

FERNANDO CARDOSO DUARTE

**LEVANTAMENTO E MODELAGEM BATIMÉTRICA EM ÁREAS
RECIFAIS NO SUL DA BAHIA**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

2015



UFRJ

Fernando Cardoso Duarte

**LEVANTAMENTO E MODELAGEM BATIMÉTRICA EM ÁREAS RECIFAIS NO
SUL DA BAHIA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane
M. Sc. Jhone Caetano de Araújo

Rio de Janeiro

Julho de 2015

DUARTE, Fernando Cardoso

Levantamento e modelagem batimétrica em áreas recifais no sul da Bahia / Fernando Cardoso Duarte - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2015.

47 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Orientadores: D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane, M. Sc. Jhone Caetano de Araújo

1. Geologia. 2. Setor de Geologia Geral – Trabalho de Conclusão de Curso. I. D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Fernando Cardoso Duarte

**LEVANTAMENTO E MODELAGEM BATIMÉTRICA EM ÁREAS RECIFAIS NO
SUL DA BAHIA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane, UFRJ
M. Sc. Jhone Caetano de Araújo, UFRJ

Aprovada em: ___/___/___

Por:

Orientador: D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane - UFRJ

D. Sc. Renato Rodriguez Cabral Ramos - Museu Nacional, UFRJ

D. Sc. Manoel do Couto Fernandes - UFRJ

UFRJ
Rio de Janeiro
2015

Dedicatórias

Ao meu irmão Henrique Cardoso Duarte por ter se tornado, apesar de mais novo, o meu maior exemplo de coragem, amizade e bondade. Por sempre lutar pelo que acredita.

Ao meu pai, Antônio Carlos Correia Duarte, por ser a pessoa mais sensata e justa que conheço.

À minha mãe, Lúcia de Fátima dos Santos Cardoso Duarte, por toda a preocupação, conselhos ignorados e todo amor e carinho incondicionais que um ser humano é capaz de oferecer.

À minha família, por todo carinho e dedicação.

Ao amigo Gabriel Ponciano, filósofo, que sempre demonstrou imenso interesse na minha área de conhecimento. Por todas as conversas sobre a vida e a natureza do ser humano.

Ao amigo Bruno Rocha por ser um grande exemplo de que, em última instância, não é o meio que faz o homem, mas o homem que transforma o meio e a si mesmo.

Ao amigo Henrique Nogueira por nunca me permitir esquecer de encarar as coisas com um pensamento simples e prático, conhecimento que eu tomo para a vida.

Ao amigo Rogério Kassick pela filosofia suja e barata da qual tiro tantas lições de vida.

Ao amigo Davi Bortolotti, companheiro de graduação, pela perpétua amizade e por Camel e Kerouac.

Agradecimentos

Agradeço orientador e amigo D.Sc. José Carlos Sícoli Seoane pela instrução, apoio e paciência durante a realização deste trabalho.

Ao orientador e amigo Jhone Caetano de Araújo por todo apoio e orientação, mesmo durante as etapas finais do seu trabalho de mestrado.

Aos amigos Ian Fortes e Beatriz Sabino, participantes do projeto, pelo trabalho em equipe e pela companhia no campo e na rocha.

Ao projeto Coral Vivo, patrocinado pelo programa Petrobras Ambiental, pela oportunidade e por todo o suporte proporcionados.

A todos os professores do Departamento de Geologia da UFRJ pela incrível missão que é a difusão do conhecimento geológico.

“I was surprised, as always, by how easy the act of leaving was, and how good it felt.
The world was suddenly rich with possibility.”
-Jack Kerouac.

Resumo

DUARTE, Fernando C. **Levantamento e modelagem batimétrica em áreas recifais no sul da Bahia**. 2015. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente trabalho tem como foco a utilização da ferramenta ESRI ArcGIS 10.0 aplicada na modelagem batimétrica de áreas recifais localizadas no sul do estado da Bahia, através da utilização de métodos de aquisição batimétrica de baixo custo.

Tem como objetivo final criar um mapa base para as atividades do projeto Coral Vivo, a ser aplicado no plano de manejo das áreas de proteção ambiental, tanto para uso direto (morfologia, profundidade, etc) como para servir de mapa base nas inúmeras atividades realizadas pelo projeto.

O custo médio do levantamento foi de aproximadamente R\$ 500 – 650 por dia, o que representa menos de 1/10 dos custos associados aos métodos tradicionalmente utilizados em levantamentos batimétricos, e menos ainda quando comparado com o método de imageamento LIDAR (*Laser Scanning*).

Para a etapa de levantamento dos dados foram necessárias 33 saídas de campo, com um total de 3.020.638 medições de profundidade.

São apresentadas algumas alternativas de métodos de interpolação para a geração de um modelo batimétrico, sobressaindo-se os métodos *Radial Basis Function*, presente na ferramenta *Geostatistical Wizard*, e *Topo to Raster*, presente na ferramenta *Spatial Analyst tools*.

O método *Radial Basis Function* permite ao modelador um maior controle dos dados de entrada, possibilitando a reprodução de anisotropias observadas durante o levantamento de campo, assim como a redução do erro no modelo final. Enquanto o método *Topo to Raster*, embora não permita tanto controle sobre os dados de entrada, é uma alternativa rápida, fácil de se utilizar, e gerou um modelo com alto grau de confiabilidade. Desta forma, foram gerados modelos batimétricos para a área com consideráveis melhorias na margem de erro amostral.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Batimetria; Geoestatística.

Abstract

DUARTE, Fernando C. **Bathymetric Survey and modeling of coral reefs, South of Bahia, Brazil**. 2015. Final Project of the Geology course – Geology Department, Geosciences Institute, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The study focuses on the use of the software ESRI ArcGis 10.0 applied in the bathymetric modeling of coral reef areas situated in the south of the state of Bahia, Brazil. Associated with low cost bathymetric acquisition methods.

The main objective of this work is to generate a base map for the activities of the project, for the usage on the management planning of the MPA, both through the direct use of the information (morphology, depth, etc.) and as a base map for all the scientific studies realized by the project.

The average costs of our survey were estimated to be around R\$ 500 – 650 a day, which represents less than a 1/10 of the costs for traditional survey methods, even less when compared to LIDAR Imaging.

For the collection of this project's bathymetric data, there were needed 33 days of fieldwork, with a total of 3.020.638 depth readings.

There were presented some alternatives, when it comes to interpolation methods, to generate a bathymetric model, from which stood out the *Radial basis function* method, inside the *Geostatistical Wizard tool*, and *Topo to Raster* method, inside *Spatial Analyst tools*.

The *Radial Basis Function* method allows a greater control of the input data, enabling the reproduction of anisotropies identified during the fieldwork activities, along with the reduction of the consequent error in the final model. While the *Topo to Raster* method does not allow such control over the data, it is a fast and easy-to-do alternative, generating a model with a considerable degree of reliableness. Thus, there were generated new bathymetric models for the area, with considerable improvements in the margin of sampling error.

Keywords: Geoprocessing; Bathymetry; Geostatistics.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – A e B: Localização regional da área de estudo; C: Imagem do Google Earth Ilustrando a área.	15
Figura 2 – Imagem da área de estudo adquirida do satélite World View II e tratada para ressaltar os recifes submersos. Em vermelho destaca-se a região onde ocorreu o levantamento dos dados. Em preto, os dois maiores recifes da região.	16
Figura 3 – Lancha Iamany (22 pés) utilizada nos levantamentos batimétricos.	20
Figura 4 – Display do aparelho SIMRAD NSS7, montado na lancha Iamany, destaque para a divisão da tela em duas partes: à esquerda encontram-se as linhas de aquisição importadas no aparelho, por cima das quais o condutor guia a embarcação durante a aquisição de dados. À direita, a imagem do recurso StrataScan, adquirida em tempo real, mostrando feições texturais do fundo, assim como a profundidade local.	20
Figura 5 – Linhas sobre as quais foi realizado o levantamento batimétrico, idealizadas antes das saídas de campo e, posteriormente, importadas no aparelho SIMRAD NSS7, acoplado à embarcação.	21
Figura 6 – Calado da lancha Iamany ao passar sobre uma região recifal rasa.	21
Figura 7 – Captura de tela do <i>Software</i> Microsoft Excel demonstrando a execução do comando <i>Fill Series</i>	23
Figura 8 – Captura de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 demonstrando o painel de propriedades da tabela de pontos importada, com intervalos de classe a cada 0,5 metros classificados segundo uma escala de cores gradiente.	24
Figura 9 – Capturas de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 demonstrando a malha de pontos antes (A) e depois (B) de classificada. A imagem do satélite World View II, tratada para destacar os recifes submersos, serve como pano de fundo para a visualização dos dados.	24
Figura 10 – Capturas de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 mostrando em detalhe o recife da Coroa Alta. Sobreposta, a malha de pontos classificada antes (A) e depois (B) da triagem. As setas brancas indicam as linhas retiradas no processo.	25
Figura 11 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado através do método <i>Inverse Distance Weighting</i> na área correspondente ao recife do Araripe.	27
Figura 12 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado através do método <i>Topo to Raster</i> na área correspondente ao recife do Araripe.	28
Figura 13 – Captura de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 exemplificando a ferramenta <i>Geostatistical Wizard</i>	29
Figura 14 – Captura de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 demonstrando o critério de divisão da área em quatro setores interseccionados nos limites.	30
Figura 15 – Capturas de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 demonstrando o critério de divisão dos setores Araripe (A) e Coroa Alta (B) em quadrantes interseccionados.	30
Figura 16 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método <i>Inverse Distance Wheighting</i> . Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.	31
Figura 17 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método <i>Topo to Raster</i> . Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.	32
Figura 18 – Gráfico ilustrando o erro da modelagem. Erro médio de 0.26m, a maior parte dos valores encontra-se com erro inferior a 0.30m (0.26m).	33
Figura 19 – Captura de tela do <i>Software</i> ArcMap 10.0 demonstrando as modelagens feitas utilizando-se o método <i>Radial Basis Funcionts</i> , da extensão <i>Geostatistical Wizard</i> . A) Setor Sul; B) Setor Araripe; C) Setor Muque e D) Setor Coroa Alta.	34

Figura 20 – Captura de tela do <i>Software ArcMap 10.0</i> demonstrando o processo de exportação dos modelos batimétricos setorizados para um novo raster unificado. Os parâmetros utilizados foram o tipo de pixel <i>32_BIT_FLOAT</i> e o método de sobreposição (<i>mosaic operator</i>) foi Blend.	34
Figura 21 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método <i>Radial Basis Funcions</i> após o mosaico dos setores. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.	35
Figura 22 – Captura de tela do <i>Software ArcMap 10.0</i> exemplificando a operação de subtração de dois Rasters.	36
Figura 23 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações <i>Radial Basis Funcion</i> e <i>Topo to Raster</i> . Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação RBF, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.	37
Figura 24 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações <i>Radial Basis Funcion</i> e <i>Inverse Distance Wheighted</i> . Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação RBF, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.....	38
Figura 25 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações <i>Topo to Raster</i> e <i>Inverse Distance Wheighted</i> . Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação TTR, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.	39
Figura 26 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método <i>Topo to Raster</i>	40
Figura 27 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método <i>Radial Basis Funcion</i>	40
Figura 28 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método <i>Inverse distance wheighted</i>	41
Figura 29 – Comparação entre as superfícies geradas através dos métodos RBF (A) e TTR (B). Os círculos brancos destacam locais onde ficam claras as diferenças na suavização das superfícies.	42
Figura 30 – Comparação entre as superfícies geradas através dos métodos RBF (A) e TTR (B). As elipses brancas destacam locais onde ficam claras as diferenças na suavização das superfícies.	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Esforço total de campo.	19
--	----

SUMÁRIO

Dedicatórias	iv
Agradecimentos.....	vi
Resumo	viii
Abstract.....	ix
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 LOCALIZAÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivos Gerais	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
2. CARACTERIZAÇÃO	18
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 ETAPA DE CAMPO	19
3.2 PREPARAÇÃO E CARREGAMENTO DOS DADOS	23
3.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS	24
3.3.1 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO	26
3.3.1.1 <i>Spatial Analyst Tools, Inverse Distance Weighted</i>	26
3.3.1.2 <i>Spatial Analyst Tools, Topo to Raster</i>	27
3.3.1.3 <i>Geostatistical Wizard, Radial Basis Funcion</i>	28
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	31
4.1 SPATIAL ANALYST TOOLS.....	31
4.2 GEOSTATISTICAL WIZARD	33
4.3 COMPARANDO OS MODELOS.....	36
4.4 SUPERFÍCIES 3D	40
5. CONCLUSÕES.....	44
BIBLIOGRAFIA	45
WEBGRAFIA	46
APÊNDICE	47
LOW-COST BATHYMETRIC SURVEY FOR MARINE PROTECTED AREAS: CORAL REEFS AND COASTAL ISLANDS.	47

1. INTRODUÇÃO

Os recifes de coral estão entre os mais diversos e complexos ecossistemas do planeta. É o sistema marinho de maior biodiversidade, servindo de ambiente para uma grande variedade de peixes, crustáceos, equinodermos e outros invertebrados.

Têm extrema importância econômica e ambiental para o ser humano. Tanto em setores industriais, principalmente a indústria farmacêutica, quanto para pesca e turismo, por serem grandes criadouros e locais de desova e estoque de peixes, onde é possível a prática de inúmeras atividades aquáticas como o mergulho.

Ocorrem em regiões de mares tropicais, preferencialmente em águas rasas, com profundidade ideal em torno de 25m, e não ultrapassando 70m. Onde a boa iluminação, associada às águas quentes, 33 - 34°C, e com pouca variação de temperatura, formam o ambiente perfeito para o desenvolvimento dos corais (GUILCHER 1988 *apud* Henriques 2008).

Os recifes brasileiros correspondem a única ocorrência deste tipo de sistema no atlântico sul, espalhando-se por todo litoral nordeste do país, desde a costa do Maranhão até o extremo sul da Bahia, onde encontram-se os maiores e mais ricos exemplares (Fonte: www.coralvivo.org.br).

O projeto Coral Vivo, ao qual este trabalho está vinculado, vem sendo desenvolvido com o patrocínio do programa Petrobras Ambiental desde 2007 e atua integrando ações de conservação e utilização sustentável de recifes de coral brasileiros, em caráter social, de educação ambiental e desenvolvimento tecnológico-científico, além da capacitação de agentes multiplicadores em suas linhas de ação. Seus principais objetivos são o mapeamento físico e biológico de espécies de corais na costa brasileira, tendo atuado até então na região do Arraial d'Ajuda Eco Parque, situado na Bahia, entre o parque marinho de Recife de Fora, em Porto Seguro, e o Parque Marinho da Coroa Alta, em Santa Cruz Cabrália e na região da cidade de Búzios, no Rio de Janeiro. Os estudos envolvem análises sedimentológicas, granulométricas e análises de foraminíferos, além do mapeamento batimétrico, cálculo de percentual de carbonatos e caracterização ambiental dos recifes estudados.

O complexo recifal do parque municipal marinho da Coroa Alta, onde ocorre o presente estudo, situa-se a aproximadamente 9km a nordeste do município de Santa Cruz Cabrália, no sul da Bahia, e possui uma área de aproximadamente 61,5 km². Compreende os recifes da Coroa Alta, Araripe e algumas formações menores e é amplamente explorado pela população das cidades próximas de forma turística e exploratória pesqueira.

Existem inúmeros métodos estatísticos com aplicações em modelagens batimétricas, alguns indicados em casos onde a malha de pontos adquirida ocorre igualmente espaçada e outros em amostragens irregulares. A utilização de diferentes métodos em uma mesma amostragem gera superfícies distintas, onde estas diferenças podem ser muito ou pouco notáveis, dependendo dos métodos selecionados e dos parâmetros estipulados para estes.

O presente trabalho trata da comparação entre três métodos geoestatísticos para a geração do Modelo Digital de Elevação da área de estudo, são eles: *Radial Basis Function* (RBF), *Topo to Raster* (TTR) e *Inverse distance weighted* (IDW). Tais modelos serão utilizados como mapas base no auxílio às outras áreas de pesquisa do projeto Coral Vivo.

O custo médio do levantamento foi de aproximadamente R\$ 500 – 650 por dia, representando menos de 1/10 dos custos associados aos métodos tradicionalmente utilizados em levantamentos batimétricos (ARAÚJO et al.,2015).

1.1 Localização

Situado a nordeste do distrito de Santo André, no município de Santa Cruz Cabrália, Bahia, o Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA) foi criado em 1998. Tem uma área aproximada de 61,5 km², sendo aproximadamente 15,7 km x 3,9 km, com sua maior extensão paralela a linha da costa, entre as latitudes 16°08'45''S e 16°17'15''S. O acesso se dá primeiramente por via terrestre, até a cidade de Santo André, pela rodovia BR-367, onde deve-se tomar uma embarcação, ao longo dos aproximadamente 5km que separam o parque do litoral (Figuras 1 e 2).

A área de estudo compreende a região que engloba dos pequenos recifes ao sul do recife da Coroa Alta até o Recife do Araripe, no extremo norte da área

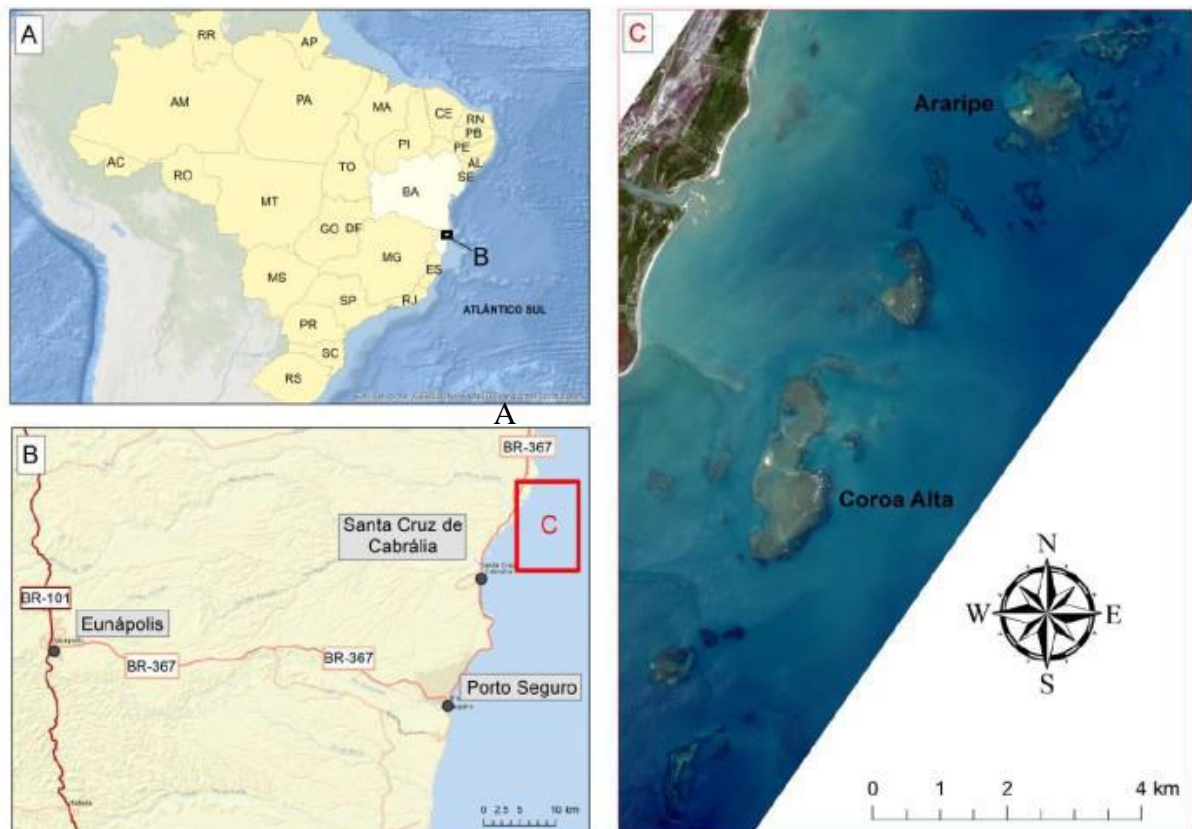


Figura 1 – A e B: Localização regional da área de estudo; C: Imagem do satélite World View II tratada para ressaltar os recifes submersos (ARAÚJO et al.,2015).

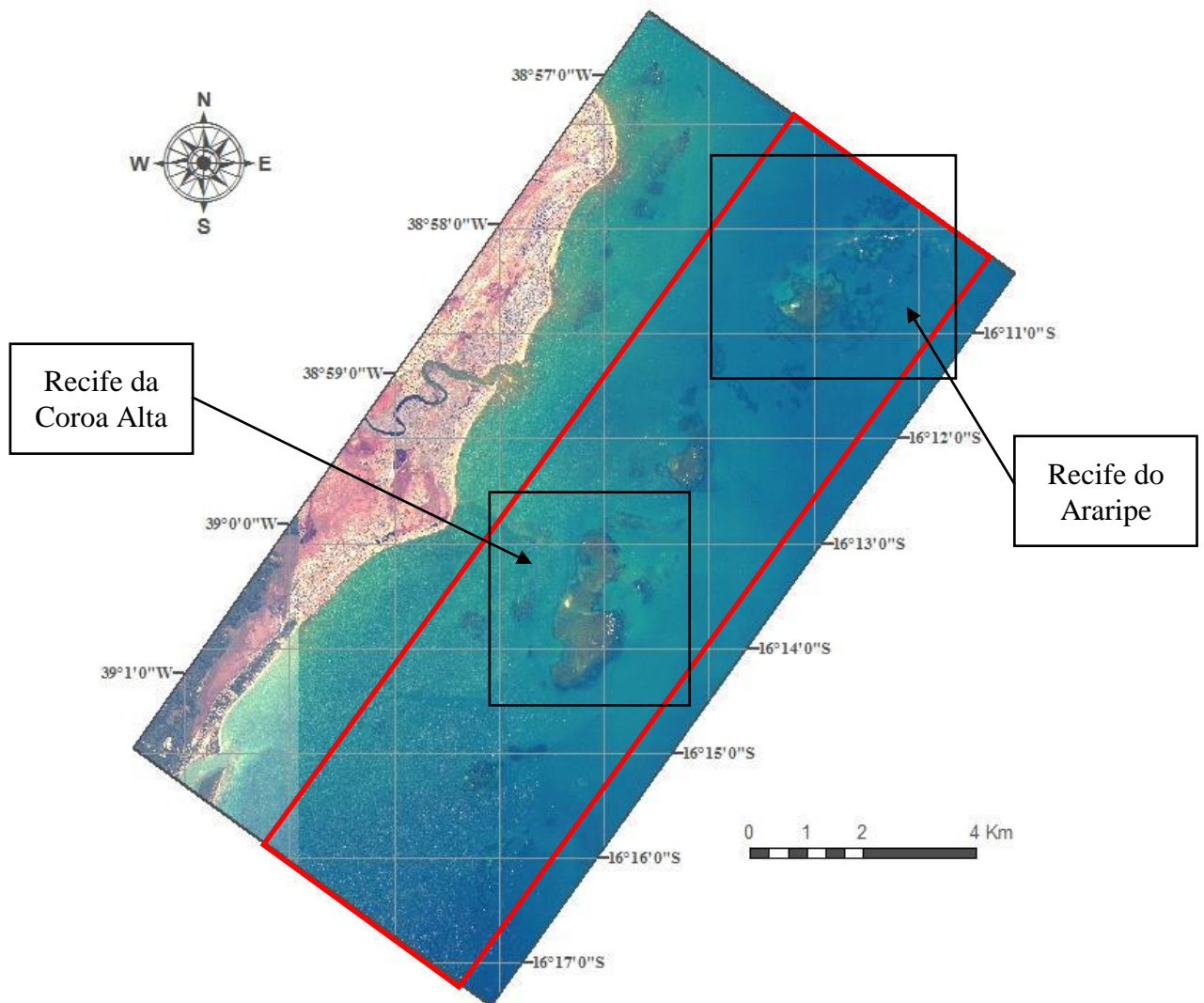


Figura 2 – Imagem da área de estudo adquirida do satélite World View II e tratada para ressaltar os recifes submersos. Em vermelho destaca-se a região onde ocorreu o levantamento dos dados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Buscou-se, através da comparação entre modelos de interpolação encontrados na suíte ESRI ArcGIS 10.0, a geração de um modelo digital de elevação (DEM) que melhor atendesse às necessidades do projeto, a fim de auxiliar os profissionais de outras áreas em sua pesquisa, visando melhorar a confiabilidade das informações de relevo e morfologia do fundo marinho na área.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Ampliar a precisão das medidas ao longo das linhas de aquisição, através da opção “All Soundings”, do equipamento de aquisição Simrad;
- Gerar o mapa batimétrico da região de estudo visando alcançar a menor margem de erro possível;
- Confirmar a viabilidade das novas técnicas de levantamento batimétrico de baixo custo utilizadas no projeto.

2. CARACTERIZAÇÃO

Do ponto de vista geomorfológico, os recifes de coral são estruturas rochosas, rígidas, resistentes à ação mecânica das ondas e correntes marinhas, formadas por corais e outros organismos marinhos portadores de esqueletos calcários (LEÃO, 1994; CASTRO, 1997).

Biologicamente, recifes de coral são formados a partir da ação de comunidades de organismos genericamente denominados Corais. A estruturação básica dos recifes biogênicos se dá a partir do acúmulo dos esqueletos calcários destes animais, porém para a sua formação é necessária uma atuação em conjunto de uma grande quantidade destes seres além de um ambiente favorável.

Os corais formam-se através da atividade de animais marinhos pertencentes ao grupo dos cnidários, juntamente com os corais-de-fogo, anêmonas e águas-vivas. São seres invertebrados possuidores de um exoesqueleto (pólipo) em forma de saco, funcional tanto para fixação no substrato marinho quanto para a proteção do animal. Possui apenas uma cavidade interna, chamada de boca, preenchida por tentáculos com a função de ingestão e eliminação de alimentos e excrementos. Alguns corais possuem substâncias urticantes e/ou paralisantes nos tentáculos, que servem para captura de presas e defesa do animal.

Em algumas regiões recifais, inclusive no Brasil, o crescimento de outros organismos, como algas calcáreas, pode assumir um papel de maior relevância no desenvolvimento dos recifes que o dos próprios corais (KIKUCHI & LEÃO, 1997).

Apesar de possuírem restrito número de espécies, os recifes de coral brasileiros têm uma grande importância biológica pois aqui ocorrem cinco espécies endêmicas, uma delas tendo distribuição restrita apenas ao litoral da Bahia. Em outras regiões do globo, algumas espécies de coral presentes aqui são encontradas apenas fossilizadas, levando muitos pesquisadores a considerarem estas espécies como relíquias biológicas sobreviventes até os dias de hoje. No litoral sul do estado da Bahia localizam-se os maiores e mais ricos recifes de coral da costa brasileira, devido as excelentes condições de temperatura, salinidade e profundidade das águas na região. Além de apresentarem a ocorrência de uma formação coralínea única no mundo, os Chapeirões, que são colunas recifais isoladas desenvolvendo-se em formato de cogumelo, com uma base estreita e o corpo expandindo-se lateralmente (Fonte: www.coralvivo.org.br).

3. METODOLOGIA

3.1 Etapa de campo

O levantamento batimétrico realizou-se ao longo dos meses de junho, novembro e dezembro de 2014 e abril de 2015, totalizando 33 saídas de campo para aquisição de dados (Tabela 01). Foram mapeados aproximadamente 61,5 Km², totalizando 3.020.638 medidas de profundidade ao longo das linhas de aquisição.

Tabela 1 – Esforço total de campo.

Mês	Dia	Linhas	Horário Maré alta	Maré máxima (m)	Início da aquisição	Fim da aquisição	Esforço de campo (h)	Nº de medições
Junho/14	13	4	16:00	2.2	14:32	17:13	2:41:00	85562
Junho/14	14	4	16:45	2.1	14:46	17:47	3:01:00	201218
Junho/14	16	6	5:36	2.1	5:56	7:27	1:31:00	130787
Junho/14	19	2	8:24	1.8	8:50	10:14	1:24:00	4989
Junho/14	20	6	9:34	1.8	9:35	13:32	3:57:00	129429
Junho/14	21	6	10:39	1.8	9:30	12:36	3:06:00	132591
Junho/14	23	12	12:36	1.8	10:51	14:00	3:09:00	99892
Junho/14	24	7	13:26	1.8	12:16	14:54	2:38:00	101351
Junho/14	25	4	14:13	1.9	12:26	15:20	2:54:00	2002
Junho/14	26	3	15:00	1.9	11:21	12:38	1:17:00	67111
Novembro/14	18	14	12:56	1.7	12:30	16:28	3:58:00	127780
Novembro/14	19	6	13:36	1.8	10:43	17:33	6:50:00	127833
Novembro/14	20	7	14:09	1.9	13:46	18:21	4:35:00	138224
Novembro/14	21	1	14:51	2	14:19	18:49	4:30:00	24268
Dezembro/14	13	17	7:41	1.5	6:59	11:03	4:04:00	128791
Dezembro/14	14	10	9:02	1.4	8:18	12:40	4:22:00	129473
Dezembro/14	15	4	10:23	1.5	11:33	14:05	2:32:00	81439
Dezembro/14	16	6	11:21	1.5	10:45	14:30	3:45:00	119662
Dezembro/14	17	5	12:09	1.6	11:37	14:56	3:19:00	104575
Dezembro/14	18	8	12:58	1.8	12:24	15:17	2:53:00	93524
Dezembro/14	19	10	13:41	1.9	13:51	15:12	1:21:00	84464
Dezembro/14	20	4	14:23	2	14:16	15:53	1:37:00	74639
Dezembro/14	21	5	15:04	2.1	16:12	17:06	0:54:00	25611
Abril/15	4	6	15:20	2	12:53	16:53	4:00:00	114024
Abril/15	5	6	16:21	2.1	13:46	14:55	1:09:00	86024
Abril/15	6	4	16:25	1.9	14:14	16:50	2:36:00	42936
Abril/15	7	4	5:02	2	5:24	6:17	0:53:00	26263
Abril/15	9	7	18:43	1.7	15:02	18:11	3:09:00	92605
Abril/15	11	8	7:35	1.5	6:22	9:20	2:58:00	81366
Abril/15	12	7	9:00	1.4	8:33	11:00	2:27:00	128776
Abril/15	13	10	10:30	1.5	9:50	14:04	4:14:00	140212
Abril/15	14	6	11:45	1.9	10:00	13:04	3:04:00	75326
Abril/15	15	5	12:40	1.9	12:13	12:57	0:44:00	17891
Total							95:32:00	3020638

O trabalho foi realizado a bordo da lancha Iamany, de 22 pés de comprimento (Figura 3). Para a aquisição dos dados foi utilizado um ecobatímetro acoplado com GPS da marca SIMRAD, modelo NSS7 Chartplotter, montado na lancha (Figura 4).



Figura 3 – Lancha Iamany (22 pés) utilizada nos levantamentos batimétricos.



Figura 4 – Display do aparelho SIMRAD NSS7, montado na lancha Iamany, destaque para a divisão da tela em duas partes: à esquerda encontram-se as linhas de aquisição importadas no aparelho, por cima das quais o condutor guia a embarcação durante a aquisição de dados. À direita, a imagem do recurso StrataScan, adquirida em tempo real, mostrando feições texturais do fundo, assim como a profundidade local.

Foram percorridos em torno de 800 km de linhas de levantamento, cada uma com aproximadamente 4,8 km de comprimento, espaçadas 100 m das adjacentes e orientadas de Oeste para Leste, sentido ortogonal ao maior eixo dos recifes maiores (Figura 5).

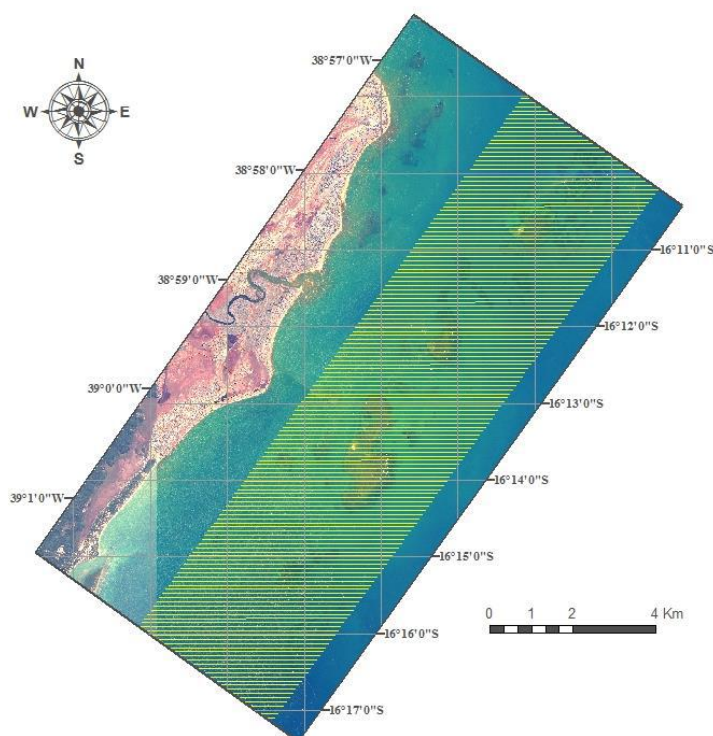


Figura 5 – Linhas sobre as quais foi realizado o levantamento batimétrico, idealizadas antes das saídas de campo e, posteriormente, importadas no aparelho SIMRAD NSS7, acoplado à embarcação.

Importantes fatores limitantes para a aquisição dos dados foram o bom tempo e as condições de maré, pois o trabalho só pôde ser executado quando havia boa navegabilidade e durante as marés mais altas, já que os topos dos recifes encontram-se expostos durante os períodos de maré baixa. Mesmo nas condições ideais de maré e navegabilidade encontrou-se grande dificuldade para atravessar as regiões mais rasas, onde a profundidade mínima medida foi de 40 cm, com a lancha possuindo uma profundidade de cala de 30 cm (Figura 6).

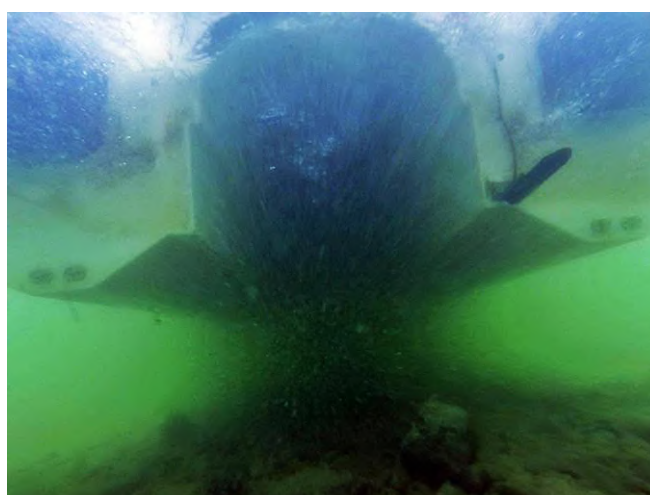


Figura 6 – Calado da lancha Iamany ao passar sobre uma região recifal rasa.

As linhas de aquisição a serem percorridas foram previamente idealizadas no *software* ArcGIS 10.0 (Figura 5) e, posteriormente, importadas no *ecosounder* acoplado à lancha. Uma vez importadas, elas são discriminadas no *display* do aparelho (Figura 4), cabendo ao condutor da embarcação apenas guiá-la exatamente em cima da linha demarcada a uma velocidade de aproximadamente 4 nós por hora.

A ecossonda SIMRAD NSS7 Chartplotter trabalha com dois feixes de ondas sonoras de diferentes frequências, 50 e 200 MHz (SIMRAD NSS Evo2 operator's quickstart guide, pag. 06). Como padrão, a 15 m de profundidade o feixe de 50MHz gera um cone com 40° de abertura e, conseqüentemente, uma área de cobertura de 10 m, enquanto o de 200 Mhz gera um cone com 10° de abertura e cobre uma área de 3 m. A eficiência do equipamento está sujeita à salinidade do ambiente, tipo de fundo e, principalmente, à agitação do mar. Para o trabalho, foi utilizado o feixe de 50 Mhz por ser o mais indicado em locais de pouca profundidade devido à maior área de cobertura.

Os dados foram importados para o computador através do *software* Sonar TRX Pro, da empresa *Leraand Engineering Inc.*, utilizando-se a função "AllSoundings" do programa, que transfere as medidas de profundidade com um espaçamento temporal de aproximadamente um segundo entre cada uma, o que gerou uma malha de dados com um espaçamento médio de 20 cm entre uma medida e outra, resultando em uma extraordinária precisão de dados ao longo das linhas de aquisição. O processamento dos dados foi feito através dos módulos da suíte ArcGIS 10.0 – ArcMap, ArcScene, ArcCatalog..

3.2 Preparação e carregamento dos dados

Os dados levantados pelo GPS acoplado a ecossonda foram incluídos em uma planilha Excel a fim de corrigir as informações. Foram feitas correções referentes à profundidade do calado da embarcação e à variação de marés.

O calado da lancha possui uma profundidade de 30 cm, então foi adicionado este valor às medições de todos os pontos.

Para corrigir a profundidade em função da variação de marés, foi utilizada a Tábua de marés disponível no *website* da Marinha do Brasil (<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>), referente ao porto de Ilhéus, por ser a localidade mais próxima da área de estudo. O cálculo da variação foi executado no *software* Microsoft Excel, a partir dos valores máximos e mínimos diários, utilizando-se a função *Fill Series*, ajustada para o modo *Trend*, que completa células em branco com valores proporcionais de acordo com a quantidade de células entre o primeiro e último valores (Figura 7).

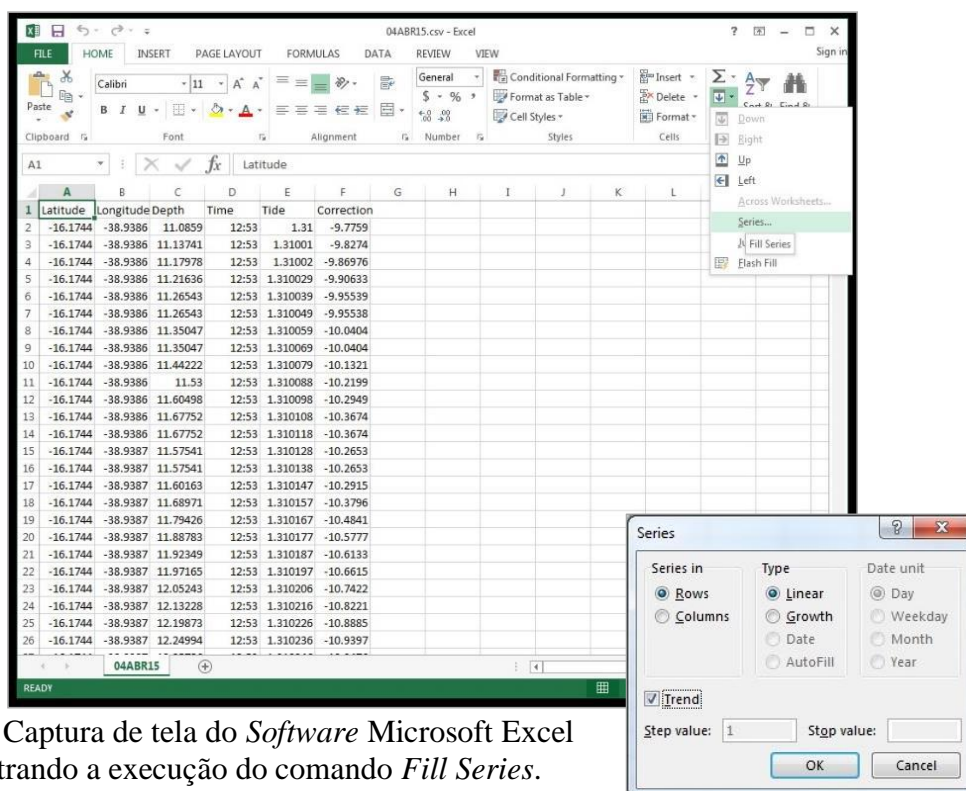


Figura 7 – Captura de tela do *Software* Microsoft Excel demonstrando a execução do comando *Fill Series*.

Após a correção dos dados foi gerada uma tabela de pontos final para a importação no *software* ArcMap 10.0 contendo os dados de latitude, longitude, profundidade, hora, variação de marés e a correção de marés.

3.3 Ferramentas utilizadas

Com a tabela de pontos importada no *software* ArcMap 10.0, foi estipulada uma classificação em relação aos valores de profundidade, com intervalos de classe a cada 0,5 m. Depois, aos intervalos de classe, foi atribuída uma escala de cores, a fim de se obter uma ideia inicial da distribuição de profundidade (Figuras 8 e 9).

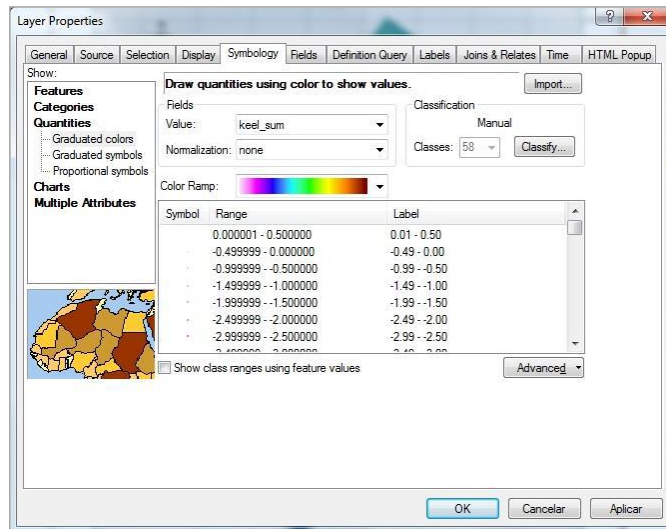


Figura 8 – Captura de tela do *Software* ArcMap 10.0 demonstrando o painel de propriedades da tabela de pontos importada, com intervalos de classe a cada 0,5 m classificados segundo uma escala de cores gradiente.

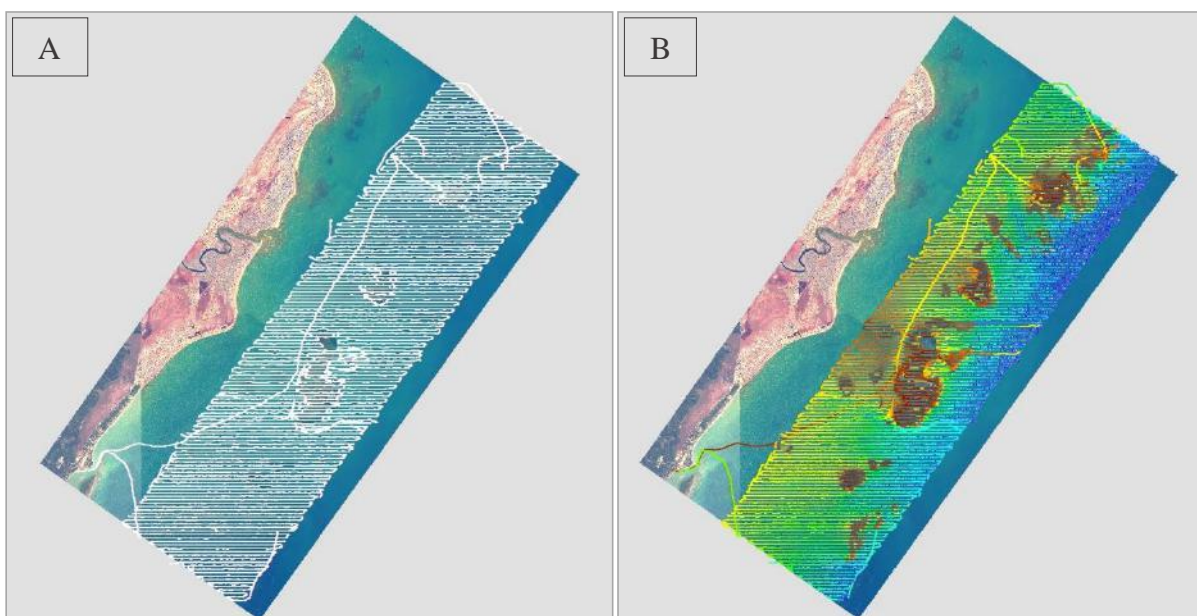


Figura 9 – Capturas de tela do *software* ArcMap 10.0 demonstrando a malha de pontos antes (A) e depois (B) de classificada. A imagem do satélite World View II, tratada para destacar os recifes submersos, serve como pano de fundo para a visualização dos dados.

Após importação e classificação, a malha de pontos passou por um controle de qualidade manual, a fim de eliminar leituras erradas do modelo (Figura 10). A ocorrência de erros de leitura do ecobatímetro é comum e ocorre quando há deslocamento muito rápido entre uma área e outra e, em alguns casos, quando as condições de ondulação do mar estão muito irregulares e o barco passa sobre uma área muito rasa.

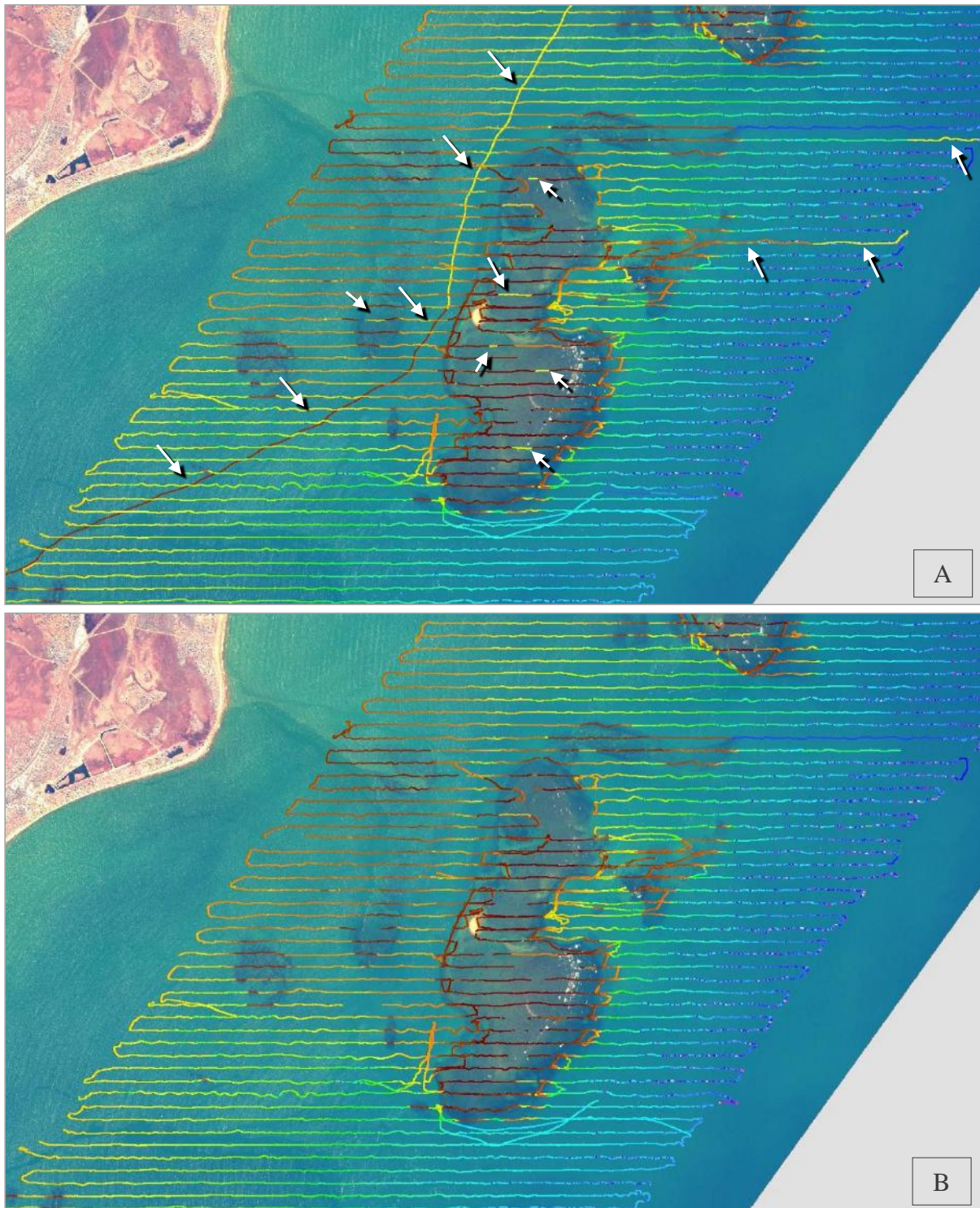


Figura 10 – Capturas de tela do *Software* ArcMap 10.0 mostrando em detalhe o recife da Coroa Alta. Sobreposta, a malha de pontos classificada antes (A) e depois (B) da triagem. As setas brancas indicam as linhas retiradas no processo.

3.3.1 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

Interpolações são métodos estatísticos utilizados para estimar valores de células vazias, ou seja, onde não há amostragens (Childs, 2004). Baseia-se no princípio da correlação espacial, ou dependência espacial, neste postula-se que objetos próximos espacialmente mantêm uma relação de semelhança mais provável que objetos distantes, desta forma é possível estimar os valores presentes em regiões não amostradas com certo grau de precisão.

As técnicas de interpolação podem ser divididas em dois grupos: determinísticas e geoestatísticas.

Técnicas determinísticas geram superfícies a partir dos valores reais dos pontos medidos, podendo ser em função de medidas de similaridade, como o método *Inverse Distance Weighted* (IDW), ou do grau de suavização como o método *Radial Basis Function* (RBF). Já as técnicas geoestatísticas utilizam-se das propriedades estatísticas dos pontos medidos para quantificar a correlação espacial entre os pontos e predizer as células vazias, como é o caso do método de Krigagem.

Há inúmeros métodos de interpolação, desenvolvidos para aplicação em diferentes contextos. Alguns funcionam melhor com malhas de pontos igualmente espaçados, enquanto outros têm melhor desempenho em amostragens irregulares.

A aplicação de métodos de interpolação diferentes para uma mesma malha de pontos amostrados gera superfícies distintas. Estas diferenças podem ser muito ou pouco notáveis, dependendo dos métodos selecionados para o trabalho. A escolha de um método de interpolação depende do tipo de amostragem, dos objetivos de utilização da superfície gerada e da experiência do modelador.

Para os modelos deste trabalho, optou-se pela utilização de três métodos de interpolação: *Inverse Distance Weighted* (IDW), *Topo to Raster* e *Radial Basis Function* (RBF). Os dois primeiros pertencentes a ferramenta *Interpolation* do módulo *Spatial analyst tools do ArcMap 10.0*, e a terceira encontrada na extensão *GeoStatistical Wizard* do programa. A resolução espacial dos modelos resultantes foi de 14 m por pixel.

3.3.1.1 *Spatial Analyst Tools, Inverse Distance Wheighted*

Inverse Distance Weighted é um método determinístico utilizado nos casos onde a malha de pontos é densa o suficiente para cobrir toda a extensão do local amostrado. Assume que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância, assim os valores medidos próximos à célula vazia possuem uma maior influência no cálculo do valor desta que pontos mais afastados. O resultado da interpolação também não apresenta os reais valores medidos para a profundidade nas células amostradas e sim uma média ponderada destes em relação à distância, gerando uma superfície mais suavizada.

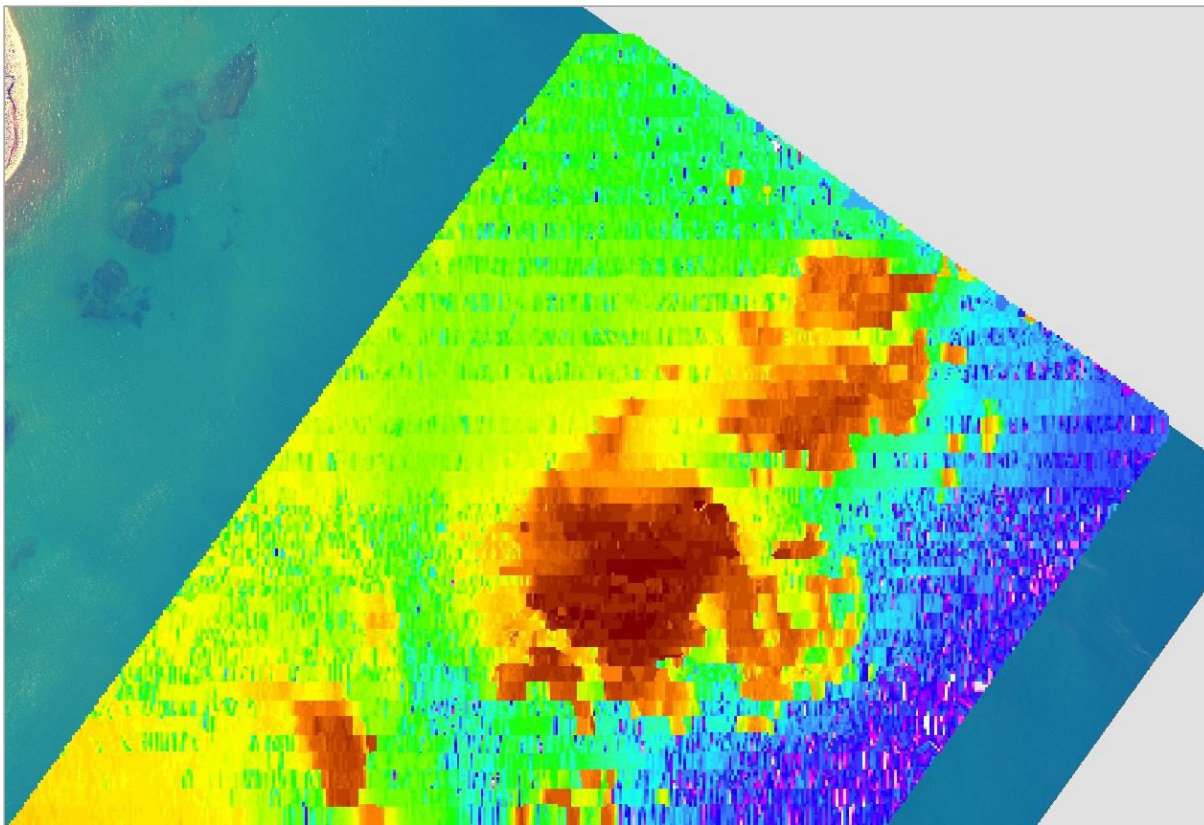


Figura 11 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado através do método *Inverse Distance Weighting* na área correspondente ao recife do Araripe.

3.3.1.2 *Spatial Analyst Tools, Topo to Raster*

Topo to Raster é um método de interpolação determinístico projetado para a geração de superfícies hidrologicamente corretas com a principal aplicação em modelos de movimentos de massa. Baseia-se no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989). A versão do ANUDEM utilizada no módulo *Interpolation* da suíte ArcGIS 10.0 é a 4.6.3. O método impõe *restrições*, que podem ser estruturas, pontos, linhas, polígonos, bordas ou máscaras, para a geração do modelo digital de elevação. Gerando uma superfície hidrologicamente correta, ou seja, contendo estruturas de drenagem e a representação precisa dos cumes e fundos de vale mapeados na área estudada. O que significa que a superfície do modelo gerado contém os valores precisos dos dados coletados.

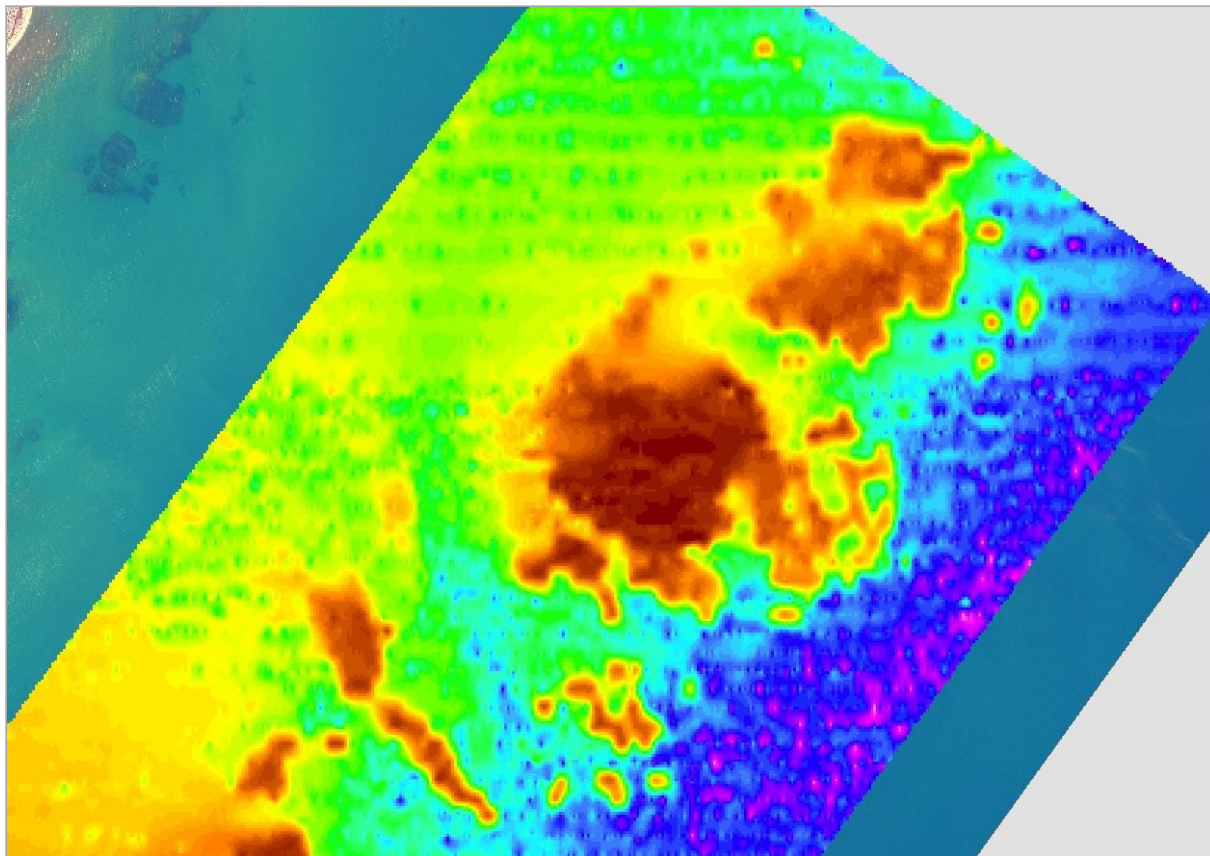


Figura 12 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado através do método *Topo to Raster* na área correspondente ao recife do Araripe.

3.3.1.3 *Geostatistical Wizard, Radial Basis Funcion*

A ferramenta *Geostatistical Wizard* faz parte da extensão *Geostatistical Analyst*, presente no módulo ArcMap da suíte ArcGIS 10.0 e oferece inúmeros métodos de interpolação com grande liberdade no controle das informações.

A família de métodos *Radial Basis Funcion* (RBF) inclui diversos tipos de *Spline* e foi projetada para a aplicação em casos onde a malha de dados apresenta pouca variação em uma grande extensão horizontal.

A ferramenta permite ao usuário um maior controle da maneira como os dados são interpolados, com a delimitação de uma área de influência elíptica, de eixos arbitrários, dentro da qual a ferramenta procura os pontos para a determinação dos valores das células vazias. Também é possível a customização do ângulo de inclinação do eixo principal da elipse, assim como a quantidade de vizinhos a ser considerada na interpolação para cada célula e o grau de suavização da superfície gerada (Figura 13).

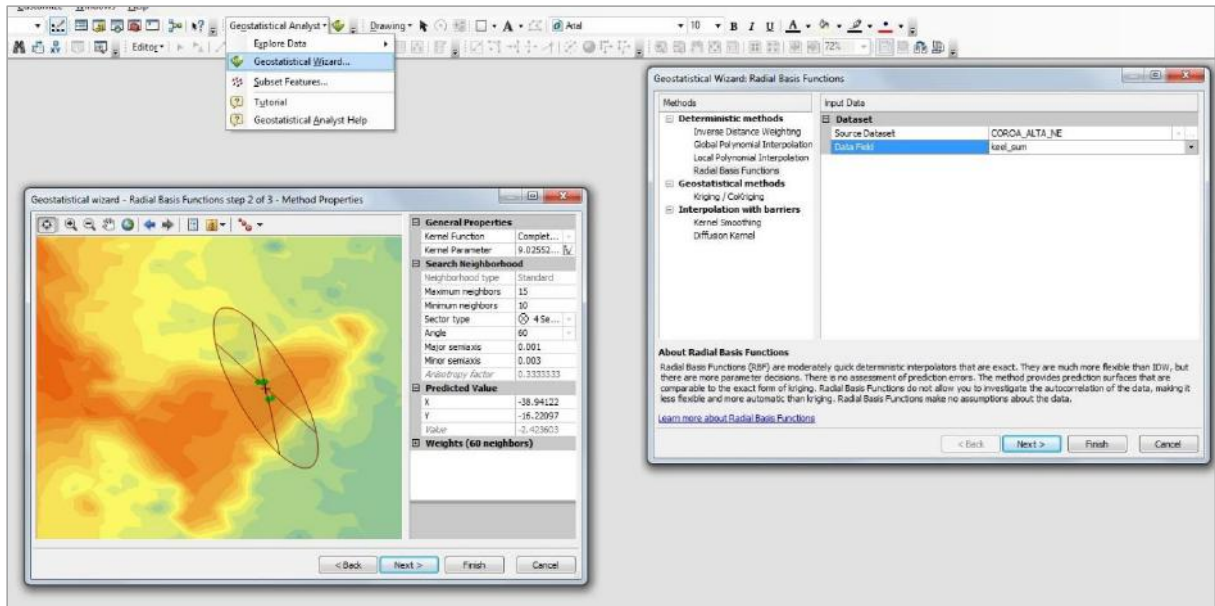


Figura 13 – Captura de tela do *Software* ArcMap 10.0 exemplificando a ferramenta *Geostatistical Wizard*.

Estas variáveis podem ser customizadas de modo a reproduzir anisotropias observadas durante levantamento dos dados ou com o fim de minimizar o erro resultante na superfície gerada.

De modo a otimizar ainda mais os resultados, a área de estudo foi dividida em quatro setores: setor Sul, setor Coroa Alta, Setor “Muque” e setor Araripe, interseccionados nos limites (Figura 14). Dentre estes, os dois mais complexos, Araripe e Coroa Alta, foram então subdivididos em três quadrantes cada (Figura 15).

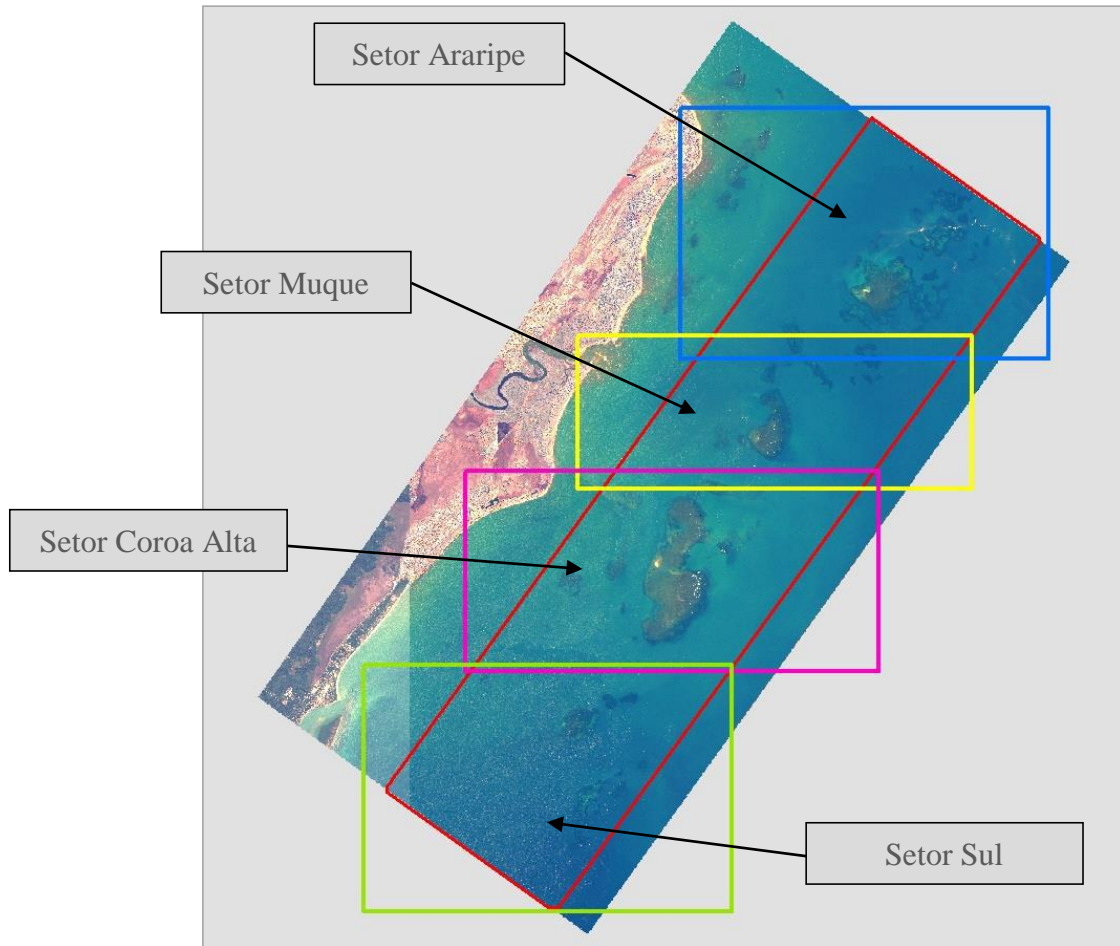


Figura 14 – Captura de tela do *Software* ArcMap 10.0 demonstrando o critério de divisão da área em quatro setores interseccionados nos limites.

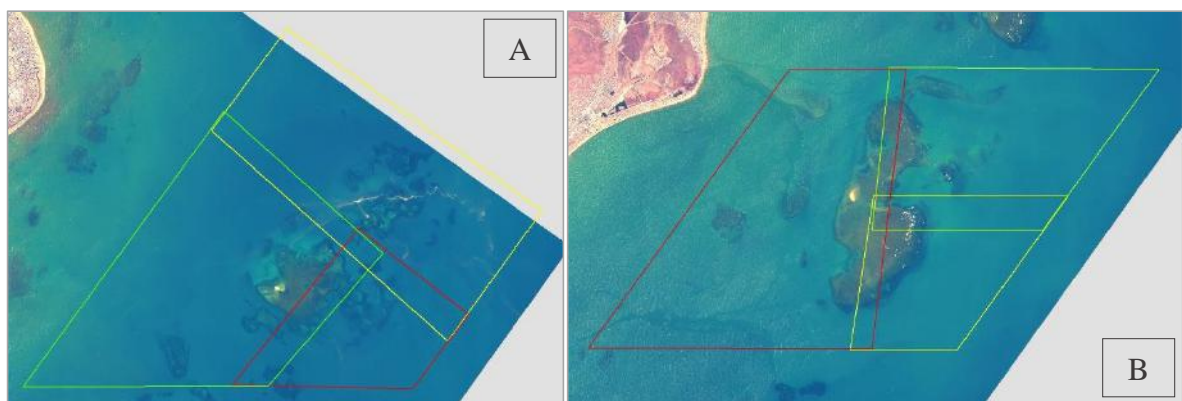


Figura 15 – Capturas de tela do *Software* ArcMap 10.0 demonstrando o critério de divisão dos setores Araripe (A) e Coroa Alta (B) em quadrantes interseccionados.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Spatial Analyst Tools

Dentre os dois modelos gerados a partir da ferramenta *Spatial Analyst Tools*, *Topo to Raster* e *Inverse distance weighting* (Figuras 16 e 17), a interpolação *Topo to Raster* foi aquela que apresentou a melhor representação da superfície real da área. Além de representar as características da batimetria em uma melhor resolução, o modelo gerou uma superfície de transição mais suavizada entre as regiões rasas e fundas, enquanto no modelo IDW observa-se um contraste brusco entre as células, principalmente nas áreas de maior anisotropia.

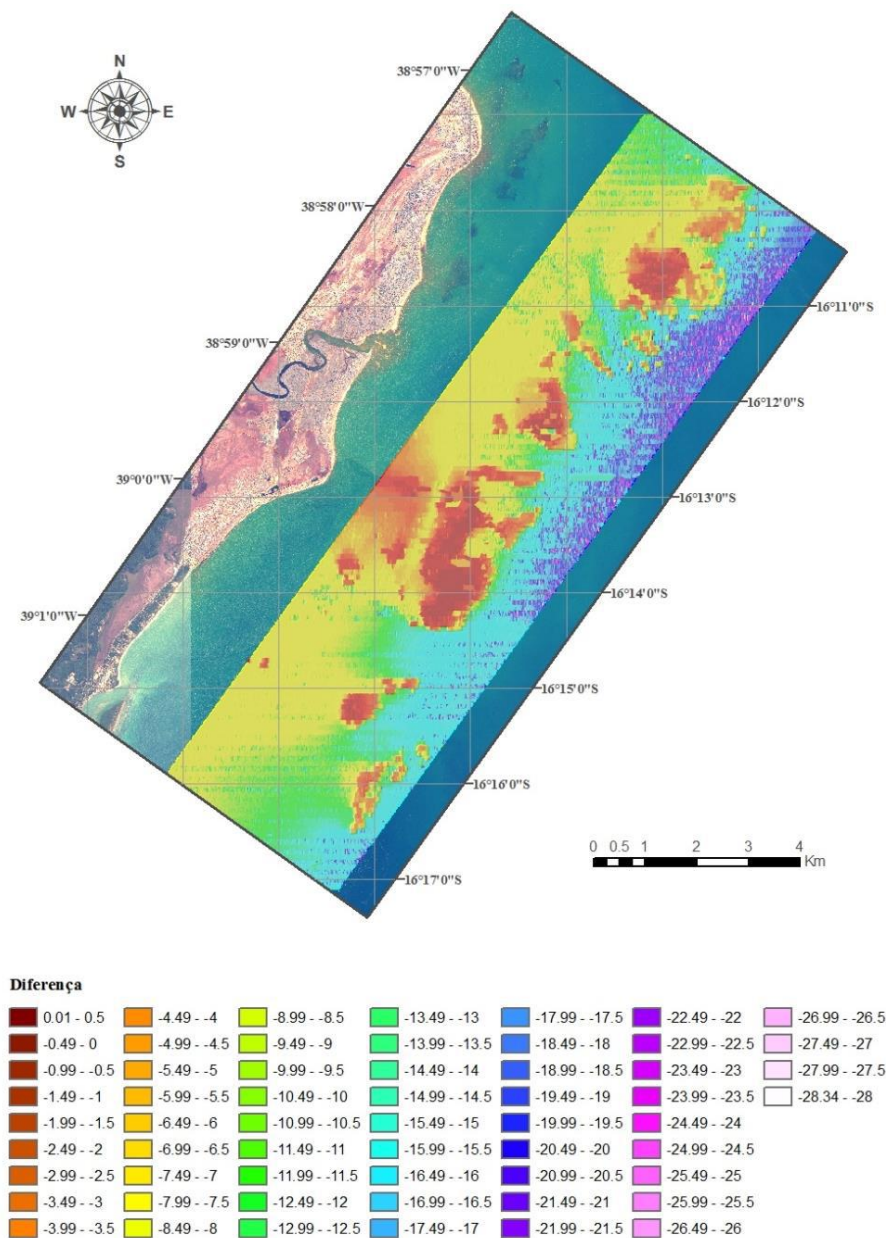
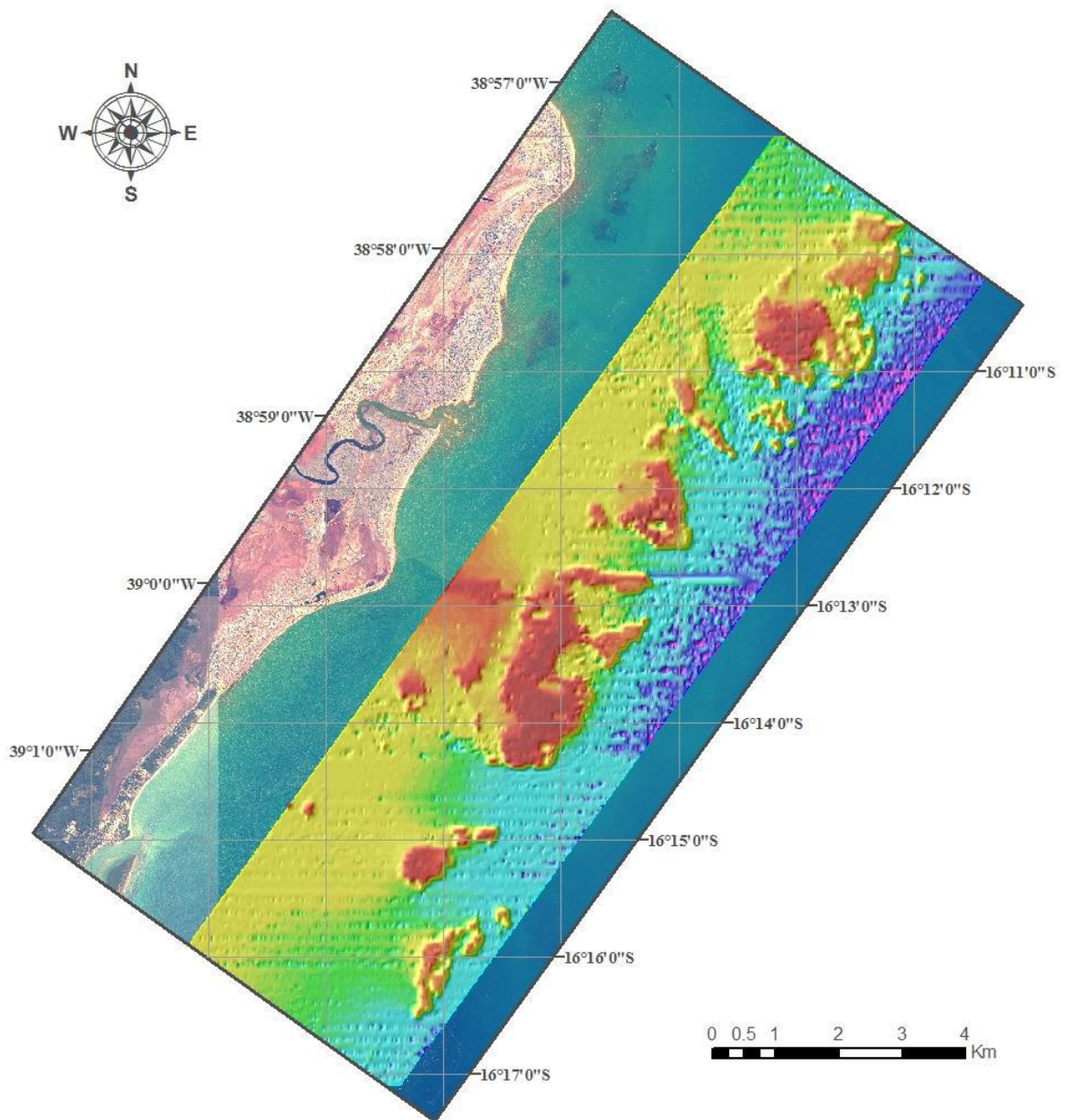


Figura 16 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método *Inverse Distance Weighting*. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.



Diferença

0.01 - 0.5	-4.49 - -4	-8.99 - -8.5	-13.49 - -13	-17.99 - -17.5	-22.49 - -22	-26.99 - -26.5
-0.49 - 0	-4.99 - -4.5	-9.49 - -9	-13.99 - -13.5	-18.49 - -18	-22.99 - -22.5	-27.49 - -27
-0.99 - -0.5	-5.49 - -5	-9.99 - -9.5	-14.49 - -14	-18.99 - -18.5	-23.49 - -23	-27.99 - -27.5
-1.49 - -1	-5.99 - -5.5	-10.49 - -10	-14.99 - -14.5	-19.49 - -19	-23.99 - -23.5	-28.34 - -28
-1.99 - -1.5	-6.49 - -6	-10.99 - -10.5	-15.49 - -15	-19.99 - -19.5	-24.49 - -24	
-2.49 - -2	-6.99 - -6.5	-11.49 - -11	-15.99 - -15.5	-20.49 - -20	-24.99 - -24.5	
-2.99 - -2.5	-7.49 - -7	-11.99 - -11.5	-16.49 - -16	-20.99 - -20.5	-25.49 - -25	
-3.49 - -3	-7.99 - -7.5	-12.49 - -12	-16.99 - -16.5	-21.49 - -21	-25.99 - -25.5	
-3.99 - -3.5	-8.49 - -8	-12.99 - -12.5	-17.49 - -17	-21.99 - -21.5	-26.49 - -26	

Figura 17 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método *Topo to Raster*. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.

4.2 Geostatistical Wizard

Com a área dividida em setores e quadrantes (Figuras 14 e 15), estes foram trabalhados separadamente a fim de obter-se um melhor controle nos parâmetros de interpolação, além de facilitar o processamento dos dados com uma malha de pontos tão extensa. A utilização de tantos valores na malha de pontos possibilitou a geração de modelos com uma grande precisão, resultando em um erro médio quadrático de 0,26 m, extremamente satisfatório (Figura 18).

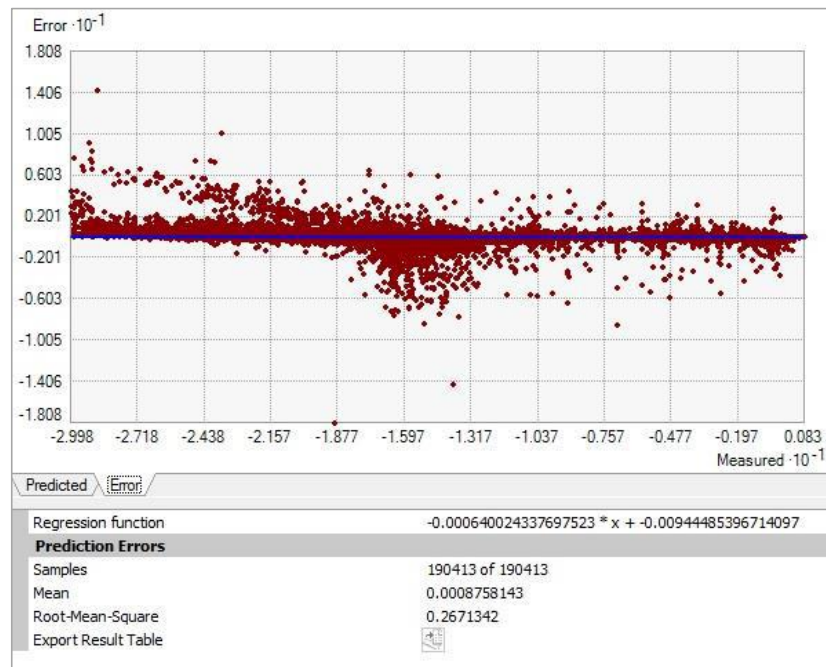


Figura 18 – Gráfico ilustrando o erro da modelagem. Erro médio de 0.26m, a maior parte dos valores encontra-se com erro inferior a 0.30m.

Os modelos gerados para cada setor (Figura 19) foram então exportados para o formato raster, a fim de mesclá-los utilizando-se a ferramenta *Mosaic to new Raster*, para obter-se um modelo final unificado (Figura 21). Os parâmetros utilizados foram o pixel com resolução 32_Bit_Float, e o método de sobreposição que apresentou melhores resultados foi o *Blend* (Figura 20).

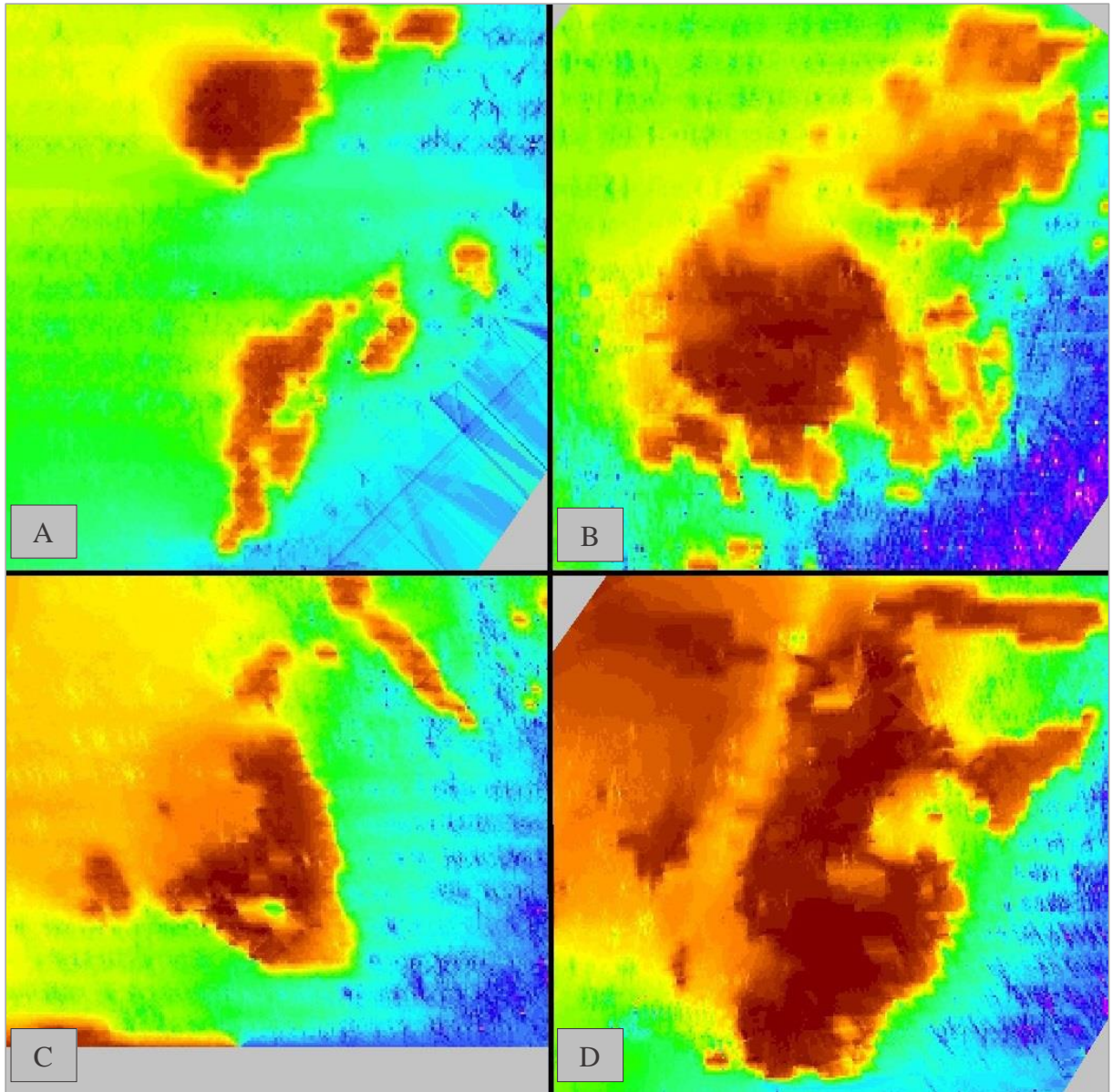


Figura 19 – Captura de tela do *Software ArcMap 10.0* demonstrando as modelagens feitas utilizando-se o método *Radial Basis Functions*, da extensão *Geostatistical Wizard*. A) Setor Sul; B) Setor Araripe; C) Setor Muque e D) Setor Coroa Alta.

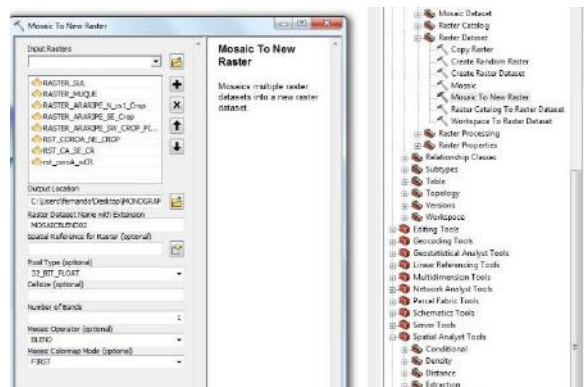
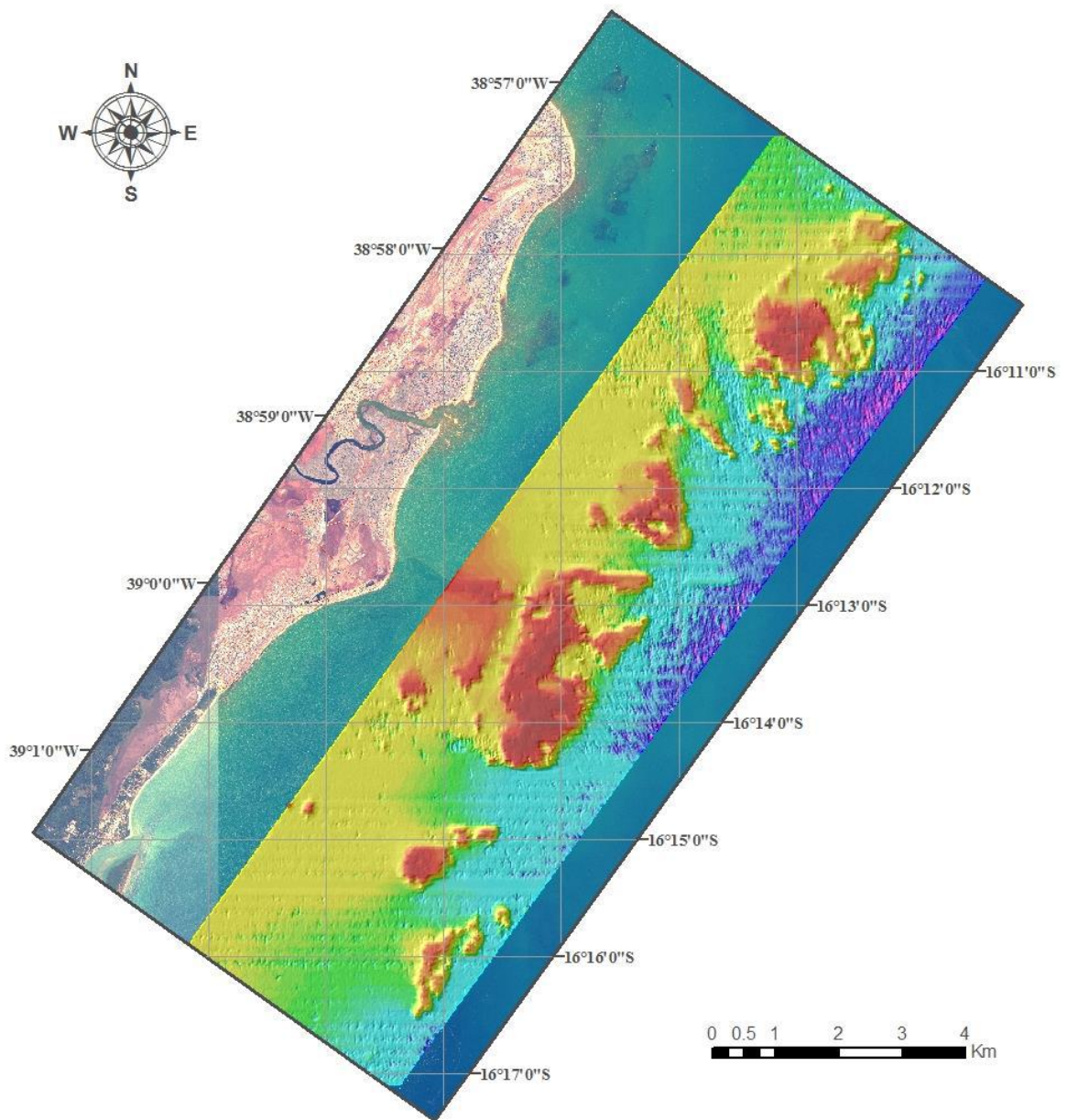


Figura 20 – Captura de tela do *Software ArcMap 10.0* demonstrando o processo de exportação dos modelos batimétricos setorizados para um novo raster unificado. Os parâmetros utilizados foram o tipo de pixel *32_BIT_FLOAT* e o método de sobreposição (*mosaic operator*) foi *Blend*.



Diferença

0.01 - 0.5	-4.49 - -4	-8.99 - -8.5	-13.49 - -13	-17.99 - -17.5	-22.49 - -22	-26.99 - -26.5
-0.49 - 0	-4.99 - -4.5	-9.49 - -9	-13.99 - -13.5	-18.49 - -18	-22.99 - -22.5	-27.49 - -27
-0.99 - -0.5	-5.49 - -5	-9.99 - -9.5	-14.49 - -14	-18.99 - -18.5	-23.49 - -23	-27.99 - -27.5
-1.49 - -1	-5.99 - -5.5	-10.49 - -10	-14.99 - -14.5	-19.49 - -19	-23.99 - -23.5	-28.34 - -28
-1.99 - -1.5	-6.49 - -6	-10.99 - -10.5	-15.49 - -15	-19.99 - -19.5	-24.49 - -24	
-2.49 - -2	-6.99 - -6.5	-11.49 - -11	-15.99 - -15.5	-20.49 - -20	-24.99 - -24.5	
-2.99 - -2.5	-7.49 - -7	-11.99 - -11.5	-16.49 - -16	-20.99 - -20.5	-25.49 - -25	
-3.49 - -3	-7.99 - -7.5	-12.49 - -12	-16.99 - -16.5	-21.49 - -21	-25.99 - -25.5	
-3.99 - -3.5	-8.49 - -8	-12.99 - -12.5	-17.49 - -17	-21.99 - -21.5	-26.49 - -26	

Figura 21 – Mapa batimétrico digital gerado utilizando-se o método *Radial Basis Funcions* após o mosaico dos setores. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.

4.3 Comparando os modelos

O resultado da interpolação *Inverse distance weighting* utiliza as médias dos valores amostrados, gerando uma superfície de contornos achatados e quebras bruscas de profundidade em áreas de maior anisotropia, resultando em um modelo de baixa confiabilidade.

A modelagem *Topo to Raster*, além de representar os reais valores de profundidade, apresenta uma resposta melhor em regiões onde ocorre maior anisotropia em um curto intervalo espacial, apresentando uma modelagem com feições mais abauladas nas zonas periféricas dos corpos recifais.

Já o método *Radial Basis Function* não gera uma superfície de contornos tão suavizados. Porém, devido à alta customização no processo de interpolação que a ferramenta *Geostatistical Wizard* permite, foi possível atingir um erro quadrático médio de 0,26 m, o que confere ao modelo final um alto grau de confiabilidade, principalmente nas zonas que contém células vazias.

A fim de explicitar as diferenças entre os modelos, estes foram então subtraídos dois a dois utilizando-se a ferramenta *Raster Calculator*, presente na seção *Map Algebra* do módulo *Spatial Analyst Tools* (Figura 22), de forma a ficarem claras as regiões onde há maior discrepância entre os valores gerados (Figuras 23, 24 e 25).

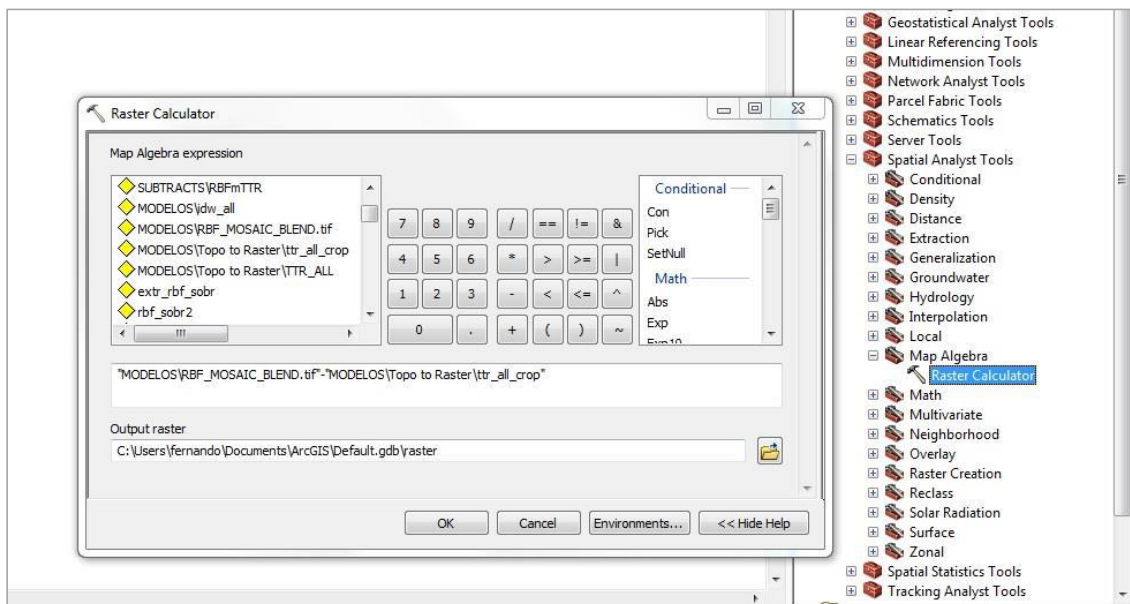


Figura 22 – Captura de tela do *Software ArcMap 10.0* exemplificando a operação de subtração de dois Rasters.

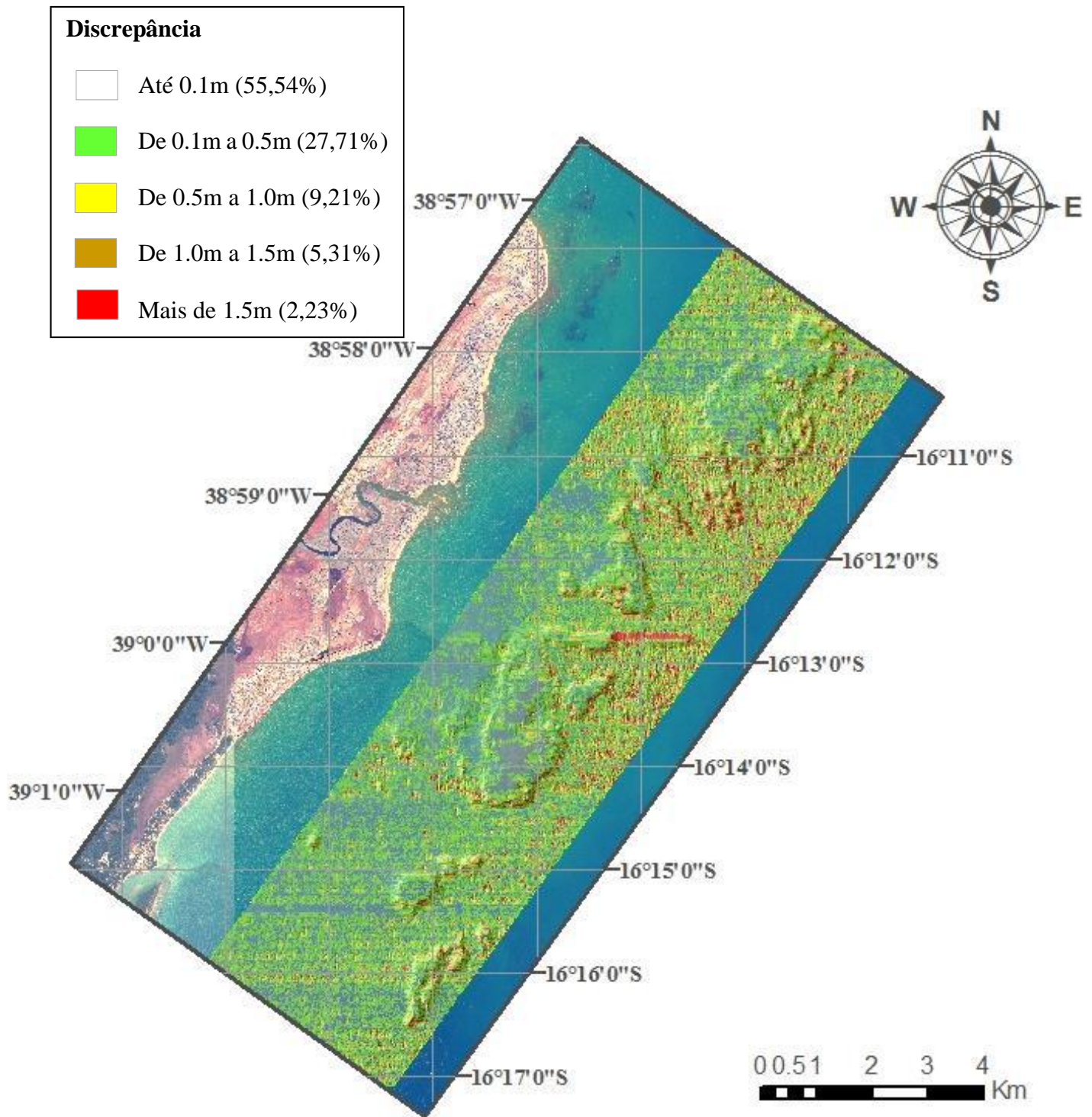


Figura 23 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações *Radial Basis Function* e *Topo to Raster*. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação RBF, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.

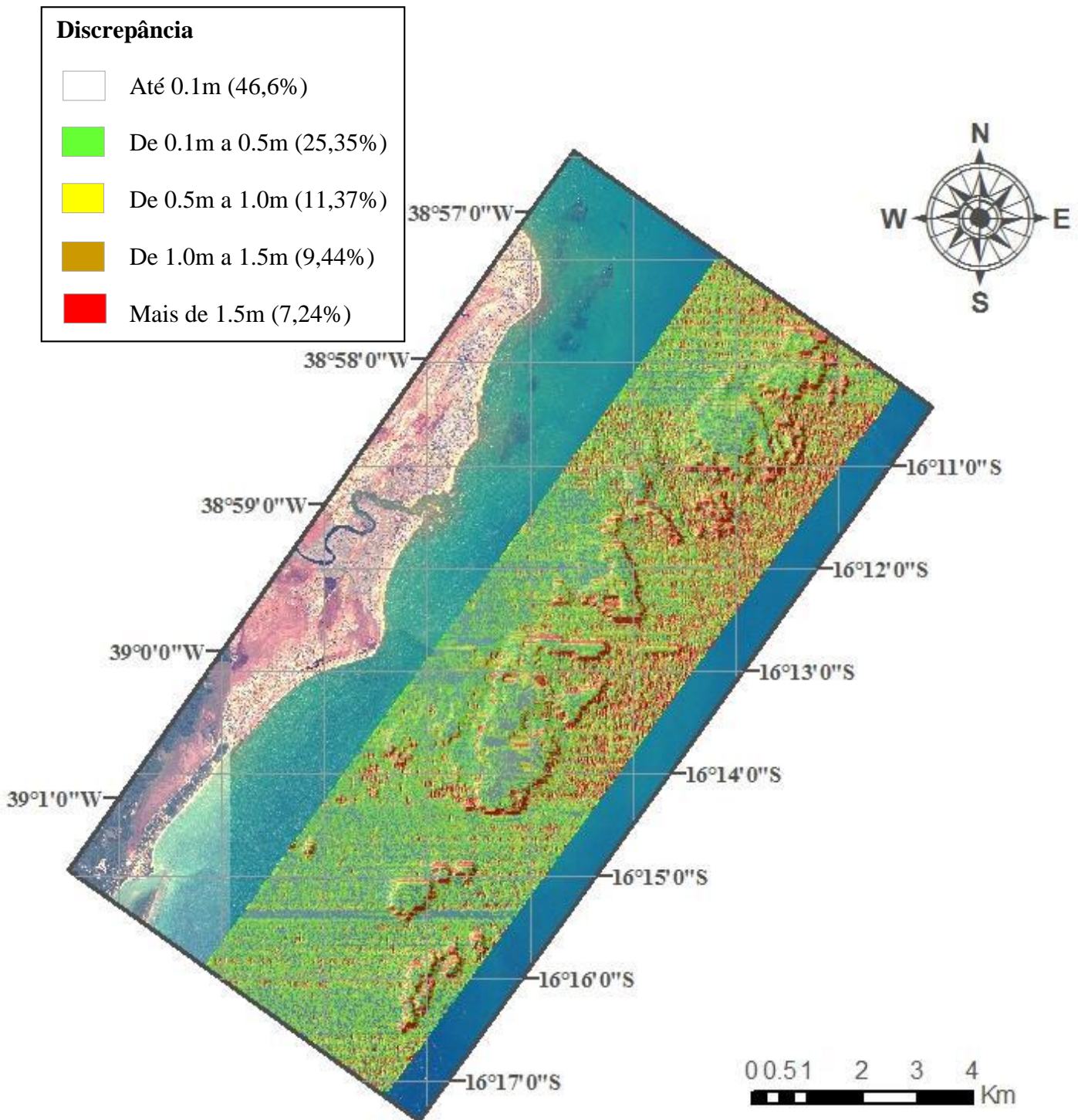


Figura 24 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações *Radial Basis Function* e *Inverse Distance Weighted*. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação RBF, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.

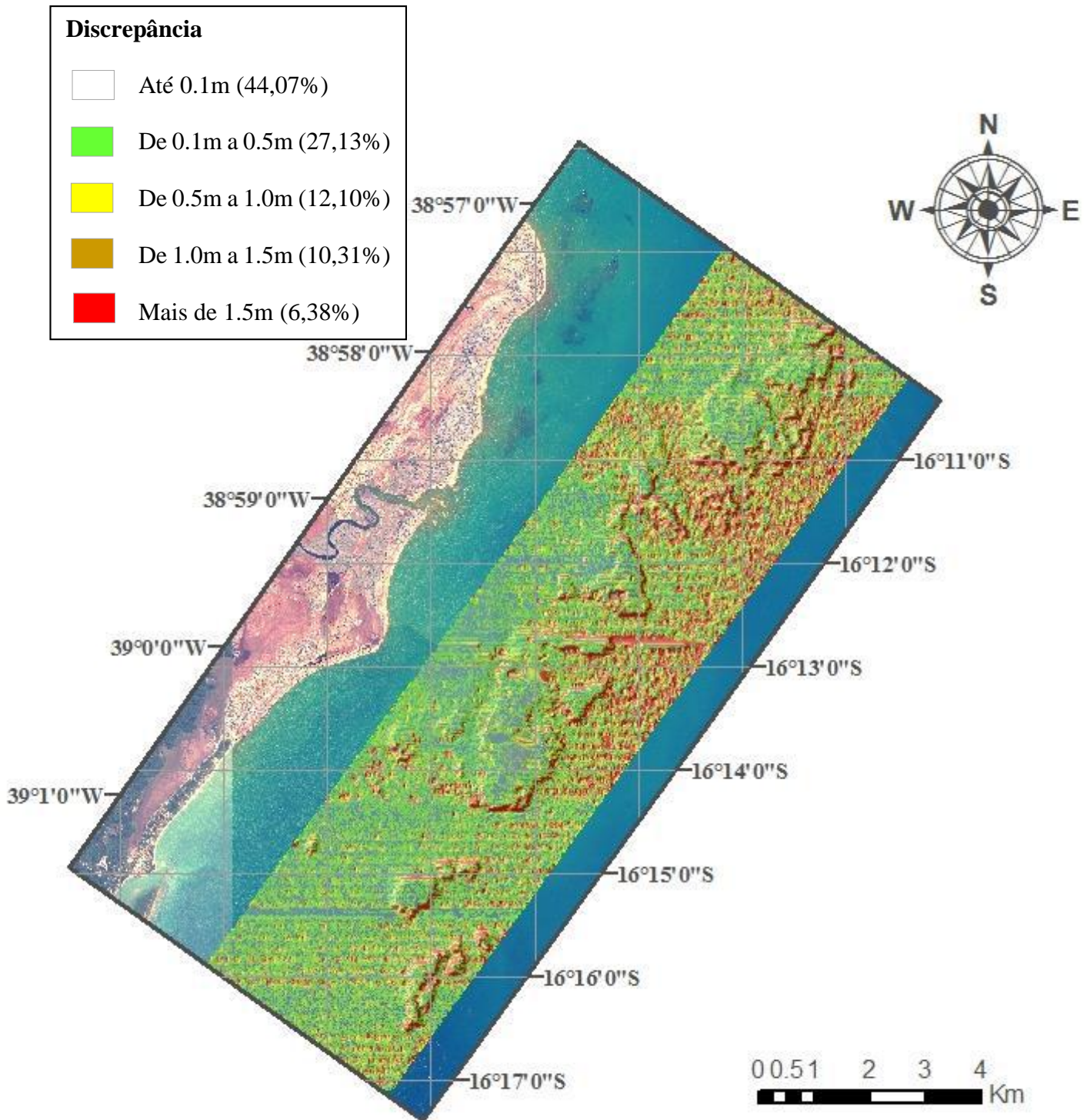


Figura 25 – Mapa de diferenças gerado através da subtração entre as interpolações *Topo to Raster* e *Inverse Distance Wheighted*. Em transparência, o sombreado do modelo digital de elevação da interpolação TTR, iluminado com fonte de luz em Az 300/50.

Através da análise dos mapas de diferenças associados aos modelos digitais de elevação é possível concluir que as maiores discrepâncias apresentadas entre os modelos concentram-se nas regiões de borda dos corpos recifais, onde há maior anisotropia, e na parte oceânica da área. É notável também o fato de que grande parte das regiões onde a diferença no resultado das interpolações é mínima ou nula (0,1 m ou menor) situa-se no topo dos recifes, principalmente quando são comparados os modelos gerados através dos métodos *Radial Basis Funcion* e *Topo to Raster*. Além de todas as subtrações apresentarem 70% dos pontos com diferenças abaixo de 0,5 m.

4.4 Superfícies 3D

Para ajudar a ilustrar ainda mais as diferenças entre os modelos e analisar sua verossimilhança, foram geradas superfícies 3D através do módulo ArcScene, da suíte ESRI ArcGIS 10.0. Para tal, foram necessários os arquivos *raster* gerados previamente no módulo ArcMap, referentes aos 3 métodos utilizados para a realização deste trabalho (Figuras 26, 27 e 28).

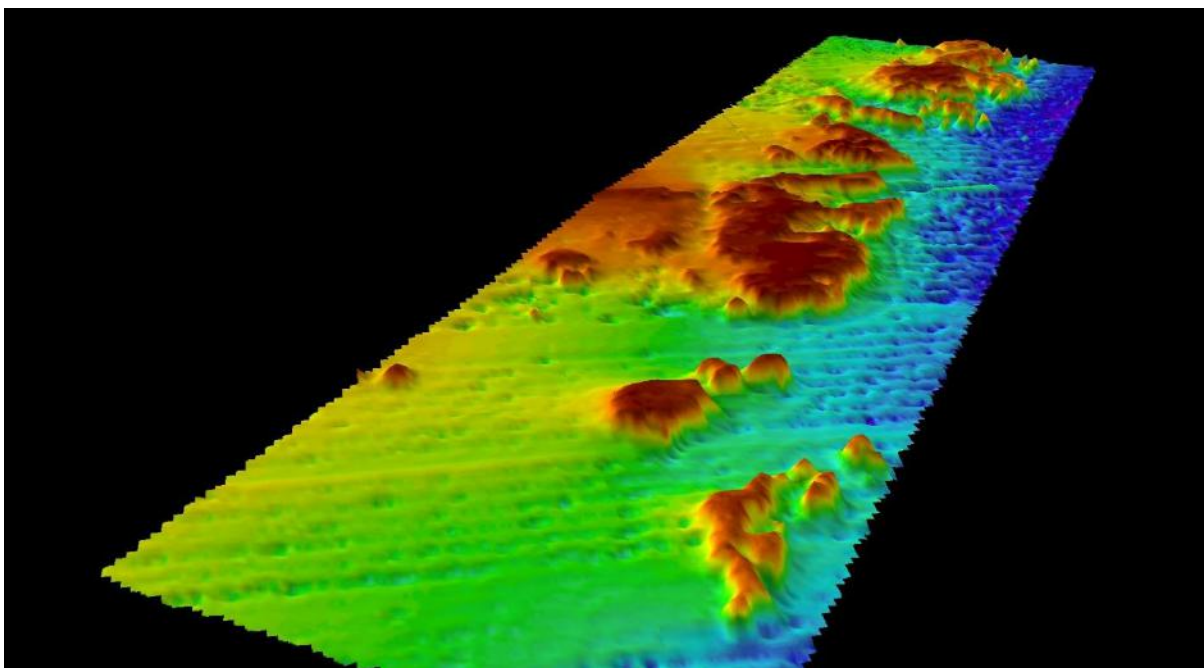


Figura 26 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método *Topo to Raster*.

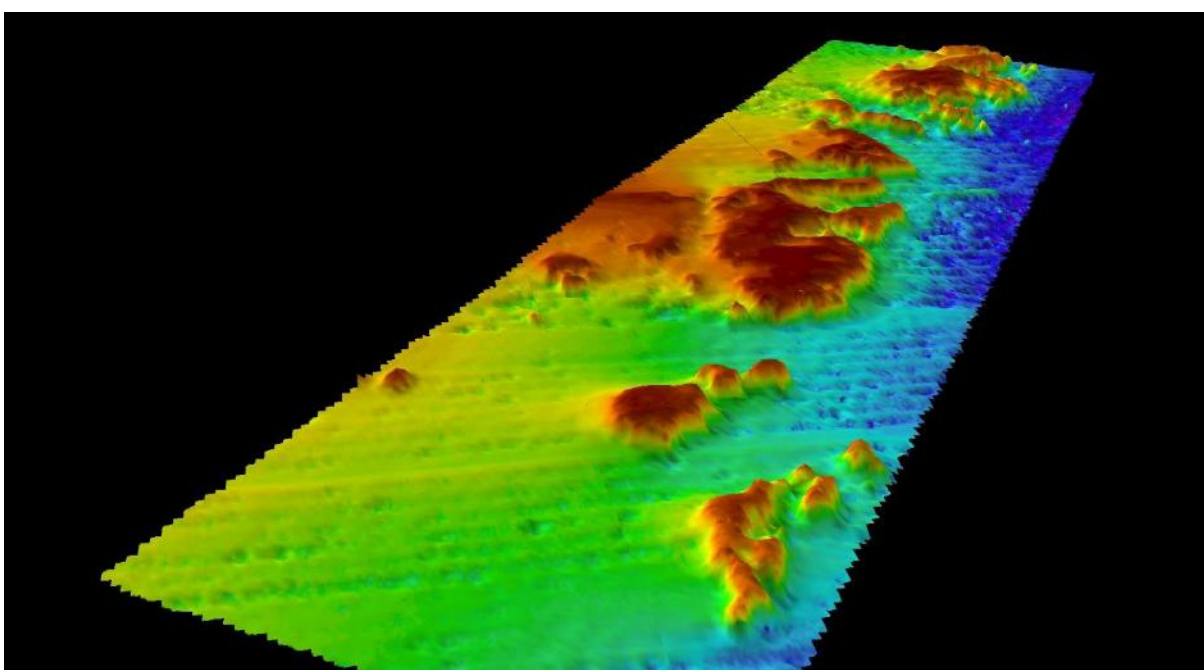


Figura 27 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método *Radial Basis Funcion*.

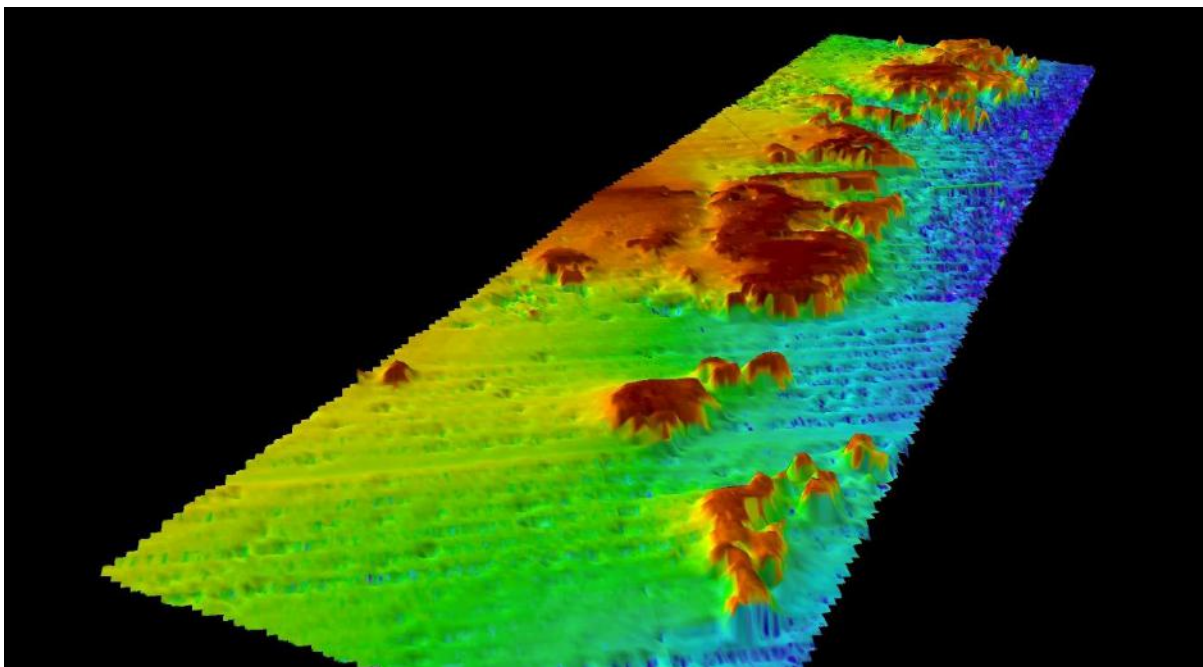


Figura 28 – Superfície 3D gerada a partir do modelo batimétrico referente ao método *Inverse distance wheighted*.

Observou-se, através da comparação dos modelos 3D, que os métodos *Radial Basis Funcion* e *Topo to Raster* foram capazes de gerar superfícies 3D com uma melhor resolução nas regiões de transição entre áreas fundas e rasas, tendo o método TTR apresentado uma suavidade superior ao RBF nestas áreas de maior anisotropia em curto intervalo espacial (Figura 29).

Porém, nas áreas de baixa anisotropia (ao longo da superfície da plataforma), o método RBF apresentou contornos mais suaves, devido ao grande controle dos dados de entrada, que resultou em um erro pequeno nos locais de células vazias (Figura 30).

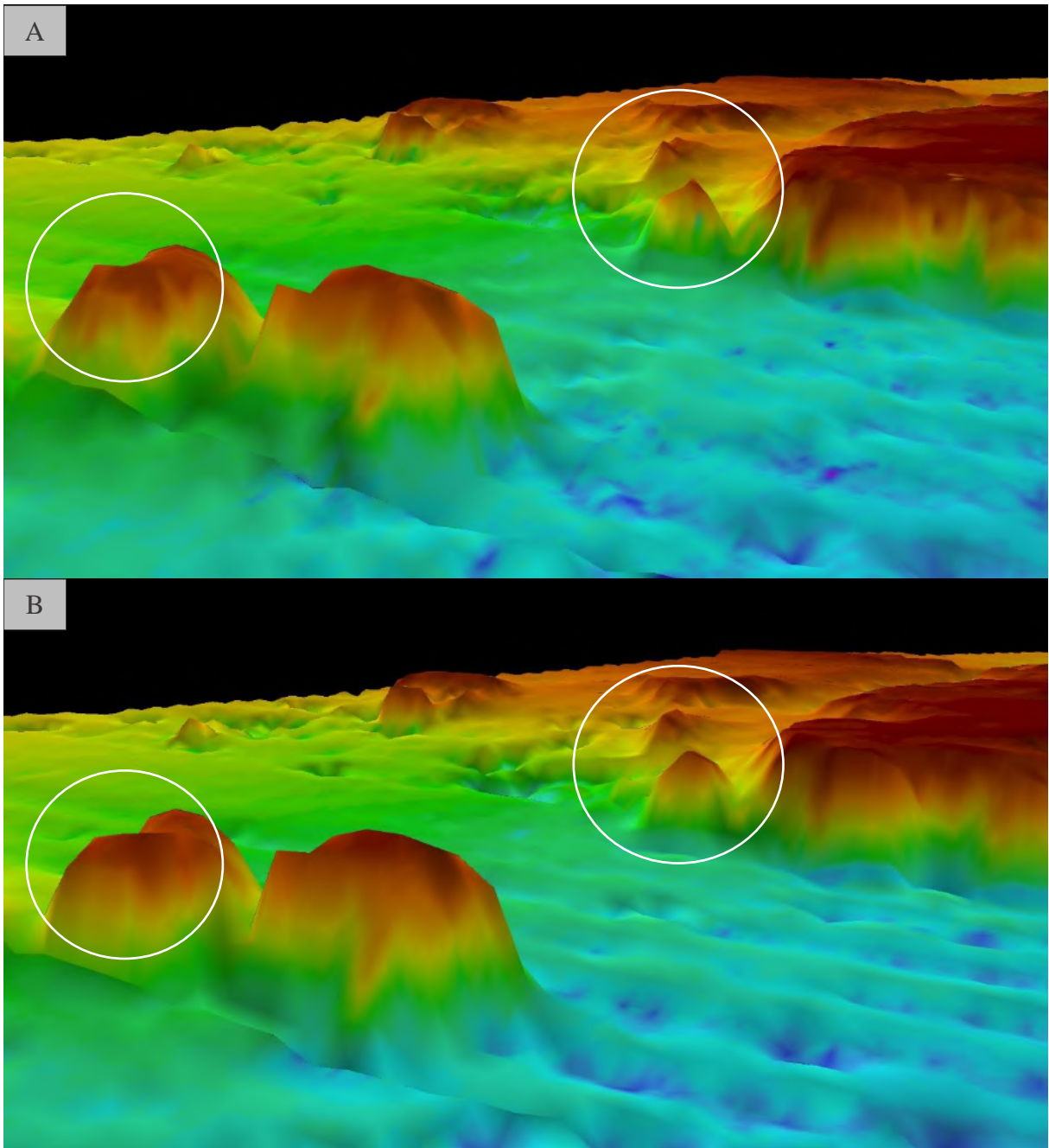


Figura 29 – Comparação entre as superfícies geradas através dos métodos RBF (A) e TTR (B). Os círculos brancos destacam locais onde ficam claras as diferenças na suavização das superfícies.

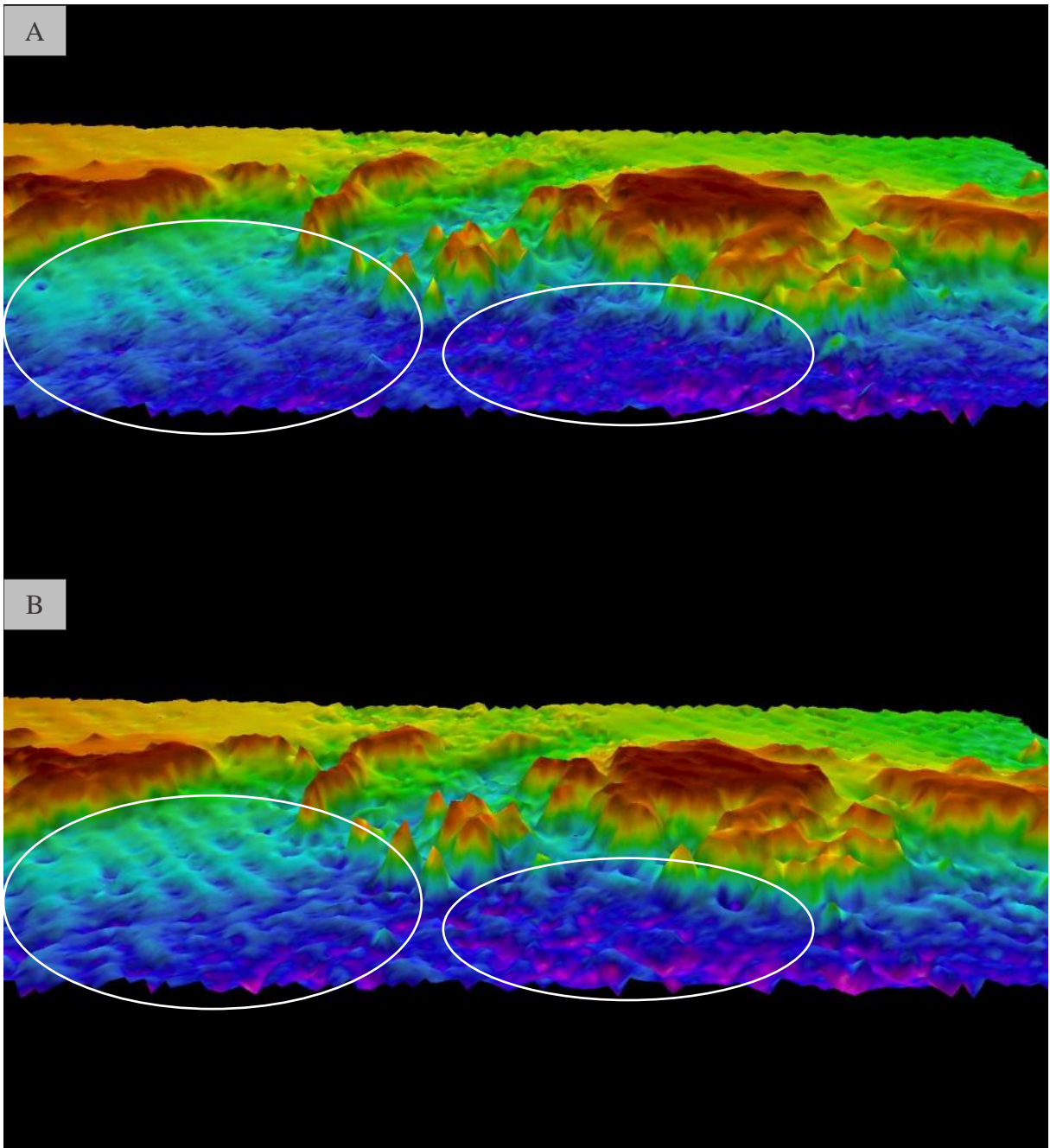


Figura 30 – Comparação entre as superfícies geradas através dos métodos RBF (A) e TTR (B). As elipses brancas destacam locais onde ficam claras as diferenças na suavização das superfícies.

5. CONCLUSÕES

A utilização de mapas batimétricos é imprescindível em qualquer área de preservação marinha, tanto para a delimitação e manejo do parque como para qualquer estudo de Geo e Biodiversidade.

Em especial tratando-se de ambientes coralíneos, onde a variação da profundidade implica numa maior ou menor incidência de luz solar, na quantidade e tipo de nutrientes disponíveis, temperatura da água, influência das ondas e marés e na microfauna presente no substrato (Riva, 2011).

Através da utilização da função *All Soundings* do equipamento utilizado, aliada ao controle dos parâmetros de interpolação possibilitados pela ferramenta *Geostatistical Wizard*, foi possível gerar um modelo batimétrico final contendo um erro quadrático médio de apenas 0,26 m, provando que, com os avanços tecnológicos e consequente barateamento do equipamento, hoje em dia é possível a realização de levantamentos batimétricos com qualidade e precisão satisfatórias a um baixo custo.

IDW

O método IDW, por gerar superfícies achatadas devido à utilização das médias dos valores amostrados, apresentou resultados não confiáveis nas regiões onde há uma maior anisotropia. Resultando em valores de profundidade distorcidos e com baixa resolução nas zonas transicionais presentes nas bordas dos corpos recifais, além de não fornecer os valores de erro associados ao procedimento.

TTR

O método *Topo to Raster* gerou uma superfície com uma ótima precisão ao longo das linhas amostradas, além de representar mais suavizadas as regiões de maior anisotropia. Porém, nas áreas de células vazias onde esperava-se uma menor variação batimétrica, o modelo gerou superfícies mais irregulares que o método RBF, além de não fornecer os valores de erro associado ao procedimento.

No entanto, justamente por gerar uma superfície mais abaulada nas áreas de borda dos corpos recifais, seria plausível a aplicação do modelo em mapas destinados à navegação devido ao caráter “conservador” da modelagem.

RBF

Embora não tenha gerado uma superfície com contornos tão suavizados, a utilização da ferramenta *Geostatistical Wizard* possibilitou um excelente controle da margem de erro final, gerando uma superfície de alta confiabilidade, além de preservar os valores reais dos pontos amostrados. Comportando-se bem tanto nas células onde há os valores das linhas de aquisição quanto nas células vazias, tornando-se o modelo mais preciso e indicado a ser utilizado nos trabalhos que virão a ser feitos na região.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, J. C.; FORTES, I. S. F. C.; DUARTE, F. C.; BRITTO PEREIRA, B. S.; SANTOS, E. E. S.; SEOANE, J. C. S. Low-cost Bathymetric Survey for Marine Protected Areas: coral reefs and coastal islands. In: IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium, 2015, Rio de Janeiro.
- CASTRO, B. C. 1997 Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. Relatório para o Programa Nacional da Diversidade Biológica (PRONABIO), do Ministério do Meio Ambiente (MMA) – Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. 101p
- CASTRO, C. B. E. ; PIRES, D. O. ; CREED, J. C. ; FIGUEIREDO, M. A. O. ; LOIOLA, L. L.; ARANTES, R. C. M. ; PRATES, A. P. L. ; FERREIRA, B. P.; GOUVEIA, M. T. J. ; SEOANE, J. C. S. Projeto Coral Vivo: uma iniciativa de conservação baseada na geração de conhecimento, sua difusão para a sociedade e uso sustentável de recifes de coral no Brasil. In: XII Colacmar - Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 2007, Florianópolis. Anais do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar-COLACMAR, 2007, 2007.
- CHILDS, C. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ArcUser: pag 32-35.
- HENRIQUES, A. P. M. 2008. Classificação de Imagens de Ambientes Coralinos: uma Abordagem Empregando uma combinação de Classificadores e Máquina de Vetor de Suporte. Natal, Rio Grande do Norte.
- HUTCHINSON, M. F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*, 59 August 17-19, Sydney. International Geographical Union, Columbus, Ohio, pp 117-133.
- HUTCHINSON, M. F. 1989. A new method for gridding elevation and streamline data with automatic removal of pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211-232.
- KIKUCHI, R. K. P. & LEÃO, Z. M. A. N. 1997. Rocas (southwestern equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panama 1:731-736.
- LEÃO, Z. M. A. N. 1994. The coral reefs of Southern Bahia. Pages 151-159 in B. Hetzel and C. B. Castro. Corals of Southern Bahia. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- RIVA, E. M., Modelagem do Levantamento batimétrico da região do parque municipal marinho do Recife De Fora, Porto Seguro – BA visando melhorar a confiabilidade dos mapas e redução dos custos de campo. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SEOANE, J. C. S.; ARANTES, R. C. M.; CASTRO, C. B. 2007. Levantamentos batimétricos e morfologia da superfície de fundo. Encontro de Usuários ESRI 2007 - Óleo, Gás e Energia.

WEBGRAFIA

ArcGIS Desktop 10.1 Help:

Disponível em: ArcGIS Desktop 9.3 Help:

[http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Welcome to the ArcGIS Help Library/00qn0000001p000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Welcome%20to%20the%20ArcGIS%20Help%20Library/00qn0000001p000000/). Último acesso: 20 de julho de 2015.

Projeto Coral Vivo:

Disponível em: Projeto Coral Vivo: <http://www.coralvivo.org.br/new/index.asp?conteudo=19220090265384537>. Último acesso: 10 de julho de 2015.

Simrad NSS-7 manual: <http://www.simrad-yachting.com/en-US/Products/NSS-Touchscreen-Navigation/NSS7-Chartplotter-en-us.aspx>. Último acesso: 10 de julho de 2015.

Wikipedia. A enciclopédia Livre:

Disponível em: Wikipedia: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ge%C3%B3ide>. Último acesso: 08 de Abril de 2015.

APÊNDICE**Low-Cost Bathymetric Survey for Marine Protected Areas: coral reefs and coastal islands.**

Low-cost Bathymetric Survey for Marine Protected Areas: coral reefs and coastal islands

Jhone C. de Araújo, Ian S. F. C. Fortes, Fernando C. Duarte, Beatriz S. Britto Pereira, Elisa Elena de S. Santos and José Carlos S. Seoane

Departamento de Geologia - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO-UFRJ)
Rio de Janeiro, RJ, Brazil

jhone@ufrj.br, ianfortes@gmail.com, duarte.dinho@gmail.com, beatriz_sabino@live.com, elisa_elena@ufrj.br, cainho.geo@gmail.com

Abstract— Bathymetry surveys are the first step for every conservation effort on Marine Protected Areas (MPAs). Maps depicting depth and bottom geomorphology are used to generate hillshades, that later become basemaps for other themes, such as fish distribution, bottom types, and water quality. Bathymetry map availability is limited or non-existent at the scales that are necessary for MPA management plans. Survey costs by traditional sounding methods or new technologies, such as LIDAR, are prohibitive for most MPA budgets. Remote Sensing bathymetry is yet unreliable, except for crystal clear waters. A low-cost technique, based on commercially available GPS-echosounder units was applied to obtain detailed bathymetry of two MPAs in coastal Brazil: at the Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA), located in the coastal reefs of Santa Cruz de Cabralia, State of Bahia, and Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MNIC), off Guanabara Bay, Rio de Janeiro. Equipment consisted of a Simrad NSS-7 chartplotter mounted permanently on *Iamany*, a 7 m-long, fiberglass-hull, twin-engine boat for PMMCA, and a Garmin GPSMap 521 chartplotter mounted on *Cação*, an inflatable, 6 m-long, single-engine boat hired for MNIC. Survey frequencies for the echosounders were set at 50 kHz. Cross-shelf, East-West lines spaced 100m apart with readings every second (1-3 m, depending on boat speed) were obtained for PMMCA over 30 days of 4-6 hours of navigation around the highest tide (ranging from 1.3 to 2.0 m above mean sea-level). At MNIC, radial lines surrounding each of the islands were placed 50 m apart at their outer limits, and readings were obtained every 10 seconds (~10 m) in 7 days of 3-4 hours of navigation around the highest tides (ranging from 0.8 to 1.2 m above mean sea-level). In the shallow coral reefs of Bahia, 62 km² were surveyed, with depths varying from 0 to 20m, while at the sandy bottom around the granite-gneiss islands of Rio de Janeiro, 6 km² were surveyed, with depths varying from 0 to 40m. Data in the echosounders proprietary format, were saved on Micro-SD or SD memory cards, converted to XYZ format (.csv) and migrated to GIS, where a linear tide correction was applied. Interpolation methods such as Radial Basis Functions and ANUDEM generated maps with 10 m pixels for PMMCA (presented at 1:10.000 and 1:25.000) and 5 m pixels for MNIC (presented at 1:3.000 and 1:10.000). Average survey costs are estimated at R\$ 500-650/day or R\$ 1.000/ km² (~US\$ 250/day or

~US\$ 400/km²), depending on boat ownership vs. rental cost. This represents less than 1/10 of the official traditional survey costs, and even less when compared to LIDAR bathymetry. Precision obtained is an order of magnitude higher than previously available, and enough for environmental assessment for conservation management of the MPAs involved. Surveys were conducted at PMMCA under the auspices of Projeto Coral Vivo and at MNIC under Projeto Ilhas do Rio, both Petrobras Ambiental programmes.

Keywords— Bathymetry; echosounder; interpolation; GPS; MPA (Marine Protected Area)

I. INTRODUCTION

In order to have effective management plans, Marine Protected Areas need their resources, natural features and possible threats mapped, and themes as varied, such as fish distribution, bottom types, and water quality needs to be depicted. Thus, in order to provide a basemap for such themes, as well as by their own merit, sea floor topography becomes key information in coastal area management [1]. However, the availability and quality of geographic information for those marine areas are restricted, due to the difficulties and cost of data acquisition [2], being virtually limited or non-existent at the necessary scales for MPA management plans.

Data acquisition techniques are extensively reviewed in [1], and include traditional imaging and acoustic methods, as well as new technologies such as LIDAR, which are still prohibitively expensive for most MPA budgets, and Remote Sensing bathymetry, which is yet unreliable, except for crystal clear waters.

Low-cost techniques for shallow coastal areas, based on scientific echosounders have been proposed [3], and commercially available GPS-echosounder units, are a further development [4]. Although less precise, they do obtain results that are quite useful in the case of MPA management plans [5][6][7].

The present case examines the bathymetric surveys conducted at two MPAs in coastal Brazil: at the Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA), located in the coastal coral/algal reefs of Santa Cruz de Cabrália, State of Bahia (Fig. 1)[8], and Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MNIC), off Guanabara Bay, Rio de Janeiro (Fig. 2). PMMCA is a city-sanctioned MPA in a coral-reef area, whereas MNIC is a federal MPA characterized by granite-gneiss massif islands on a sandy bottom.

I. MATERIALS AND METHOD

A. General Guidelines for surveys

As with the previous experiment at Recife de Fora [5][6] and elsewhere [3], acoustic transects are designed perpendicular to the coastline, since the bathymetric lines usually run parallel to the coast and concentric from islands and reefs. Acoustic transects were conducted on the direction where higher variability is expected, and through interpolation reconstruct the surface in the direction of the lowest variability. Separation between transects must be chosen according to the desired horizontal accuracy. The rule of thumb, that the separation between transects should be three times the average depth expected, was followed whenever feasible. However, considerations about the characteristics of the working area (such as seabed variability, bottom morphology and the sheer shallowness of the reef areas), time and cost logistics were taken into account in order to decide the number of needed transects to obtain an accurate bathymetric surface.

Cross-shelf, East-West lines were spaced 100m apart with every second readings (<1 m, depending on boat speed) at PMMCA (Fig. 3) over 30 days of 4-6 hours of navigation around the highest tide (ranging from 1.3 to 2.0 m above mean sea-level). Survey dates were carefully chosen to coincide with the highest tides, a strategy that was essential for a safe navigation above the reefs, which are exposed at low tides. Sand cays were avoided.

At MNIC, radial lines surrounding each of the islands were placed 50 m away from their outer limits (Fig. 4), and readings were obtained every 10 seconds (~10 m) over 7 days of 3-4 hours of navigation around the highest tides (ranging from 0.8 to 1.2 m above mean sea-level).

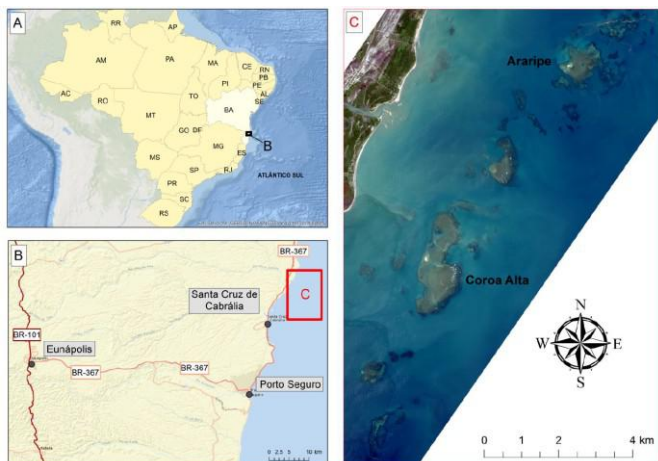


Fig. 1. Location and main access to Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA). A: Location in southern Bahia; B: Main access route, through the town of Santa Cruz de Cabrália; C- PMMCA reefs. (Data sources: IBGE 2013, ESRI basemap, 2014 Wordview II Imagery from Digital Globe).[8]

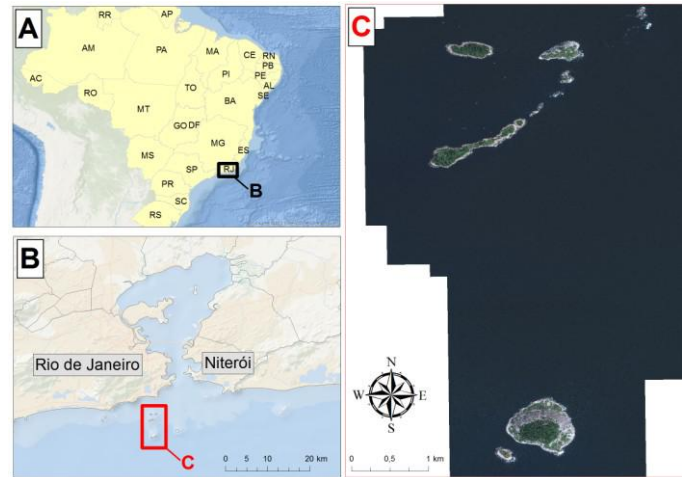


Fig. 2. Location of Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MNIC). A: Rio de Janeiro location in Brazil; B: Location of the archipelago, southwest of Guanabara Bay, Rio de Janeiro; C- Cagarras islands. (Data sources: IBGE 2013, ESRI basemap, 2011 GeoEye Imagery from Digital Globe).

Design of surveys is greatly enhanced by previous knowledge of the area's main features, especially when aided by high resolution imagery, which is increasingly available for MPAs. A 0.4m pixel WorldView II scene (acquired April 04th, 2014 @ 13:12:17 UTC) was used for PMMCA, while at MNIC a 0.5m pixel GeoEye scene (acquired January 28th, 2011 @ 13:03 UTC) was the main tool in planning.

B. Materials

Equipment consisted of a Simrad NSS-7 chartplotter [7] mounted permanently on Iamany, a 7 m-long, twin-fiberglass-hull, twin-engine boat for PMMCA, which hull only dips 35cm below the waterline, another essential feature for safe navigation above the reefs (Fig. 5). For the survey at MNIC, a Garmin GPSMap 521 chartplotter [9] was mounted on Cação,

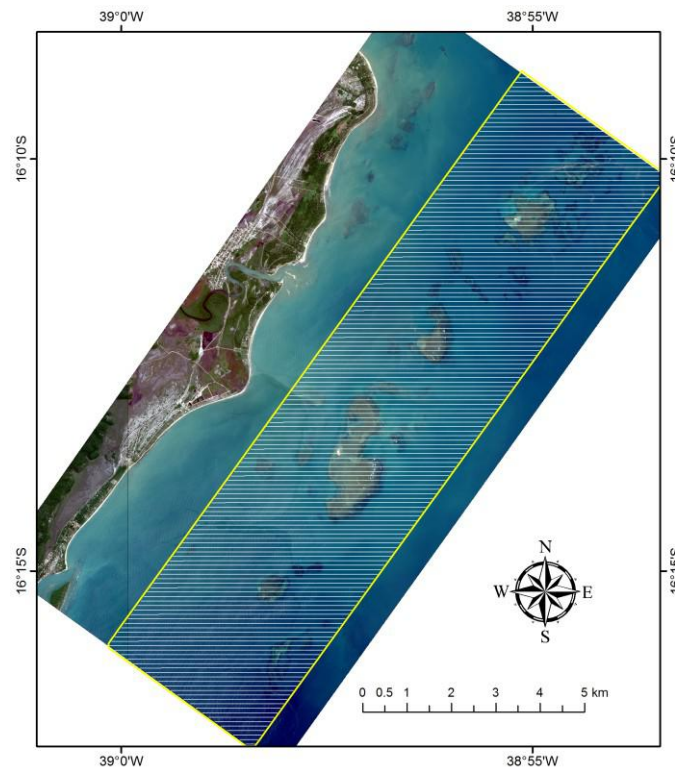


Fig. 3. Survey lines planned for PMMCA, totaling over 800 linear kilometers. 2014 WorldView II Imagery from Digital Globe.

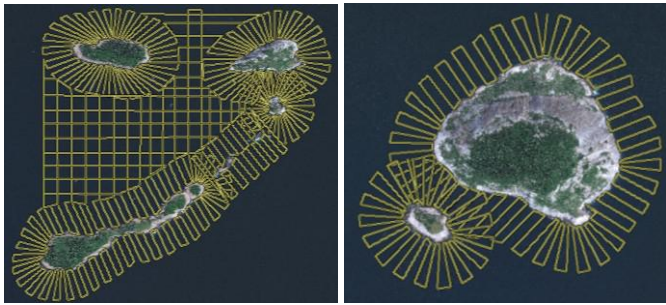


Fig. 4. Survey lines planned for MNIC over 2011 GeoEye Imagery from Digital Globe.

an inflatable, 6 m-long, single-engine boat hired from the local fishermen community (Fig. 6).

Both echosounders have integrated 12-channel GPS and were equipped with an external GPS antenna. The sounder heads were equipped in the standard dual frequency (50 and 200 kHz) transducers. Survey frequencies for the echosounders were set at 50 kHz. The units recorded latitude, longitude, and depth points to a removable media (a SD flash card), which was downloaded to a computer. The unit produced pulses of sound with a particular frequency whose beam lobes were approximated by a cone, and an echo was produced by the first depth encountered by the sound beam [10]. The return time (calibrated for temperature and salinity) was used to calculate the depth. Boat speed was kept to below 7 km/h.

C. Data Processing and Map Creation

Data were downloaded to a computer in **.gpx** and/or on Simrad's proprietary **.slg** formats. Global Mapper software was used to convert data into **.csv** format, and data was parsed, and loaded into a spreadsheet. Irrelevant data (e.g., altitude) columns were removed and all individual transect data were combined into a single file. These data were then filtered to remove invalid points using sort functions within Excel. Points that did not have both a depth and position were removed.

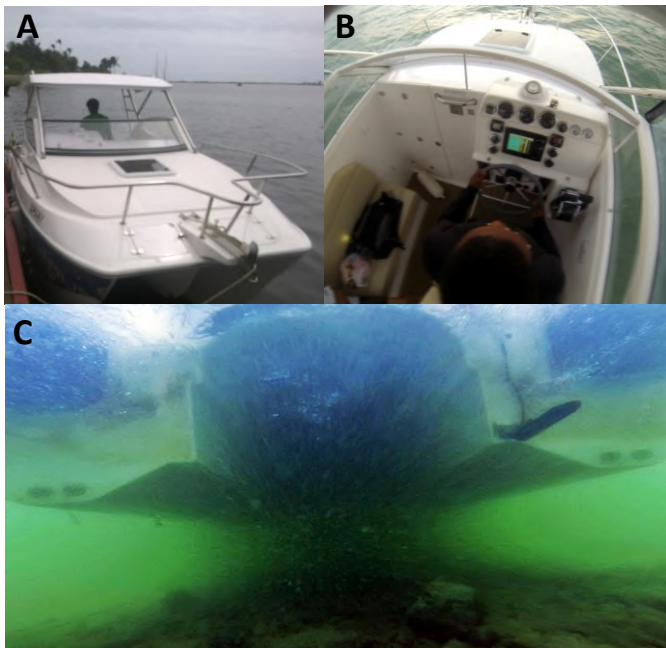


Fig. 5. Iamany, the boat used in the PMMCA survey. A: Twin hull construction, general view; B: top view of cockpit, with Simrad NSS-7 echosounder; C: twin hull, twin engine in action over very shallow reef. Note echosounder transducer near the hull bottom at right.



Fig. 6. Cação, the boat hired for the MNIC survey. A: Single hull inflatable construction, general view; B: view of cockpit, with the Garmin GPSMap 521 echosounder; C: hull with a 115 HP engine. Note echosounder transducer near the hull bottom.

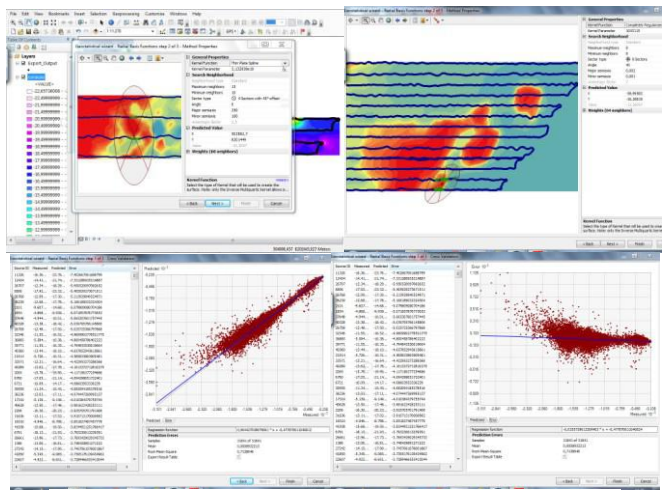
Points that repeated previously reported depths more than twice consecutively were removed. Points with depths shallower than the minimum or deeper than the maximum survey depth were removed [5][10].

Tide variation correction was introduced as a new column in the spreadsheet from the nearest tide gauge, located in Ilheus, BA for the PMMCA survey, and from Rio de Janeiro harbor for MNIC [11]. Both areas are subjected to mesotidal variations (<1.8m), and tide variation was typically less than 0.5 m for both surveys by design. Transducer depth was also corrected. Sophisticated corrections that demand specialized software, boat pitch, roll motion and GPS error were not applied.

Once acoustic data has been processed, the resulting **.csv** file with the GPS and depth coordinates (X, Y, and Z for each point) are imported into ArcGIS software, that is used to generate the bathymetry using interpolation algorithms and interactive corrections. Inverse Distance Weighted (IDW), TopoToRaster, and Radial Basis Functions (RBF, Fig. 7) interpolations were used to produce digital elevation models. The TopoToRaster method is ArcGIS's own implementation of Hutchinson's ANUDEM (Australian National University Digital Elevation Model) [12], a method which imposes structural restrictions such as points, lines, polygons, borders and masks in order to assure hydrologically correct DEMs. Such DEMs reproduce ridges and valleys correctly, and the generated surface coincides exactly with sampling points. The data were also displayed in three dimensions (with a 5× vertical exaggeration) using ArcScene.

II. RESULTS AND DISCUSSION

In the shallow coral reefs of Bahia, 62 km² were surveyed, with depths varying from 0 to 20m, while at the sandy bottom around the granite-gneiss islands of Rio de Janeiro, 6 km² were surveyed, with depths varying from 0 to 40m. Generated maps have 10 m pixel resolution for PMMCA (presented at 1:10.000 and 1:25.000, Fig. 8) and 5 m pixel resolution for MNIC (presented at 1:3.000 and 1:10.000, Fig. 9).



Method		Radial Basis Functions	
Kernel function		Completely Regularized Spline	
Parameter		114,518.83917771066	
Searching neighborhood		Standard	
Neighbors to include		8	
Include at least		8	
Sector type		Eight	
Major semiaxis		0.002	
Minor semiaxis		0.001	
Angle		40	

Fig. 7. Screen captures of data modeling using ArcGIS Geostatistical Analyst. Top left: method definition and anisotropy selection, a function of the data spatial distribution; Top right: Search ellipsoid simulation for any given point of the surface to be created; Middle left: modeled x sampled point data compared; Middle right: Estimated errors distribution; Bottom: data summary for this interpolation. DEM generated for PMMCA.

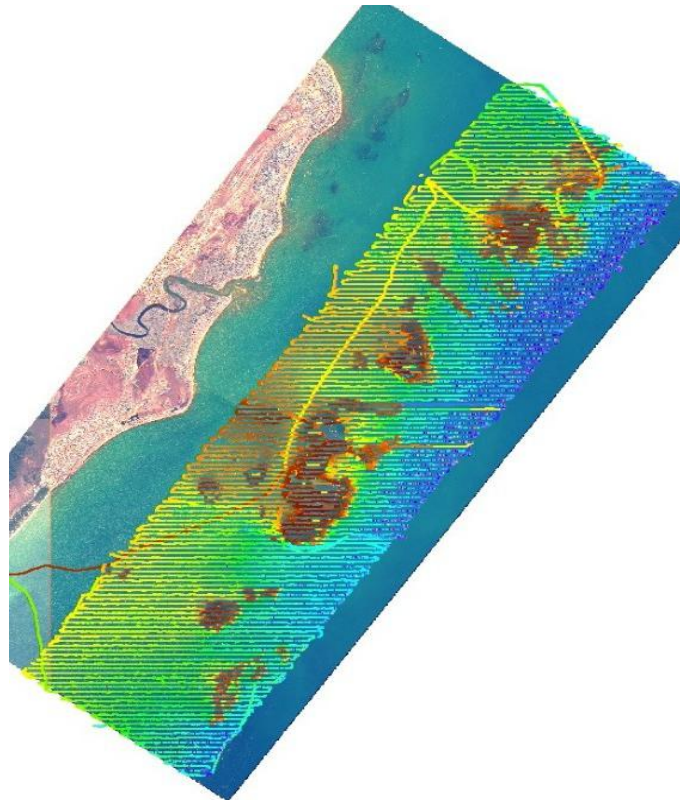


Fig. 8. Geostatistical Analyst screen capture depicting the 3.253.013 data points used in DEM interpolation, classified by depth, from shallow (earthy tones and yellow) to intermediate (green hues) to deep (progressively darker blue hues). Depths vary from above msl to 25m. The World View II image serves as a background.

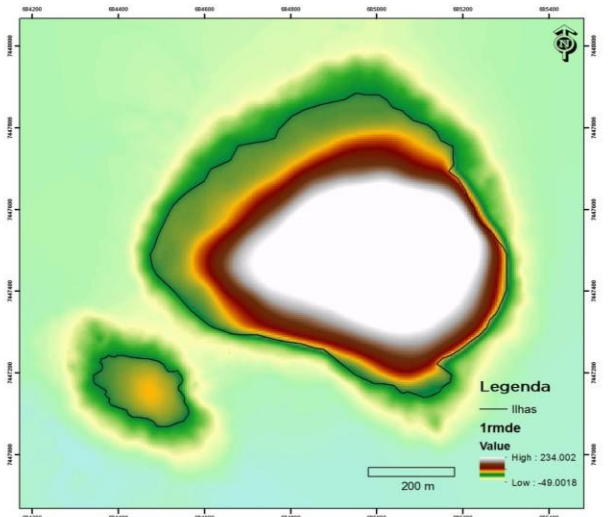
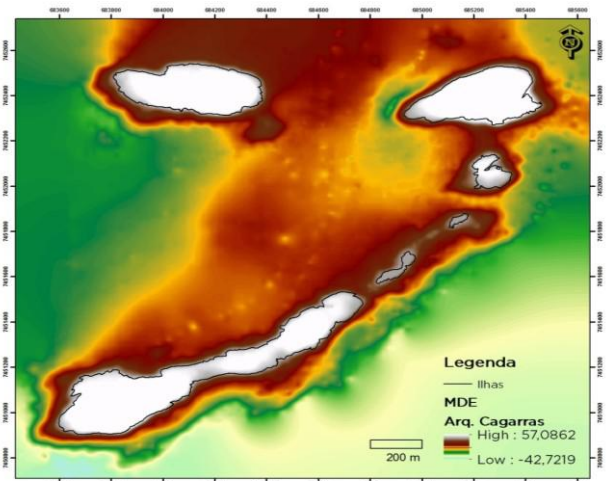


Fig. 9. DEM generated for MNIC, using the RBF method.

At PMMCA, 3.253.013 points were used, whereas at MNIC interpolation considered 20.634 data points. RBF is the method that has generated the most realistic DEM (e.g., Fig.9). Interpolation generates a DEM surface that is best visualized in 3-D (Fig. 10), and allows for efficient management planning of an MPA, both through its direct use (reef and island slope, morphology, etc.) and as a base map for the relevant themes to be displayed.

Average survey costs are estimated at R\$ 500-650/day or R\$ 1.000/ km² (~US\$ 250/day or ~US\$ 400/km²), depending on boat ownership vs. rental cost. This represents less than 1/10 of the official traditional survey costs, and even less when compared to LIDAR bathymetry [13].

Precision obtained is higher than previously available, and enough for environmental assessment for conservation management of the MPAs involved.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Petrobras Ambiental for continuously supporting the Coral Vivo (www.coralvivo.org) and Ilhas do Rio (<http://maradentro.org.br/ilhasrj/>) projects. Our enthusiastic survey boat crews and captains are also researchers at both projects.

REFERENCES

- [1] Gao, J., 2009. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography* 33, 103-116.
- [2] Pickrill, R.A., Todd, B.J., 2003. The multiple roles of acoustic mapping in integrated ocean management, Canadian Atlantic continental margin. *Ocean & Coastal Management* 46, 601-614.
- [3] Sánchez-Carnero, N., Aceña, S., Rodríguez-Pérez, D., Couñago, E., Fraile, P., Freire, J., 2012. Fast and low-cost method for VBES bathymetry generation in coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 114, 175-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2012.08.018>
- [4] Hatanaka, K., Toda, M., Wada, M., 2007. Data analysis of a low-cost bathymetry system using fishing echo sounders. in *Oceans Conference Record (IEEE)*, 4449181, *Oceans 2007 MTS/IEEE Conference*, Vancouver, BC, 29-4 October., 10.1109/OCEANS.2007.4449181
- [5] Seoane, J.C.S., Arantes, R.C.M., Castro, C.B., Tedesco, E., Barbosa, C.F., Pires, D.O., 2010a. A GIS-ready database for coral reef faunal distribution patterns Recife de Fora, Bahia, Brazil. *Eos Trans. AGU*, 91(26), Meet. Am. Suppl., Abstract B33E1- JA10. AGU Meeting of the Americas at Foz do Iguaçu.
- [6] Seoane, J.C.S., Arantes, R.C.M., Castro, C.B., Tedesco, E., Pires, D.O., 2010b. Mapping environmental controls on coral reef distribution patterns. *Eos Trans. AGU*, 91(26), Ocean Sci. Meet. Suppl., Abstract IT15K-04. *Ocean Sciences Meeting in Portland*.
- [7] Seoane, J.C.S., Arantes, R.C.M., Castro, C.B., Tedesco, E., Lopes, L.S., 2008. Atlas do Mapeamento Físico do Parque Municipal Marinho do Recife de Fora, Porto Seguro, BA. Available online at: [http://www.coralvivo.org.br/new/upload/pdf/Atlas- Recife-de-Fora.pdf](http://www.coralvivo.org.br/new/upload/pdf/Atlas-Recife-de-Fora.pdf). Last Accessed April 18th, 2015.
- [8] Britto Pereira, B.S., 2015. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e caracterização sedimentar do Recife do Araripe, BA. 105p. Trabalho de Conclusão de Curso - IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [9] Simrad NSS-7 manual: <http://www.simrad-yachting.com/en-US/Products/NSS-Touchscreen-Navigation/NSS7-Chartplotter-en-us.aspx>. Last Accessed April 18th, 2015.
- [10] GpsMap 521 Garmin manual: <https://buy.garmin.com/pt-BR/BR/nagua/discontinued-168/gpsmap-521-521s/prod101712.html>. <https://buy.garmin.com/shop/store/manual.jsp?product=010-00760-00&&ra=true>. Last Accessed May 8th, 2015.
- [11] Heyman, W.D., Ecochard, J.-L.B., Biasi, F.B., 2007. Low-cost bathymetric mapping for tropical marine conservation—a focus on reef fish spawning aggregation sites. *Marine Geodesy*, 30: 37–50
- [12] Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), 2014. Previsões de Marés - máximas e mínimas diárias (Tide Forecasts – daily maximum and minimum). Available on line at <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>. Last Accessed May 8th, 2015.
- [13] Hutchinson, M.F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*, August 17-19, Sydney. International Geographical Union, Columbus, Ohio, pp 117-133.
- [14] Hutchinson, M.F. and Gallant, J.C. 2000. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (eds), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Wiley, New York, Chapter 2, pp 29-50.
- [15] Cia Estadual de Habitacao e Obras Publicas (CEHOP), Governo de Sergipe. 2011. Tabela de Honorários de Projetos / Consultorias (Revisada Em Dezembro 2011). Available online at: <http://www.cehop.se.gov.br/modules/wfdownloads/index.php>. Last Accessed May 8th, 2015.

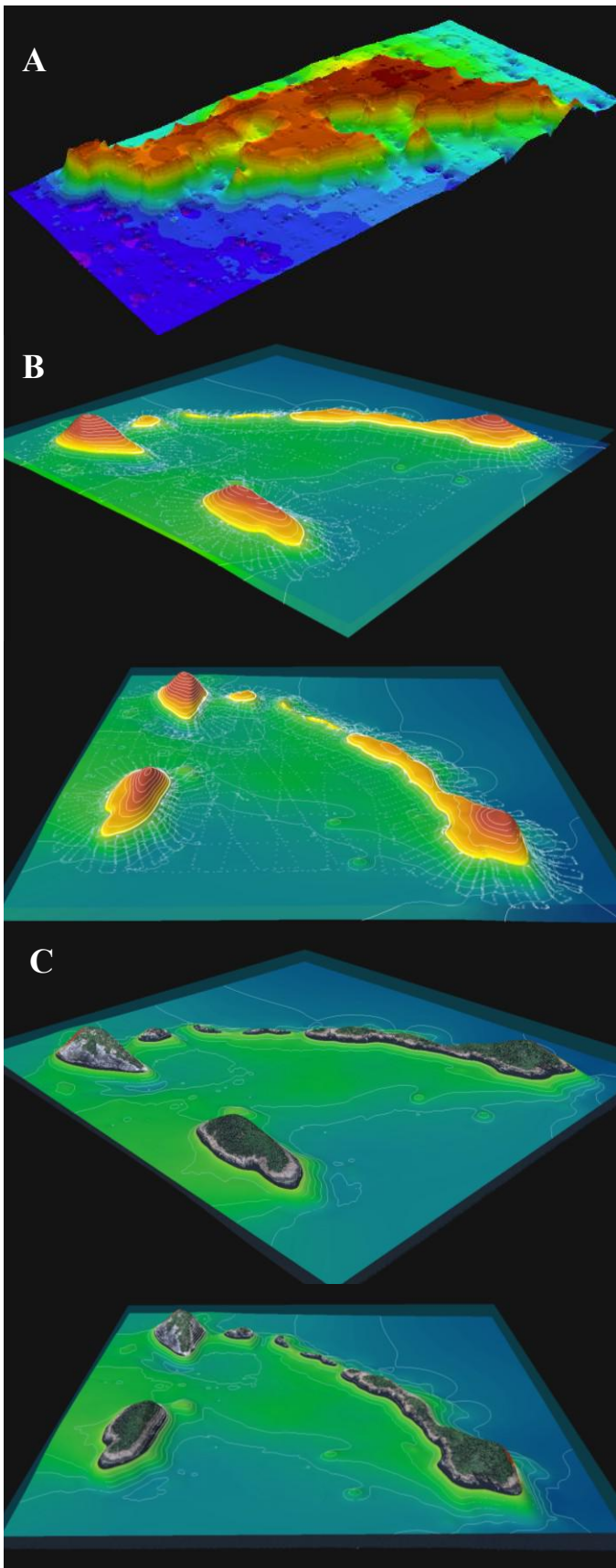


Fig. 10. 3-D views illustrating the bathymetry and morphology of selected parts of the study areas using ArcScene software. A: The heart-shaped reef at PMMCA, which made the news during Valentine's Day in Brazil, 2014. B: DEM generated for the northern islands at MNIC, using the RBF method, viewed from two different angles. Survey points drawn on top of interpolated surface, along topographic (from ASTER GDEM) and bathymetric contours. C: Same views, with GeoEye imagery draped over topography.