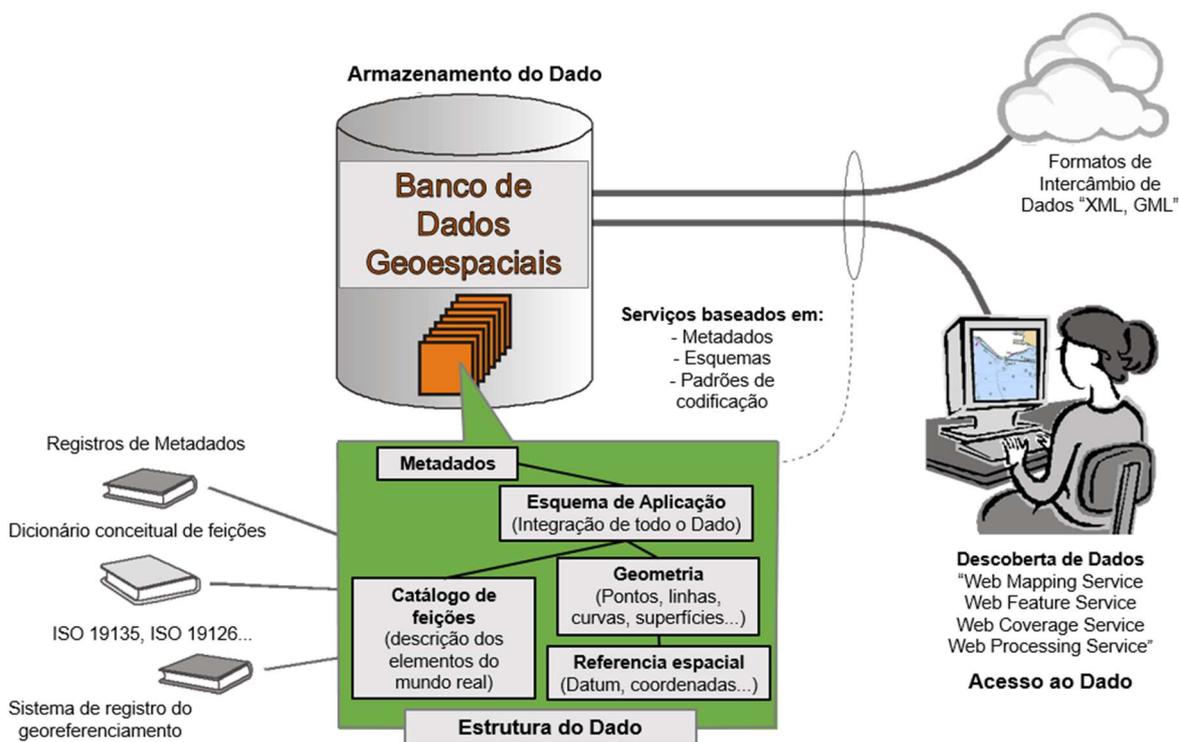


Figura 4 - Componentes principais de uma IDE. Adaptado de Fadaie (2016).

Como consequência natural do processo de evolução das IDE, logo seus limites geográficos alcançaram as regiões marinhas. Responsável por uma cobertura superior à 70% da superfície terrestre, os mares e oceanos têm sido a maior fonte de alimento e energia à humanidade, mantendo a regulação climática e permitindo a conexão entre as nações para o desenvolvimento mútuo e o comércio (UN-OCEANS, 2016). Desta forma, a busca pelo gerenciamento eficiente de tais recursos trouxe às IDE a necessidade de integração das informações espaciais por meio do acesso e compartilhamento de dados terrestres, costeiros e marinhos (STRAIN, 2006).

Ao longo das décadas de 80 e 90, destacaram-se as observações das nações sobre o enorme potencial de riquezas a serem exploradas em seus mares territoriais, zonas contíguas, zonas econômicas exclusivas e plataforma continental, podendo esta ainda ser estendida conforme o atendimento aos critérios estabelecidos pelo Art. nº76 da III Convenção das

Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (UNCLOS, 1994). Com isso, houve um aumento do interesse mundial sobre as informações espaciais atinentes ao prolongamento de seus territórios para além da linha de costa (sua extensão, limites e recursos naturais), bem como da salvaguarda e da responsabilidade pela gestão integrada destes ambientes.

Assim, conforme Strain; Rajabifard; Williamson (2006), os dados espaciais marinhos que adquiriram maior relevância pelas IDE's podem ser organizados em camadas referentes a fronteiras, áreas de proteção ambiental, batimetria, climatologia e meteorologia, regime de marés, ondas e correntes, recursos vivos e não vivos, composição do fundo e sub-fundo, além de outras questões legais nacionais e internacionais (Fig. 5).

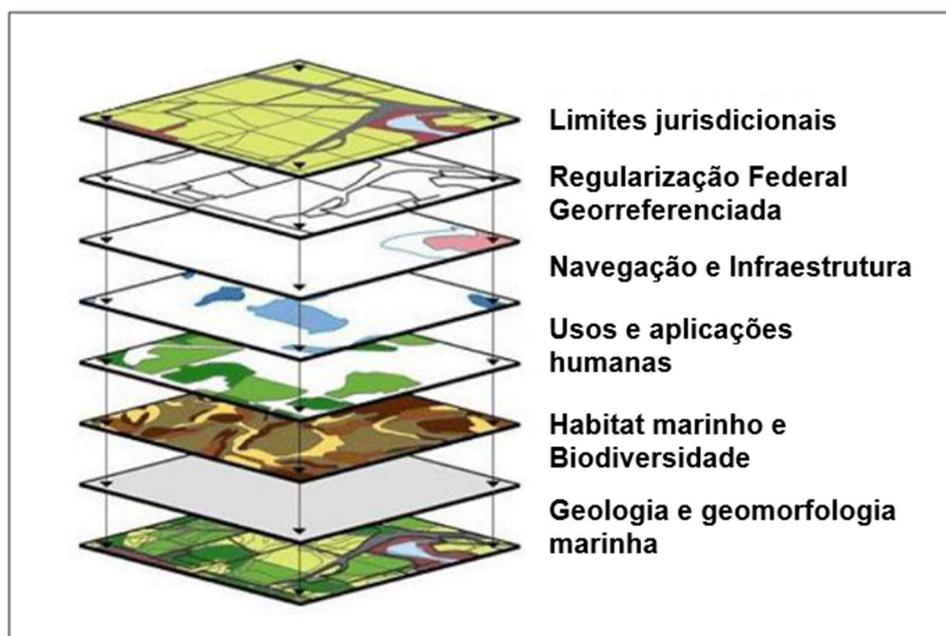


Figura 5 – Exemplo da organização dos temas de uma IDEM. Adaptado de Fowler et al. (2010).

Maratos (2006) ressalta a necessidade de preparação dos Serviços Hidrográficos quanto à aplicação dos dados e informações hidrográficas para além dos propósitos consagrados à segurança da navegação. No âmbito da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), observa-se desde então, o desempenho de esforços contínuos para apoiar os Estados Membros a construir suas Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM). Um exemplo foi o estabelecimento, em 2008, do *Marine Spatial Data Infrastructures Working Group* (MSDIWG) (IHO, 2018a), com intuito de incentivar a troca de experiências e aumentar a eficiência na produção de dados geoespaciais, melhorando assim a disponibilidade e a acessibilidade destes dados e informações.

Segundo Cooper; Pepper; Osborne (2010), os Serviços Hidrográficos envolvidos no processo de implementação de uma IDEM serão capazes de gerenciar e assumir o controle “inteligente” sobre seu(s) oceano(s), com o apoio da navegação eletrônica e do planejamento marinho espacial. Desta forma, o atendimento das necessidades de diversos setores públicos e privados, por meio de IDEM tem sido apontado como um importante passo à disseminação da informação marítima e fluvial nacional (CONTI et al., 2013).

A publicação C-17 (IHO, 2017a), descreve uma IDEM baseada em quatro pilares, sendo: política e governança (pessoas), especificações técnicas (padrões), sistemas de informação (tecnologias) e conteúdo geográfico (dados espaciais), conforme ilustrado pela Figura 6. Por dados espaciais, entende-se o conjunto dos elementos: limites marítimos, áreas de conservação e preservação, habitats marinhos, oceanografia, batimetria, hidrografia, geologia, infraestrutura marítima, localização de naufrágios, instalações offshore, tubulações e cabos submarinos etc.



Figura 6 - Pilares de uma IDEM. Adaptado de IHO (2017a).

O estabelecimento de uma IDEM ou a adaptação de uma IDE pré-existente para agregar os componentes marinhos é uma tendência mundial. Pode-se ainda citar as infraestruturas: INSPIRE (2018), que serviu de base aos programas específicos de dados marinhos europeu EMODnet (2018a) e SeaDataNet (2018), ou a *Malaysia Geospatial Data Infrastructure* (MyGDI; 2018) que evoluiu a partir da *National Infrastructure for Land*

Information System (NaLIS). O *Land Information New Zealand* (LINZ, 2018), tal qual o projeto GeoConnections do *Natural Resources Canada* (NRCAN, 2018) se destacam pela adoção do modelo de IDEM coerente a iniciativa conhecida por “*Open Government*”.

Lançada em setembro de 2011, por um grupo de 8 países (Brasil, Indonésia, México, Noruega, Filipinas, África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos da América), e logo endossada voluntariamente por outras 67 nações, a “Parceria de Governo Aberto” declara que os mesmos seguirão uma série de compromissos relacionados a gestão transparente e de participação popular (OGP, 2016).

O Brasil teve sua Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) estabelecida pelo Decreto nº 6.666, em 2008 (BRASIL, 2008). Tal lei prevê a participação dos órgãos governamentais produtores de dados espaciais - entre os quais a DHN - que devem disponibilizar dados e metadados provenientes de seus produtos, de acordo com padrões nacionais de interoperabilidade. Para melhor coordenação das ações interinstitucionais, foi promulgado o Plano de Implementação da INDE (CONCAR, 2010), que reconhece como dados geoespaciais especiais aqueles relacionados à cartografia náutica e desta forma, sob a responsabilidade da DHN. Neste sentido, esforços vêm sendo adotados por parte desta instituição, com o objetivo de facilitar o acesso e a integração de dados espaciais marinhos por meio da implementação de uma IDEM (PINHEIRO e FLORENTINO, 2017).

Destaca-se ainda que a implementação das IDEM seguem suportadas por diretivas como: *Blue Economy and Blue Growth*³, *United Nations initiative on Global Geospatial Information Management* (UN-GGIM)⁴, *G8 Open Data Charter*⁵, *Smart Oceans*⁶; *International Oceanographic Data and Information Exchange* (IODE – *Ocean Data Portal project*)⁷; *e-Navigation*⁸; *General Bathymetric Chart of the Oceans*⁹ (GEBCO). Estas visam desde o estabelecimento de um tráfego marítimo seguro e eficiente; o aperfeiçoamento na gestão da zona costeira; a exploração sustentável e a otimização de recursos marinhos, como a proteção ambiental e o respeito a defesa nacional adequadas.

³ https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_en.

⁴ <http://ggim.un.org/about/>.

⁵ <https://www.gov.uk/government/publications/open-data-charter/g8-open-data-charter-and-technical-annex>.

⁶ <http://www.globalopportunitynetwork.org/report-2016/smart-ocean/#.Vx3SrnHmv8>.

⁷ <http://www.oceandataportal.org/>.

⁸ <http://www.iala-aism.org/products-projects/e-navigation/>.

⁹ <https://www.gebco.net/>.

O uso de IDE e IDEM tem alcançado resultados positivos em diversos setores. Como exemplo, as tecnologias geoespaciais representaram benefícios da ordem de R\$ 46,067 bilhões¹⁰ (ou 1,1%) do produto interno bruto canadense em 2013; sendo os dados espaciais responsáveis pelo acréscimo de R\$ 1,546 bilhões¹⁰ a este montante (NRCAN, 2015). Contudo, sabe-se que tais resultados derivam da contínua e efetiva participação das instituições governamentais e privadas que investiram recursos materiais e humanos sobre o projeto da IDEM canadense, que inclusive foi uma das primeiras a realizar um estudo de custo-benefício para este tema, em 1992 (GRIFFIN et al., 2017).

Estudos recentes sobre relações de custo-benefício à implementação de IDEM's nacionais e regionais, afirmam ter encontrado razões positivas, variando da ordem de 1:2 alcançando até 1:18, implicando assim em benefícios significativos à estas nações. (GRIFFIN et al., 2017).

Em se tratando da disponibilização de dados batimétricos de referência, um estudo realizado em 2015, pelo *Land Information New Zealand* (LINZ) observa detalhadamente os benefícios tanto no campo técnico-científico como no desenvolvimento dos principais setores econômicos daquele país. Este aponta que investimentos na coordenação da produção de informações batimétricas nacionais podem apresentar uma relação de custo-benefício da ordem de 1:2 a 1:6. Como exemplo, o Porto de Otago na Nova Zelândia, planeja executar aperfeiçoamentos em sua infraestrutura com base num projeto de dragagem para aumento da profundidade de seus canais para 14 metros (valor compatível às demandas comerciais mundiais). A razão para este desenvolvimento é prover segurança às visitas por navios maiores. Assim, segue estimado que o investimento de R\$ 167,791 milhões¹¹ no Porto de Otago, se traduza em um retorno de mais de R\$ 516,280 milhões¹¹ nos próximos 20 anos, ou seja da ordem de 1:3. Estes resultados são esperados com base na redução da duplicidade de esforços administrativos e financeiros, priorização na realização dos levantamentos hidrográficos necessários, bem como melhora da disponibilização e da qualidade do dado destinado ao propósito final (LINZ, 2015).

Percebe-se então que, o dado batimétrico exerce fundamental importância no âmbito de uma IDEM, sendo considerado um dado de referência para os demais elementos

¹⁰ Valores convertidos pelos índices do Banco Central Brasileiro, referentes ao ano de 2013; C\$ 1,0 = R\$ 2,225.

¹¹ Valores convertidos pelos índices do Banco Central Brasileiro, referentes ao ano de 2015; US\$ 1,0 = R\$ 2,581.

geográficos. A Figura 7, mostra que o dado batimétrico pode ser representado através de modelos digitais de terreno (MDT) ou mesmo na forma de nuvem de pontos (IHO, 2017a).

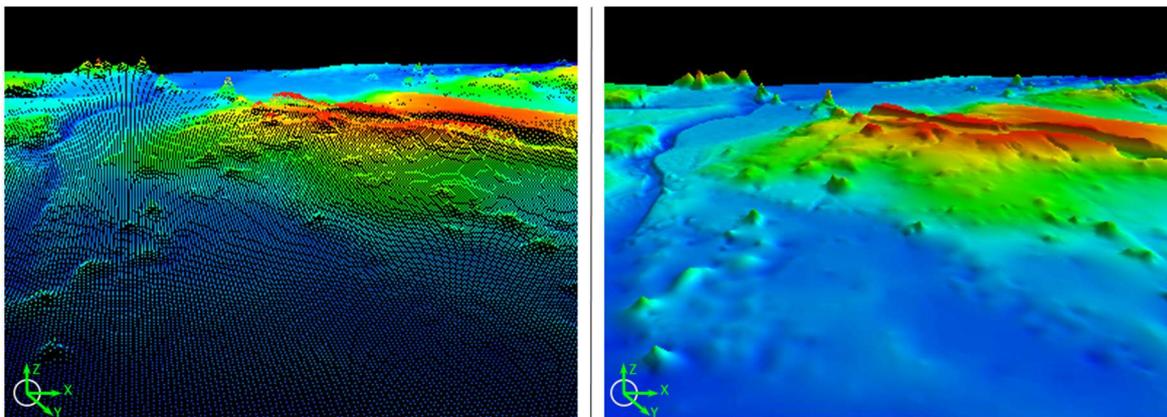


Figura 7 - Apresentação do dado batimétrico por meio de uma nuvem de pontos (imagem à esquerda) e de um MDT (imagem à direita).

Neste sentido, diversas iniciativas nacionais (LINZ, 2015), regionais (EMODnet, 2016, 2018b; HALL, 2014) e globais buscam atender ao mapeamento do fundo marinho através da aplicação de novas tecnologias de coleta, processamento, análise, controle e compartilhamento de dados batimétricos (IHO, 2017b). Têm-se como exemplos os projetos do *IHO Crowdsourced Bathymetry Working Group*, iniciado em 2014 (IHO, 2014) e o *The Nippon Foundation – GEBCO – Seabed 2030*, estabelecido em 2016 (JAKOBSSON et al., 2017; MAYER et al., 2018).

3.2. A BATIMETRIA NACIONAL

O Dicionário de Hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) estabelece o termo batimetria como a definição da profundidade do fundo marinho, encontrada por meio da medição e análise de perfis de dados de profundidade (IHO, 2018b). Fruto dos Levantamentos Hidrográficos (LH's) realizados em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) e demais regiões de interesse da nação, a batimetria oficial brasileira tem sido, de modo geral, apresentada à sociedade por meio das publicações e cartas náuticas oriundas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

No Brasil, o Decreto Imperial nº 6.113/1876 (BRASIL, 1876), junto ao Decreto nº 243/1967 (BRASIL, 1967a) e demais documentos internos da Marinha do Brasil (MB), estabelece à DHN o papel de Serviço Hidrográfico nacional. A DHN atribui ao Centro de

Hidrografia da Marinha (CHM), organização técnica diretamente subordinada, pela Portaria Ministerial nº 360/1998 e Portaria nº 42/2014-DHN, as ações de planejamento e execução da cartografia temática náutica nacional, bem como a ratificação dos parâmetros atinentes aos LH's que comporão os documentos náuticos, dentre os quais a batimetria se expressa em destaque (CHM, 2018a). Cabe também ao CHM supervisionar a operação do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), donde residem diversos dados abertos à sociedade marítima nacional e internacional (CHM, 2018b).

Como Estado signatário da Convenção para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) (IMO, 1974) e membro de organismos internacionais como a *International Hydrographic Organization* (IHO) (BRASIL, 1967b, 1971, 2009), a *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC), a *International Maritime Organization* (IMO) e outras, cabe ao Brasil atendimento aos requisitos mínimos acordados para fins de exercer sua soberania, defesa e segurança da navegação, tanto em águas interiores, quanto costeiras e oceânicas. Desta forma, destacam-se as orientações contidas no Capítulo V, Regra 9, a SOLAS, ratificada por meio do Decreto nº 92.610/1986 (BRASIL, 1986); bem como das publicações da OHI: M-4 - *IHO Hydrographic Manual* (IHB, 2011) e S-44 – *IHO Standards For Hydrographic Surveys* (IHO, 2008).

Tais normas e especificações trazem luz ao termo batimetria, uma vez inserido e abordado junto à sociedade marítima brasileira por meio da publicação intitulada Norma da Autoridade Marítima nº25 (NORMAM-25) (DHN, 2017). Junto do contexto de parametrização dos LH's nacionais, a NORMAM-25 visa orientar às entidades executantes destes levantamentos em todas as fases do processo (desde a solicitação de autorização à MB, planejamento, execução, análise, correta classificação do LH de acordo com sua finalidade e submissão ao CHM).

A NORMAM-25, atualmente em sua 2ª edição, explica que ao receber tal documentação, o CHM inicia seu processo de verificação, onde caso os dados sejam considerados aptos e relevantes à construção ou atualização dos documentos náuticos, o LH entrará no fluxo de produção do CHM passando a integrar os respectivos Bancos de Dados Batimétricos (BDB – *BathyDataBASE*) e de produção cartográfica (HPD – *Hydrographic Production Database*) (MAIA; FLORENTINO; PIMENTEL, 2017). Por fim, a batimetria resultante do processo cartográfico surge divulgada como parte das cartas náuticas (em papel ou digitais, caso das ENC-*Electronic Navigational Chart* ou RNC – *Raster Navigational Chart*), bem como outros produtos derivados do ambiente de produção cartográfica do CHM

(FERREIRA, 2014)¹². A informação batimétrica bruta, bem como aquelas que resguardam os direitos autorais envolvidos no LH (BRASIL, 1998), permanecem sob a guarda da DHN, conforme orientam as legislações vigentes que dispõem sobre o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) (BRASIL, 1967a).

Ademais, por apresentar extrema relevância ao desenvolvimento do contexto nacional, seja em relação ao conhecimento e defesa do território, ao gerenciamento costeiro, às relações internacionais de transporte e comércio existentes nos dias atuais, os dados batimétricos fazem parte do escopo da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (BRASIL, 2008). A INDE refere-se aos dados topográficos, de elevação e de batimetria como parte importante do conjunto de dados de referência para construção de uma IDE. Trata em específico a batimetria, como um dado geoespacial especial sob a responsabilidade do Centro Hidrografia da Marinha (CHM), a ser vislumbrado no decorrer do Plano de Implementação da INDE (CONCAR, 2010). Atualmente, o Ciclo III deste Plano compreende as ações de preparação e implementação das bases de dados no período de 2015 a 2020. Neste documento as informações batimétricas fazem parte de um rol de elementos geoespaciais a serem preparados para o atendimento das demandas de intercâmbio e compartilhamento da sociedade brasileira e internacional.

Sobre este mesmo prisma, a OHI publicou recentemente um documento intitulado “*Realising the benefits of Spatial Data Infrastructures in the Hydrographic Community*”, promovendo as boas práticas na integração dos Serviços Hidrográficos junto as IDE nacionais. Este texto, também cita o quão valioso é o dado batimétrico, tendo papel fundamental na implementação de Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) (IHO, 2017b).

Assim, percebe-se que coadunando as orientações da INDE e da OHI, o Serviço Hidrográfico Brasileiro iniciou sua participação junto à iniciativa do *Crowdsourced Bathymetry* (CSB)¹³ bem como, segue em busca da implantação de uma IDEM nacional (DHN, 2016).

¹² A relação de cartas e publicações náuticas sob a responsabilidade da MB pode ser consultada por meio do Catálogo de Cartas e Publicações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DH7-12), disponibilizado pelo endereço eletrônico: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/catalogo/catalogo.htm>.

¹³ *Crowdsourced Bathymetry* (CBC) *web platform* (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/csb/index.html>).

O CSB representa em caráter global, um conjunto de dados batimétricos coletados por navios em cruzeiro, dotados de sensores de navegação padrão; e não requer o atendimento às especificações necessárias aos produtos cartográficos (IHO, 2018c). O intuito deste projeto é apoiar, principalmente, o reconhecimento de regiões marinhas onde a informação do fundo é escassa. Trata-se de um banco de dados batimétrico mundial, composto por sondagens brutas e/ou não tratadas, oriundas de diversas fontes da sociedade marítima internacional, não se restringindo apenas aos Serviços Hidrográficos. Desta forma, o CSB não caracteriza tais informações batimétricas como dados oficiais das nações, mas às trata como informações públicas de apoio a interesses específicos. Neste sentido, as informações brutas de dados batimétricos coletadas pelos navios da DHN, oportunamente passam a ser preparadas e disponibilizadas através do *IHO Data Centre for Digital Bathymetry* (DCDB)¹⁴.

Ademais, segue em desenvolvimento pela DHN a proposta de implementação de IDEM nacional (DHN, 2016). Conforme recente publicação da Norma de Acesso aos Dados e às Informações Abertas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (NAD-DHN) (DHN, 2018), esta infraestrutura de dados espaciais prevê alcançar diversos elementos do ambiente marinho, inclusive os dados de batimetria, sejam eles tratados sob a forma discreta ou contínua, caso das superfícies batimétricas interpoladas. Tal ação busca promover a descoberta, o acesso e o compartilhamento dos dados e informações espaciais marinhas nacionais de maneira mais eficiente e eficaz, por meio da aplicação de soluções tecnológicas baseadas em bancos de dados espaciais e geoserviços (PINHEIRO e FLORENTINO, 2017).

3.3. A MODELAGEM DIGITAL DE TERRENOS MARINHOS

De acordo com Quadros (2012), a interação dos usuários com o dado batimétrico por muitas vezes se dá pela aplicação dos dados de contorno (linhas isobatimétricas) e modelos 3D (com base em MDT's). O Modelo Digital de Terreno (MDT) é um tipo especial de Modelo Digital de Elevação (MDE), onde enquanto o MDE é um termo genérico que expressa superfícies formadas por diferenças de altitudes, o MDT se atém estritamente ao terreno. O MDT pode conter feições naturais como linhas de mesma cota (curvas de nível ou isobatimétricas), nuvens de pontos cotados ou de sondagens e ainda, algumas linhas de

¹⁴ *IHO Data Centre for Digital Bathymetry* (DCDB) (<https://www.ngdc.noaa.gov/iho/>).

descontinuidade (*breaklines*) para representar acidentes geográficos (como canais, lagos e falhas geológicas, por exemplo), aumentando assim as informações do modelo para melhor caracterizar o solo (DSG, 2016; WILSON, 2012; MAUNE, 2010). Existem basicamente duas formas de tratamento aos MDT, sendo uma por grade regular, onde Δx e Δy possuem valores constantes ao longo da superfície, ou por *Triangular Irregular Network* (TIN) na qual o conjunto de dados serão adotados como os vértices dos triângulos irregularmente espaçados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005; HUTCHINSON e GALLANT, 1999).

Sabe-se que os dados batimétricos buscam expressar a realidade de uma variável espacial que é contínua, a profundidade do relevo marinho. Uma vez que esta apresenta transições graduais entre suas vizinhas pode-se aplicar o conceito de continuidade espacial, proporcionando o uso de aproximações matemáticas que sejam capazes de traduzir esse fenômeno natural de forma adequada (OLEA, 2009).

Segundo Li e Heap (2014) e De Silveira et al. (2014), atividades relacionadas ao gerenciamento ambiental requerem um entendimento completo sobre a região de interesse. Esta análise se dá sobre algo que, no plano real, é contínuo e não discreto como as amostras coletadas em campo. Assim, a tomada de decisão por meio de uma superfície será cada vez mais acurada se analisada e interpretada sobre a perspectiva mais próxima do cenário real.

Ressalta-se que, por terem referência na segurança da navegação, os documentos náuticos tais como as cartas náuticas apresentam a informação batimétrica em atenção às menores profundidades existentes (IHO, 2016). Sendo assim, um MDT oriundo somente da extração de sondagens representadas em tais documentos, provavelmente não refletirá aspectos fidedignos do terreno no que tange às suas maiores profundidades.

Outro aspecto consiste no uso inapropriado de MDT's construídos com dados batimétricos derivados de satélites altimétricos. Tais informações possuem destacado valor aos estudos de geociências, principalmente quando do mapeamento sobre regiões de difícil acesso e com baixa cobertura por levantamentos hidrográficos. Contudo, as medidas tomadas por essa técnica possuem variações por inúmeras razões (oceanográficas como marés e correntes, e climatológicas, como o vento e pressão atmosférica). A principal delas consiste na estimativa da anomalia gravimétrica, que depende das características morfológicas e das diferentes densidades que habitam a subsuperfície da região. Ou seja, a constituição do fundo marinho e do subfundo (tipo de rocha e disposição das camadas) são fatores determinantes à medida altimétrica que pode ao fim, não refletir a realidade das profundidades estimadas por este método. Com base em todas as aproximações e erros

presentes, têm-se que a resolução espacial deste tipo de observação varia de 5 a 12 km, com uma incerteza vertical em determinados locais superior a 100 m (MACNAB e VARMA, 2008). A consciência sobre este problema com o dado batimétrico derivado da altimetria por satélites, levou Torres et al. (2003), em seu trabalho de construção da Base de Dados Batimétricos do Atlântico Sul, à definição de uma grade cujo *cell size* regular primário foi de 4.000 m e, em sua concepção final, 10.000 m. Durante este processo fez-se necessário o uso dos dados ETOPO2' disponíveis à época, sendo estes aplicados estritamente para profundidades superiores a 2.500 m, onde não haviam informações oriundas de métodos acústicos de coleta, ou seja LH's.

Desta forma, observa-se que a construção de MDT's marinhos deve compreender o máximo de dados batimétricos qualificados disponíveis, sendo estes preferencialmente oriundos dos métodos acústicos consagrados pela literatura. Ou seja, prioriza-se a aplicação dos dados oriundos dos levantamentos hidrográficos realizados à luz das especificações pertinentes (IHO, 2008; DHN, 2017).

Como exemplo da prática crescente do uso de MDT's aplicados ao ambiente marinho; em dezembro de 2016, o projeto EMODnet-Bathymetry deu início a fase denominada "EMODnet *High Resolution Seabed Mapping*" (SCHAAP, 2016). Esta ação visava consolidar os conhecimentos a respeito daquele território, a expansão da cobertura batimétrica sobre a região europeia e a melhora da resolução espacial de seu MDT pré-existente. Recentes avanços deste projeto mostram que, enquanto a superfície global "GEBCO_2014" possui resolução espacial de arco de 1/2 de minuto, o MDT EMODnet busca alcançar a melhora de 1/8 para 1/16 arco de minuto com o incremento de novas sondagens (PAN-EUROPEAN INFRASTRUCTURE FOR OCEAN & MARINE DATA MANAGEMENT, 2017; EMODnet, 2018b).

3.3.1. Superfície GEBCO_2014

O GEBCO_2014 é um modelo digital de terreno de abrangência global, voltado ao atendimento da temática marinha (Fig.8). Lançado em dezembro de 2014, pelo Programa GEBCO – *General Bathymetric Chart of the Oceans*, da *International Hydrographic Organization* (IHO) e *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) of *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization* (UNESCO), possui uma resolução espacial de arco de 30", que equivalem a uma distância 926 m sobre a linha do Equador. Sua grade baseia-se num conjunto de dados batimétricos tomados a partir de linhas

de sondagens oriundas de navios, sendo estas interpoladas com auxílio de informações advindas de radares altimétricos (WEATHERALL et al., 2015).

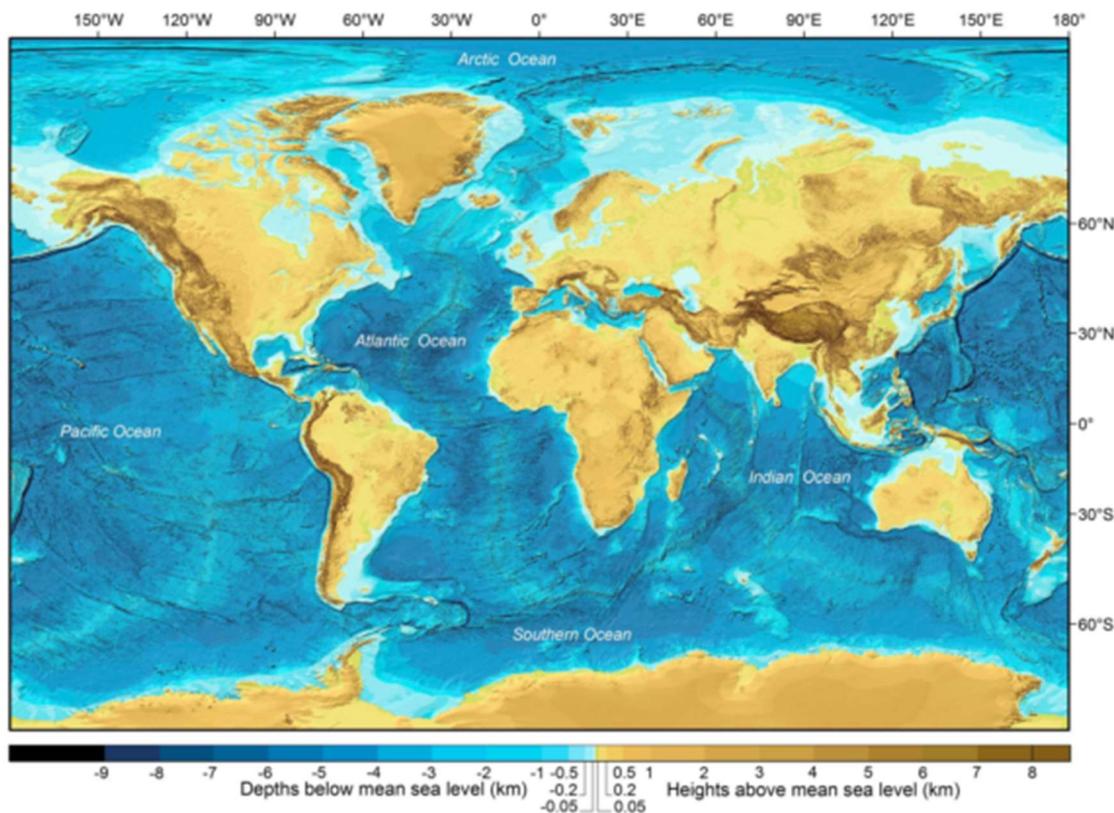


Figura 8 - Superfície GEBCO_2014. Fonte: WEATHERALL et al., 2015.

Com origem no aperfeiçoamento de seu predecessor, o modelo GEBCO_08 que já possuía grande parte sua batimetria estimada com o auxílio de satélites altimétricos, o GEBCO_2014 possui sobre a porção oceânica, apenas, 18% de suas células com ao menos uma sondagem oriunda de métodos acústicos. Ou seja, cerca de 82% da região oceânica deste modelo é fruto de interpolações guiadas pelas medidas estimadas do SRTM30_Plus versão 5.0 (BECKER et al., 2009). Sabe-se que, o uso das batimetrias derivadas de satélites altimétricos é menos precisa e de resolução muito inferior àquelas obtidas pelos modernos métodos acústicos, caso dos ecobatímetros multifeixe por exemplo. Entretanto, dadas as grandes distâncias e dificuldades envolvidas na obtenção de uma cobertura maior dos oceanos pelos métodos consagrados, a aplicação destas estimativas satelitais ainda se mostra melhor do que a interpolação direta entre as esparsas linhas de sondagem ora existentes (MAYER et al., 2018).

Ademais, conforme disposto por Weatherall et al. (2015), a superfície GEBCO_2014 consiste da colaboração de várias instituições nacionais, regionais e serviços hidrográficos. Os metadados referentes a origem das células interpoladas ou baseadas nas sondagens, pode ser encontrado graças ao *Source Identifier Grid* (SID), que acompanha a distribuição do modelo nos formatos digitais: netCDF (.nc), ArcGisAsciiGrid (.asc) ou GeoTiff (.tiff); pelo endereço eletrônico: www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/ (WEATHERALL et al., 2016).

3.3.2. Superfície ETOPO1

Apresentado por Amante e Eakins (2009), o grid ETOPO1 - *1 Arc-Minute Global Relief Model*, foi construído em 2008 pelo *National Geophysical Data Center* (NGDC/NOAA), como o aperfeiçoamento do modelo ETOPO2v2 *Global Relief Model*. Fruto da união de conjuntos de dados batimétricos (regionais e globais) e altitudes derivadas de satélites altimétricos, por meio da compatibilização dos diversos data verticais e horizontais, possui uma resolução espacial equivalente ao arco de 1', ou seja, 1.852 m aproximadamente. Disponibilizado nas versões "Superfície de Gelo" (Fig.9) e "Escudo Rochoso" (Fig.10) simboliza respectivamente, a cobertura das calotas de gelo existentes na Antártica e Groelândia e apenas a base rochosa destas regiões, respectivamente.

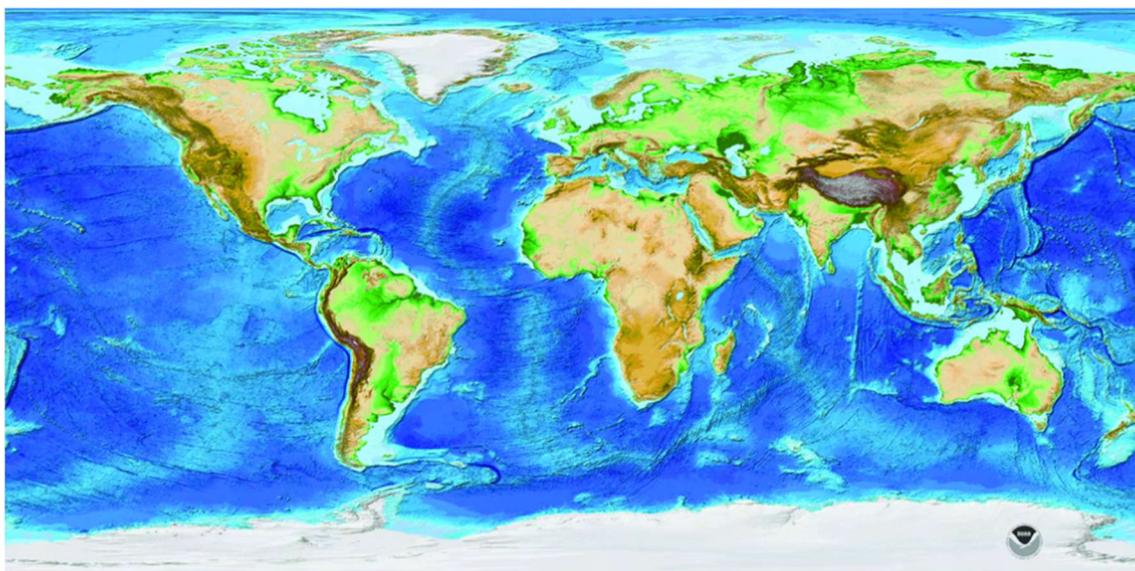


Figura 9 - ETOPO1 "Superfície de Gelo". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009.

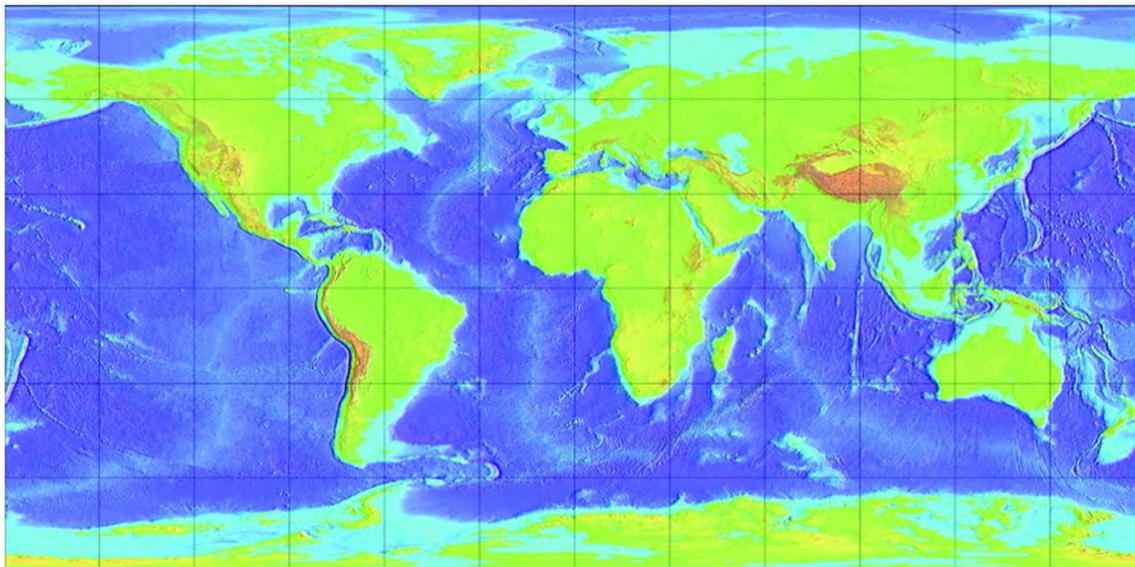


Figura 10 - ETOPO1 "Escudo Rochoso". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009.

Sua batimetria deriva em grande parte das medidas de altimetria por satélite. Estas foram usadas primeiramente para calcular a anomalia gravitacional e, em seguida, foram convertidas em estimativas das profundidades oceânicas, tendo as sondagens próximas como parâmetros de tolerância (SANDWELL e SMITH, 1997).

A superfície batimétrica ETOPO1 possui referencial vertical no nível médio dos mares e horizontal sobre o elipsoide WGS84. Seu sistema de coordenadas é o Geográfico (com graus decimais), englobando toda a superfície terrestre, desde 90°S a 90°N em latitude e 180°E a 180°W em longitude. O modelo é disponibilizado à comunidade científica nos formatos digitais: netCDF (.nc), GMTNetCDF (.grd), GeoTiff (.tiff), Ascii (.xyz) e ArcGisAsciiGrid (.asc). Observa-se que à época de sua construção, ETOPO1 obteve sua avaliação de qualidade basicamente sob a ótica qualitativa, reservando os aspectos quantitativos à futuras análises (AMANTE e EAKINS, 2009).

3.3.3. Superfície LEPLAC Sul

Desenvolvida no âmbito do Plano de Levantamentos da Plataforma Continental (LEPLAC), por equipe técnica multidisciplinar da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), a superfície LEPLAC caracteriza-se pela união de um significativo número de dados batimétricos oriundos de levantamentos hidrográficos (LH's) destinados ao mapeamento marinho da região costeira brasileira, sua plataforma continental e o alto mar.

Com a finalidade de subsidiar a proposta nacional de extensão dos limites territoriais marinhos para além das 200 milhas náuticas tomadas a partir da Linha de Base (LB), a superfície batimétrica LEPLAC tem a função elementar de representar em detalhes a topografia marinha brasileira e suas adjacências. Cabe destacar, que a proposta de alteração das fronteiras marítimas com o aumento da soberania nacional consta prevista no Artigo n°76 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS, 1994), quando submetida à apreciação pela Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC)¹⁵.

O Brasil realizou sua primeira submissão à CLPC em 17 de maio 2004, com base numa série de levantamentos hidrográficos denominados LEPLAC Fase I (Fig. 11), que compreendeu cerca de 17 anos de estudos e requisitou cerca de 1 milhão de km².

¹⁵ Página eletrônica principal da *Division for Oceans Affairs and Law of the Sea*: http://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_submissions.htm, contendo o status da proposta brasileira ao CLCS. Acesso em 09 de abril de 2018.

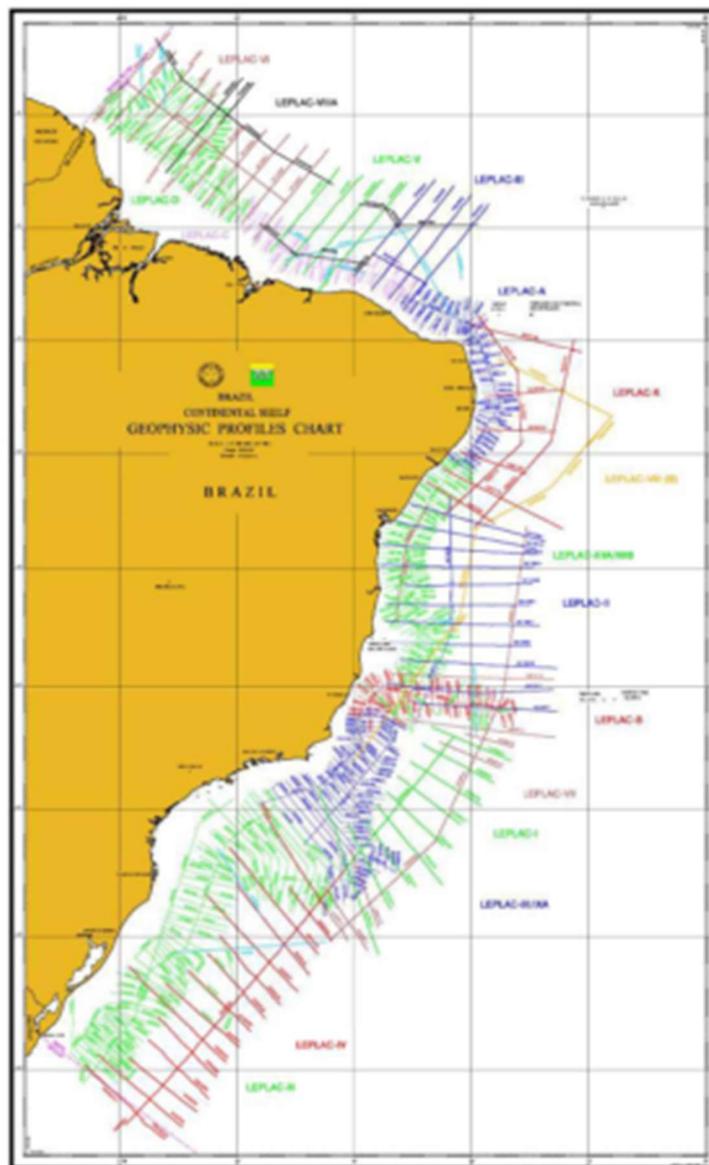


Figura 11 - Mapa da região marinha brasileira com as linhas de levantamento geofísicos do Projeto LEPLAC na sua Fase I. Fonte: Adaptado de Torres et al. (2008).

Em 04 abril de 2007, frente às considerações apresentadas pelo relatório da CLPC, que ponderava algumas regiões requerendo maiores detalhes sobre a geomorfologia, deu-se início a coleta de dados voltados ao LEPLAC Fase II sobre todo território de interesse (MOHRIAK e TORRES, 2017). Assim, de acordo com as recomendações da *Scientific and Technical Guidelines* – CLCS/11 (UNITED NATIONS, 1999), observou-se a necessária e estrita atenção que o Estado Costeiro, no caso Brasil, deveria dar a elaboração da proposta por meio do incremento de evidências geológicas, geofísicas e batimétricas que são analisadas pela CLPC.

Neste momento, a estratégia brasileira foi de organizar tal pleito na forma de relatórios técnicos parciais à serem submetidos à revisão da CLPC, onde a então superfície LEPLAC seguiu dividida em regiões geográficas. A primeira destas regiões a ser revisada e submetida em 10 de abril de 2015 é a região meridional, delimitada pelas latitudes 27°S a 37°S e longitudes 25°W a 54°W, ora denominada LEPLAC Sul e área de estudo desta pesquisa (LEPLAC, 2015).

Conforme este relatório técnico parcial depositado junto à CLPC, observa-se que logo no período de 2008 a 2010, sob a supervisão de especialistas da Marinha do Brasil (DHN), da Petrobras e da comunidade científica ora representada por diversas Instituições e Universidades nacionais, vários LH's foram realizados ao longo da Fase II, cobrindo desde a costa brasileira até as águas profundas e ultra-profundas¹⁶.

Dentre os diversos levantamentos de dados efetuados pode-se citar o envolvimento das comissões conduzidas pela DHN, com aplicação dos navios: NHi Sirius (dotado do ecobatímetro multifeixe EM302 – 2009 a 2011), NOc Antares (com o ecobatímetro EA500 – 2009 a 2012), NApOc Ary Rangel (munido do EA500 – 2009 a 2012) e NHo Cruzeiro do Sul (com o ecobatímetro monofeixe EA600 – 2009 a 2012). Apesar de terem atingido resoluções de até 50 m na ensonificação de alguns setores com ecobatímetros multifeixe, os LH's da Fase II, de modo geral, foram classificados de acordo com a Ordem 2 da publicação S-44 da IHO (IHO, 2008). Este esforço resultou num enorme volume de dados batimétricos, sísmicos, gravimétricos e magnetométricos atualizados; que auxiliaram na compreensão da geomorfologia da região e, por conseguinte, na construção da superfície LEPLAC Sul e de outros produtos derivados.

Ademais, através de um estrito controle de qualidade foram somados a esta base de dados batimétricos as informações do LEPLAC Fase I (de 1988 a 2004), a digitalização supervisionada de 240 plantas batimétricas basilares à construção das cartas náuticas nacionais (compreendendo desde 1954 a 2005), além de sondagens oriundas do *Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada* (SHOMA) do Uruguai (obtidas pelo o ecobatímetro ELAC LAZ 4721 com 12 e 200 kHz - anos de 1999 a 2006) e de outras

¹⁶ Segundo CPRM (2003) a região de águas profundas caracteriza-se pela existência de cotas batimétricas entre 400 e 2.000 metros (região batial), enquanto sua progressão à mais de 2.000 metros de lâmina d'água é designada como o domínio de águas ultra profundas (sendo divididas nas regiões abissal e hadal, se superior a 6.000 m).

instituições parceiras, como caso da CPRM (de 2011 a 2013), Petrobras e ANP (de 1999 a 2012).

Por fim, foram verificadas as bases de dados batimétricos públicos globais da GEBCO – *General Bathymetric Chart of the Oceans* e do projeto GEODAS – *GEOphysical Data System* que, uma vez validadas, contribuíram com informações monofeixe e multifeixe, sendo neste caso aproveitado somente os feixes centrais.

A Figura 12 apresenta a disposição do conjunto de dados batimétricos mencionados.

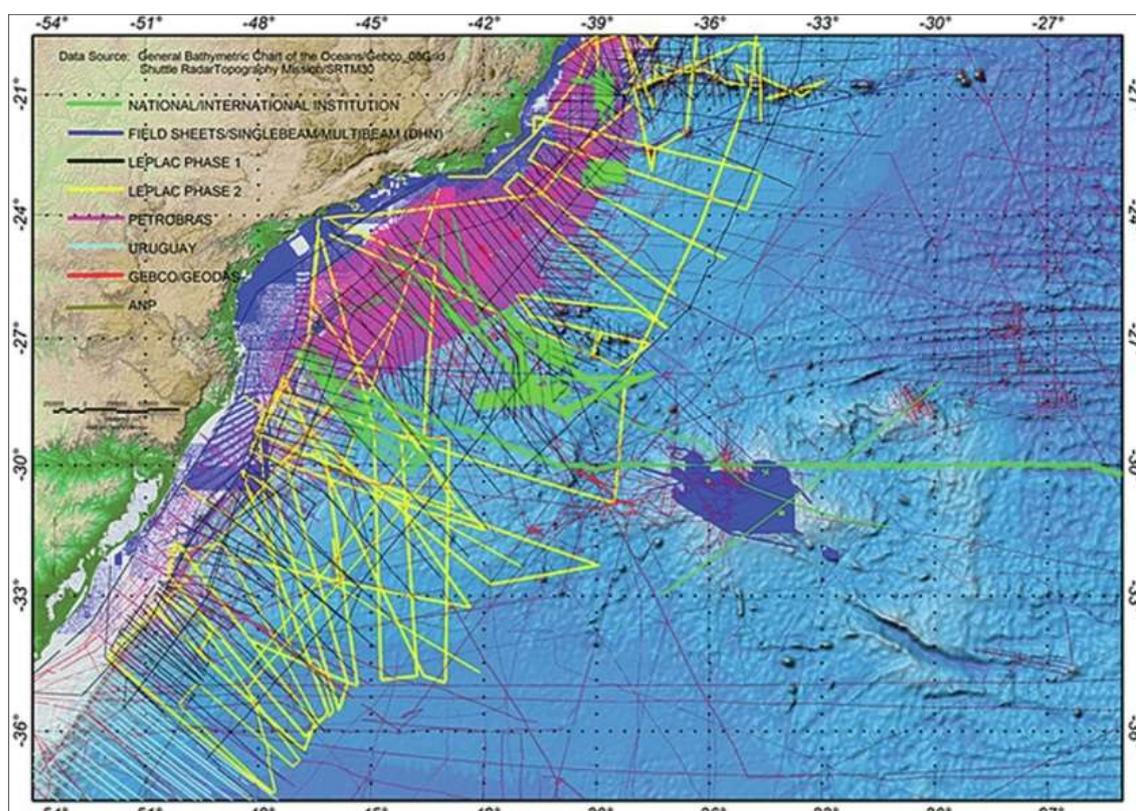


Figura 12 - Dados batimétricos aplicados na construção da Superfície LEPLAC Sul (exceto informações do SRTM30_Plus). Fonte: LEPLAC, 2015.

Após todo o processo de construção da superfície batimétrica com base prioritária nas informações oriundas dos métodos acústicos, ainda restaram setores na região mais distal da margem continental brasileira onde, devido às grandes distâncias entre as linhas de sondagens, a interpolação direta não se mostrou adequada. Assim, apenas nestes setores houve a aplicação de dados do SRTM30_Plus (versão 7.0 de 2013) para o balizamento do processo de modelagem.

Destarte a construção do modelo digital de terreno da região Sul (LEPLAC Sul) deu-se pela aplicação e controle dos processos de interpolação das informações supramencionadas. Desta forma, a compilação dos dados batimétricos resultou em uma grade regular disposta sobre o referencial geodésico WGS84, com o sistema de projeção Equatorial de Mercator, onde $N = 0$, $E = 0$, $\varphi = 0$, $\lambda = 0$ para as origens e o fator de escala = 1.

O relatório LEPLAC (2015) apresenta que alguns dados batimétricos coletados com multifeixe nas Fases I e II do LEPLAC, serviram de base para o tratamento e limpeza dos dados espúrios¹⁷. Estes foram verificados por meio das técnicas de análise cruzada dos erros conduzida no ambiente do software *Oasis Montaj (version 8.1) Geosoft*, em seu controle de qualidade. O tratamento se fez necessário para garantia da qualidade ao longo da compilação deste volumoso universo de dados batimétricos, oriundos de diferentes fontes e metodologias de coleta (Fig.12).

Tal controle de qualidade ocorreu primeiramente pela verificação individual de cada linha de sondagem para identificação e retirada de dados espúrios, analisando o erro desta em relação ao fundo marinho registrado analogicamente pelos ecogramas. Em seguida, foram adotados dois conjuntos de linhas batimétricas, sendo o primeiro denominado de “controle”.

O grupo das linhas batimétricas de controle foi formado pelas sondagens oriundas dos LH's multifeixe na região, e apresentou 2.384 pontos de cruzamento interno onde, 90% atingiram diferenças de profundidade entre 0 a 2%, 8% possuíam contraste entre as cotas batimétricas de 2 a 4% e, apenas 2% atingiram variações nas sondagens de 4 a 6%.

Em seguida, foram verificados os cruzamentos de suas informações sobre outras linhas coletadas no local e em sua vizinhança. Assim, o cruzamento deste conjunto de controle com o grupo de linhas de sondagem restantes, gerou 14.043 pontos de verificação nos quais, mais de 95% encontravam-se com diferenças batimétricas de 0 a 6%, 4% possuíam variações entre 6 a 10% em suas profundidades e, somente 1% tinha contrastes de 10 a 15%.

¹⁷ Dados espúrios, também chamados de *outliers*, representam observações com comportamento divergente à tendência do conjunto ao qual pertencem, e podem ter origem em erros sistemáticos, grosseiros ou aleatórios (FERREIRA et al., 2016).

Estas verificações ocorreram antes da construção da grade batimétrica propriamente dita, atendendo assim as orientações amplamente citadas pela literatura nacional e internacional especializada (ABRAMOVA, 2012; IHO & IOC, 2018; LI e HEAP, 2014; ŠILJEG; LOZIC; RADOŠ, 2015).

Desta forma, com o uso de 245,8 milhões de sondagens batimétricas qualificadas, foi dada sequência a construção da superfície LEPLAC Sul através da aplicação do método de interpolação da superfície de mínima curvatura. Este método, amplamente utilizado pelas geociências (YANG et al., 2004), mostrou-se adequado a realidade local e baseia-se na criação iterativa de uma superfície linearmente elástica que tende a tocar os dados de origem buscando os menores valores de curvatura ao conjunto. Esta ação segue a partir do estabelecimento de parâmetros iniciais como o tamanho almejado para a célula da grade e número máximo de iterações (BRIGGS, 1974). A saber, a dimensão da célula inicia-se maior que o esperado (cerca de 8 vezes) e tende a reduzir ajustando seus nós aos pontos reais coletados em campo. Esta busca se dá pelo método do inverso da distância ponderada entre pontos reais num dado raio, onde após atingir o elemento na vizinhança, o processo retorna ao status iterativo produzindo a divisão e redução das dimensões das células da grade. Nesta interpolação foram estabelecidos o máximo de 100 iterações e/ou que 99% dos pontos interpolados apresentassem a variação máxima de 1% em seu valor de profundidade.

Ao final, para complemento das áreas remanescentes sem a devida cobertura pelos métodos acústicos, ou seja, os setores mais distais da margem continental brasileira, foi adotada a participação de 1,7 milhões de dados advindos SRTM30_Plus (versão 7.0 de 2013). Estes dados batimétricos correspondem aproximadamente a 0,7% do total de informações aplicadas à construção da superfície final LEPLAC Sul que atingiu enfim, a resolução espacial de 3.500 m e segue representada abaixo pela Figura 13.

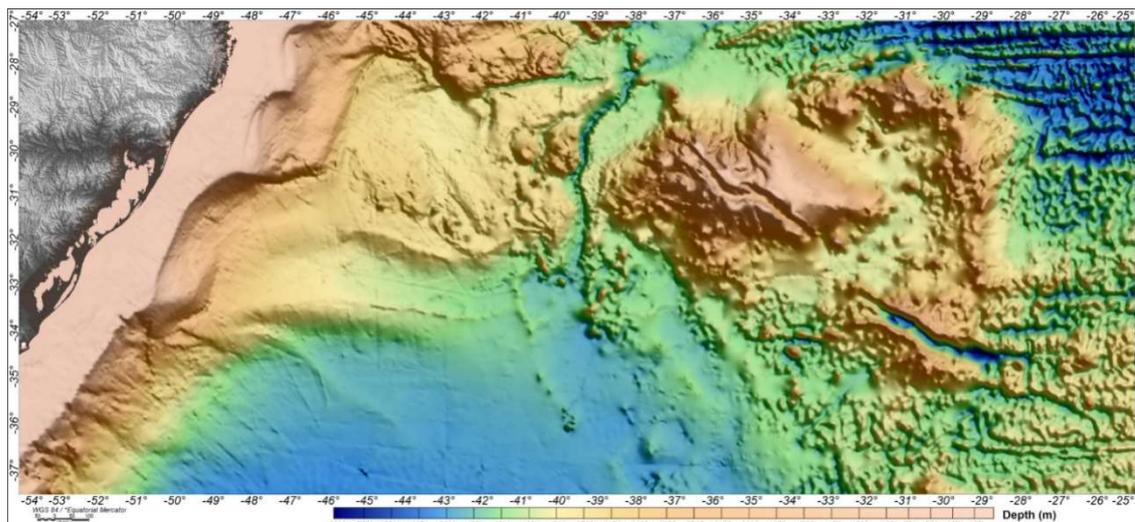


Figura 13 - Vista de topo do MDT com os dados do SRTM30_Plus incorporados, complementando a área oceânica mais distal da margem continental brasileira, onde havia escassez de dados. Fonte: LEPLAC, 2015.

Este resultado, conforme apontam os trabalhos de Mohriak e Torres (2017) e Torres et al. (2008), tem importância fulcral à compreensão da geomorfologia local e, conseqüentemente, a definição do pé do talude e da isobatimétrica de 2.500 m, elementos determinantes para as análises em curso pela CLPC para extensão dos limites territoriais nacionais de acordo com Art. n°76 da UNCLOS.

3.4. FERRAMENTAS DE ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SUPERFÍCIES BATIMÉTRICAS REGULARES

A análise da qualidade de superfícies batimétricas é uma tarefa complexa tendo em vista a própria imprecisão do termo “qualidade”. De modo geral, qualidade relaciona-se ao grau do atendimento de determinados requisitos voltados à uma tarefa ou finalidade, podendo por vezes ser interpretado de modo subjetivo. Ademais, a qualidade em MDT’s marinhos pode variar no espaço, requerendo assim a plena compreensão dos parâmetros envolvidos nas medidas que retratam variáveis espacialmente dependentes (ABRAMOVA, 2012).

Conforme apresentado por Abramova (2012) e Mark e Smith (2006), que desenvolveram estudos específicos sobre MDT’s marinhos; antes da aplicação das ferramentas de análise, faz-se necessária a caracterização detalhada da área em estudo e de todas as superfícies batimétricas envolvidas no experimento, além da adequada apresentação do dado de controle a ser utilizado como referência ao longo dos processos. A distribuição

e a densidade de dados confiáveis utilizados na construção das respectivas superfícies batimétricas também devem orientar a análise sobre a resolução espacial e qualidade dos produtos finais.

O “*Guidelines for Metadata, Data and DTM QA / QC*” (EMODnet, 2017), elaborado pelo projeto EMODnet em conjunto da GEBCO afirma que, para fins de compatibilização das diversas fontes de dados batimétricos regionais, alguns dos elementos de controle de qualidade aplicados sobre o MDT baseiam-se em análises visuais do MDT (avaliações meramente qualitativas), comparações entre os dados originais (em sua plenitude) e o MDT, comparações de sondagens externas (análises quantitativas com uso das variâncias residuais) versus MDT e por fim, comparações verticais e horizontais de regiões específicas sobre o MDT.

Basicamente, observam-se então duas abordagens para comparação e avaliação de superfícies batimétricas regulares: qualitativa (AMANTE e EAKINS, 2009; BECKER et al., 2009; WEATHERALL et al., 2015) e quantitativa (WLODARCZYK-SIELICKA e STATECZNY, 2016; YANG et al., 2004). Entretanto, a adoção de uma destas abordagens não impossibilita o desenvolvimento de sua interpretação de forma conjugada à outra (IHO & IOC, 2018).

3.4.1. Dados de Controle

Os dados batimétricos de controle são aqueles oriundos da aplicação das técnicas de sondagem acústica já consagradas pela literatura especializada (IHB, 2011). A saber, os levantamentos hidrográficos constituídos por ecobatímetros monofeixe ou multifeixe, possuem um estrito controle de qualidade e de acordo com sua finalidade (atualização de documentos náuticos, aplicações de suporte à obras de engenharia, pesquisa marinha e outras) são classificados conforme o alcance de um maior ou menor grau de incerteza em suas medidas (IHO, 2008; DHN, 2017).

Para efeito de experimentos sobre a qualidade das superfícies batimétricas regulares, tais sondagens devidamente qualificadas, são então adotadas como representantes da realidade do fundo marinho e deverão ser espacialmente bem distribuídas sobre a área de estudo, bem como devem totalizar um número suficientemente capaz de gerar estatísticas robustas ao longo das análises (LI e HEAP, 2014; OLEA, 2009). O trabalho de Šiljeg; Lozić; Radoš (2015) aponta as dificuldades existentes no estabelecimento do número exato e suficiente para caracterização da amostra de controle e demonstra a necessidade do uso de

mais de uma ferramenta para realização de uma análise estatística mais acurada. Contudo, é importante que tal dado possua a mesma natureza do fenômeno ao qual pertence e, principalmente, que este dado não tenha feito parte dos processos de interpolação das superfícies batimétricas à serem verificadas (IHO & IOC, 2018).

3.4.2. Sumário Estatístico

As estatísticas gerais obtidas das superfícies batimétricas em estudo representam importantes características da modelagem aplicada à confecção dos produtos finais. Os parâmetros relacionados às medidas de localização e dispersão envolvidas pelos processos analíticos podem aumentar o conhecimento a respeito do conjunto de dados utilizados em estudo (OLEA, 2009).

O processo de análise pode ocorrer com base em um dado de controle para o cálculo da Raiz do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) e do Erro Médio (*Mean Error* - ME). O RMSE (Eq.2) representa, em média, quão distante os valores observados diferem dos valores assumidos como verdadeiros, enquanto o ME (Eq.1) demonstra se os valores ora definidos foram subestimados (ME negativo) ou superestimados (ME positivo) (MUKHERJEE et al., 2012; PATEL; KATIYAR; PRASAD, 2016).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* - Z) \quad (\text{Eq.1})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* - Z)^2} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: Z^* = valores observados (dados de controle) para as profundidades

Z = valores modelados (estimados pela superfície) das profundidades

n = refere-se ao tamanho da amostra

Ademais, De Silveira et al. (2014) e OLEA (2009) apontam que a análise comparativa dos parâmetros estatísticos das superfícies interpoladas é uma alternativa para inferir características populacionais por meio das medidas amostrais de localização (como a média, mediana e moda) ou dispersão (caso do desvio padrão, variância, valores extremos da amostra e outras métricas).

A observação dos valores de máxima e mínima profundidades, a amplitude desta variação e o desvio padrão apresentam características intrínsecas de cada superfície que,

quando comparadas entre si, podem indicar tendências ou correlações entre as mesmas (WLODARCZYK-SIELICKA e STATECZNY, 2016). Estas análises servem de alerta à necessidade de verificações mais detalhadas em algumas superfícies ou setores da grade.

Como exemplo teórico, observamos três MDT batimétricos tomados sobre determinada área (superfícies A, B e C) onde, a superfície A possui um valor médio de profundidades de 1000 m e a amplitude de 800 m, a superfície B apresenta média de 1001 m e amplitude de 200 m, enquanto o modelo batimétrico C tem média de 1002 m e amplitude de 210 m. Nota-se neste caso, a provável existência de dados espúrios na construção da superfície A. Este mesmo princípio de verificação pode ser aplicado sobre os parâmetros como desvio padrão, que em alguns casos, podem apontar o uso de sistemas de referência distintos ou o comportamento marinho mais/menos suave de algumas superfícies.

3.4.3. Histogramas

O uso de histogramas para realização de análises espaciais é usual e deve considerar a relação entre a frequência de ocorrência dos valores e sua distribuição geográfica sobre a superfície de estudo.

Em alguns casos, apenas as estatísticas apresentadas pelos histogramas não são suficientes para descrever o comportamento geral do modelo. Entretanto, o histograma possibilita a verificação do comportamento de seus dados ou de resultados analíticos em torno dos parâmetros estatísticos de localização e dispersão amostral (DE SILVEIRA et al., 2014; IHO & IOC, 2018; YANG et al., 2004)

3.4.4. Regressão Linear e Coeficiente de Correlação

A comparação entre os dados de controle e a superfície batimétrica modelada pode ser efetuada com o uso da regressão linear e do coeficiente de correlação (R).

Ao aplicar o mesmo fator de escala aos eixos das variáveis explanatórias (independentes) e de resposta (dependentes), nota-se através da plotagem dos resultados dos valores das profundidades respectivas a cada superfície, medidos sobre um mesmo ponto, os possíveis contrastes na direção do gráfico (existência de tendência crescente ou não), bem como na forma (tipo de curva linear, polinomial, etc.), ou ainda, o caso da existência de valores discrepantes da tendência geral da amostra.

Adicionalmente, caso seja possível associar os resultados a um modelo linear, este permitirá a verificação dos parâmetros estimados minimizando o erro médio quadrático, proporcionando assim o cálculo do coeficiente de determinação, R^2 (OLEA, 2009). Assim, os resultados representarão as porções de dependência analítica existentes entre as duas superfícies em estudo. Tal como demonstrado por Khalid et al. (2016) e Mukherjee et al. (2012), os maiores valores obtidos para o coeficiente de determinação (R^2) indicam a seleção do modelo mais adequado para representação do fenômeno em estudo.

Desta forma, tem-se que o coeficiente de correlação pode ser calculado com base na Equação 3, enquanto o coeficiente de determinação é obtido elevando o valor de R ao quadrado.

$$R = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} = \frac{\sum((X-\bar{X})(Y-\bar{Y}))}{(\sum(X-\bar{X})^2)(\sum(Y-\bar{Y})^2)} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: X = variável explanatória (independente)

Y = variável de resposta (dependentes)

3.4.5. Gráfico de Perfis

Os perfis auxiliam diretamente no entendimento das comparações realizadas entre as diferentes superfícies junto à uma expressão batimétrica de referência, ou seja, um perfil construído a partir do dado de controle.

Tal ação permite confrontar os dados ditos “reais” frente aos dados “modelados”, fornecendo detalhes das feições marinhas imageadas. Este tipo de ferramenta, geralmente traz graficamente as distâncias ou o número de amostras sobre o eixo “X” (de coordenadas abcissas) e os valores de profundidades no eixo “Y” (das coordenadas ordenadas).

Exemplos como Khalid et al. (2016) e Patel; Katiyar; Prasad (2016), revelam que o uso de perfis demonstra parte do comportamento do conjunto dos dados batimétricos relativo ao terreno (como feições conspícuas) ou, questões intrínsecas da construção do MDT, como a existência de dados espúrios em seu conjunto de dados espaciais.

A comparação pode ocorrer de forma visual, por medidas diretas sobre os perfis dispostos no gráfico ou por meio do cálculo de áreas abaixo e acima do perfil de referência frente aos demais perfis. Estas medidas podem ser expressas por valores absolutos ou percentuais, representando apenas quão distante a superfície modelada está do perfil de

referência ou, por meio de valores positivos e negativos que traduzam a média dos erros encontrados.

3.4.6. Superfície Diferença

A subtração entre modelos digitais de terreno tomados sobre uma mesma região promove a detecção espacial das principais discrepâncias entre os produtos. Esta ação possibilita uma maior compreensão dos eventos geomorfológicos existentes sobre a área de estudo.

Por meio dos valores relativos à superfície de referência, torna-se possível a interpretação dos valores máximo e mínimos, sua média e desvio padrão, podendo auxiliar a análise da existência de feições distintas ora mapeadas somente em uma das superfícies, ou a percepção de artefatos residuais fruto dos processos de interpolação das mesmas. Como apresentado por Wlodarczyk-Sielicka e Stateczny (2016), a superfície diferença pode ser representada por classes escalonadas ou através de um mapa contendo apenas os valores relativos à variação positiva ou negativa.

Observa-se ainda, uma forma de expressão das diferenças ocorridas entre uma superfície batimétrica considerada como original (exemplo Superfície LEPLAC Sul) e sua versão atualizada por um novo conjunto de dados (como Superfície LEPLAC Sul*), pode ser calculada a partir da adaptação da fórmula apresentada por Weatherall et al. (2015) (Eq.4):

$$\frac{Abs(Sup.LEPLAC\text{Sul} - Su .LEPLAC\text{Sul}^*)}{Sup.LEPLAC\text{Sul}} * 100 \quad (\text{Eq.4})$$

4. METODOLOGIA

Para atender aos objetivos específicos propostos por este trabalho, será aplicada uma metodologia de análise (qualitativa e quantitativa), por meio da comparação e avaliação de diferentes superfícies batimétricas e um dado de controle.

O diagrama de fluxo abaixo, apresenta os principais processos aplicados ao desenvolvimento desta pesquisa, que adotou como solução o “Fluxo recomendável”.

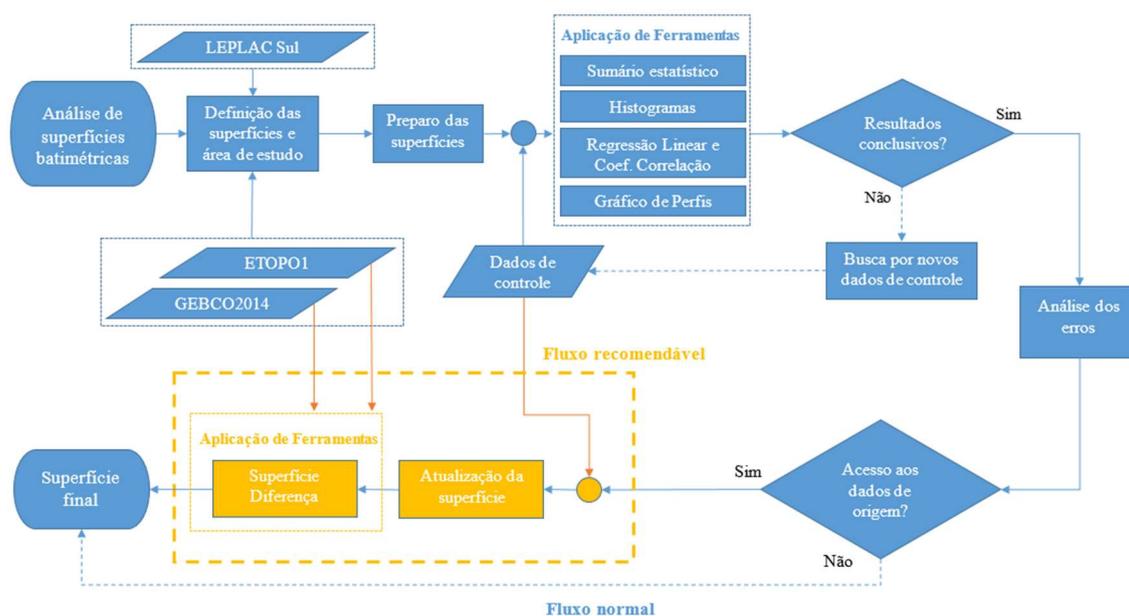


Figura 14 – Fluxograma aplicado à análise das superfícies batimétricas de interesse.

A fim de contribuir para a escolha de uma referência à implantação de uma IDEM nacional, esta pesquisa considera a “Análise de superfícies batimétricas” sobrepostas à região de interesse. Assim, o início do processo se dá pela “Definição das superfícies e da área de estudo” a serem analisadas.

As superfícies em questão são GEBSCO_2014 e ETOPO1, atualmente disponíveis ao público; e a superfície LEPLAC Sul, ora fornecida ao desenvolvimento deste estudo. Observa-se na Tabela 1, as principais características dos modelos digitais de terreno marinho mencionados.

Tabela 1: Principais atributos das superfícies batimétricas em estudo:

Parâmetros	GEBCO 2014	ETOPO1	LEPLAC Sul
Resolução espacial	Arco de 1/2' ou de 30''; 926m	Arco de 1'; 1.852m	Arco de 1,8898'; 3.500m
Abrangência	Global	Global	Regional
Área de cobertura	90°N a 90°S; 180°E a 180°W	90°N a 90°S; 180°E a 180°W	27°S a 37°S; 25°W a 54°W
Sistema de projeção e referência	Geográfico; WGS84	Geográfico; WGS84	Mercator; WGS84
Data de lançamento	Dezembro de 2014	Agosto de 2008	Abril de 2015
Período de aquisição dos dados	Desde a década de 80 a 2014	A partir de 1993 a 2008	De 1988 a 2014
Organização responsável	GEBCO	NGDC/NOAA	DHN
Método de interpolação da superfície	Algoritmo “surface”, variação do método <i>Spline</i> e <i>scripts “remove-restore”</i> do <i>Generic Mapping Tools System (GMT)</i> ¹⁸	Algoritmo “mbgrid”, variação do método <i>Spline</i> do MB-System ¹⁹ e “ <i>rdsample</i> ” do GMT	Algoritmo “rangrid”, variação do <i>Spline</i> do GX/Oasis Montaj v8.1 do Geosoft ²⁰
Formato do produto	.nc, .asc ou .tiff, .sid	.nc, .grd, .xyz, .asc ou .tiff	.asc, .csar ou .tiff
Fonte dos dados	<i>International Bathymetric Chart of Southern Ocean (IBCSO)</i> , <i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)</i> , <i>Baltic Sea Bathymetric Database (BSBD)</i> , <i>European Marine Observation and Data Network (EMODnet)</i> , <i>Scripps Institution of Oceanography (SIO)</i> , <i>Japan Oceanographic Data Center (JODC)</i> , Comissão Hidrográfica do Leste da Ásia, Cruzeiros do “HMS Scott” (2005) e “R/V Southern Surveyor” (2012), <i>National Geospatial Intelligence Agency (NGA)</i> , <i>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)</i> , Serviço Hidrográfico da	<i>Japan Oceanographic Data Center (JODC)</i> , <i>National Geophysical Data Center (NGDC)</i> , <i>Caspian Environment Programme (CEP)</i> , <i>Mediterranean Science Commission (CIESM)</i> , <i>Scripps Institution of Oceanography (SIO)</i> , <i>Leibniz Institute for Baltic Sea Research (LIBSR)</i> , <i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)</i>	Comissões hidrográficas do projeto LEPLAC (Fase I e II), Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Petrobrás, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Serviço Hidrográfico do Uruguai, GEBCO e GEODAS

¹⁸ Generic Mapping Tools (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>).

¹⁹ MB-System (<https://www.mbari.org/products/research-software/mb-system/>).

²⁰ Oasis Montaj (<http://www.geosoft.com/support/downloads/updates/oasis-montaj/81>).

	Marinha Chilena, Universidade de Sydney, Serviço Hidrográfico e Marinha Australiana, GEBCO e GEODAS		
Baseado em	Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe) e sondagens derivadas de cartas eletrônicas (ENC), profundidades oriundas de cruzeiros armazenados no banco de dados GEODAS, batimetrias multifeixe do SIO e <i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i> (JAMSTEC), profundidades estimadas pelo projeto <i>Global Multi-Resolution Topography Synthesis</i> da Universidade de Columbia, sondagens do IBCAO para as latitudes 64°N-90°N e batimetrias derivadas do SRTM30_Plus (versão 5.0, 2009).	Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe), sondagens digitalizadas a partir de isobatimétricas das cartas náuticas, dados altimétricos derivados de satélites, profundidades estimadas a partir do modelo de grade Smith e Sandwell (versão 11.1 de 1994, 1997), dados do IBCAO para as latitudes 64°N-90°N	Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe), sondagens derivadas de plantas batimétricas e das cartas eletrônicas (ENC), sondagens obtidas do Serviço Hidrográfico Uruguaio, profundidades oriundas de cruzeiros armazenados no banco de dados GEODAS e GEBCO, informações de sísmicas rasa, SRTM30_Plus (versão 7.0, 2013)

Organizado pelo autor. Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009; LEPLAC, 2015; WEATHERALL et al., 2015.

O acesso as superfícies batimétricas de domínio público, ETOPO1 e GEBCO_2014, ocorre por meio de plataformas web, como representam as Figuras 15 e 16, respectivamente.

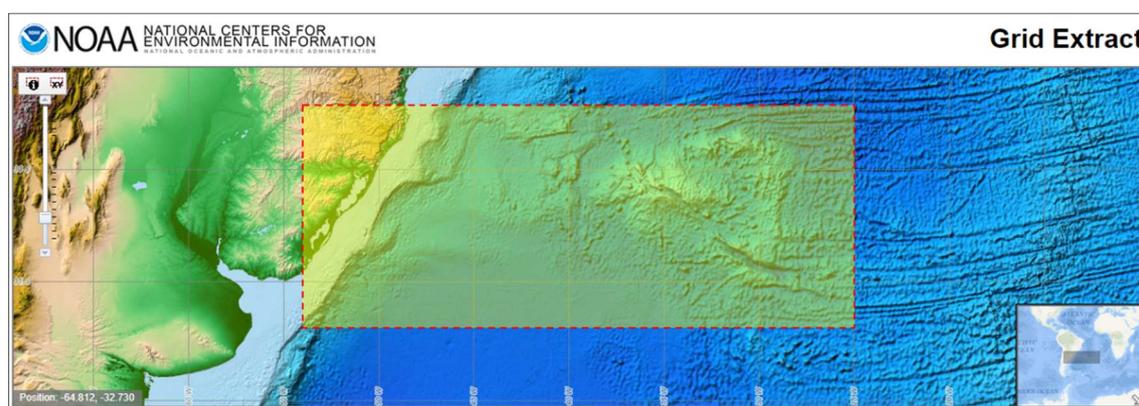
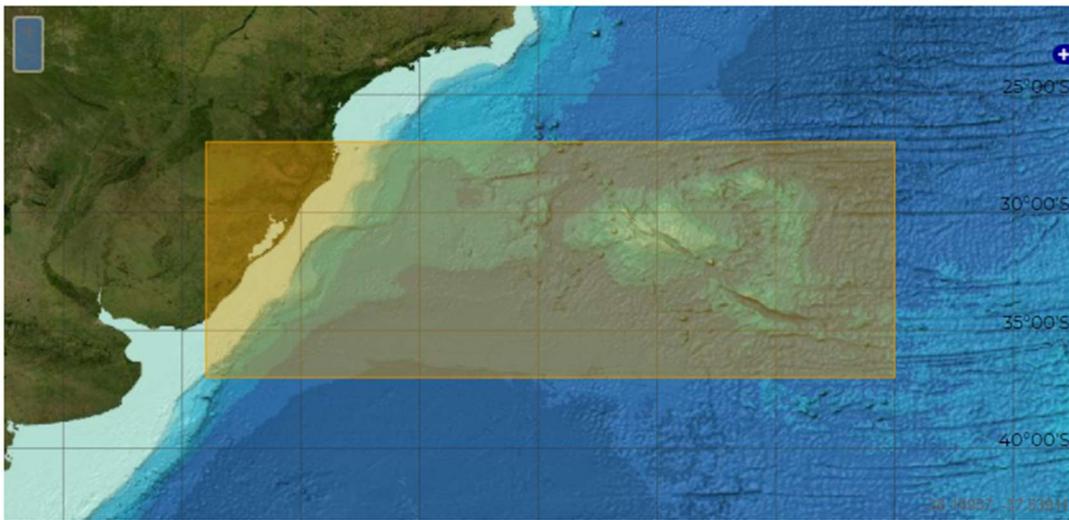


Figura 15 - Plataforma de distribuição da superfície ETOPO1 (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/>).
Fonte: NOAA, 2018.

Select your data set

From the table and map below, select your grid and the area of interest. Add your selection to the basket and repeat the process as required. Once you are happy with your selection(s) view the basket and checkout your request to start file preparation. You will be directed to the British Oceanographic Data Centre's (BODC) web site for the data download procedure. You can return to GEBCO's web site once this procedure is complete.

Use the '+' button in the top right-hand corner of the map to select to display the GEBCO Source Identifier (SID) Grid. It shows those grid cells for which the data in the GEBCO Grid are based on bathymetric sounding or grid values. It is best viewed at a zoomed in level to appreciate the detail in the data set.



Define your search box coordinates - input order is most westerly, southerly, easterly, northerly. Alternatively use keyboard Shift+mouse Left Click and Drag a box to define your area of interest on the above map

Figura 16 - Plataforma de distribuição da superfície GEBCO_2014 (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/). Fonte: GEBCO, 2018.

Já a superfície LEPLAC Sul, foi disponibilizada pelo Projeto apenas para fins desta pesquisa. A mesma, segue integrada ao requerimento de revisão ao estabelecimento do limite exterior da plataforma continental brasileira, depositado junto a Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). Cabe destacar, que a superfície batimétrica LEPLAC Sul, representa apenas a parte meridional de um MDT de abrangência nacional que segue em construção pelo projeto LEPLAC.

Neste sentido, a definição dos limites geográficos da área de estudo deste trabalho, segue coerente à disponibilidade das superfícies ora em análise.

A área de estudo foi previamente descrita no item 2, e se destaca por compreender uma extensa região marinha do Atlântico Sul. Formada por um relevo de comportamento suave à complexo, expresso por uma grande variação batimétrica, atinge profundidades de 0 a 5.000 m. Possui notórias feições geomorfológicas como a Elevação do Rio Grande (ERG) e o Platô de São Paulo, presenciando ainda vários canais e montes marinhos.

De posse destes dados, inicia-se o “Preparo das superfícies” por meio da compatibilização dos formatos digitais, leitura e carga das superfícies batimétricas sobrepostas em um mesmo ambiente, possibilitando a realização de ajustes e recortes necessários à área de estudo, como exemplo a definição da linha de base nacional sobre a costa brasileira. Observa-se que após o download dos dados pelo formato ESRI ASCII raster (.asc) (Fig.15 e 16), a reconstrução das superfícies batimétricas no ambiente computacional se deu pelo método de interpolação do “vizinho mais próximo”, que de acordo com (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005), mostra-se adequado à representação e manutenção dos valores originais envolvidos na construção das respectivas superfícies.

Estas operações foram realizadas no ambiente computacional do CARIS BATHY DataBase^{®21}, que é uma plataforma voltada à análise espacial, processamento e gerenciamento de superfícies batimétricas. Devido a sua robustez no trato de batimetrias oriundas de diferentes formatos, resoluções e tipos de sensores (monofeixe, multifeixe, sonar de varredura lateral, LiDAR – *Light Detection And Ranging*), tal software é amplamente utilizado pelos Serviços Hidrográficos mundiais e faz parte do fluxo de produção do CHM (MAIA; FLORENTINO; PIMENTEL, 2017). Uma de suas aplicações, o BASE Editor, fornece as principais ferramentas para o desenvolvimento das etapas subsequentes de comparações e análises entre as superfícies batimétricas e o dado de controle.

Por meio da participação da DHN junto à iniciativa do *Crowdsourced Bathymetry* (CSB) da IHO, os metadados e as informações brutas do dado de controle seguem disponíveis no *IHO Data Centre for Digital Bathymetry* (DCDB), conforme Fig. 17.

²¹ CARIS BATHY DataBase[®] (<http://caris.com/products/bathydatabase/>).

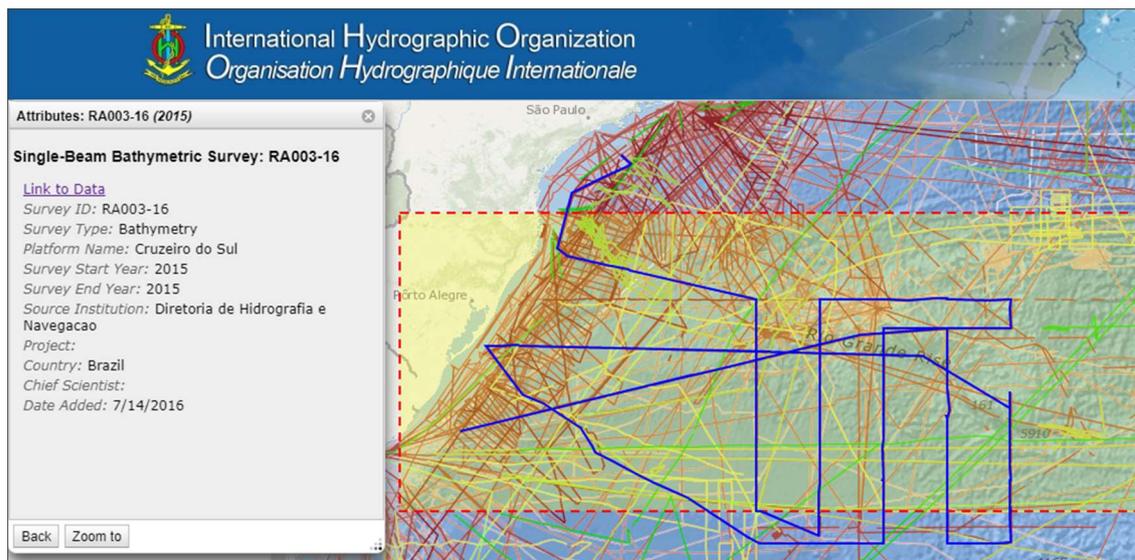


Figura 17 - Apresentação da participação nacional junto ao IHO-DCDB. Dados batimétricos brutos coletados pela DHN e fornecidos à IHO para distribuição mundial. Em destaque na cor azul, segue a representação do polígono envolvente ao LH realizado pelo NHo Cruzeiro do Sul, em 2015 (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/csb/index.html>).
Fonte: IHO, 2018.

Trata-se de um levantamento hidrográfico realizado pelo NHo Cruzeiro do Sul (H-38), entre os dias 26 de março a 27 de maio de 2015. Os dados batimétricos foram coletados com o ecobatímetro monofeixe EA600 (da marca *Kongsberg*[®]) e tratados para correção dos parâmetros de aquisição e processamento, com a retirada de informações espúrias. Após a análise pelo CHM, houve a confirmação que tal dado atingiu a Ordem 2 de LH, de acordo com a S-44 5ed., sendo então denominado RA003_2016.

A distribuição espacial deste LH sobre a região também foi considerada, sendo este disposto em 5 linhas de sondagem, relativamente espaçadas por 222 km (ou 2°), na direção vertical e, longos perfis batimétricos inclinados, que atingem mais de 2.100 km, desde a costa rumo ao oceano. As características de confiabilidade oriundas do processo de análise do CHM e a abrangência da cobertura destas profundidades, que contemplam desde as águas rasas à ultra-profundas, apontaram à adoção desta batimetria como dado de controle ao experimento.

A figura abaixo apresenta a disposição dos dados de controle sobre a área de estudo, ora representada pela superfície LEPLAC Sul, devidamente preparada para as análises no ambiente do programa BASE Editor.

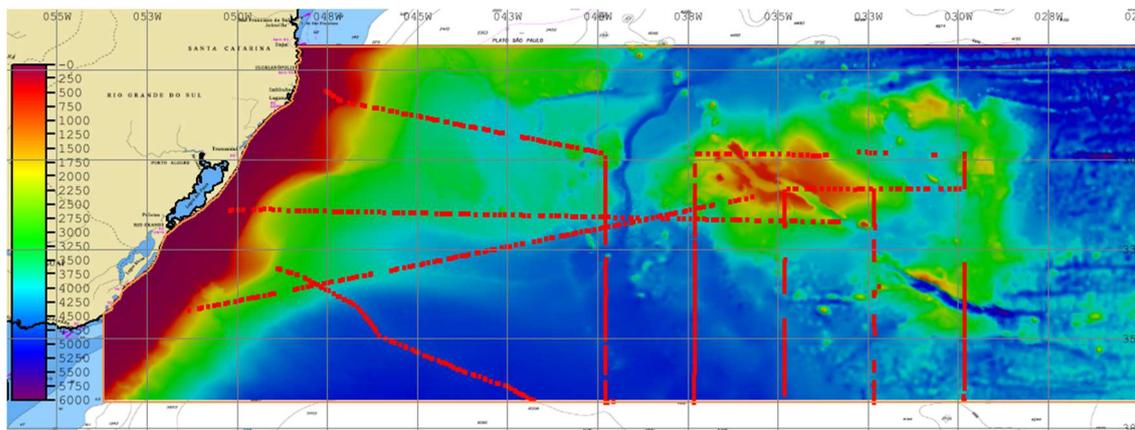


Figura 18 - Disposição dos dados de controle (sondagens em vermelho) sobre a área de estudo representada pela superfície LEPLAC Sul.

Desta forma, foi dado prosseguimento a “Aplicação das ferramentas” de análise comparativa entre as superfícies e o dado de controle. Esta etapa consiste no conjunto dos 4 instrumentos, descritos nos itens 3.4.2 a 3.4.5 do referencial teórico, sendo eles:

- i. Cômputo das estatísticas gerais das superfícies batimétricas envolvidas;
- ii. Construção dos respectivos histogramas;
- iii. Uso da regressão linear e a verificação dos coeficientes de correlação e determinação existentes, e
- iv. Geração de gráficos de perfis entre as superfícies e o dado de controle.

Com base nos “Resultados conclusivos” dos mecanismos mencionados, ou seja, valores capazes de descrever por meio do comportamento amostral as tendências da população em estudo, parte-se à “Análise dos erros” encontrados.

De acordo com as publicações S-32 (IHO, 2018b), S-44 (IHO, 2008) e o *Cook Book GEBCO&IOC* (IHO & IOC, 2018), tem-se que o controle de qualidade é o conjunto de procedimentos adotados para busca da garantia de que os produtos em tela, estejam conformes aos padrões e especificações requeridos. Assim, o termo “erro”, segue definido como a diferença entre uma medida observada ou calculada, e seu valor verdadeiro. Entretanto, no caso da determinação da batimetria, o valor verdadeiro nunca poderá de fato ser descoberto, desta forma resta tratar das fontes de erros conhecidas ao longo da construção da estimativa da medida tomada e seu grau de incerteza.

Assim, ao contrário do mapeamento terrestre, que frequentemente utiliza-se das definições “acurácia e precisão” (MONICO et al., 2009), no âmbito da hidrografia, recomenda-se o uso do conceito de “incerteza” (FERREIRA et al., 2016).

Desta forma, observa-se a existência da Incerteza Total Propagada (ITP), que se divide em Incerteza Horizontal Total (IHT) e na Incerteza Vertical Total (IVT). A IVT expressa a probabilidade de encontro do valor verdadeiro residindo próximo a medida estimada. No caso da IVT, que é unidimensional (1D), assume-se que para uma distribuição Normal dos “erros”, o nível de confiança de 95% é definido por 1,96 multiplicado por sigma (desvio padrão amostral) (IHO & IOC, 2018). Embora a publicação S-44 5ed. da OHI, não aborde especificamente a aplicação do IVT em análises de MDT, intenciona-se a aplicação das métricas apresentadas por esta publicação, para efeito do estabelecimento de alguns parâmetros de comparação entre os MDT’s deste estudo.

Neste processo consideram-se “erros” as discrepâncias encontradas pelas ferramentas de análise, entre os valores de profundidades interpoladas pelos MDT frente a batimetria do dado de controle. Assim, primeiramente, a verificação destas diferenças ocorre de forma individual e, em seguida, de maneira integrada entre as ferramentas, não importando a ordem de sua aplicação.

Pretende-se ao fim, eleger a superfície batimétrica que apresente os melhores indicadores (qualitativos e quantitativos) quanto à aderência da mesma sobre a área de estudo. Ou seja, busca-se a superfície batimétrica que apresente os menores valores de discrepância junto ao dado de controle e que, visualmente, seja capaz de descrever as principais feições geomorfológicas do local. O encontro desta “Superfície final” pelo “Fluxo normal” já atenderia a premissa ora proposta à esta pesquisa.

Contudo, tendo como base a melhora contínua dos métodos de aquisição e processamento de dados batimétricos nacionais e, sendo o MDT uma representação matemática do fundo marinho em determinado momento espaço-tempo, apresenta-se como “Fluxo recomendável”, a etapa de “Atualização da superfície”. Esta ação torna-se possível quando há disponibilidade de “Acesso aos dados batimétricos de origem” da construção do MDT avaliado, proporcionando a inserção dos dados de controle e demais batimetrias novas qualificadas. Como apresentado por Weatherall et al. (2015) a atualização de grades é uma prática usual que visa o enriquecimento de informações e o aperfeiçoamento da “Superfície final”. Cabe então, desta forma, o emprego do cálculo da “Superfície de Diferença” entre os

MDT's, mencionado no item 3.4.6 deste trabalho, promovendo assim a quantificação e a localização espacial dos principais resíduos entre os produtos.

Por fim, intenciona-se avaliar a empregabilidade da “Superfície final” como base de referência para uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM). Bem como apresentar algumas considerações sobre a potencialidade de sua aplicação em ações nacionais, como no âmbito da modelagem meteoceanográfica e nos trabalhos envolvendo a definição e estudo de feições geomorfológicas marinhas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do conjunto de ferramentas de análise qualitativas e quantitativas, sobre as superfícies batimétricas GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul, frente ao dado de controle (RA003_2016), segue descrita entre os itens 5.1.1 a 5.1.5.

Cabe destacar o estabelecimento da convenção, usualmente aplicada à análise de dados hidrográficos, adotando a lâmina d'água com o valor de zero metros. Assim, as medidas de profundidades seguem positivas ao avançarem sentido ao nadir; isto é, as profundidades abaixo da linha d'água são expressas por valores positivos enquanto as medidas acima do espelho d'água são negativas. Tal procedimento foi adotado para aplicação dos métodos descritos na sequência, à exceção dos gráficos de perfis, dispostos no item 5.4.

5.1. Sumário estatístico

Primeiramente, seguem apresentadas na Tabela 2 as estatísticas globais (ou gerais) das superfícies batimétricas em estudo. Em seguida, a Tabela 3 retrata os resultados calculados entre os MDT batimétricos e o dado de controle.

Tabela 2: Estatísticas globais das superfícies batimétricas.

Parâmetros	GEBCO_2014	ETOPO1	LEPLAC Sul
Número total de células do MDT (N)	3.831.187	956.108	317.092
Profundidade mínima do MDT (m)	-383	-281	2
Profundidade máxima do MDT (m)	5.968	5.967	5.911,7
Amplitude das profundidades do MDT(m)	6.351	6.248	5.909,7
Profundidade média do MDT: μ (m)	3.665,6	3.668,8	3.676,6
Desvio padrão do MDT: σ (m)	1.313,9	1.309,3	1.305,5

Salienta-se a expressiva diferença entre a quantidade de células das superfícies batimétricas devido a suas resoluções espaciais, bem como o encontro de valores negativos

às profundidades mínimas nos MDT GEBCO_2014 e ETOPO1, os quais atingiram respectivamente, -383 m e -281 m.

De acordo com a convenção adotada ao processamento, esperava-se apenas a existência de valores positivos às profundidades dos MDT. Entretanto, com base nas informações da Tabela 2, ao verificar a distribuição dos valores de profundidades das superfícies, constatou-se que a superfície GEBCO_2014 possui 994 células com valores negativos, enquanto o modelo ETOPO1 detém 239. Tais quantidades representam falhas intrínsecas a estes modelos da ordem de 0,025% ao GEBCO_2014 e 0,024% ao ETOPO1, em relação ao número total de células de grade dos mesmos. A superfície batimétrica LEPLAC Sul foi a única que não apresentou tal tipo de discrepância.

Tabela 3: Estatísticas entre as superfícies batimétricas e o dado de controle.

Parâmetros	RA003-2016 x GEBCO_2014	RA003-2016 x ETOPO1	RA003-2016 x LEPLAC Sul
Número de células da amostra (n)	272.184	271.357	271.234
Menor erro da amostra (m)	-1.726,8999	-1.712,8999	-1.750,27783
Maior erro da amostra (m)	2.230,2002	2.221,2002	2.229,02197
Amplitude dos erros (m)	3.957,1001	3.934,1001	3.979,2998
ME (m)	0,53934	-14,71694	8,71426
RMSE (m)	143,97187	145,33822	140,12599

Observa-se pela Tabela 3, que apesar de próximo, o número de amostras apresenta pequena variação devido à influência da resolução espacial das grades quando do contato com o dado de controle. Os valores dos erros extremos permitem o cálculo da amplitude dos erros, apontando o MDT LEPLAC Sul com a maior variação (3.979,2998 m). O erro médio (ME) mostra que a superfície ETOPO1, em média, é mais profunda que o dado de controle; enquanto a superfície LEPLAC Sul mais rasa. Já o RMSE apresenta que o modelo LEPLAC Sul é o que mais se aproxima dos valores considerados verdadeiros, enquanto a superfície ETOPO1 é a mais distante dos dados de controle.

5.2. Histogramas

O uso de histogramas para apresentação das profundidades ao longo da área de estudo (Fig.19), permite a comparação das curvas de distribuição entre as diferentes superfícies, bem como a detecção dos valores extremos existentes em cada produto.

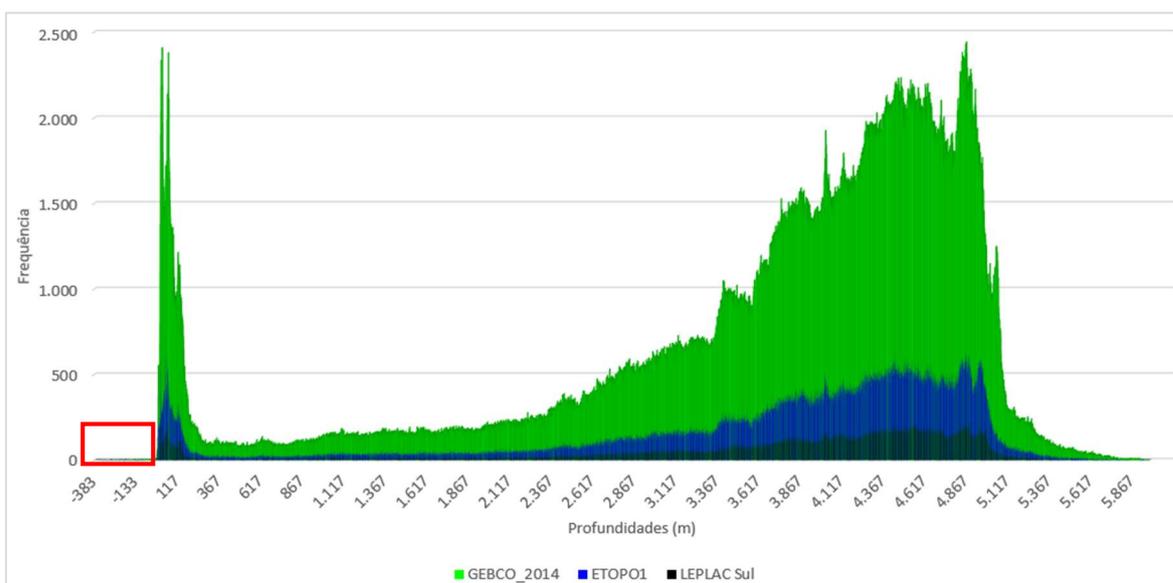


Figura 19 - Distribuição da frequência dos valores de profundidades dos MDT's GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul. O retângulo vermelho destaca os elementos inferiores à profundidade de zero metros.

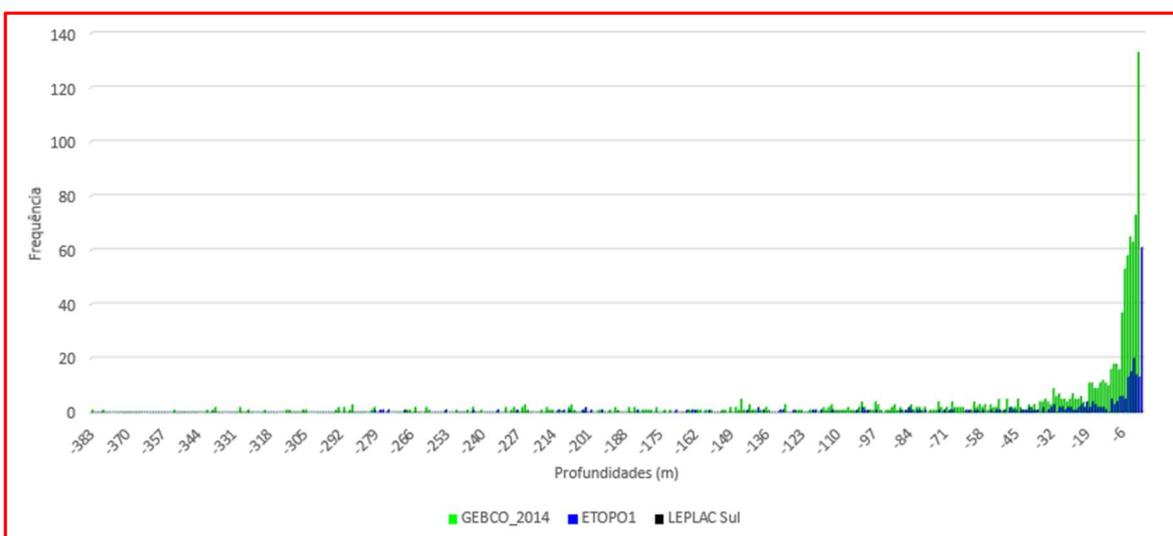


Figura 20 - Destaque à distribuição da frequência dos valores de profundidades "inferiores a zero metros" dos MDT's. Percebe-se que apenas as superfícies GEBCO_2014 e ETOPO1 possuem elementos representativos.

Os gráficos da Fig.19 apresentam variações da ordem de 10 vezes em frequência, sendo 2.500 ocorrências de um mesmo valor no caso da superfície GEBCO_2014 à

frequência máxima de 250 eventos, no modelo batimétrico LEPLAC Sul. Tal diferença decorre da própria variação do número de células dos respectivos MDT's em análise (ver Tabela 2, índice "N"). Observa-se em destaque pela Fig.20 que os modelos batimétricos GEBCO_2014 (na cor verde) e ETOPO1 (em azul) apresentam valores negativos às profundidades, enquanto a distribuição LEPLAC Sul (em preto) não aponta ocorrências inferiores a cota 0 m.

Abaixo, seguem os histogramas fruto do contraste entre as profundidades oriundas dos MDT e aquelas obtidas pelo dado de controle (RA003-2016), ou seja, têm-se a distribuição dos denominados erros calculados.

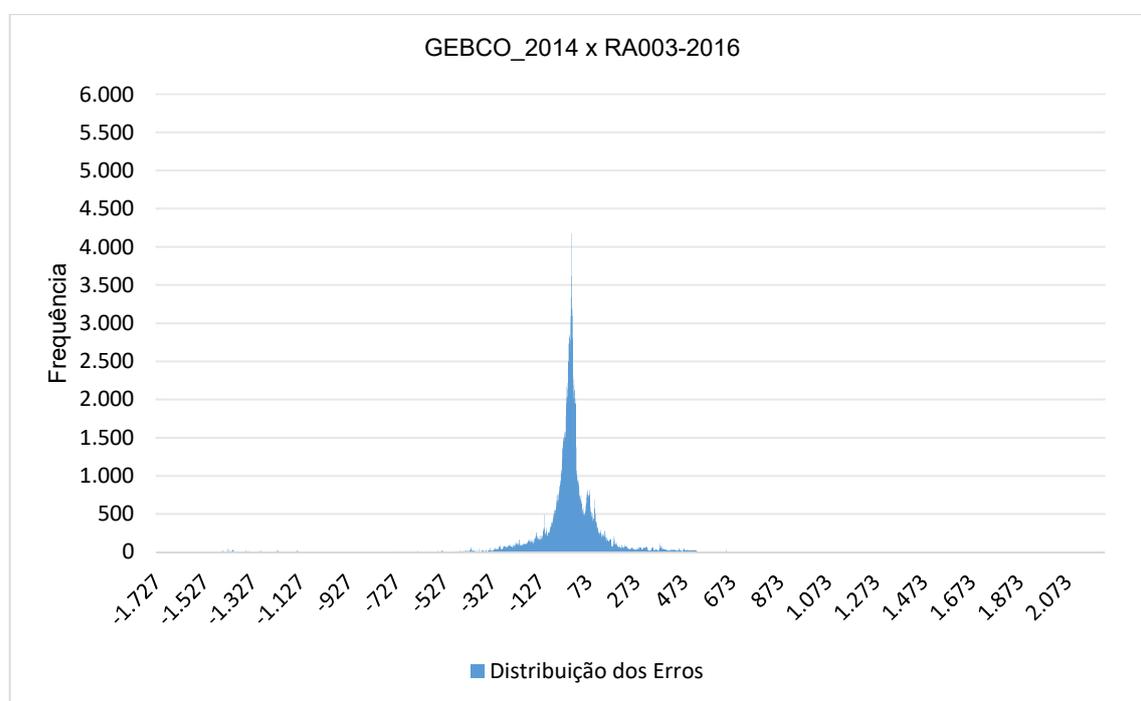


Figura 21 - Histograma dos Erros entre a superfície GEBCO_2014 e o dado de controle (RA003-2016).

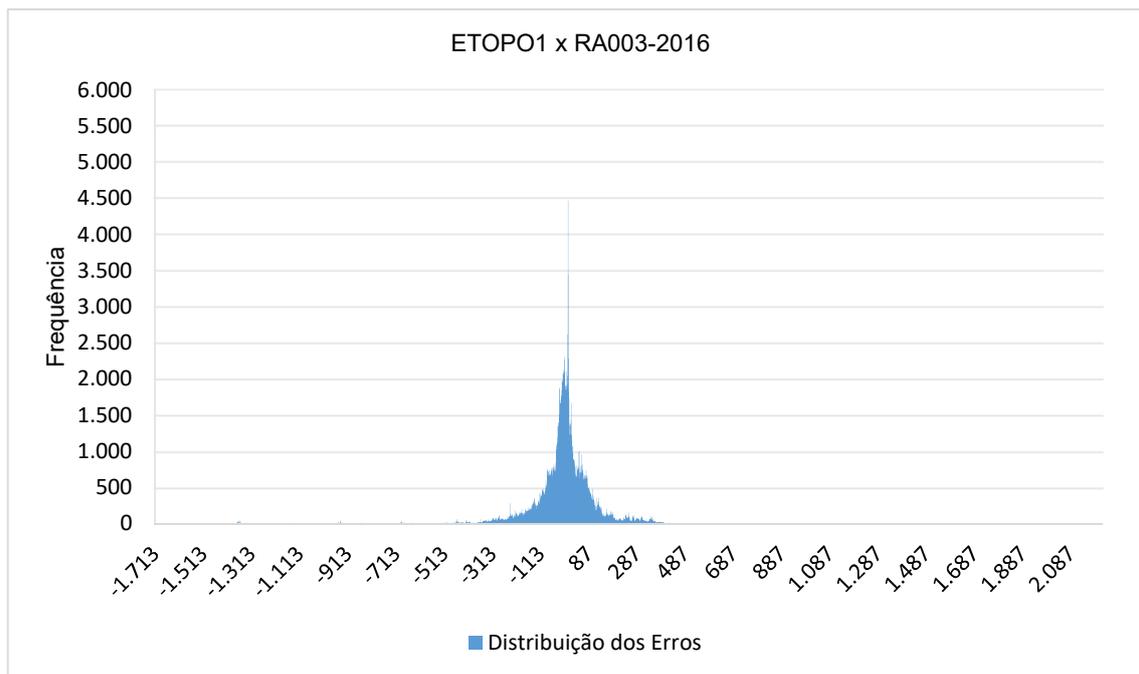


Figura 22 - Histograma dos Erros entre a superfície ETOPO1 e o dado de controle (RA003-2016).

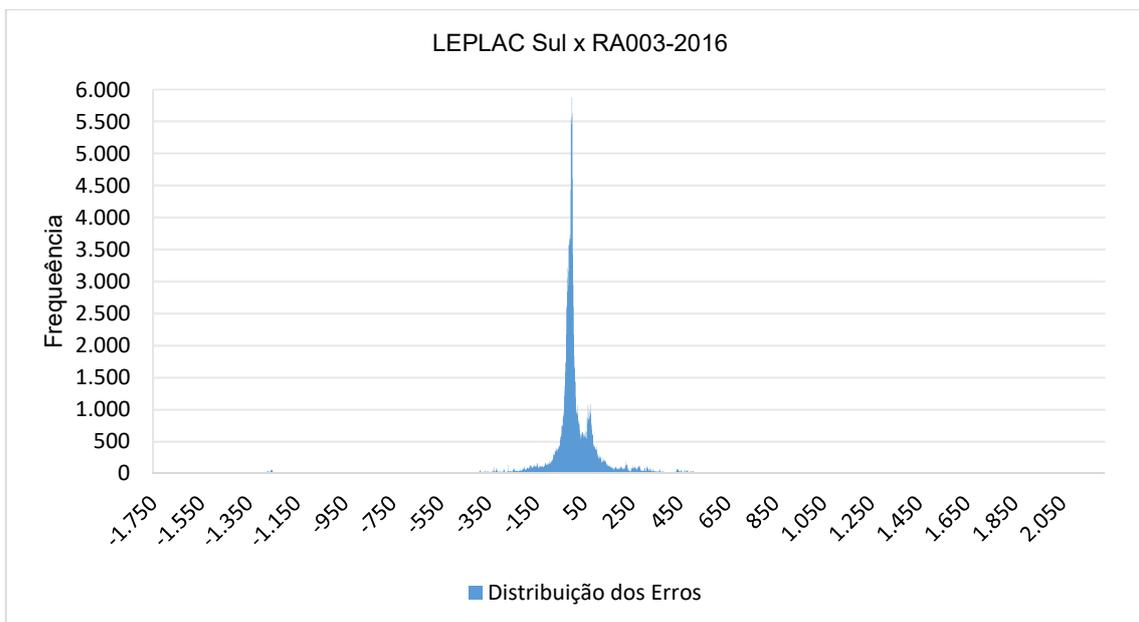


Figura 23 - Histograma dos Erros entre a superfície LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).

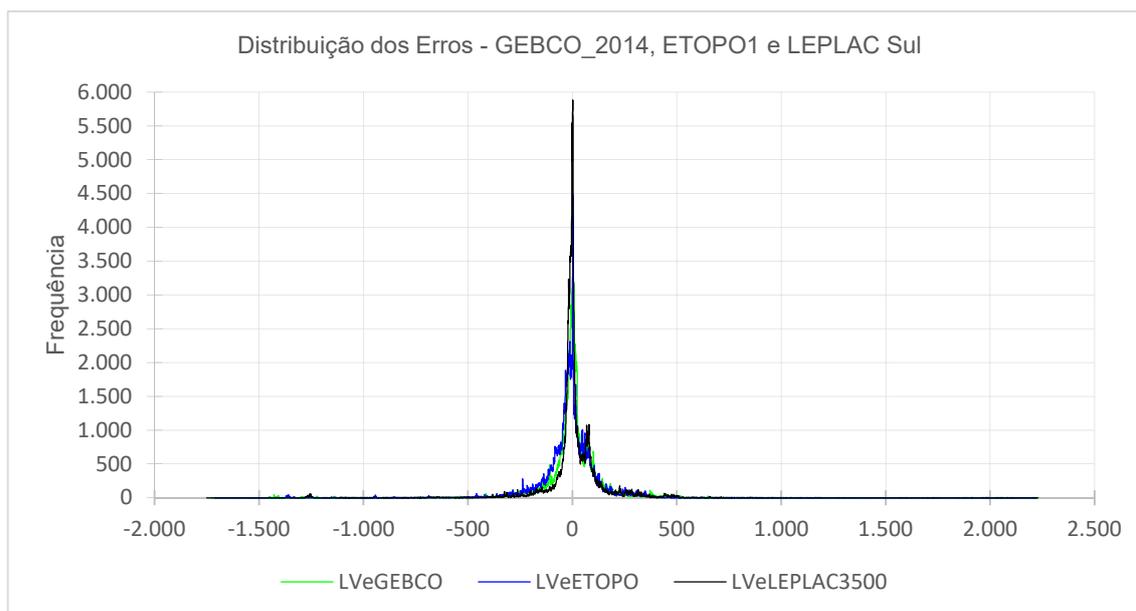


Figura 24 - Histograma dos Erros entre as superfícies GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).

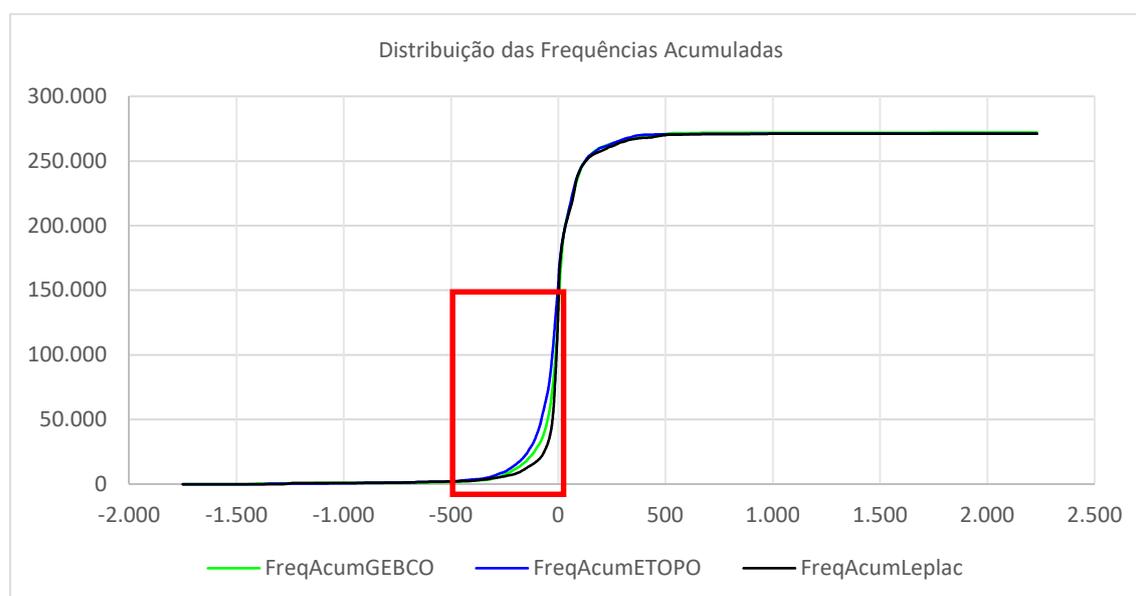


Figura 25 - Distribuição das Frequências Acumuladas aos Erros entre os MDT e o dado de controle. O retângulo vermelho destaca a tendência encontrada pelos modelos GEBCO_2014 e ETOPO1.

As Figuras 21 a 25 apresentam os histogramas contendo a distribuição dos erros obtidos entre a diferença das profundidades modeladas (pelos MDT's) e aquelas oriundas do dado de controle (RA003-2016). Assim, quanto maior forem as ocorrências de valores ao erro igual a 0 m, mais adequado se mostra o MDT. Observa-se que os gráficos possuem a mesma escala vertical, para efeito de comparações entre os máximos das frequências

atingidas pelas respectivas superfícies. A Fig.23 aponta o alcance da máxima frequência pela superfície batimétrica LEPLAC Sul com 5.885 ocorrências do valor 1,90 m, seguida pelo modelo ETOPO1 com 4.469 eventos de 1,20 m e por fim o MDT GEBCO_2014 que obteve 4.179 medidas de 3,15 m.

Todas as curvas mostram uma concentração dos eventos em torno do valor 0 m (erros próximos a zero metros) de acordo com os valores de ME obtidos anteriormente (Tabela 3), e se dispersam sob a forma de uma Distribuição Normal. Uma breve análise sobre assimetria e curtose destas curvas demonstra um comportamento leptocúrtico²², ou seja, uma distribuição dos resultados mais concentrada verticalmente. Neste sentido, entende-se que quanto maior a concentração vertical, mais o MDT se assemelha ao dado de controle. A Fig. 24 apresenta as três curvas sobrepostas, possibilitando a verificação do comportamento relativo entre a frequência de tais resultados. Da mesma forma, a Fig. 25, mostra os gráficos de frequência acumulada aos eventos, apontando uma leve tendência negativa (retângulo vermelho entre -500 m e 0 m) aos MDT ETOPO1 e GEBCO_2014, quando comparados a superfície batimétrica LEPLAC Sul.

5.3. Regressão Linear e Coeficiente de Correlação

Os gráficos abaixo apresentam a correlação entre as profundidades obtidas pelas superfícies batimétricas (GEBCO_2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul) e o dado de controle adotado para o experimento (RA003-2016). Nota-se que a tendência de distribuição dos valores respeita a equação da reta ajustada pela regressão linear, proporcionando o cálculo do coeficiente de correlação (ou *Pearson*) e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

²² As curvas de distribuição amostral podem ser classificadas como mesocúrtica (comportamento padrão), plasticúrtica (forma achatada) ou leptocúrtica (aspecto alongado) (OLEA, 2009).

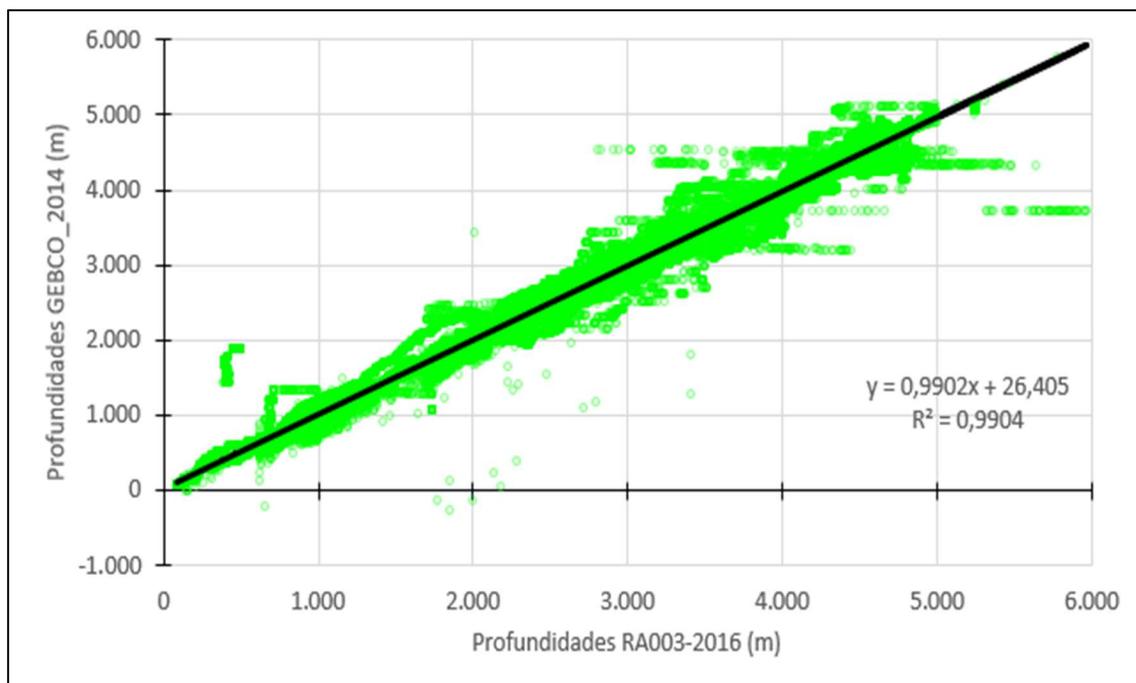


Figura 26 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO_2014 e o dado de controle (RA003-2016).

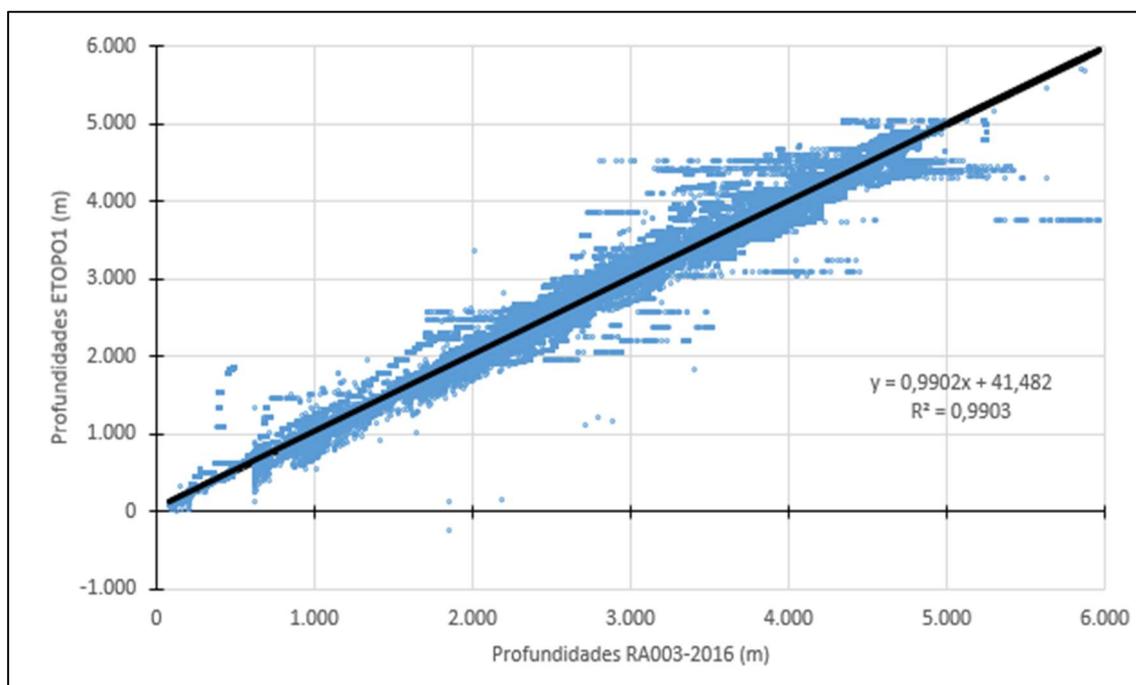


Figura 27 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT ETOPO1 e o dado de controle (RA003-2016).

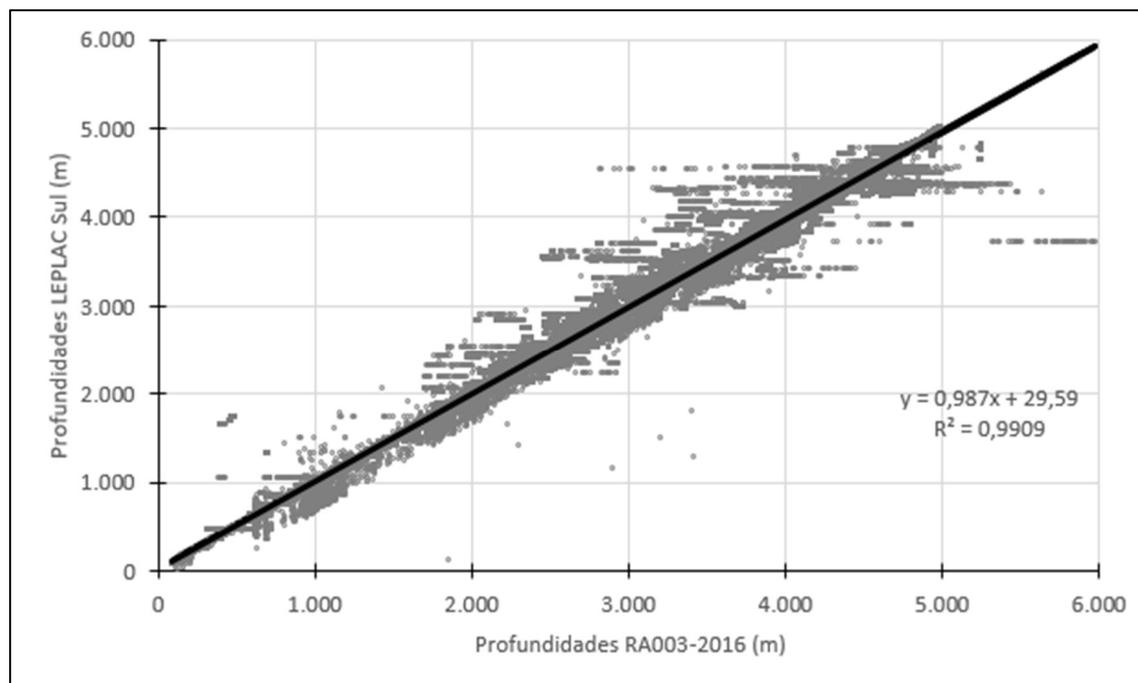


Figura 28 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT LEPLAC Sul e o dado de controle (RA003-2016).

As Fig. 26 a 28 apontam graficamente a alta correlação existente entre a variável explanatória (profundidades do RA003-2016) e a variável de resposta (profundidades dos MDT's: GEBCO-2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul).

Os gráficos referentes ao contraste do dado de controle sobre as superfícies GEBCO_2014 e ETOPO1 registraram a existência de valores negativos, corroborando os resultados apresentados previamente pelo sumário estatístico e pela análise dos histogramas, itens 5.1 e 5.2 respectivamente.

Analiticamente, observa-se que os coeficientes de correlação (R) são: GEBCO_2014xRA003-2016: 99,519%; ETOPO1xRA003-2016: 99,514% e por fim, LEPLAC SulxRA003-2016: 99,544%. Devido à proximidade destes valores, o índice R não se mostra eficaz à distinção de um resultado em termos comparativos, demonstrando a necessidade de uso de ferramentas de análise complementares. Como R, varia de -1 a 1, percebe-se que todos os casos expressam a direção crescente com forte correlação entre as variáveis, tendo o modelo LEPLAC Sul apresentado um maior índice.

5.4. Gráfico de Perfis

O perfil de aproximadamente 2.105,030 km, traçado sobre uma das linhas de sondagem do dado de controle, parte do extremo Sul da plataforma continental brasileira e segue em direção às águas profundas do oceano Atlântico, conforme mostra a Fig. 29.

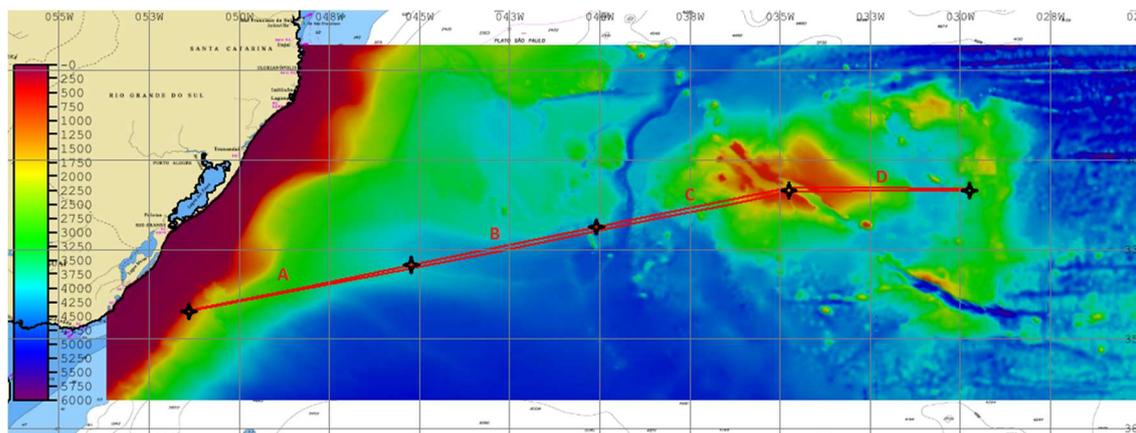


Figura 29 - Disposição do perfil (em vermelho) e suas seções (A, B, C, D), traçadas sobre os dados de controle e a área de estudo representada pela superfície LEPLAC Sul.

Nota-se pelas Fig.29 e 30, que o perfil tem início à cerca de 750 m de profundidade e percorre uma longa extensão em direção leste, passando sobre distintas feições geomorfológicas. Ao cruzar o Canal Vema (retângulo na cor amarelo) alcança mais de 4.500 m de profundidade, contudo logo retorna a profundidades de 500 m graças ao contraste fornecido pela Elevação do Rio Grande (retângulo na cor cinza). Segue sobre o Rifte Cruzeiro do Sul (retângulo na cor roxo), cujo o vale central neste ponto registra escarpas de 1.300 m de altura, terminando próximo a longitude de 30°W onde a batimetria encontra valores superiores a 3.500 m.

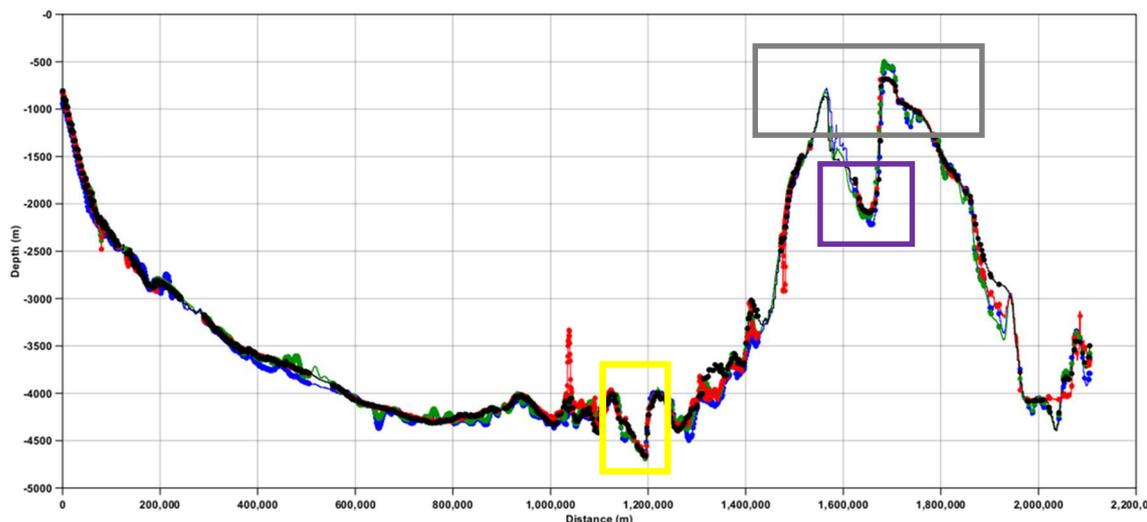


Figura 30 - Perfil batimétrico completo. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. Os retângulos apresentam setores do Canal Vema (em amarelo), da ERG (em cinza) e do Rifte Cruzeiro do Sul (em roxo).

Com base na Fig. 30, observa-se a aderência das profundidades estimadas pelas diferentes superfícies batimétricas junto às sondagens tomadas pelo dado de controle (RA003-2016 = vermelho). Nota-se que os dados de cruzamento e cálculo para construção dos perfis, seguem simbolizados por pontos coloridos (GEBCO_2014 = verde, ETOPO1 = azul e LEPLAC Sul = preto). Os pequenos trechos, onde há somente linhas; são fruto apenas da ligação linear dos respectivos pontos. Preservando a integridade dos resultados, não houve interpolação/suavização entre os pontos de cruzamento dos dados de controle e a batimetria obtida pelos MDT. De modo geral, percebe-se uma alta correlação entre os diversos conjuntos de dados batimétricos, contudo o dado de controle apresenta alguns trechos de discrepância frente todas as superfícies.

A fim de apresentar um parâmetro de tolerância às comparações optou-se pelo estabelecimento de duas linhas, representando os limites superior e inferior tomados a partir do dado de controle. Este afastamento foi calculado com base na Equação 5, descrita abaixo como a aplicação da uma Incerteza Vertical Total (IVT) de ordem 2, e um nível de confiança de 95%, de acordo com as especificações da S-44 5ªed (IHO, 2008), sendo realizado por meio do software CARIS BASE Editor (Fig. 31).

$$Limites = Z_i \pm \sqrt{1 + (0.023 * Z_i)^2} \quad (Eq.5)$$

Onde: Z_i são as profundidade do dado de controle.

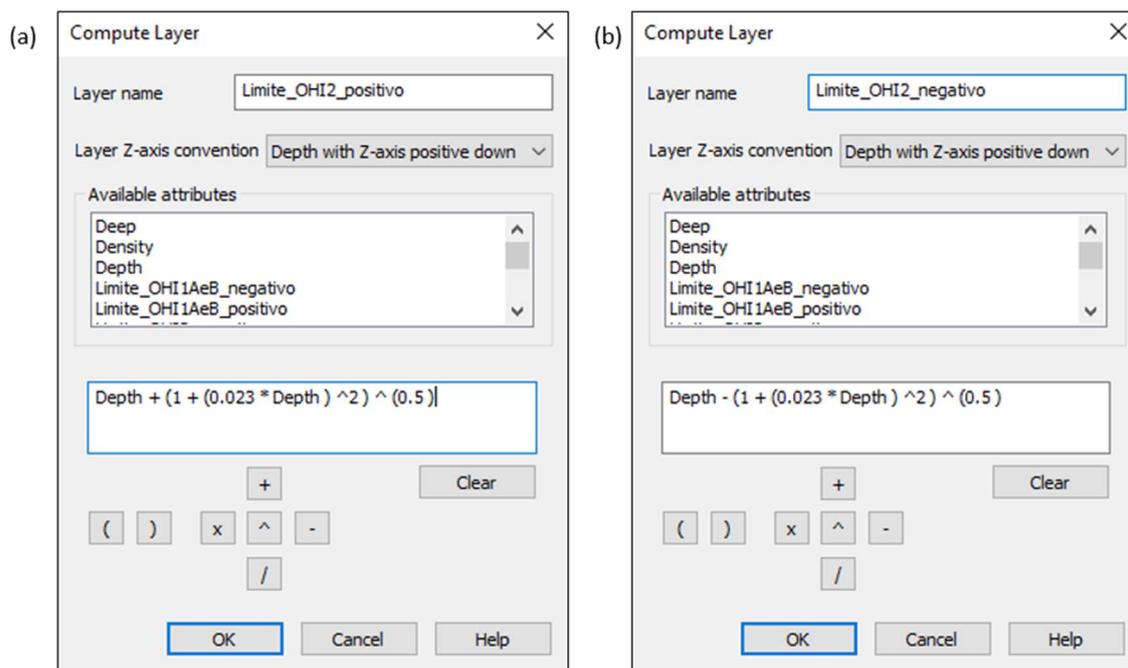


Figura 31 - Telas de cômputo dos limites superior (a) e inferior (b) ao dado de controle para ordem n^o2 da S-44 5ed. OHI.

Devido a extensão geográfica envolvida pelo perfil, segue abaixo (Fig. 32 a 35) a apresentação do perfil mencionado ora dividido em 4 seções de aproximadamente 500 km cada, sendo a “Seção A” mais próxima do continente e a “Seção D” a mais distante, conforme Fig. 29. Os limites calculados ao IVT estão representados pela cor amarela.

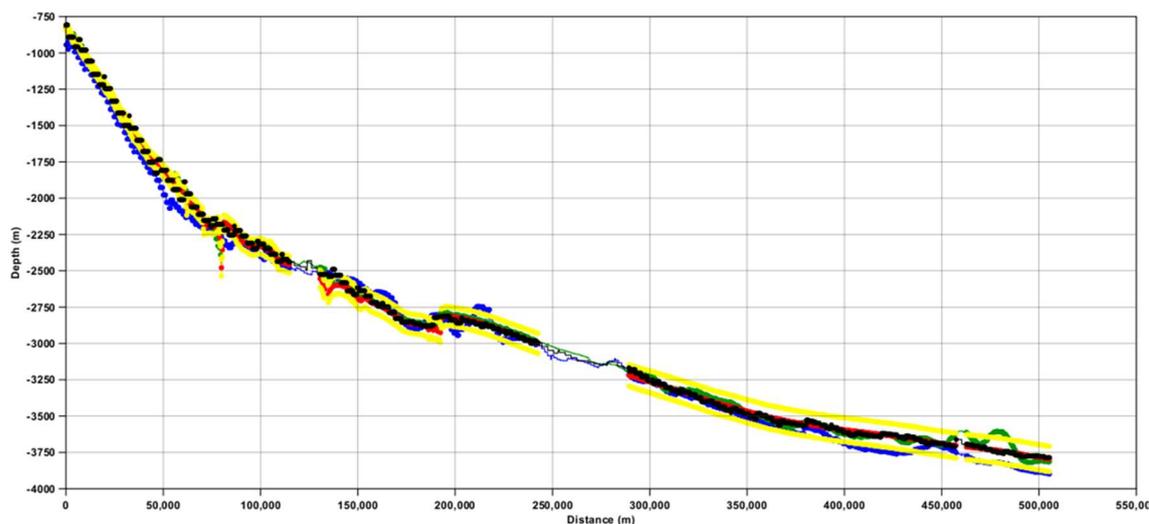


Figura 32 - Perfil batimétrico: Seção A. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem 2, acordo S-44 5ed. OHI.

As Fig.32 e 33 mostram que grande parte dos valores estimados pelas superfícies batimétricas apresentam alta correlação com o dado de controle, especialmente as profundidades oriundas do modelo LEPLAC Sul que majoritariamente permanecem dentro dos limites calculados para ordem 2 nestes trechos. A Fig. 33 evidencia a aproximação das linhas preta e vermelha, ou seja, das profundidades entre o dado de controle e aquelas obtidas pela superfície LEPLAC Sul.

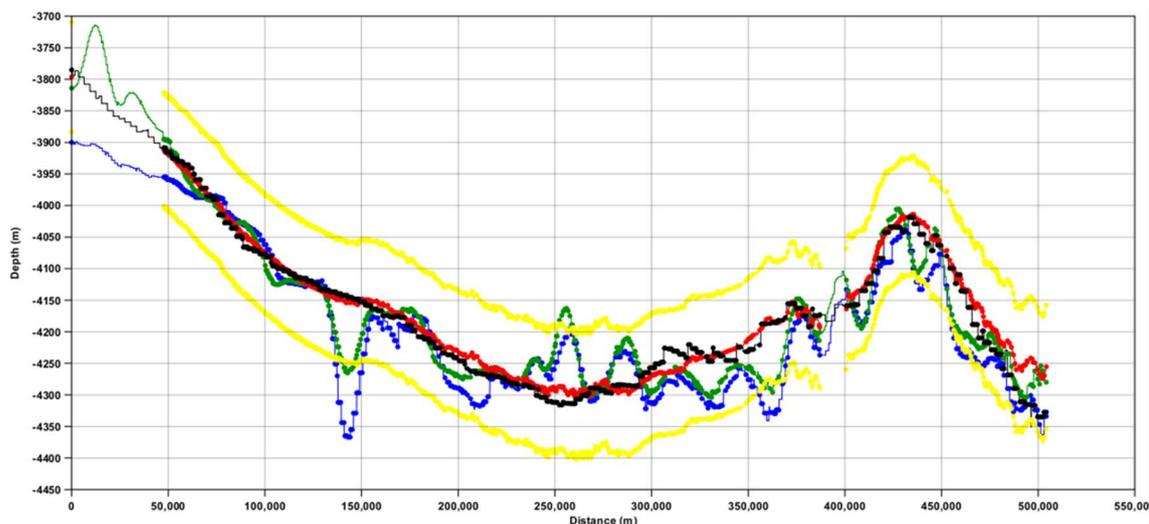


Figura 33 - Perfil batimétrico: Seção B. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem 2, acordo S-44 5ed. OHI.

Nota-se pela Fig. 34, a existência de dois trechos (retângulos na cor vermelha, próximos aos 30 km e aos 465 km) onde o perfil do dado de controle em vermelho se afasta dos demais. Tais pontos foram verificados e confirmaram a representação de novas feições coletadas durante o respectivo levantamento que originou o RA003-2016. Desta forma, percebe-se que tais feições não haviam sido representadas anteriormente pelos MDT em estudo.

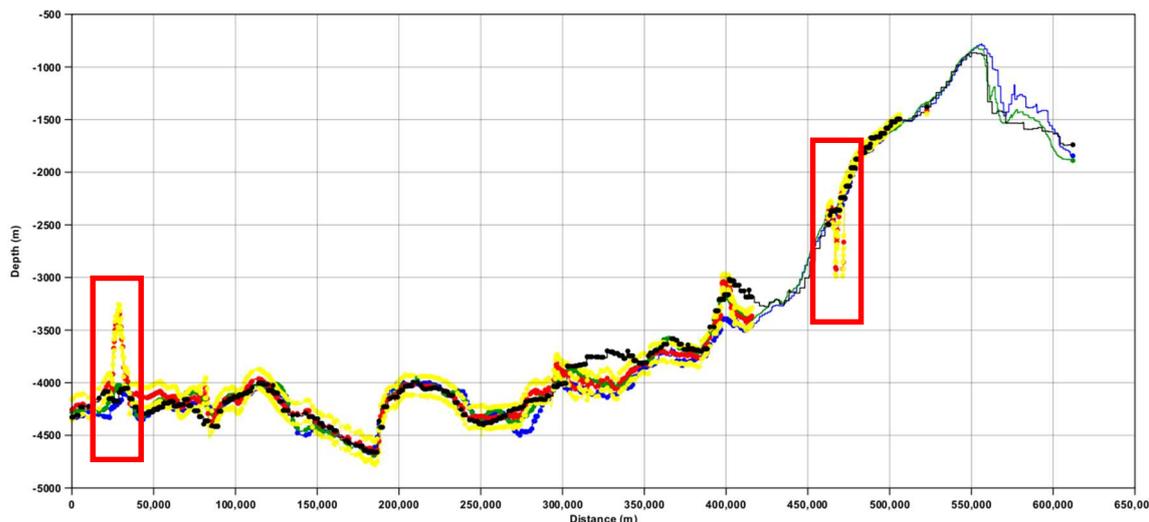


Figura 34 - Perfil batimétrico: Seção C. Os pontos e linhas em vermelho destacam os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem com: GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem 2, acordo S-44 5ed. OHI e, os retângulos em vermelho destacam o afastamento do dado de controle dos MDT.

A Fig. 35 revela vários trechos de afastamento do dado de controle (linha vermelha) sobre os modelos batimétricos. Percebe-se que todas as superfícies foram capazes de captar a alteração do gradiente de declividade entre os 35 a 55 quilômetros, partindo do Rifte Cruzeiro do Sul ao topo da Elevação do Rio Grande (retângulo roxo). Contudo, os trechos 250 a 320 km e 400 a 440 km (retângulos vermelhos) demonstram afastamentos entre as batimetrias de controle e dos MDT.

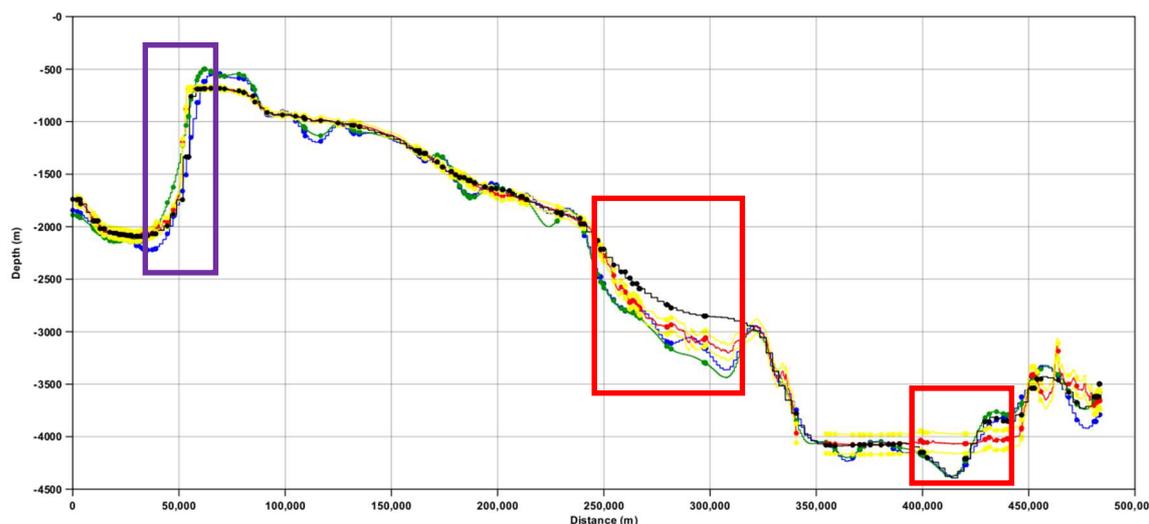


Figura 35 - Perfil batimétrico: Seção D. Em vermelho destacam-se os dados de controle (RA003-2016), enquanto as profundidades dos MDT seguem como GEBCO_2014 em verde, ETOPO1 em azul e LEPLAC Sul na cor preta. As linhas em amarelo representam os limites superior e inferior calculados sobre o dado de controle para ordem 2, acordo S-44 5ed. OHI.

De modo geral, percebe-se comparativamente uma tendência de suavização dos resultados por parte da superfície LEPLAC Sul frente os modelos GEBSCO_2014 e ETOPO1. Este fato se mostra coerente ao comportamento do perfil de controle em maior parte do tempo, pois constatou-se que o perfil da superfície LEPLAC Sul possui 71,2% de seus valores de profundidade contidos dentro da tolerância ora estabelecida pela ordem 2 da OHI (Eq.5). Enquanto os perfis GEBSCO_2014 e ETOPO1 atingiram 62,4% e 57,4%, respectivamente.

5.5. Superfície Diferença

Tendo em vista o contínuo desenvolvimento das atividades do Plano LEPLAC, o qual avança rumo à construção de um MDT de abrangência nacional, diversos levantamentos geológicos, geofísicos e batimétricos têm incrementado o banco de dados espaciais do projeto. Esta ação possibilita a atualização de informações sobre a geomorfologia marinha brasileira, bem como da própria superfície batimétrica LEPLAC Sul.

Desta forma, com base no domínio sobre os parâmetros de construção do MDT LEPLAC Sul, no acesso a seus dados de origem e a novos dados batimétricos oriundos de LH's na região, como por exemplo o RA003-2016, torna-se possível o uso destas informações para a atualização da referida grade batimétrica. Portanto, a adoção do “Fluxo recomendável” apresentado pela Fig. 14, define a elaboração de uma nova versão para a superfície LEPLAC Sul. Esta atualização, ao agregar novas sondagens qualificadas em sua interpolação, passa a preencher algumas porções geográficas antes vazias, proporcionando assim a melhora da resolução espacial do modelo de 3.500 km para 2.500 km, passando a ser denominada de superfície batimétrica LEPLAC Sul*.

Ao aplicar a Equação 4 do referencial teórico, percebe-se que o processo de atualização mencionado, resultou em uma superfície com aproximadamente o dobro do número de células, 620.858 unidades. Destas, uma quantia de 460.027 células, ou seja, 74% permaneceram dentro do intervalo de tolerância de 1% da diferença máxima encontrada (aproximadamente 1.800 m), correspondendo a variações inferiores a 18 m. De forma análoga, tem-se que 595.722 células seguem contidas dentro do intervalo de 5% da discrepância máxima, alcançando cerca de 95% do total das variações, conforme mostra a Fig. 36.

As Fig. 36 a 38 apresentam as superfícies geradas a partir da subtração da grade LEPLAC Sul* junto aos modelos LEPLAC Sul, GEBSCO_2014 e ETOPO1,

respectivamente. Para melhor visualização dos resultados, apesar da diferença dos valores de resposta, a mesma paleta de cores foi aplicada às imagens.

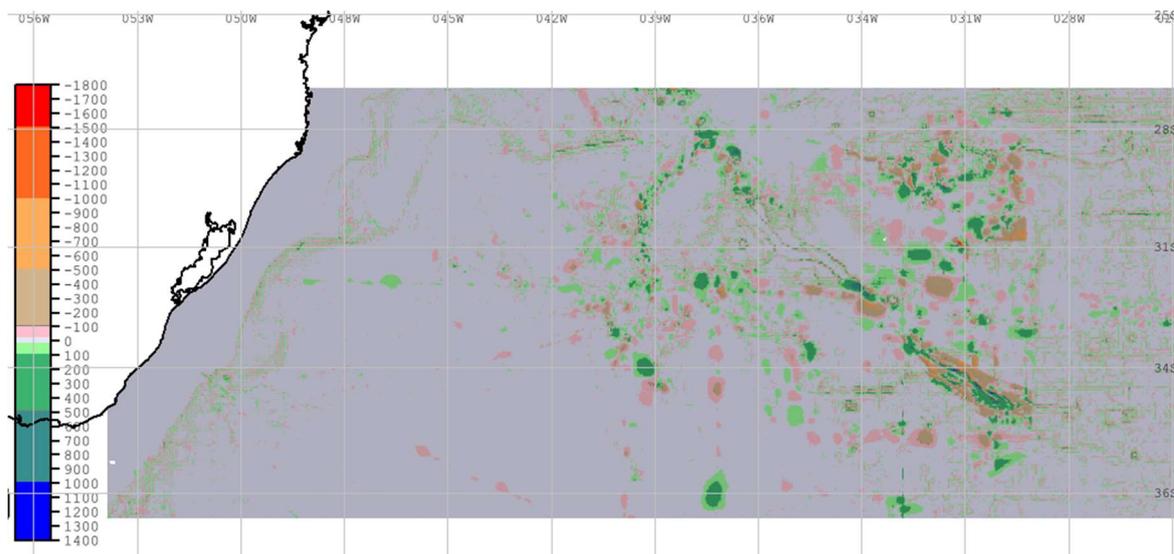


Figura 36 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e LEPLAC Sul. Profundidades (m) escalonadas em classes onde as cores representam aproximadamente 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima encontrada.

Fruto da incorporação de novas sondagens realizadas sobre a área de estudo, nota-se pela Fig. 36, detalhes do traçado de algumas feições geomorfológicas como o Rifte Cruzeiro do Sul, o Canal Vema e os Montes Submarinos Jean Charcot.

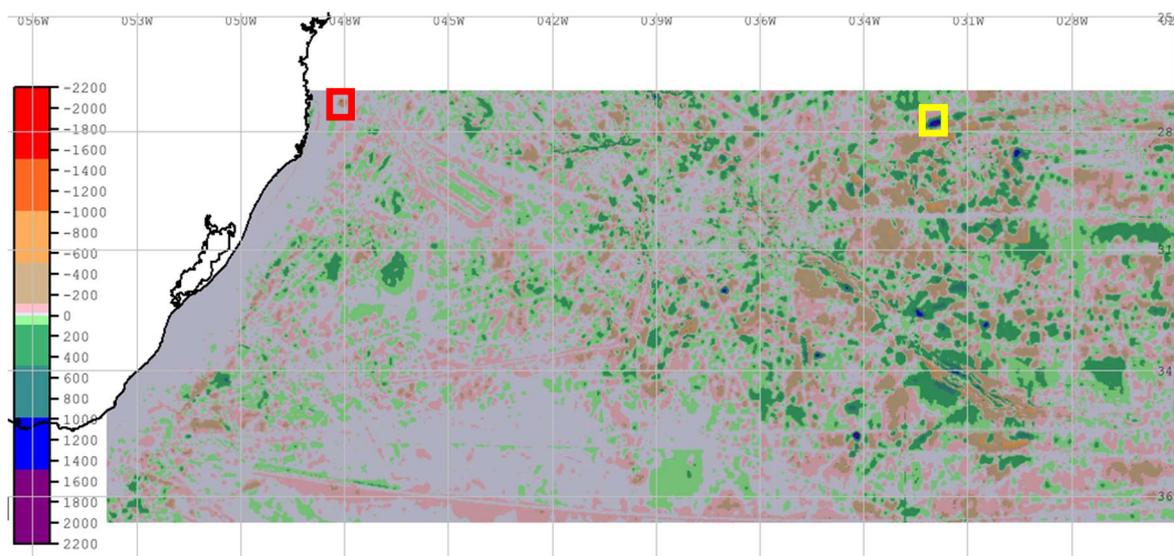


Figura 37 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e GEBCO_2014. Os quadros vermelho e amarelo apresentam elementos de valor extremo. Profundidades (m) escalonadas em classes onde as cores representam aproximadamente 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima encontrada.

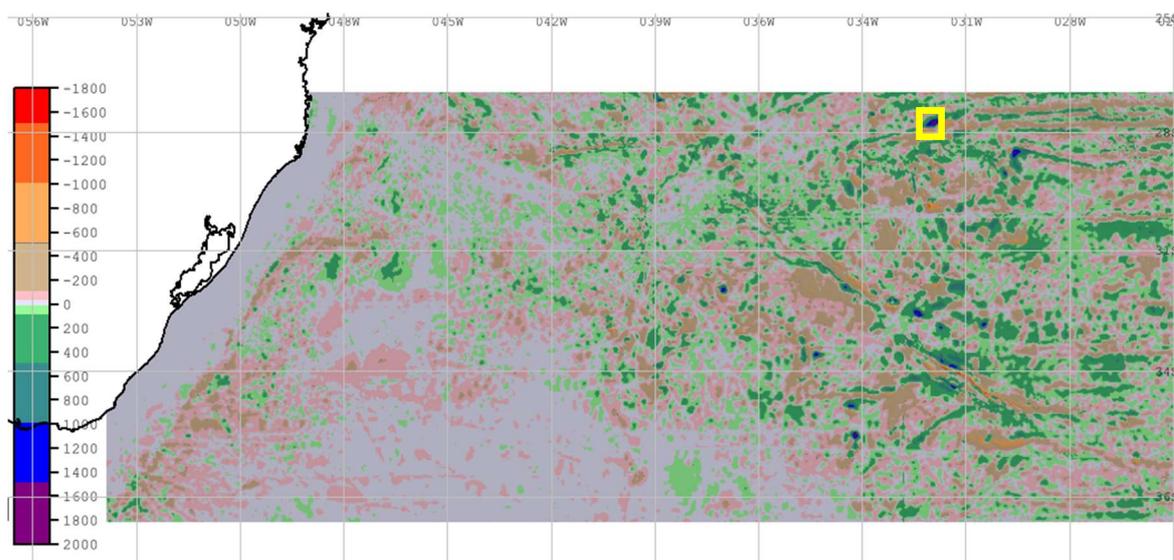


Figura 38 - Superfície diferença entre os MDT LEPLAC Sul* e ETOPO1. O quadrado amarelo apresenta a manutenção do elemento de valor extremo neste local. Profundidades (m) escalonadas em classes onde as cores representam aproximadamente 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima encontrada.

Percebe-se pela Fig. 37, a existência de alguns pontos de valores extremos localizados próximo ao o paralelo 28°S e às longitudes 32°W (retângulo amarelo) e 48°W (retângulo vermelho). Ao contrário da primeira feição mencionada, o evento próximo à costa (coordenadas 28°S, 48°W) somente é detectado pela superfície GEBCO_2014 (retângulo de cor vermelha). Tal situação, chama a atenção à uma averiguação mais detalhada sobre o local, que segue apresentado de forma ampliada na Fig. 39. Por se tratar de uma área próxima à costa, torna-se possível a verificação desta batimetria com base em LH's realizados próximos ao local (sondagens em metros dispostas na imagem abaixo). Nesta situação foi evidenciada a existência de um elemento em destaque (verde) que possui uma discrepância vertical da ordem de 1.500 m em relação as sondagens (números) obtidas por LH's realizados sobre o local. Constata-se assim, por meio da aplicação da superfície diferença, a existência de um artefato na superfície GEBCO_2014.

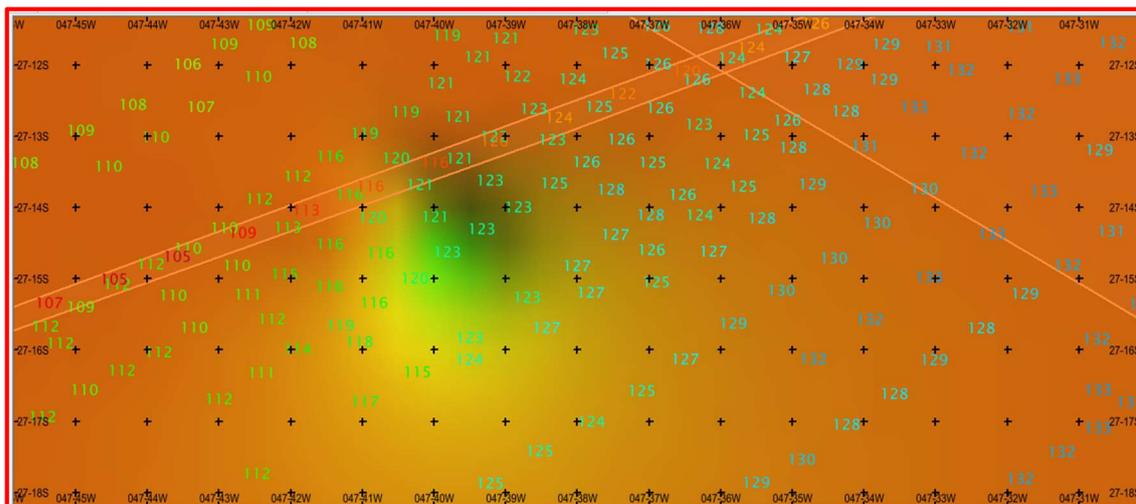


Figura 39 - Artefato detectado no MDT GEBCO_2014 (quadrado de cor vermelha das Fig.36 e 37). O elemento em destaque (setor em verde) possui uma discrepância vertical da ordem de 1.500 m em relação as sondagens (números) obtidas por LH's realizados sobre o local.

Ademais, as Fig. 37 e 38 evidenciam que a superfície ETOPO1 tende a um comportamento mais suave do fundo marinho, enquanto o modelo GEBCO_2014 retrata feições de menor dimensão sobre o terreno. Este fato pode ser notado especialmente no setor leste, próximo a planície abissal.

6. CONCLUSÃO

Os requisitos aplicados à escolha de determinado MDT sempre estão atrelados a sua finalidade. No presente estudo, o conjunto de dados analisados foi avaliado sob perspectivas qualitativas e quantitativas, julgadas importantes à definição de uma superfície batimétrica, o mais consistente possível, para uso como referência à uma IDEM. Ou seja, busca-se alcançar uma solução que abranja as diversas métricas envolvidas pelos respectivos MDT, possibilitando averiguação de suas principais características em termos relativos.

Para tal, foi adotada uma série de parâmetros e instrumentos estatísticos capazes de descrever, de forma gráfica e analítica, relevantes atributos do comportamento das superfícies onde uma análise integrada dos resultados obtidos demonstra:

- O conjunto de dados de controle adotado ao experimento mostra-se bem distribuído espacialmente e demonstra ser capaz de gerar estatísticas robustas à área de estudo, com base no cruzamento das profundidades modeladas (pelos MDT) e aquelas oriundas do dado de controle (RA003-2016);

- Todos os instrumentos aplicados apontam a existência de profundidades inesperadas aos modelos batimétricos GEBCO_2014 e ETOPO1, com a presença de alguns valores fictícios sobre o recorte em estudo. O modelo GEBCO_2014 possui ao menos 994 células com valores espúrios e o modelo ETOPO1 detém 239; enquanto apenas a superfície LEPLAC Sul não apresenta este tipo de comportamento;

- Uma análise sobre o RMSE aponta que o modelo LEPLAC Sul é o que mais se aproxima dos valores considerados verdadeiros (RMSE igual a 140,12599 m), enquanto a superfície ETOPO1 se mostra a mais distante. O comportamento da distribuição de tal resultado da superfície LEPLAC Sul tende a ser positivo, pois o ME é de 8,714 m;

- Os histogramas de frequência dos erros corroboram tal observação, com o alcance da máxima frequência pela superfície batimétrica LEPLAC Sul. Com 5.885 ocorrências do valor de erro 1,90 m, tal modelo supera em mais de 1.200 eventos os MDT ETOPO1 e GEBCO_2014, que se mostram mais dispersos do valor central;

- Por meio dos gráficos de regressão linear e dos índices de correlação (R) e determinação (R^2), percebe-se a alta correlação existente entre as variáveis explanatória (profundidades do RA003-2016) e de resposta (que são as profundidades dos MDT: GEBCO-2014, ETOPO1 e LEPLAC Sul). O índice R não se mostra eficaz à distinção de um resultado em termos comparativos, demonstrando a necessidade de uso de ferramentas de análise complementares. Contudo, todas as curvas se mostraram ascendentes, e a superfície LEPLAC Sul foi a que atingiu o maior valor ao índice R^2 sendo igual a 0,9909;

- Nota-se também pelos gráficos de perfil, a alta correlação existente entre a superfície batimétrica do LEPLAC Sul e os dados de controle. O uso de tolerâncias, como o IVT ordem 2, S-44 5ªed., permite a verificação do grau de aderência do fundo marinho junto aos MDT's sendo LEPLAC Sul (71,2%), enquanto o modelo GEBCO_2014 (62,4%) e ETOPO1 (57,4%). A análise dos perfis revela ainda a existência de novas feições geomorfológicas, com apresentação de regiões de afastamento entre todos os MDT e o dado de controle. Este fato enfatiza a necessidade de contínuo aprimoramento dos modelos por meio da atualização do conjunto dos dados de origem e novas realizações para as superfícies, e

- Fruto da atualização da superfície LEPLAC Sul para LEPLAC Sul*, tornou possível o cálculo da superfície diferença permitindo a identificação da localização espacial dos artefatos supramencionados, proporcionando em alguns casos, a averiguação detalhada sobre tais pontos junto ao banco de dados batimétrico (Fig.39).

Neste sentido, a Tabela 4 tem por objetivo sintetizar os principais aspectos observados aos modelos batimétricos na área de estudo.

Tabela 4: Principais características entre as superfícies batimétricas avaliadas.

Parâmetros	GEBCO_2014	ETOPO1	LEPLAC Sul*
Sobre a cobertura	Global	Global	Atualmente limitada a região Sul, porém possui tendência à expansão para abrangência nacional
Resolução espacial	926 m	1.852 m	Inicial de 3.500 m (em 2015), passando à 2.500 m (em 2017) com tendência de melhora
Da disponibilidade de informações sobre a origem dos dados e/ou sua construção	SID** e relatório disponíveis ao público	Não possui SID**, porém seu relatório é disponível ao público	Possui SID** e relatório, porém devido aos trâmites junto à CLPC, estes ainda não são disponíveis ao público
Sobre os erros e incertezas calculados para a área de estudo	Resultado mediano a seu perfil com 62,4% de seus valores contidos pela tolerância do IVT, ordem 2. Porém, mesmo possuindo o menor valor ao ME, é o modelo com maior desvio padrão (σ) em seu conjunto de dados batimétrico.	Foi o perfil que menos se ajustou aos limites de tolerância estabelecidos ao IVT, pela ordem 2, com apenas 57,4%. Apresentou os menores índices R, R ² e os maiores valores absolutos de ME e RMSE.	Apresenta o perfil que mais se ajustou aos limites de tolerância estabelecidos ao IVT, pela ordem 2, atingindo 71,2%. Apresentou os maiores índices R e R ² , e o menor valor de RMSE.
Aspectos de incerteza sobre as origens das profundidades	Possui sondagens esparsas sobre a região, tendo em sua maioria profundidades estimadas a partir de dados altimétricos derivados de satélites. Seu controle de qualidade não foi capaz de detectar e remover a existência de dados espúrios sobre a região.	Possui o menor número de sondagens sobre a região, sendo modelada principalmente por dados altimétricos derivados de satélites. Seu controle de qualidade não foi capaz de detectar e remover a existência de dados espúrios sobre a região	Possui elevada quantidade de sondagens sobre a região, sendo capaz de detectar e representar novas feições geomorfológicas. Seu controle de qualidade apresenta-se robusto à detecção e remoção de dados espúrios.
Sobre artefatos	Possui alguns elementos artificiais pontuais de elevada grandeza	Os artefatos são presentes, porém de forma geral seguem suavizados devido a fonte dos dados satelitais	Não apresenta a presença de dados espúrios.

**SID - Source Identifier Grid

No contexto onde se observam importantes discussões sobre a gestão e o acesso eficiente de dados espaciais marinhos, em especial ao dado de batimetria essencial ao desenvolvimento da ciência marinha nacional e mundial, considera-se oportuna a contribuição prestada logo pela revisão teórica ora realizada. Por meio desta, é possível reconhecer os principais conceitos envolvidos na concepção e construção das IDE e IDEM, bem como a inexorável responsabilidade da componente batimétrica por meio da sua manifestação, seja na forma de nuvem de pontos ou de modelos digitais de terreno.

Apesar da existência de alguns MDT's globais para o fundo marinho, como GEBCO_2014 e ETOPO1, percebe-se a manifestação de diversos países sobre a existência de demandas locais que requerem maiores detalhes e confiabilidade sobre as medidas tomadas nestas superfícies, em destaque aquelas realizadas no âmbito técnico-científico, caso das buscas e detecção de alvos marinhos, modelagens meteoceanográficas ou geomorfológicas. Este fato tem incentivado o surgimento de iniciativas nacionais e internacionais para o aperfeiçoamento de superfícies batimétricas regionais, caso do projeto EMODnet-Bathymetry por exemplo.

Observando a gestão de tal assunto no Brasil, constata-se o histórico acompanhamento do Serviço Hidrográfico nacional junto das convenções e boas práticas mundiais, bem como os esforços do Estado em projetos de coleta e análise de dados espaciais marinhos, como o Plano LEPLAC, que permitiu a construção da superfície batimétrica LEPLAC Sul. Este modelo digital de terreno segue em constante aperfeiçoamento e visa estrategicamente atingir uma abrangência territorial nacional.

De forma simultânea, em busca do atendimento aos anseios de diversos setores como: defesa, comércio, academia e outros, que necessitam de formas de acesso eficientes aos dados batimétricos nacionais, a DHN segue com a proposta de implantação de uma IDEM e para tal, visa a adoção de uma superfície batimétrica que sirva de referência à mesma.

Assim, o desenvolvimento do presente estudo com a aplicação de uma série de análises comparativas entre a superfície LEPLAC Sul junto a dados de controle e a outros modelos batimétricos disponíveis (GEBCO_2014 e ETOPO1), permitiu valorar suas características de modo qualitativo e quantitativo. Ademais, tal metodologia destaca-se pelo fato de adotar múltiplas ferramentas de estudo, permitindo uma abordagem conjugada e robusta do tema. Percebe-se também que a mesma pode ser ajustada e aplicada em outras áreas de interesse, possibilitando assim a expansão deste procedimento de avaliação para outras regiões do território nacional.

Os resultados obtidos com base na metodologia de avaliação desenvolvida mostram de forma gráfica e analítica, que a superfície LEPLAC Sul atingiu os maiores índices de correlação (R igual a 99,544%) e determinação (R^2 de 0,9909), bem como o menor valor ao RMSE junto ao dado de controle, cerca de 140,125 m, enquanto a superfície ETOPO1 se mostrou a mais distante com 145,338 m. Os histogramas demonstraram o comportamento disperso dos modelos GEBCO_2014 e ETOPO1, atingindo os maiores valores de desvio padrão em seus conjuntos de dados batimétrico, com 1.313,9 m e 1.309,3 m respectivamente. O contraste dos perfis batimétricos junto ao dado de controle aponta que a superfície LEPLAC Sul atingiu a maior porcentagem (71,2%) de suas profundidades dentro da tolerância estabelecida para efeito desta comparação, superando de forma relativa os resultados do perfil GEBCO_2014 em 9% e ETOPO1 em 14%. Ademais, destaca-se que os modelos batimétricos GEBCO_2014 e ETOPO1 apresentaram profundidades inesperadas para aquela região, ou seja, há presença de dados espúrios; enquanto a superfície LEPLAC Sul foi a única que não demonstrou este tipo de comportamento.

Portanto, a superfície LEPLAC Sul mostra-se capaz de atender aos padrões e orientações nacionais e internacionais, contribuindo à implantação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marítimos (IDEM). Este MDT demonstrou sua eficiência no alcance de bons índices de qualidade, bem como na detecção e delimitação de novas feições marinhas. Desta forma, espera-se que a mesma sirva de referência a futuras pesquisas científicas, como caso da modelagem climatológica e oceanográfica ou da delimitação de províncias geomorfológicas submarinas e limites territoriais.

6.1. POTÊNCIAIS USOS E BENEFÍCIOS

A potencialidade da aplicação destas informações batimétricas nas ações de pesquisa e desenvolvimento nacionais é enorme.

No âmbito da modelagem meteorológica e/ou oceanográfica a melhora na qualidade dos dados de contorno, ou seja, da superfície batimétrica, pode influenciar positivamente nas previsões meteoceanográficas (CASTELLO e KRUG, 2015; GABIOUX et al., 2013; MARTA-ALMEIDA; PEREIRA; CIRANO, 2011), representando um ganho à segurança da navegação nacional.

Os trabalhos envolvendo a definição e estudo de feições geomorfológicas marinhas apontariam o aumento do domínio e compreensão da geomorfologia local e, conseqüentemente, da definição do pé do talude e da isobatimétrica de 2.500 m, elementos

determinantes para as análises em curso pela CLPC para extensão dos limites territoriais nacionais de acordo com Art. nº76 da UNCLOS (LEPLAC, 2015; MOHRIAK e TORRES, 2017; TORRES e VILLENA, 2010). Ademais, o avanço em pesquisas para caracterização geomorfométrica pode subsidiar modelos de previsão de movimentos de massa mais acurados atuando assim sobre possíveis desastres naturais (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; LECOURS et al., 2016; ZIMMERMANN e PRESCOTT, 2018).

O atendimento ao cronograma do Plano de Implementação da INDE (CONCAR, 2010) no período de 2015-2020, com o alcance do fornecimento deste dado batimétrico por exemplo, demonstraria o elevado grau de compromisso das instituições responsáveis na adoção de políticas de transparência e sustentabilidade junto a sociedade brasileira.

Tal como apresentado pela iniciativa do projeto EMODnet Bathymetry (PAN-EUROPEAN INFRASTRUCTURE FOR OCEAN & MARINE DATA MANAGEMENT, 2017, EMODnet, 2018b), a integração de uma superfície batimétrica (nacional ou regional) rica em dados batimétricos devidamente analisados e qualificados, pode vir a subsidiar a melhora de modelos globais como a própria superfície GEBCO_2014, por exemplo. Esta ação é fortemente apoiada por renomadas instituições internacionais, como a OHI, a COI e GEBCO (IHO & IOC, 2018; WEATHERALL et al., 2015).

Ademais, percebe-se que a mentalidade marítima, amplamente difundida entre as grandes potências mundiais, segue representada como a compreensão, pela sociedade, de sua dependência do mar. No caso brasileiro, observa-se o recente aumento de interesses externos sobre nossas águas, em virtude da ampliação dos direitos de exploração das águas jurisdicionais brasileiras e das descobertas de novas bacias petrolíferas no mar (CABRAL; BAHIA, 2017). Desta forma, há outros dois benefícios esperados pela disponibilização de uma superfície batimétrica nacional, a partir da implementação de uma IDEM: o primeiro seria a ampliação da mentalidade marítima brasileira, valorando os esforços de projetos e instituições nacionais, ainda pouco conhecidos (MOHRIAK e TORRES, 2017; SOUZA et al., 2009); já o segundo, trata-se da captação de recursos para à instituição responsável pela manutenção desta IDEM, ou seja, à própria Marinha do Brasil. Tais aspectos seguem sugeridos por Geoffrey Till, apud Cabral e Bahia (2017), como parte de um conjunto de ações estratégicas de "*marketing*" voltados à própria manutenção da instituição naval.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho não almeja esgotar o assunto, pois ao contrário; visa incentivar a discussão sobre a gestão do intercâmbio de dados hidrográficos nacionais, com uso de boas práticas e soluções tecnológicas sustentáveis.

O estudo mais aprofundado sobre o papel de um tipo de dado espacial marinho, como o exemplo descrito da batimetria, demonstra o potencial alcance da influência do mesmo frente a uma relação de custo-benefício à implementação de uma IDEM. Contudo, ressalta-se que para a real e eficiente operação deste modelo, faz-se necessário o aporte de investimentos, desde a capacitação de pessoal e aquisição de material técnico, como para a implementação e garantia da manutenção dos serviços atinentes a esta estrutura.

Pelo fato da superfície batimétrica LEPLAC Sul tratar-se do recorte regional de uma superfície que adotará dimensões nacionais, conforme a evolução dos trabalhos realizados pelo Plano LEPLAC, vislumbra-se a importância do estabelecimento desta metodologia de análise e avaliação de qualidade oportunamente às demais regiões do Brasil. Esta ação tende a promover os esforços nacionais envolvidos ao longo deste relevante projeto, valorando em termos qualitativos e quantitativos a superfície batimétrica final para toda a METAREA/NAVAREA V.

Observando a tendência mundial (ERIKSTAD et al., 2013; LECOURET et al., 2016), salienta-se, por fim, a consideração por estudos futuros da adoção de novas técnicas computacionais de interpolação aos dados batimétricos de alta resolução oriundos de ecobatímetros multifeixe ou sonares interferométricos de abertura sintética, por exemplo. Tais ferramentas seguem em desenvolvimento para proporcionar a construção de superfícies de resolução variável e em diferentes escalas, as quais visam manter a integridade da resolução espacial original dos dados coletados de acordo com sua distribuição geográfica ao longo do modelo interpolado.

REFERÊNCIAS

- AALDERS, Henri J. G. L.; MOELLERING, Harold. *Spatial Data Infrastructure*. In: 20th International Cartographic Conference. Anais... Beijin: 2001. Disponível em: <https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2001/icc2001/file/f14005.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- ABRAMOVA, Anastasia S. *Comparison and Evaluation of Global Publicly Available Bathymetry Grids in the Arctic*. Thesis (Master of Sciences in Earth Sciences) University of New Hampshire, 2012. Disponível em: <<https://ccom.unh.edu/sites/default/files/publications/abramova-anastasia-thesis.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- ALFORD, John. Towards a New Public Management Model: Beyond “Managerialism” and its Critics. *Australian Journal of Public Administration*, v. 52, n. 2, p. 136–148, 1993. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1467-8500.1993.tb00263.x>>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- AMANTE, Christopher; EAKINS, Barry. W. *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. Boulder, Colorado. 2009. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- BATHYMETRY CONSORTIUM EMODNET - EMODnet. *EMODnet Digital Bathymetry (DTM)*. Marine Information Service. 2016. Disponível em: <<http://sextant.ifremer.fr/record/c7b53704-999d-4721-b1a3-04ec60c87238/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- BECKER, J. J.; SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; BRAUD, J.; BINDER, B.; DEPNER, J.; FABRE, D.; FACTOR, J.; INGALLS, S.; KIM, S-H.; LADNER, R.; MARKS, K.; NELSON, S.; PHARAOH, A.; TRIMMER, R.; VON ROSENBERG, J.; WALLACE, G. and WEATHERALL, P. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS. *Marine Geodesy*, v. 32, n. 4, p. 355–371, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01490410903297766>>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- BRASIL. Decreto Imperial nº 6.113, de 2 de Fevereiro de 1876. Crêa a Repartição Hydrographica. *Coleção de Leis do Império do Brasil*. 1876, p. 193.
- _____. Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. 1967a, p. 2438.
- _____. Decreto Legislativo nº 45, de 1967. Aprova a Convenção relativa à Organização

Hidrográfica Internacional, assinada em Mônaco, a 3 de maio de 1967. *Diário Oficial da União*. 1967b, p. 12072.

_____. Decreto nº 68.106, de 25 de janeiro de 1971. Manda executar a Convenção sobre a Organização Hidrográfica Internacional. *Diário Oficial da União*. 1971, p. 705.

_____. Decreto nº 92.610, de 2 de maio de 1986. Promulga o Protocolo de 1978 relativo à Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar de 1974. *Diário Oficial da União*. 1986, p. 6379.

_____. Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. 1998, p. 1–22.

_____. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. *Diário Oficial da União*. 2008.

_____. Decreto Legislativo nº 608, de 2009. Aprova o texto do Protocolo de Emendas à Convenção da Organização Hidrográfica Internacional. *Diário Oficial da União*. 2009.

_____. Decreto nº 8.400, de 4 de fevereiro de 2015. Estabelece os pontos apropriados para o traçado da Linha de Base do Brasil ao longo da costa brasileira continental e insular e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. 2015, p. 4.

BRIGGS, Ian. C. Machine Contouring using Minimum Curvature. *Geophysics*, v. 39, n. 1, p. 39–48, Feb. 1974. Disponível em: <<http://library.seg.org/doi/10.1190/1.1440410>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CABRAL, Ricardo Pereira; BAHIA, Nelson Ricardo Calmon. Uma análise dos componentes do poder marítimo brasileiro. *Revista Intellector (on-line)*, v. XIV, p. 3–19, 2017. Disponível em: <<http://www.cenegri.org.br/intellector/ojs-2.4.3/index.php/intellector/article/view/137>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio M. V. Modelagem Numérica de Terreno. In: *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, 2005. p. 1–36. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CASTELLO, Jorge Pablo; KRUG, Luiz Carlos. In: *Introdução às Ciências do Mar*. 1ª ed. 602p. Pelotas / RS. Editora de Textos, 2015.

CHIOCCI, Francesco L.; CATTANEO, Antonio; URGELES, Roger. Seafloor mapping for geohazard assessment: State of the art. *Marine Geophysical Research*, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2011.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA - CHM. *Histórico do Centro de*

Hidrografia da Marinha. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-institucionais/historico>>. Acesso em: 26 mar. 2018a.

_____. *Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO): Acesso a Dados e Produtos*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-bndo/acesso-dados-e-produtos>>. Acesso em: 27 mar. 2018b.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA - CONCAR. *Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.concar.gov.br/pdf/PlanoDeAcaoINDE.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

CONTI, Luis Américo; OLIVEIRA, Mariana Cabral de; ESTRADA, Tiago Egger Moellwald Duque Estrada; MARQUES, Antônio Carlos. Gerenciamento de dados marinhos no contexto brasileiro. *Biota Neotropical*, v. 13, n. 2, p. 21–26, 2013.

COOPER, Paul; PEPPER, Jhon; OSBORNE, Mike. *White Paper - The Hydrographic and Oceanographic Dimension to Marine Spatial Data Infrastructure Development: Developing the capacity*. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG_Misc/MSDIWG-BOK.html>. Acesso em: 15 mar 2018.

CROMPVOETS, Joep; BREGT, Arnold; RAJABIFARD, Abbas; WILLIAMSON, Ian P. Assessing the worldwide developments of national spatial data clearinghouses. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 18, n. 7, p. 665–689, 2004.

DE SILVEIRA, Thyago Almeida; PORTUGAL, Jose Luiz; DE SÁ, Lucilene Antunes Correia Marques; DE VITAL, Saulo Roberto Oliveira. Análise Estatística Espacial Aplicada a Construção de Superfícies Batimétricas. *Geociencias*, v. 33, n. 4, p. 596–615, 2014. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7318>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. *MSDI-WG National Report (BRAZIL)*. Tóquio, Japão. In: IHO-MSDIWG 2016. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG7/MSDIWG7-1.6A-National_Report-Brazil.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

_____. *NORMAM-25 rev.2*, 2017.

_____. *Norma de Acesso aos Dados e às Informações Abertos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (NAD-DHN)*. Portaria nº 13, de 19 de fevereiro de 2018, da DHN. 2018. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/nad>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO - DSG. *Norma para Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG)*. Portaria nº 08. DCT, de

10 de fevereiro de 2016. Ministério da Defesa - Exército Brasileiro - Departamento de Ciência e Tecnologia, 2016. Disponível em: <www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2>. Acesso em: 20 mar. 2018.

EUROPEAN MARINE OBSERVATION AND DATA NETWORK - EMODnet. *Guidelines for metadata, data and DTM QA/QC (version 1.7)*. 2017. 22p. Disponível em: <http://www.emodnet-bathymetry.eu/media/emodnet_bathymetry/org/documents/qa_qc_dtm_specifications_20171123.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

_____. *Geoportal*. 2018a. Disponível em: <<http://www.emodnet.eu/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

_____. *New EMODnet Bathymetry Data Product: High resolution Digital Terrain Model for the European Seas*. Press release by EMODnet Secretariat. September, 2018b. Disponível em: <<http://portal.emodnet-hydrography.eu/depth-average>>. Acesso em: 05 out. 2018.

ERIKSTAD, Lars; BAKKESTUEN, Vegar; BEKKBY, Trine; HALVORSEN, Rune. Impact of Scale and Quality of Digital Terrain Models on Predictability of Seabed Terrain Types. *Marine Geodesy*, v. 36, n. 1, p. 2–21, 2013.

FERNANDES, Rodrigo Duarte. *Formação e evolução dos bancos de areia da foz do rio Amazonas*. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. 2010.

FERREIRA, Ana E. de S. S. A Visão Moderna de Produção Cartográfica no Centro de Hidrografia da Marinha. *Anais Hidrográficos*, v. LXXI, p. 67–84, 2014.

FERREIRA, Ítalo Oliveira; RODRIGUES, Dalto Domingos; NETO, Arthur Ayres; MONTEIRO, Cristina Sameiro. Modelo de incerteza para sondadores de feixe simples. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 5, p. 863–881, 2016.

FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE - FGDC. *A strategy for the national spatial data infrastructure*. 1997. 20p. Disponível em: <www.fgdc.gov>. Acesso em: 25 mar. 2018.

FOWLER, Cind; SMITH, Brien; STEIN, David. Building a Marine Spatial Data Infrastructure to support Marine Spatial Planning in US waters. *Geographic Technologies Applied to Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Zone Management*, n. 1, p. 6, 2010.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP. *Falta de uma infraestrutura de dados espaciais limita pesquisa oceanográfica no Brasil, diz especialista*. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/print/falta_de_uma_infraestrutura_

de_dados_espaciais_limita_pesquisa_oceanografica_no_brasil_diz_especialista/15472/>.

Acesso em: 20 mar. 2018.

GABIOUX, M.; COSTA, V. S.; DE SOUZA, J.M.A.C.; OLIVEIRA, B. F.; PAIVA, A. M. Modeling the south atlantic ocean from medium to high-resolution. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, n. 2, p. 229–242, 2013.

GALVÃO, Igor L. de G. *Evolução geotectônica da elevação do rio grande com base em dados gravimétricos e magnéticos*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. 2017.

GENERAL BATHYMETRIC CHART OF THE OCEANS - GEBCO. *Gridded bathymetry data*. Disponível em: <https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/>. Acesso em: 01 de ago. 2018.

GRIFFIN, Edward; COOTE, Andy; CROMPVOETS, Joep. A marine spatial data infrastructure in New Zealand: a systematic review on the cost-benefits. *Journal of Spatial Science*, 15p. 2017. DOI: 10.1080/14498596.2017.1372227.

GUERRA, Antonio T.; GUERRA, Antonio José T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9º ed. Rio de Janeiro, Brasil.: Editora Bertrand Brasil Ltda, 2011.

HALL, Jhon K. GEBCO Red Sea Grid Underway. *Hydro International*, p. 6, 2014. Disponível em: <<http://member.hydro-international.com/articles/item/51b933836ab94d3db08a4367b8fc83e8>>. Acesso em: 15 de mar. 2018.

HUTCHINSON, M. F.; GALLANT, J. C. Representation of terrain. In: *Geographical information systems*. 1991. v. 1. p. 105–124.

INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN THE EUROPEAN COMMUNITY - INSPIRE. *Geoportal*. Disponível em: <<http://inspire.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. 1º ed. Rio de Janeiro. 2011.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC BUREAU - IHB. Chapter 1 - Principles of Hydrographic Surveying. In: *Manual on Hydrography*. 1º ed. Mônaco: IHB, 2011. v. 1.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION - IHO. *IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44)*. 5ºed. Mônaco, 2008.

_____. IHO Encourages Crowdsourced Bathymetry. *Hydro International*. October, 2014. Disponível em: <<https://www.hydro-international.com/content/article/iho-encouraging-crowdsourced-bathymetry>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

_____. *Regulations of the IHO for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO*. 4.6.0^{ed}. Mônaco. 2016.

_____. Spatial Data Infrastructures “The Marine Dimension”. *Guidance for Hydrographic Offices (C-17)*. n° 2.0, p. 1–45, 2017a.

_____. *White Paper - Realising the benefits of Spatial Data Infrastructures in the Hydrographic Community*. 2017. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG_Misc/MSDIWG-BOK.html>. Acesso em: 20 mar. 2018.

_____. *IHO-MSDIWG: Marine Spatial Data Infrastructure Working Group*. Disponível em: <https://www.iho.int/srv1/index.php?option=com_content&view=article&id=483&Itemid=370&lang=en>. Acesso em: 23 mar. 2018a.

_____. *Hydrographic Dictionary (S-32)*. Disponível em: <http://hd.iho.int/en/index.php/Main_Page>. Acesso em: 26 mar. 2018b.

_____. *Guidance on Crowdsourced Bathymetry (draft version)*. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/CSBWG/CSBWG_Misc/CSB-Guidance_Document-v3.11.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION & INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION - IHO&IOC. *The IHO-IOC GEBCO Cook Book*. 2018. IHO Publication B-11 & IOC Manuals and Guides n°63.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974/1988*. Disponível em: <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

JAKOBSSON, Martin; ALLEN, Graham; CARBOTTE, Suzanne; FALCONER, Robin; FERRINI, Vicki; MARKS, Karen; MAYER, Larry; ROVERE, Marzia; SCHMITT, Thierry; WEATHERALL, Pauline; Wigley, Rochelle. *The Nippon Foundation – GEBCO – Seabed 2030: Roadmap for Future Ocean Floor Mapping*. The NIPPON Foundation, GEBCO, IHO, UNESCO & IOC. p.44. 2017. Disponível em: <https://www.gebco.net/about_us/seabed2030_project/>. Acesso em: 15 mar. 2018.

KHALID, N. F.; DIN, A. H. M.; OMAR, K. M.; KHANAN, M. F. A.; OMAR, A. H.; HAMID, A. I. A.; PA'SUYA, M. F. *Open-source digital elevation model (DEMs) evaluation with gps and lidar data*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. *Anais...* Kuala Lumpur, Malaysia:

International Conference on Geomatic and Geospatial Technology (GGT), 2016.

KIAN, Fadaie. *A comparative study of the development of Marine Spatial Data Infrastructure (MSDI) by IHO Member Nations*. Tóquio, Japão. In: IHO-MSDIWG 2016. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG7/MSDIWG7.html>. Acesso em: 15 mar. 2018.

LACASCE, J. H. The Prevalence of Oceanic Surface Modes. *Geophysical Research Letters*, p. 1–9, 2017.

LECOURS, Vincent; DOLAN, Margaret F.J.; MICALLEF, Aaron; LUCIEER, Vanessa L. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20, n. 8, p. 3207–3244, 2016.

LEONARDI, Ivan. Quanto custa não investir em soluções geoespaciais. *Revista MundoGeo (on-line)*. 2012. p. 3-4. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2012/06/15/latitude-5>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LEPLAC - BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF SURVEY PROJECT. *Brazilian Partial Revised Submission to the Commission on the Limits of the Continental Shelf: Brazilian Southern Region (in progress)*. 2015. Directorate of Hydrography and Navigation (DHN).

LI, Jin; HEAP, Andrew D. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling and Software*, v. 53, p. 173–189, 2014.

LAND AND INFORMATION NEW ZEALAND - LINZ. *New Zealand Bathymetry Investigation*. October, 2015. p. 1-83. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz/about-linz/what-were-doing/projects/new-zealand-bathymetry-investigation>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

_____. *Geoportal*. Disponível em: <<https://www.linz.govt.nz/data/linz-data/hydrographic-data>> Acesso em: 20 ago. 2018.

LOPES, Eric Chear. *Caracterização sísmica do complexo de megadeslizamento do Chuí*. [s.l.]. Monografia final de curso. Universidade Federal Fluminense - UFF, 2017.

MACNAB, R.; VARMA, H. Bathymetry from space. *Hydro International*, v. 12, n. 1, p. 10–13, 2008. Disponível em: <<https://www.hydro-international.com/content/article/bathymetry-from-space>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MAIA, Pamella Maia; FLORENTINO, Christopher; PIMENTEL, Vitor Bravo. *Fluxo de Dados Hidrográficos para a Produção de Documentos Náuticos*. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositocarta. *Anais...* Rio de Janeiro: SBC, 2017. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/1/455.html>>.

Acesso em: 15 mar. 2018.

MALAYSIA GEOSPATIAL DATA INFRASTRUCTURE - MyGDI. *Geoportal*.

Disponível em: <<http://www.mygeoportal.gov.my/node/3159/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

MARATOS, Alexandros. The Role of Hydrographic Services with Regard to Geospatial Data and Planning Infrastructure. *International Hydrographic Review*, v. 7, n. 2, p. 51–53, 2006.

MARKS, K. M.; SMITH, W. H. F. An evaluation of publicly available global bathymetry grids. *Marine Geophysical Researches*, v. 27, n. 1, p. 19–34, 2006.

MARTA-ALMEIDA, M.; PEREIRA, J.; CIRANO, M. Development of a pilot Brazilian regional operational ocean forecast system, REMO-OOF. *Journal of Operational Oceanography*, v. 4, n. 2, p. 3–15, 2011.

MATOS, Ana Cristina Oliveira Cancoro de; BLITZKOW, Denizar; GUIMARÃES, Gabriel do Nascimento; LOBIANCO, Maria Cristina Barbosa; COSTA, Sônia Maria Alves. Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 18, n. 1, p. 101–122, 2012.

MAUNE, David F. *Digital Elevation Model (DEM) Whitepaper NRCS High Resolution Elevation Data*. Texas, USDA Natural Resources Conservation National Geospatial Management Center, 2010. Disponíveis em: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1047930.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2018.

MAYER, Larry; JAKOBSSON, Martin; ALLEN, Graham; DORSCHER, Boris; FALCONER, Robin; FERRINI, Vicki; LAMARCHE, Geoffroy; SNAITH, Helen; WEATHERALL, Pauline. The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World’s Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, v. 8, n. 2, p. 63, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-3263/8/2/63>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

MINISTRY OF NATURAL RESOURCES CANADA - NRCAN. *Canadian Geomatics Environmental Scan and Value Study*. 2015. Disponível em: <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=296426>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

_____. *GeoConnections*. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/resources/tools-applications/10790>>. Acesso em: 20 ago. de 2018.

MOHRIAK, Webster Ueipass; TORRES, Luiz Carlos. Levantamentos geofísicos para a

delimitação da margem continental brasileira. *Revista USP*, v. Abril/Maio, n. 113, p. 59–80, 2017.

MONICO, J. F. G.; DAL PÓZ, A. P.; GALO, Maurício; DOS SANTOS, Marcelo Carvalho; DE OLIVEIRA, Leonardo Castro. Acurácia e precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodesicas*, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009.

MUKHERJEE, Sandip; JOSHI, P. K.; MukherJEE, Samadrita; GHOSH, Aniruddha; GARG, R. D.; MUKHOPADHYAY, Anirban. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 21, n. 1, p. 205–217, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.004>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

NEBERT, Douglas D. *Developing Spatial Data Infrastructure: The SDI Cookbook. GSDI Cookbook*. 2ª ed. 2004. Disponível em: <www.gsdi.org>. Acesso em: 25 mar. 2018.

OLEA, Ricardo A. *A Practical Primer on Geostatistics*. U.S. Geological Survey (USGS). Reston, Virginia. p.346. 2009. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2009/1103/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM - OGC. *The OGC helps make distributed responsibility for data a good policy*, 2015. Disponível em: http://www.opengeospatial.org/domain/gov_and_sdi#responsibility. Acesso em: 30 ago. 2018.

OPEN GOVERNMENT PARTNERSHIP - OGP. *Open Government Declaration OGP Brochure*, 2016. Disponível em: <http://www.opengovpartnership.org/sites/default/files/attachments/leaflet_web.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

PAN-EUROPEAN INFRASTRUCTURE FOR OCEAN & MARINE DATA MANAGEMENT. EMODnet High Resoluition Seabad Mapping. *SeaDataNet Newsletter*, n. 11, p. 22–26, 2017. Disponível em: <<http://seadatanet.maris2.nl/newsletter.asp?v0=11#120>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PATEL, Arun; KATIYAR, S. K.; PRASAD, Vishnu. Performances evaluation of different open source DEM using Differential Global Positioning System (DGPS). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v. 19, n. 1, p. 7–16, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.004>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

PINHEIRO, Julierme G.; FLORENTINO, Christopher. *Infraestrutura de dados espaciais marinhos: uma aplicação na cartografia, hidrografia e oceanografia*. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositocarta. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade

Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2017. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/6/fullpaper/CT06-17_1506717034.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018.

QUADROS, Nathan D. What Users Want in Their Bathymetry: bathymetry users needs and challenges in Australia and New Zealand. *Hydro International*, v. 16, n. 6, 2012.

RAJABIFARD, Abbas; FEENEY, Mary-ellen; WILLIAMSON, Ian P. Directions for the Future of SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 4, p. 11–22, 2002. Disponível em: <http://www.csdila.ie.unimelb.edu.au/publication/journals/Future_Directionsfor_of_SDI_Development.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SANDWELL, David T.; SMITH, Walter H. F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 102, n. B5, p. 10039–10054, 1997. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/96JB03223>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SCHAAP, Dick. EMODNet Bathymetry - building and providing a high resolution digital bathymetry for European seas. In: CHARRIER, Reynaldo; HERVÉ, Francisco; LODOLO, Emanuele; MENICHETTI, Marco; RODRÍGUEZ, Maria Pia; TASSONE, Alejandro. *Bollettino di Geofisica: Teorica ed Applicata*, v. 57, n. October, p. 174–175, 2016.

SEADATANET. Disponível em: <<https://www.seadatanet.org/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas & SIG*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003.

ŠILJEG, A.; LOZIĆ, S.; RADOŠ, D. The effect of interpolation methods on the quality of a digital terrain model for geomorphometric analyses. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, v. 22, n. 5, p. 1149–1156, 2015. Disponível em: <http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=216659>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SOUTO, Raquel Dezidério; MENEZES, Paulo Márcio Leal de. A representação dos ambientes costeiro e marinho nas infraestruturas de dados espaciais para fins de gerenciamento costeiro. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n. 6, p. 1087–1096, 2013.

SOUZA, K. G.; MARTINS, L. R.; CAVALCANTI, V. M.; PEREIRA, C. V.; BORGES, L. F. Recursos Não-Vivos da Plataforma Continental Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes. *Gravel*, Ed. Especial, p. 86, 2009.

STAGPOOLE, Vaughan; SCHENKE, Hans; OHARA, Yasuhiko. A Name Directory for the Ocean Floor. *Eos*, v. 97, n. November 2016, p. 4–7, 2016. Disponível em:

<<https://eos.org/project-updates/a-name-directory-for-the-ocean-floor>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

STRAIN, Lisa Margerite. *An SDI Model to include the Marine Environment*. Tese (Master of Sciences) University of Melbourne, 2006.

STRAIN, Lisa Margerite; RAJABIFARD, Abbas; WILLIAMSON, Ian. Marine administration and spatial data infrastructure. *Marine Policy*, v. 30, n. 4, p. 431–441, 2006.

SZATMARI, Peter; MILANI, Edson J. Tectonic control of the oil-rich large igneous-carbonate-salt province of the South Atlantic rift. *Marine and Petroleum Geology*, v. 77, p. 567–596, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.06.004>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

TORRES, Luiz Carlos; JECK, Izabel King; ALBERONI, Ana Angélica Ligiéro; VILLENA, Hélio Heringer. *Brazilian Southern Margin : an Example of the Identification of the Base of the Slope on a Passive Continental Margin*. 2008. In: 5th Advisory Board on Law of the Sea (ABLOS) Conference. Disponível em: <https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/ABLOS/ABLOS_Conf5/Presentations/Session3-Presentation2-Torres.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2018.

TORRES, Luiz Carlos; VILLENA, Hélio Heringer. *Use of Geological, Geophysical and Geomorphological Information as support for the harmonization of the legal limits of the continental shelf between Brazil and Uruguay*. Anais del Congreso Uruguayo de Geología; *Anais...* Lavalleja (Uruguay); 12-14 May 2010. Disponível em: <https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45054877>. Acesso em: 29 jun. 2018.

TORRES, Luiz Carlos; VILLENA, Hélio Heringer; BARREIRA, Leonardo Martins; SANTOS, Denis Ignácio dos; RANGEL, Angela Alonso. *Base de dados batimétricos do Atlântico Sul*. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia; *Anais...* XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, MG. CD-Rom. 2003.

UN-OCEANS. *UN Atlas of the Oceans: Facts*. Disponível em: <<http://www.oceansatlas.org/facts/en>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

UNITED NATIONS DIVISION FOR OCEAN AFFAIRS AND LAW OF THE SEA - UNCLOS. 3rd United Nations Convention on the Law of the Sea. 1994, p. 7–208.

UNITED NATIONS - UN. *CLCS/11 - Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf*. Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. Commission on the Limits of the Continental Shelf (CLCS), 1999. Disponível em: <http://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_documents.htm>

#Statements by the Chairman of the Commission>. Acesso em: 15 mar. 2018.

WEATHERALL, Pauline; MARKS, Karen M.; JAKOBSSON, Martin; SCHMITT, Thierry; TANI, Shin; ARNDT, Jan Erik; ROVERE, Marzia; CHAYES, Dale; FERRINI, Vicki; WIGLEY, Rochelle. A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, v. 2, n. 8, p. 331–345, 1 Aug. 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/2015EA000107>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

WEATHERALL, Pauline; MARKS, Karen M.; JAKOBSSON, Martin; RICKARDS, Lesley. Global Bathymetric Data Sets - General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). In: CHARRIER, Reynaldo; HERVÉ, Francisco; LODOLO, Emanuele; MENICETTI, Marco; RODRÍGUEZ, Maria Pia; TASSONE, Alejandro. *Bollettino di Geofisica: Teorica ed Applicata*, v. 57, n. October, p. 195–196, 2016.

WILSON, John P. Digital Terrain Modeling. *Geomorphology*, v. 137, p. 107–121, 2012. Disponível em: <10.1016/j.geomorph.2011.03.012>. Acesso em: 20 mar. 2018.

WLODARCZYK-SIELICKA, Marta; STATECZNY, Andrzej. Comparison of Selected Reduction Methods of Bathymetric Data Obtained by Multibeam Echosounder. *Proceedings - 2016: Baltic Geodetic Congress (Geomatics)*, BGC Geomatics 2016, p. 73–77, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7548008/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

YANG, Chin-Shung; KAO, Szu-Pyng; LEE, Fen-Bin; HUNG, Pen-Shan. Twelve Different Interpolation Methods: a Case Study. *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, v. 35, p. 778–785, 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/231.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ZIMMERMANN, Mark; PRESCOTT, Megan. Bathymetry and Canyons of the Eastern Bering Sea Slope. *Geosciences*, v. 8, n. 5, p. 184. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-3263/8/5/184>>. Acesso em: 17 mai 2018.