

Eduardo Manelli Riva

**MODELAGEM DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DA REGIÃO DO
PARQUE MUNICIPAL MARINHO DO RECIFE DE FORA, PORTO
SEGURO – BA**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2011



UFRJ

Eduardo Manelli Riva

MODELAGEM DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DA REGIÃO DO PARQUE
MUNICIPAL MARINHO DO RECIFE DE FORA, PORTO SEGURO – BA

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

Rio de Janeiro
Agosto de 2011

RIVA, Eduardo Manelli

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 / Eduardo Manelli Riva - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

65 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2011.

Orientador: D. Sc. José Carlos Sícoli Seoane

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.

Eduardo Manelli Riva

MODELAGEM DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DA REGIÃO DO PARQUE
MUNICIPAL MARINHO DO RECIFE DE FORA, PORTO SEGURO – BA

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

Aprovada em: ___/___/___

Por:

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

D. Sc. João Wagner de Alencar Castro
Museu Nacional-UFRJ

Renata Carolina Mikosz Arantes
PPGL-UFRJ

UFRJ
Rio de Janeiro
2011

Dedicatórias,

Ao meu pai Elçon Riva, amigo e companheiro que sempre esteve ao meu lado, por todas as conversas, pelo apoio incondicional e abraço apertado que durante muito tempo foi o meu refúgio.

À minha mãe, Neuza Manelli Riva (*in memoriam*) pelo seu exemplo, por sua luta com muita garra, vontade e sem esquecer o bom humor!

À minha irmã Elaine Souza e sua família, por todo apoio e carinho sempre.

À minha família, por todo suporte, apoio, dedicação, carinho, disponibilidade, puxões de orelha... Em especial aos meus tios Eunice e José Mezabarba e meus primos Adriana e Luis Cláudio Anísio. Obrigado por acreditarem!

À minha namorada Marina Corso, pela compreensão e disponibilidade durante este período. Por toda força e confiança investida, por sua cumplicidade, seu carinho e amor.

Aos meus grandes amigos, sem os quais toda esta caminhada teria sido monótona, sem risos, sem discussões... mas com eles foi garantida muita curtição! E um abraço especial aos novos amigos Splinter (Rodrigo Garcia), Rau (Raunier Fiuza) e aos antigos amigos Guido, Fárlen e Felipe Fontes.

Agradecimentos,

Ao professor e orientador D.Sc. José Carlos Sícoli Seoane, pela orientação, pelo apoio, pela disponibilidade e paciência durante a preparação deste trabalho.

Ao meu primo Luis Cláudio Anísio.

A todos os professores do Departamento de Geologia, sem os quais esta graduação não seria possível.

Resumo

RIVA, Eduardo M. **Modelagem do Levantamento Batimétrico da Região do Parque Municipal Marinho do Recife De Fora, Porto Seguro – Ba.** 2011. 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 de ferramentas de GIS, através da Suíte ESRI ArcGIS 9.3. Após uma comparação sucinta dos principais métodos de interpolação, o método *Radial Basis Function*, da ferramenta *GeoStatistical Wizard*, foi utilizado para gerar um modelo digital de elevação (DEM) da batimetria da região do Parque Municipal Marinho do Recife de Fora – BA. O objetivo é aprimorar o modelo do relevo do fundo marinho a partir dos dados existentes, levantados previamente pelo projeto Coral Vivo.

O método *Radial Basis Function* permite controlar os dados de entrada de modo a reproduzir anisotropias observadas no levantamento, controle também obtido ao se subdividir as amostras em quadrantes. Desta maneira, foram modelados novos mapas batimétricos para a área do Recife de Fora com consideráveis melhorias, com margem de erro RMS de 0,33m.

Para o levantamento dos dados batimétricos deste projeto (41.267 pontos), foram necessários 13 dias de esforço de campo. A partir desta informação, foi testada uma alternativa com a modelagem de dado mais espaçados, com apenas 50% das amostras, comparando os métodos de interpolação através da subtração das superfícies geradas, para que seja possível mensurar a degradação da informação.

Com o método *Radial Basis Function*, para modelagem de 50% dos dados, foi possível gerar uma superfície apresentando ~73% das células com erros menores de 0,25 metros e ~90% das células com erros menores que 0,5 metros.

Palavras-chave: batimetria, modelo digital de elevação (DEM), Parque Municipal Marinho do Recife de Fora.

Abstract

RIVA, Eduardo M. **Modeling of Bathymetric Surveys the Area of the Parque Municipal Marinho do Recife de Fora, Porto Seguro - BA.** 2011. Final Project of Geology – Geology Department, Geoscience Institute, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This study focuses on the use of GIS tools of the ESRI ArcGIS 9.3 Suite. After a brief comparison of the main interpolation methods, the Radial Basis Function method, a tool on the Geostatistical Wizard, was used to generate a digital elevation model (DEM) from the bathymetric data of the region of Parque Municipal Marinho do Recife de Fora - BA. The goal is to improve the model of the seabed relief from the existing data collected the Project Coral Vivo.

The Radial Basis Function method allows the control of input data to reproduce the observed anisotropies of the survey, control also achieved by subdividing the sample into quarters. Thus, new bathymetric maps were modeled for the area of Recife de Fora with considerable improvement with a RMS error margin of 0.33 meters.

For the collection of this project's bathymetric data (41,267 points), 13 days of field work were needed. From this information, we tested an alternative model to the data more widely spaced using 50% of the sample, comparing the interpolation methods through the subtraction of the generated surfaces, so you can be measure the degradation of information.

With the Radial Basis Function Method for modeling 50% of the data, it was possible to generate a surface showing ~ 73% of the cells with errors smaller than 0.25 meters and ~ 90% of the cells with errors less than 0.5 meters.

Key-Words: bathymetry, digital elevation modelo (DEM), Parque Municipal Marinho do Recife de Fora.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Localização	16
1.2. Objetivos	18
1.2.1. OBJETIVO GERAL	18
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. CARACTERIZAÇÃO	19
2.1. Recifes de Coral	19
2.2. Influência de Ondas	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Etapa de Campo	22
3.2. Preparação e carregamento dos dados	25
3.3. Ferramentas utilizadas	26
3.3.1. INTERPOLAÇÃO RASTER	27
3.3.1.1. <i>Inverse Distance Weighting – IDW</i>	28
3.3.1.2. <i>Spline</i>	30
3.3.1.3. <i>Krigagem</i>	33
3.3.1.4. <i>Natural Neighbor</i>	35
3.3.1.5. <i>Topo to Raster</i>	37
3.3.2. GEOSTATISTICAL WIZARD	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Interpolação Raster	41
4.2. GeoStatistical Wizard	42
4.3. Utilização de Menor Quantidade de Dados	50
4.4. Superfícies 3D	55
4.4.1. SUÍTE ESRI ARCGIS 9.3 – Módulo ArcScene	55
4.4.2. SOFTWARE SCHLUMBERGER PETREL 2010.1	56
5. CONCLUSÕES	60
5.1. <i>Inverse Distance Weighting - IDW</i>	60
5.2. <i>Spline</i>	60
5.3. <i>Krigagem</i>	61
5.4. <i>Natural Neighbor</i>	61
5.5. <i>Topo to Raster</i>	61
5.6. <i>Radial Basis Function</i>	61
6. BIBLIOGRAFIA	63
7. WEBGRAFIA	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Recife de Fora em imagem oblíqua (Google Earth)	16
Figura 2 – Localização (SEOANE <i>et al.</i> ,2008)	17
Figura 3 - Correntes de onda atuantes na área do Recife de Fora (BENEDICTO- JUNIOR 2011).....	21
Figura 4 – Montagem dos equipamentos. A) Sensor da ecossonda; B) módulo da ecossonda e C) GPS.....	22
Figura 5 – Caminhamento Leste / Oeste.....	23
Figura 6 – Ferramenta Highway Page (Garmin GPSMAP® 276C owner’s manual, pag 48)	23
Figura 7 – Feixe de ondas sonoras (Garmin GPSMAP® 276C owner’s manual, pag 99)	24
Figura 8 – Geóide e Elipsóide. Disponível em: Wikipedia < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ge%C3%B3ide > Acesso em 15 junho de 2011	25
Figura 9 – Tabela de pontos após correções	25
Figura 10 - referentes aos intervalo de classe (0,5 metros / 36 classes), configurado o tamanho dos pontos e a escala de cores na malha de pontos carregada no software.....	26
Figura 11 - Distribuição de classes e estatísticas da amostra.....	26
Figura 12 – A) malha de pontos sem configuração. B) Malha de pontos após configuração de propriedades	27
Figura 13 - IDW (modificado de CHILDS, 2004)	29
Figura 14 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método <i>Inverse Distance Weighting</i> , neste caso, inverso do quadrado da distância.	30
Figura 15 - <i>Spline</i> (modificado de CHILDS, 2004)	31
Figura 16 - Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método <i>Regularized Spline</i>	32
Figura 17 - Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método <i>Tension Spline</i>	33
Figura 18 - Krigagem (modificado de CHILDS, 2004)	34
Figura 19 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método Krigagem	35
Figura 20 - <i>Natural Neighbor</i> (modificado de CHILDS, 2004)	36
Figura 21 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método <i>Natural Neighbor</i>	37
Figura 22 - <i>Topo to Raster</i> (modificado de CHILDS, 2004).....	38
Figura 23 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método <i>Topo to Raster</i>	39
Figura 24 – Ferramenta GeoStatistical Wizard.....	40
Figura 25 - Comparação da estimativa de variação entre os métodos da ferramenta Interpolação Raster (modificado de CHILDS, 2004)	41
Figura 26 – Mapa batimétrico digital gerado com método <i>Topo to Raster</i>	42

Figura 27 – Interpolação RBF com toda a amostra. A) Previsão da superfície – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 06°, eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Erro RMS médio de ~0,47m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 1,85m e valores esparsos de até 5,59m de erro; C) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e D) Esboço da batimetria.	43
Figura 28 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante NE. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 10°, eixo maior 150 e menor 30, fator de anisotropia igual a 5; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,4m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante NE gerado.	44
Figura 29 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante NW. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 04°, eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,43m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante NW gerado.	45
Figura 30 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante SW. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 07°, eixo maior 200 e menor 50, fator de anisotropia igual a 4; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,72m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante SW gerado.....	46
Figura 31 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante SE. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 04°, eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,43m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante SE gerado.....	47
Figura 32 - Quadrantes gerados com método <i>Radial Basis Funquition</i> . A média das áreas sobrepostas garante que a diferença de anisotropia de cada quadrante seja compensada.....	48
Figura 33 – Mapa final gerado com método RBF após reagrupamento dos quadrantes	49
Figura 34 – Malha de pontos apresentando 50% das informações (linhas espaçadas 100 metros)	51
Figura 35 – Resultado encontrado utilizando Topo to Raster com informação reduzida	52

Figura 36 - Resultado encontrado utilizando RBF com informação reduzida.....	53
Figura 37 – Margem de erro medio utilizando 50% dos dados	54
Figura 38 – Subtração de superfícies. (Superfície RBF 100% dos dados) – (Superfície RBF 50% dos dados), com isso foi possível mensurar a quantidade de erro gerado ao diminuir a densidade de amostragem. De acordo com a tabela, ~73% das células apresentam erros menores que 0,25m e ~90% das células apresentam erros de no máximo de 0,5m.....	55
Figura 39 – Superfície 3D gerada a partir do mapa onde se utilizou o método RBF e 100% dos dados após reagrupamento dos quadrantes	56
Figura 40 – Malha de pontos carregada no Software Petrel 2010.1	57
Figura 41 – Ferramenta Make/Edit Surface e os métodos de interpolação disponíveis	57
Figura 42 – Superfície gerada com o método Convergent Interpolation	58
Figura 43 - Superfície gerada com o método Kriging	59
Figura 44 - Superfície gerada com o método Function	59

INICE DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento e esforço de campo (SEOANE et al., 2007).....	24
--	-----------

1. INTRODUÇÃO

Os recifes de coral são ecossistemas marinhos que equivalem a florestas tropicais no mar (SEOANE *et al.*, 2008), seja no sentido industrial, como na indústria farmacológica, como uma proteção natural para regiões costeiras, protegendo contra a ação do mar, ou como criadouros, renovando grandes estoques de peixes e funcionando como um ecossistema de enorme diversidade biológica. O Brasil possui os únicos recifes de coral da região do Atlântico Sul, abrangendo desde a costa do Maranhão ao extremo sul da Bahia, sendo esta área a mais rica biodiversidade de corais do Atlântico Sul.

O Projeto Coral Vivo, do qual este trabalho é parte integrante, e vem sendo desenvolvido com o patrocínio do Programa Petrobras Ambiental (2007-2012), atua de modo amplo e integrado em ações de conservação e uso sustentável de recifes de coral brasileiros, englobando mobilização social, educação ambiental, desenvolvimento tecnológico e científico e capacitação de agentes multiplicadores de suas linhas de ação. Assim, o Projeto Coral Vivo, visando o mapeamento físico e biológico de espécies de corais na Unidade de Conservação Parque Municipal Marinho Recife de Fora (PMMRF), realizando desde 2007, o mapeamento físico e biológico completo desta região, incluindo análises sedimentológicas, granulométricas, mineralógicas e análise de foraminíferos, além outros dados de vital importância, como mapeamento batimétrico, cálculo do percentual de carbonatos e caracterização ambiental do recife.

O Recife de Fora, possui de aproximadamente de 17,5 km² e localiza-se no litoral norte de Porto Seguro, sendo ideal para se criar um modelo de aplicação do conhecimento para gestão de unidades de conservação. Buscou-se através de levantamento de dados de campo, mergulhos, técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, identificar os diferentes tipos de habitats desta Unidade de Conservação através da integração de dados físicos (sedimentológicos, geomorfológicos e batimétricos), químicos (mineralogia, teor de carbonato e matéria orgânica), biológicos (fauna, flora e foraminíferos) e ambientais (vento, temperatura da água e visibilidade).

Esses tipos de recifes coralinos possuem extrema importância para o homem,

sendo ainda a base de todo um ecossistema, servindo de abrigo para uma grande variedade de espécies de peixes, crustáceos, equinodermos e outros invertebrados. No Brasil, o manejo de recursos recifais ainda é um desafio porque existem poucos dados e resultados escassos sobre este tema.

1.1. Localização

Situado no município de Porto Seguro, Bahia, o Parque Municipal Marinho do Recife de Fora (PMMRF), foi criado pela Lei nº 260/97, 16 de dezembro de 1997. A área do Parque é de cerca de 17,5 km², sendo aproximadamente 5,56 km X 3,1 km (paralelo e perpendicular à linha de costa respectivamente), entre as latitudes 16°23'S e 16°26'S e entre as longitudes 039°00'W e 038°58'W. Ao largo do litoral norte de Porto Seguro, o Parque Municipal Marinho de Recife de Fora só pode ser acessado via terrestre até a referida cidade pela BR – 367. Depois, o trajeto tem que ser feito de barco, cerca de 6 km (Figuras 01 e 02).



Figura 1 - Localização do Recife de Fora em imagem oblíqua (Google Earth)



Mapeamento Físico do Recife de Fora

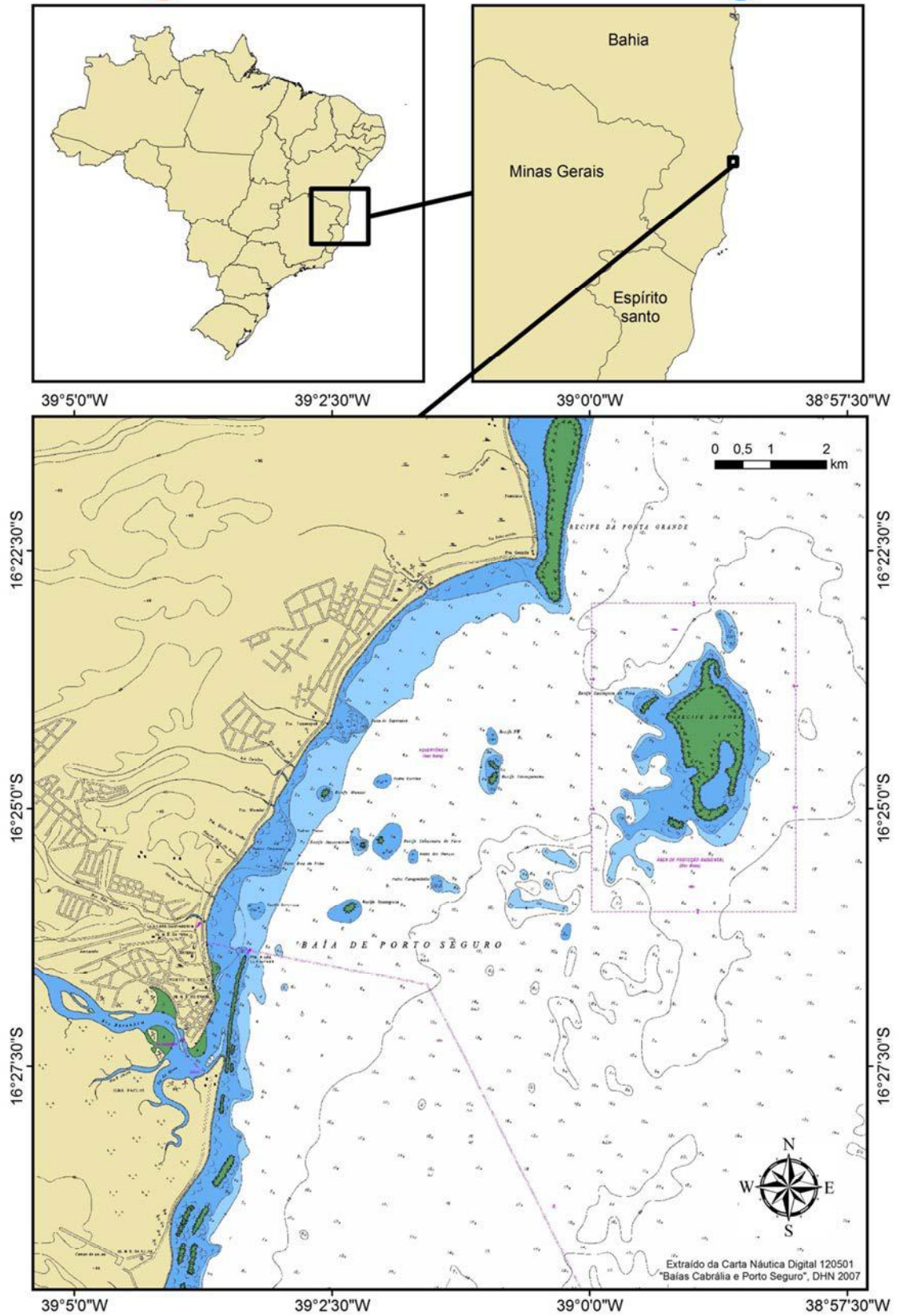


Figura 2 – Localização (SEOANE et al., 2008)

1.2. Objetivos

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Neste trabalho foram analisados e tratados os dados do levantamento batimétrico para o Projeto Coral Vivo na região do Parque Municipal Marinho do Recife de Fora (PMMRF). Buscou-se através dos principais modelos de interpolação encontrados na Suíte ESRI ArcGIS 9.3, gerar o melhor modelo digital de elevação (DEM) possível a partir dos dados existentes, levantados previamente pelo projeto Coral Vivo (SEOANE et al., 2007), visando melhorar a confiabilidade das informações do relevo do fundo marinho na região.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Possibilitar maior controle dos dados de entrada para interpolação de superfícies, utilizando ferramenta GeoStatistical Wizard;
- Gerar mapa batimétrico da região de estudo com diminuição da margem de erro;
- Analisar a confiabilidade dos resultados se utilizado menor quantidade de dados, visando otimizar tempo e custo para aquisição dos mesmos;
- Comparar os resultados encontrados com o Suíte ESRI ArcGIS 9.3 e com o Software Schlumberger Petrel 2010.1.

2. CARACTERIZAÇÃO

2.1. Recifes de Coral

Segundo o Projeto Coral Vivo, “recifes de coral são habitats marinhos gerados por bioconstruções calcárias. Os corais são animais de ambiente marinhos pertencentes do grupo dos cnidários, juntamente com as anêmonas, águas-vivas (medusas) e os “corais de fogo” (hidrozoários). São animais invertebrados, logo não apresentam espinha dorsal, capazes de secretar seu próprio exoesqueleto calcário ou córneo (como nossos ossos e unhas). O coral é fixado ao substrato marinho pelo esqueleto que, também, exerce função de proteção. O corpo dos corais é chamado de pólipos, trata-se de uma estrutura cilíndrica em forma de saco, apresentando uma única cavidade interna, chamada boca. Esta boca é rodeada por tentáculos e serve para ingestão e eliminação de alimentos e resíduos. Os corais também possuem substâncias urticantes e paralisantes presentes nos cnidócitos (células especializadas presentes nas estruturas dos tentáculos), que e servem para capturar presas e defender o pólipo.” (Disponível em: <<http://www.coralvivo.org.br/new/index.asp?conteudo=19220090265384537>> Acesso em 15 de junho de 2011.).

Geomorfologicamente, um recife de coral é uma estrutura rochosa, rígida, resistente à ação mecânica das ondas e corrente marinhas, construída por organismos marinhos (animais e vegetais) portadores de esqueleto calcário (LEÃO, 1994; CASTRO, 1997).

Sob o ponto de vista biológico, recifes de coral são formações criadas a partir da ação de comunidades de organismos genericamente denominado de corais. Apesar da estrutura básica de recifes biogênicos ser composta do acúmulo de esqueletos calcários destes animais, para sua formação é necessária uma atuação em conjunto de uma infinidade de seres, formando uma complexa “teia” de associações e eventos sucessivos. Em alguns recifes, incluindo do Brasil, o crescimento de outros organismos, por exemplo, das algas calcárias, pode assumir uma relevância maior que a dos próprios corais (KIKUCHI & LEÃO, 1997).

2.2. Influência de Ondas

Segundo Benedicto-Junior (2011), No regime de ondas desta região observam-se frentes de onda vindas de leste (N090°), nordest e (N045°), sudeste (N135°) e sul-sudeste (N157°) (Figura 03), correspondendo às direções principais dos ventos que atingem a costa desta região (Martin et al., 1998). A influência anual de cada frente, respectivamente é de 35%, 31%, 21% e 13% (DHN, 1993). Segundo U. S. Navy (1978), as frentes de onda de leste e de nordeste apresentam período de 5,0s e altura de 1,0m em alto mar, enquanto as frentes de sudeste e de sul-sudoeste apresentam período de 6,5s e altura de 1,5m em alto mar. As ondas vindas de nordeste predominam durante os meses de primavera e verão, as de sudeste e sul-sudeste durante os meses de outono e inverno. Por fim, as frentes de leste são bem distribuídas durante todo o ano (Iracema Reimão Silva / Revista de Gestão Costeira Integrada 8 (2):47-60, 2008).

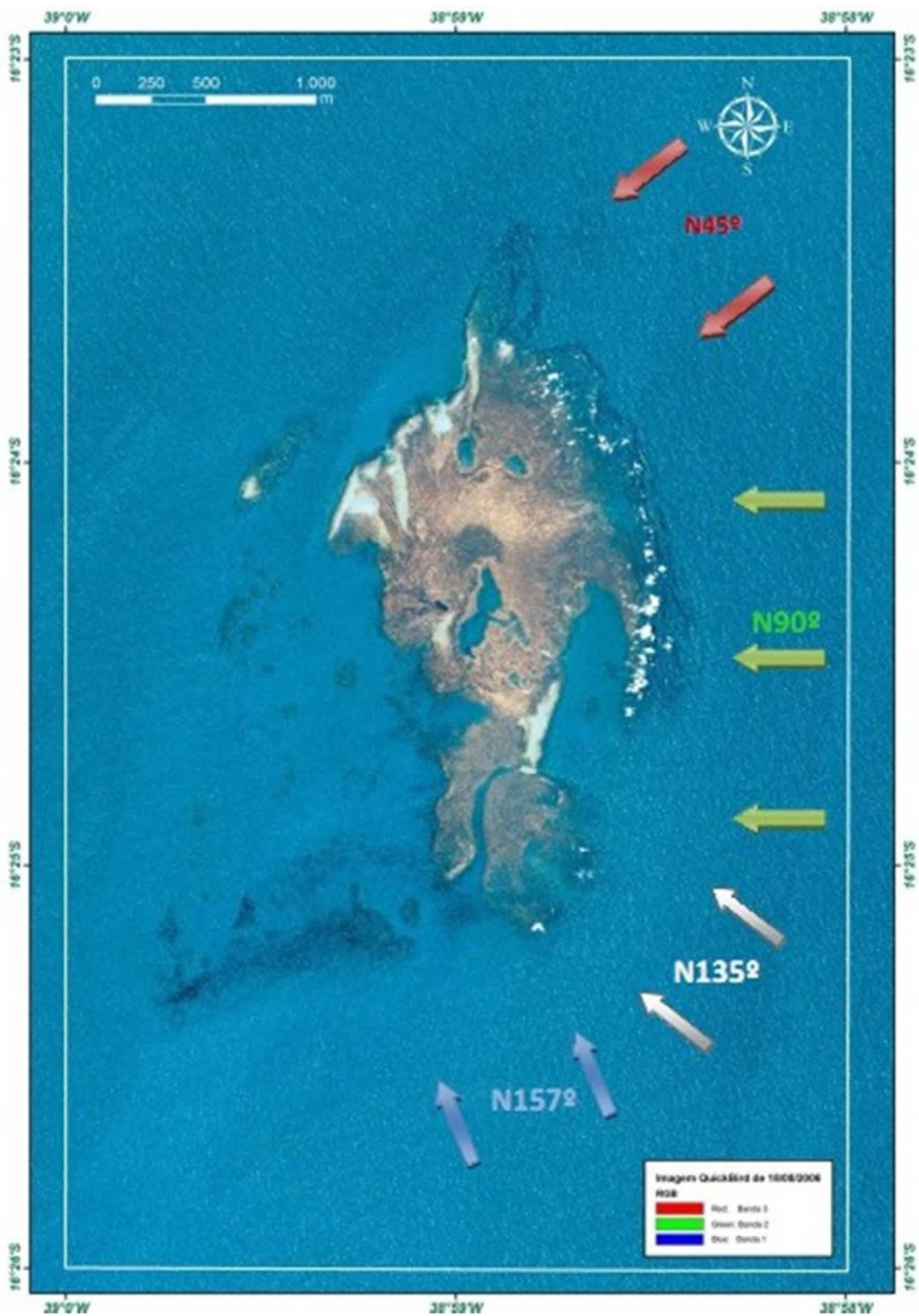


Figura 3 - Correntes de onda atuantes na área do Recife de Fora (BENEDICTO-JUNIOR 2011)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Etapa de Campo

Durante 13 dias foi realizada varredura da área do Recife de Fora, Porto Seguro – BA, de aproximadamente 23km². Para aquisição dos dados foram utilizados os aparelhos GPS Garmin 276C com cabos conectores e ecossonda Garmin GSD-21 montados em uma Lancha de aproximadamente 29 pés (Figura 04) Seoane et al., 2007)



Figura 4 – Montagem dos equipamentos. A) Sensor da ecossonda; B) módulo da ecossonda e C) GPS

O levantamento dos dados foi feito no sentido Leste – Oeste, com aproximadamente 4 km de comprimento cada corrida. O aparelho GPS Garmin 276C oferece uma precisão média de 15 metros (Garmin GPSMAP® 276C owner's manual, pag 101), e devido a este fato utilizamos um espaçamento de 50 metros entre as linhas para que, se necessário, seja possível realizar novo levantamento de dados criando novas linhas, entre as já existentes, sem que haja sobreposição das informações (Figura 05).

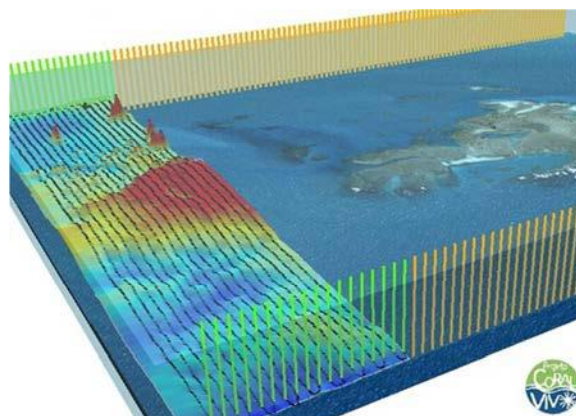


Figura 5 – Caminhamento Leste / Oeste

O aparelho GPS foi preparado e configurado para mostrar a direção de cada linha a ser percorrida com a ferramenta *Highway Page* (Figura 06), assim o barqueiro pode guiar a lancha em linha aproximadamente reta percorrendo toda a extensão do Recife de Coral.

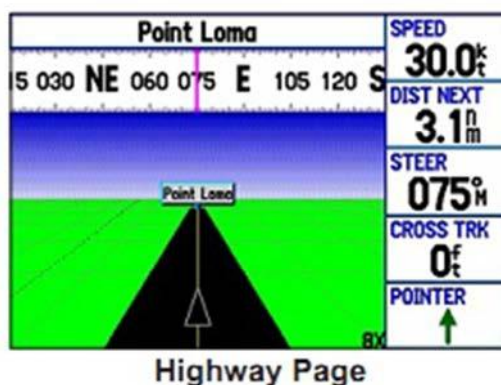


Figura 6 – Ferramenta Highway Page (Garmin GPSMAP® 276C owner's manual, pag 48)

A ecossonda Garmin GSD-21 possui dois feixes de ondas sonoras com diferentes frequências para aquisição dos dados, 50 MHz e 200 MHz. Como padrão, a 15 metros de profundidade, o feixe de 50 MHz cria um cone com 40° que nos dá uma área de cobertura de 10 metros; o de 200 MHz cria um cone de 10° que nos dá uma área de cobertura de 3 metros (Figura 06). A eficiência da ecossonda sofre pode sofrer influência da salinidade da água, tipo de fundo marinho e outras condições do ambiente.

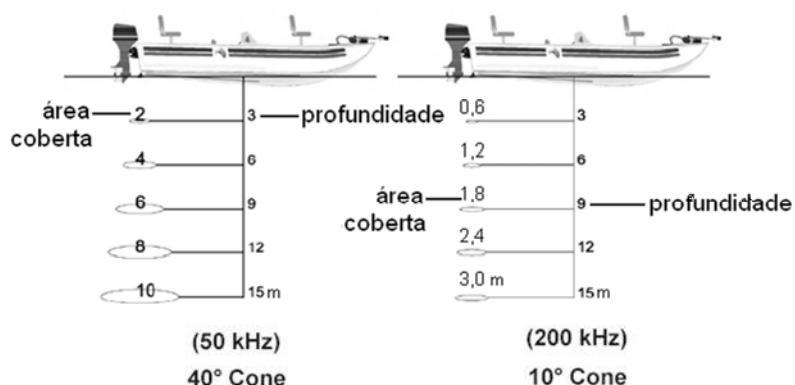


Figura 7 – Feixe de ondas sonoras (Garmin GPSMAP® 276C owner's manual, pag 99)

Neste trabalho foi utilizada a combinação dos dois feixes e a amostra foi tratada respeitando um espaçamento médio de 10-12 metros ponto-a-ponto para evitar sobreposição ou ausência de dados da batimetria.

Na tabela à seguir podemos ver um resumo de todo o esforço de campo durante a aquisição dos dados (Tabela 01).

Data	Linhas	Nº de Pontos	Pico da Preamar (horas)	Pico da Preamar (altura)	Início	Fim	Esforço de campo
15-06	12	4925	16:04	1,8	13:04	17:07	4h03min
16-06	6	3038	16:56	1,7	14:22	17:02	3h20min
18-06	8	3451	5:51	1,8	6:08	9:16	3h08min
19-06	8	3438	6:30	1,8	6:41	9:38	2h57min
20-06	10	3972	7:21	1,8	6:27	10:25	4h
21-06	7	5110	8:11	1,7	6:54	11:53	5h
22-06	14	6001	9:08	1,6	7:46	12:49	5h
23-06	12	4916	10:09	1,5	8:42	12:48	4h
25-06	8	3091	12:15	1,5	11:00	14:04	3h04min
26-06	10	3685	13:08	1,6	11:02	15:04	4h
27-06	10	4158	13:56	1,7	11:15	15:44	4h30min
28-06	4	1503	14:36	1,9	14:02	15:31	1h30min
Total	109	47288					

Tabela 1 – Planejamento e esforço de campo (SEOANE et al., 2007).

Para comunicabilidade do conjunto GPS/eco-sonda e o notebook foi utilizado *software* da própria Garmin – Mapsourse; para tratamento dos mesmos no notebook foram utilizados Módulos da Suíte ESRI ArcGIS 9.3 – ArcMap, ArcScene, ArcCatalog.

3.2. Preparação e carregamento dos dados

O output do GPS foi carregado em uma planilha Excel para correção das informações. Estes dados são referentes à altitude do Elipsóide de Referência, uma superfície matematicamente definida que se aproxima do Geóide. O Geóide é um modelo físico da forma da Terra, uma superfície equipotencial (superfície de potencial gravitacional constante) e que, em média, coincide com o valor do nível médio do mar (Figura 08).

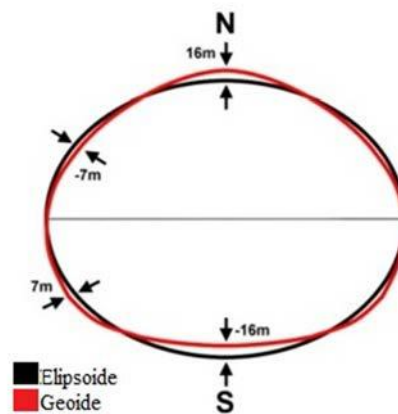


Figura 8 – Geóide e Elipsóide. Disponível em: Wikipedia <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ge%C3%B3ide>> Acesso em 15 junho de 2011

Desta forma é preciso converter as altitudes geométricas (referidas ao elipsóide) em ortométricas (referidas ao geóide), compensar a profundidade do sensor na quilha da lancha em relação à superfície do mar (30 cm) e por fim, realizar a correção para profundidade em função da variação da maré durante o levantamento, utilizando a Tábua de Marés (Figura 09). No total, a planilha de dados processados apresenta 41.267 pontos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	FID	SHAPE*	POINT_X	POINT_Y	ELEVATION	POITION	TIME	ALTITUDE	DEPTH	LEGLengt	LEGSPEED	LEGCOURE	PROF	PROF_KEEL	PROF_MARE
2	1	Point ZM	499684.220713	8186716.294010	-4.67	16.4009	39259.46	-5	11.50	11	10	72.209	-11.50	-11.80	-10.44
3	2	Point ZM	499695.551696	8186719.548570	-5.15	16.4009	39259.46	-5	11.50	12	11	73.880	-11.50	-11.80	-10.44
4	3	Point ZM	499706.335980	8186723.655990	-4.67	16.4009	39259.46	-5	11.40	12	10	69.031	-11.40	-11.70	-10.34
5	4	Point ZM	499717.254812	8186727.189290	-5.15	16.4008	39259.46	-5	11.40	11	10	71.967	-11.40	-11.70	-10.34
6	5	Point ZM	499727.877847	8186733.281200	-5.15	16.4008	39259.46	-5	11.50	12	11	60.016	-11.50	-11.80	-10.44
7	6	Point ZM	499736.425150	8186740.920620	-4.67	16.4007	39259.46	-5	11.40	11	10	48.031	-11.40	-11.70	-10.34
8	7	Point ZM	499744.962849	8186748.459380	-4.67	16.4006	39259.46	-5	11.30	11	10	48.383	-11.30	-11.60	-10.24

Figura 9 – Tabela de pontos após correções

3.3. Ferramentas utilizadas

Para importar os dados para o Módulo ArcMap 9.3 foi necessário gerar um arquivo .txt referente à planilha contendo as informações corrigidas. A primeira informação atribuída foi o sistema de coordenadas geográficas. Todos os esboços, mapas e modelos utilizam o *datum* WGS84, coordenadas UTM, zona 24S. Em seguida, informações referentes à profundidade (coluna PROF_MARE_), configurado o tamanho dos pontos e a escala de cores na malha de pontos carregada no *software* (Figura 10).

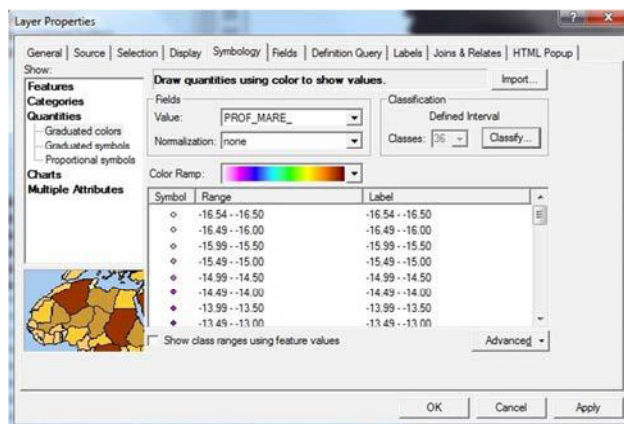


Figura 10 - referentes aos intervalo de classe (0,5 metros / 36 classes), configurado o tamanho dos pontos e a escala de cores na malha de pontos carregada no software

Na aba *Classify* foram definidas o número de classes e o valor de seus intervalos. Esta aba trás informações como: quantidade de pontos, valor mínimo e máximo da amostra, somatório dos dados, média, mediana e desvio padrão, além do histograma mostrando a distribuição da amostra (Figura 11).

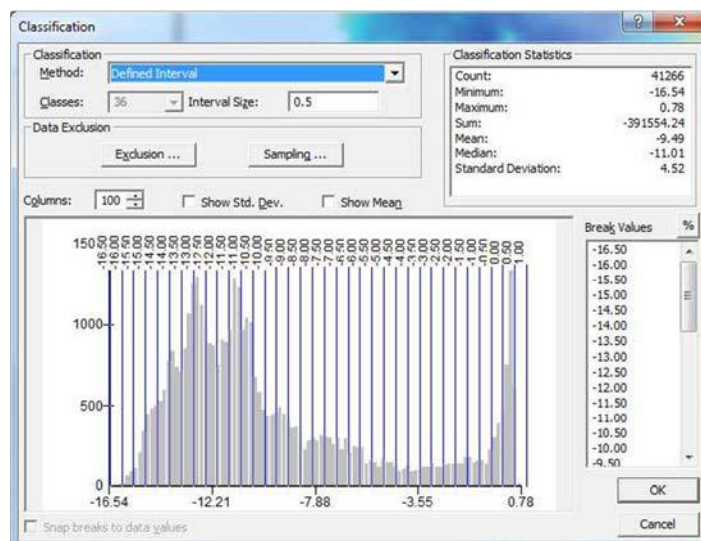


Figura 11 - Distribuição de classes e estatísticas da amostra.

Após formatada, a malha de pontos obedece a escala de cores, dando uma idéia inicial da distribuição da informação (profundidade) (Figura 12 A e B).

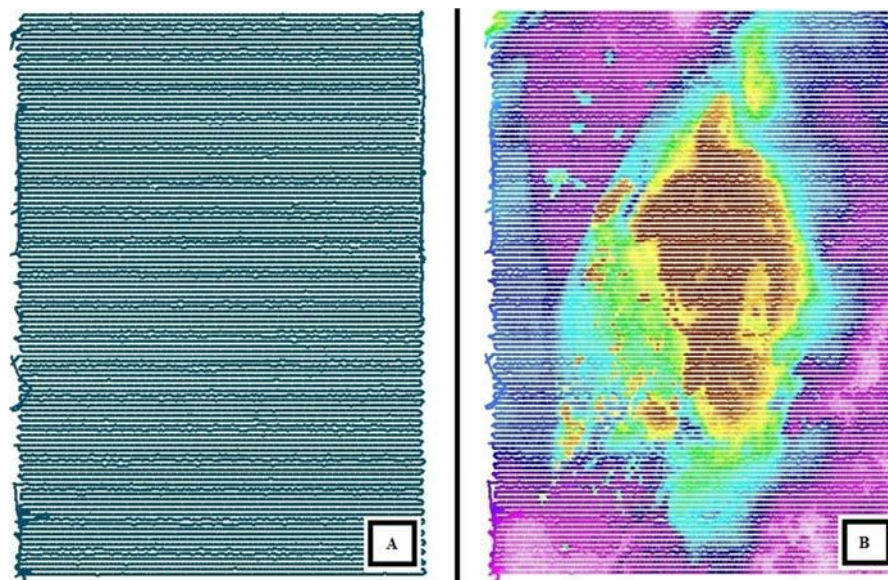


Figura 12 – A) malha de pontos sem configuração. B) Malha de pontos após configuração de propriedades

3.3.1. INTERPOLAÇÃO RASTER

Segundo Childs (2004), interpolação é um processo usado para prever valores para células vazias, ou seja, onde não há pontos amostrados. Este processo é baseado no princípio da correlação espacial ou dependência espacial, através do grau de relação/dependência entre objetos mais próximos e/ou mais distantes da célula vazia.

A correlação espacial determina se existe uma inter-relação entre os valores das células em sua vizinhança. Se os valores são inter-relacionados, dizemos que existe um padrão espacial.

Existem duas categorias de técnicas de interpolação, determinística e geoestatística. Técnicas determinísticas criam superfícies baseadas nas medidas reais dos pontos ou em fórmulas matemáticas, como exemplo o modelo IDW (*Inverse Distance Weighting*). Técnicas Geoestatísticas, como o próprio nome diz, são baseadas em estatísticas calculadas a partir dos dados pertencentes a cada ponto da malha e usadas para modelagem mais avançada de superfícies, que podem incluir medidas de certeza e previsão da precisão, como o modelo Krigagem.

É possível controlar as características de interpolação de uma superfície limitando a quantidade de pontos a serem usados na realização do processo. Outra forma de limitação seria utilizar os vizinhos localizados dentro de uma área de ação pré-determinado, onde todos os vizinhos dentro desta área delimitada pelo raio de ação serão considerados.

Existem diferentes métodos de interpolação usados para diferentes tipos de dados. Alguns métodos terão melhor resposta para amostras de dados (pontos) regularmente espaçados, outros métodos são mais indicados para amostras irregulares. Cada método gera superfícies, com padrões e características pouco ou consideravelmente, diferentes do outro. A escolha do método depende do tipo de amostra, da finalidade da superfície e da experiência do modelador.

A representação de uma superfície pode ser considerada como a representação de uma função contínua, visto que para cada par XY de coordenadas existe um, e somente um valor de Z.

3.3.1.1. *Inverse Distance Weighting* – IDW

Inverse Distance Weighting é usado quando a malha de pontos é densa o suficiente para cobrir toda a extensão local da variação de superfície a ser analisada. IDW determina valores de célula usando uma combinação linear de pesos para cada ponto da malha (CHILDS, 2004). O valor de saída para cada célula usando IDW é limitado pelo *range* dos dados usados para a interpolação. Seus resultados não apresentam os valores reais medidos para altura e profundidade, e sim a média ponderada destes em relação à distância (Figura 13), ocasionando o achatamento da superfície. Acesso em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6270&pid=6268&topicname=IDW>> Acesso em 16 junho de 2011. (Figura 14).

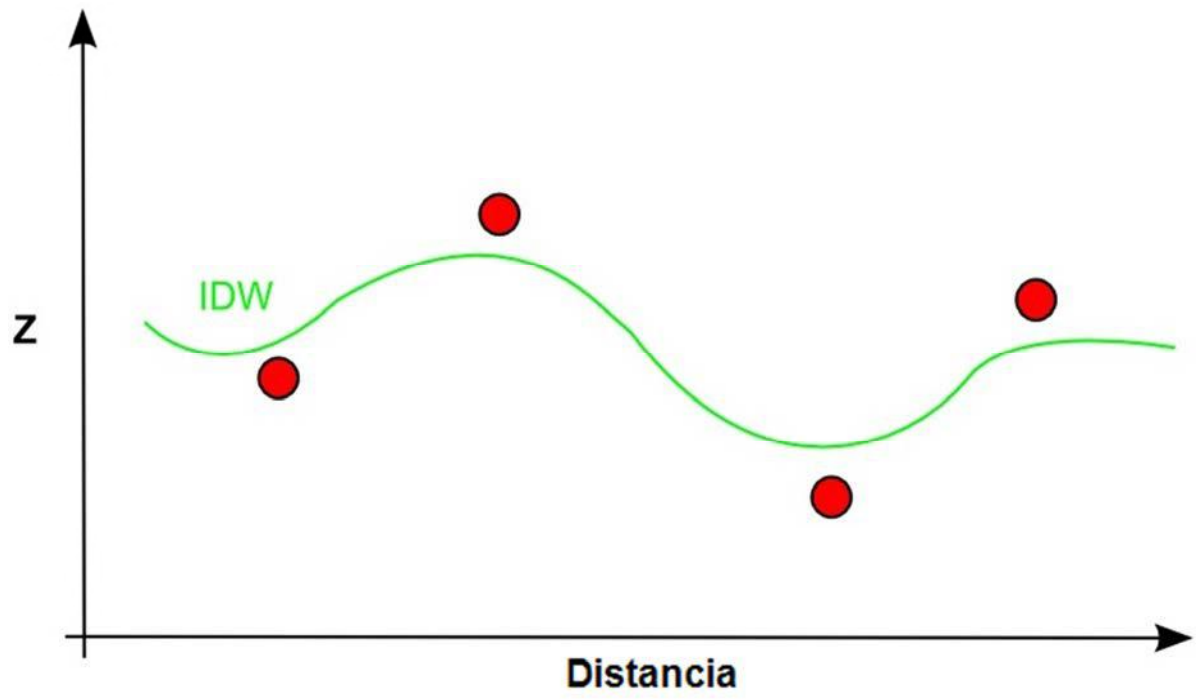


Figura 13 - IDW (modificado de CHILDS, 2004)

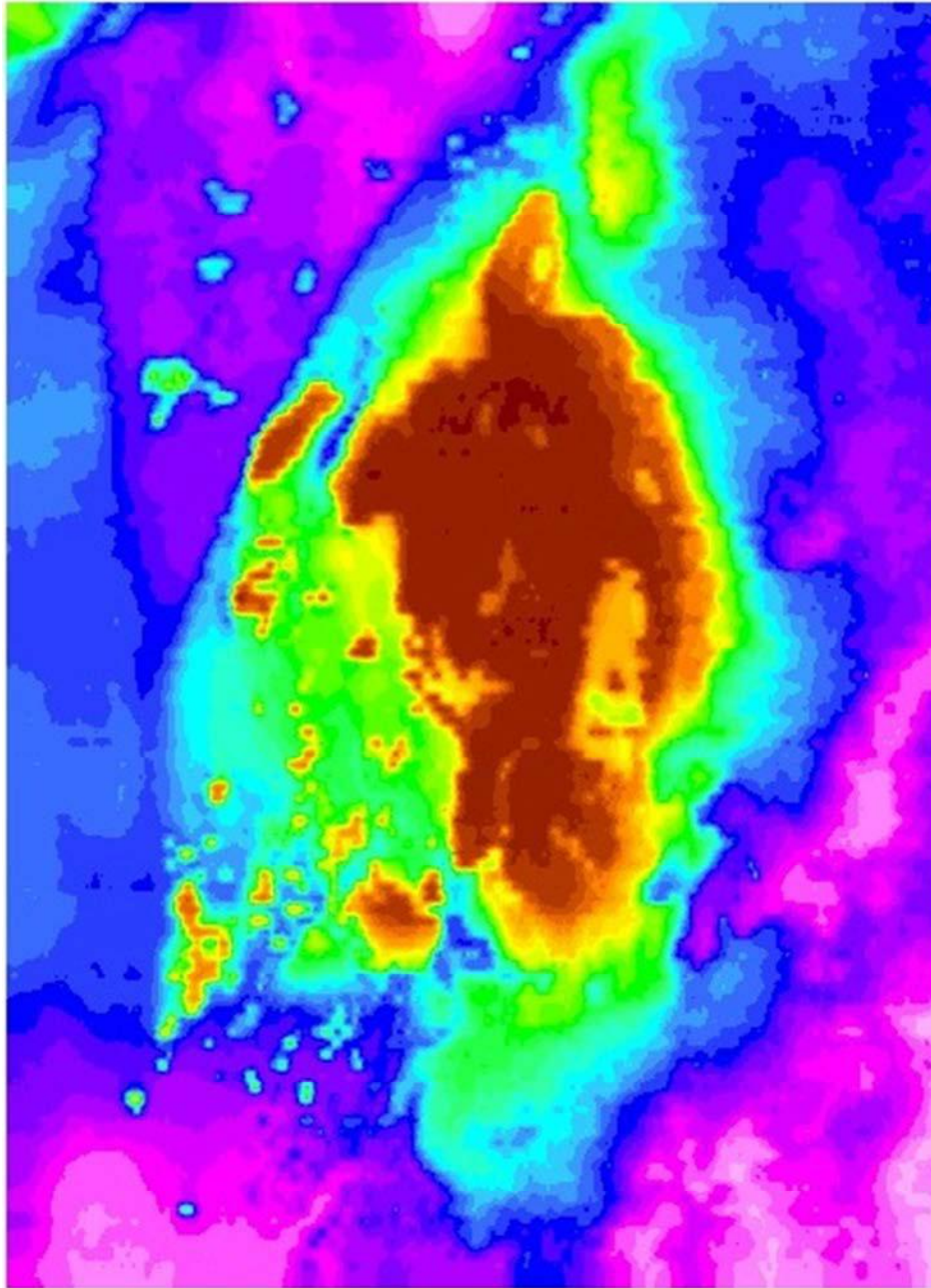


Figura 14 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método *Inverse Distance Weighting*, neste caso, inverso do quadrado da distância.

3.3.1.2. *Spline*

Spline é um modelo que estima valores usando funções matemáticas que minimizam a curvatura total da superfície. O resultado esperado é uma superfície suavizada que passa exatamente pela medida do ponto, como se dobrássemos um pedaço de borracha respeitando exatamente os limites de topos vales para cada ponto (Figura 15). Este método é muito utilizado para representar fenômenos como temperatura.

Existem duas variações de *Spline* – *regularized* e *tension*. *Regularized Spline* utiliza a primeira derivada (declive), segunda derivada (variação do declive), e a terceira derivada (taxa de variação da segunda derivada) minimizando os cálculos (Figura 16). *Tension Spline* utiliza apenas primeira e segunda derivadas (Figura 17), o que inclui mais pontos para calcular um *Spline*, aumentando o tempo de processamento computacional (CHILDS, 2004).

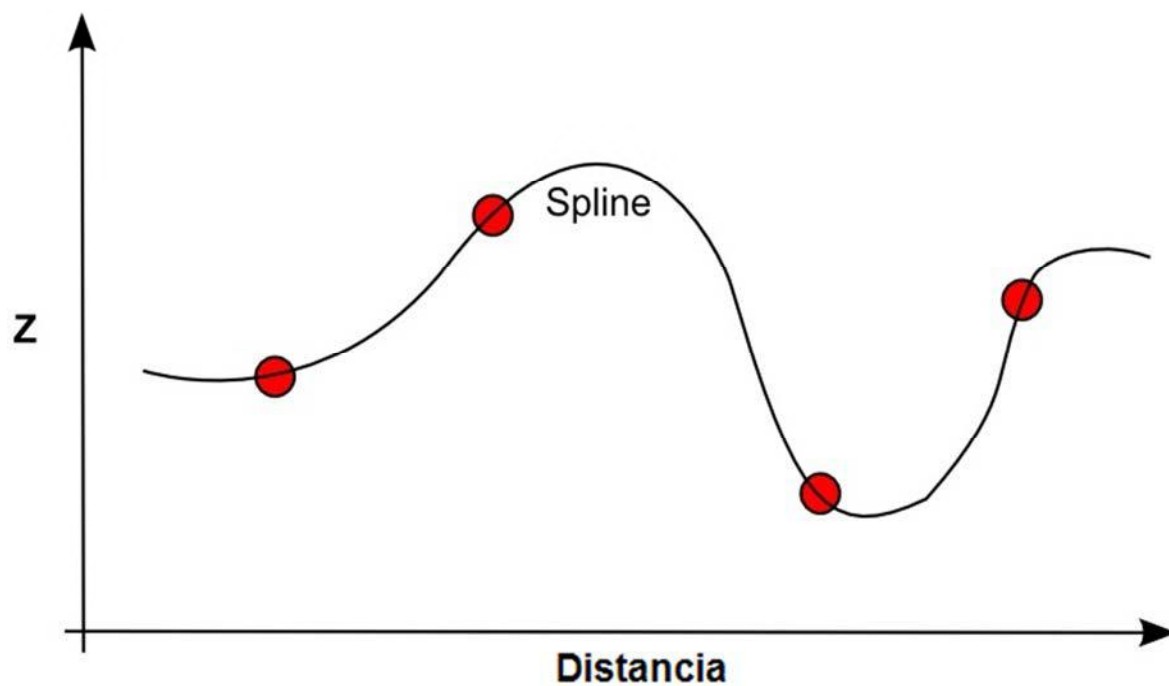


Figura 15 - *Spline* (modificado de CHILDS, 2004)

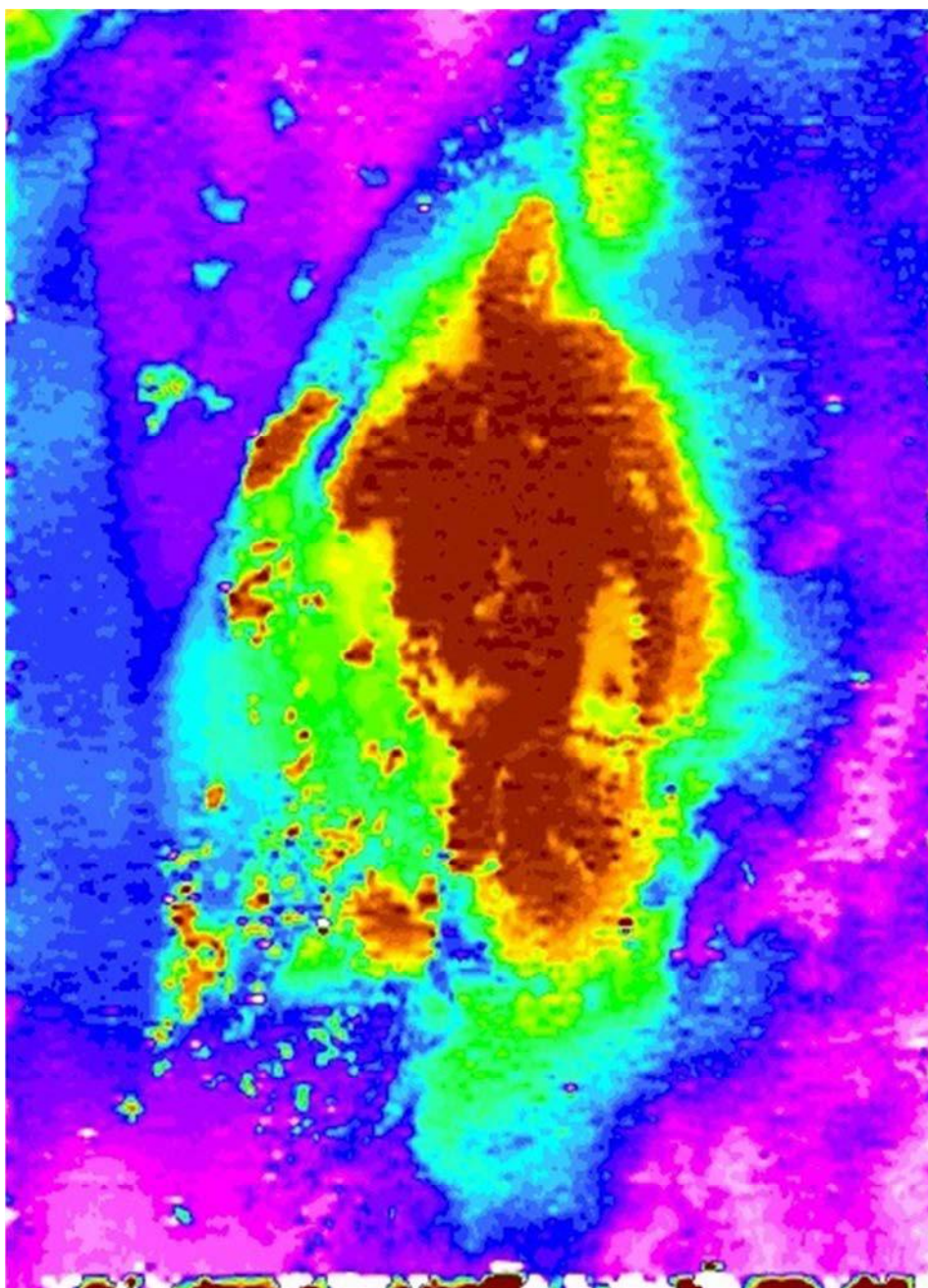


Figura 16 - Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método *Regularized Spline*

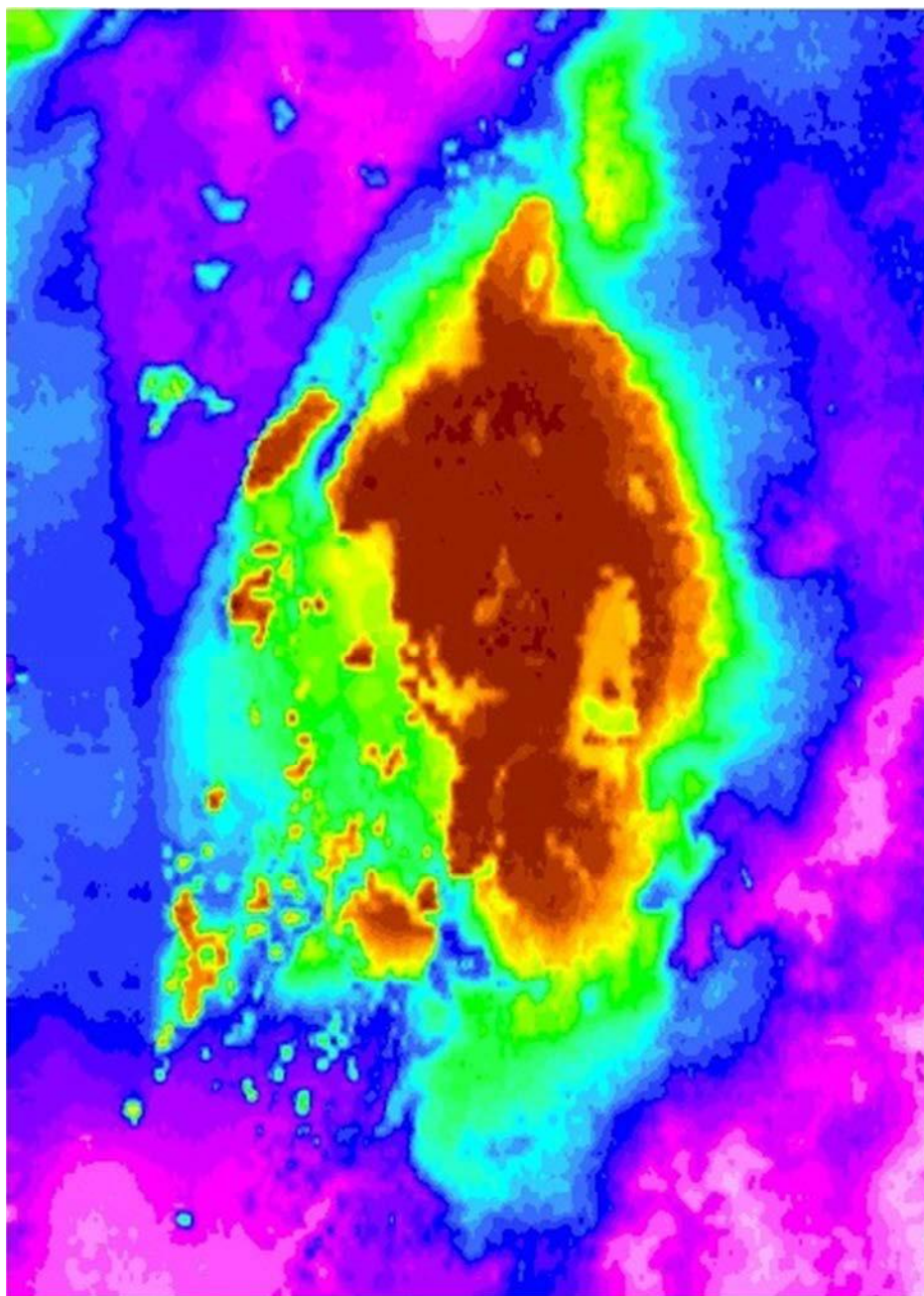


Figura 17 - Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método *Tension Spline*

3.3.1.3. Krigagem

Krigagem é um poderoso método de interpolação estatística aplicado em diversas áreas, como: ciências da saúde, geoquímica, modelagem de áreas poluídas. A Krigagem assume que a distância ou direção entre dois pontos reflete uma correlação espacial que pode ser usada para explicar variações na superfície, determinada a partir do semi-variograma (Figura 18). É fixada uma função para um número específico de pontos, ou para todos os pontos, dentro de um raio de ação,

para determinar o valor de saída para cada local da superfície (Figura 19). Este método é mais apropriado quando se conhece a distância ou direção de correlação espacial dos dados e é usualmente aplicada em geociências ou agronomia (CHILDS, 2004).

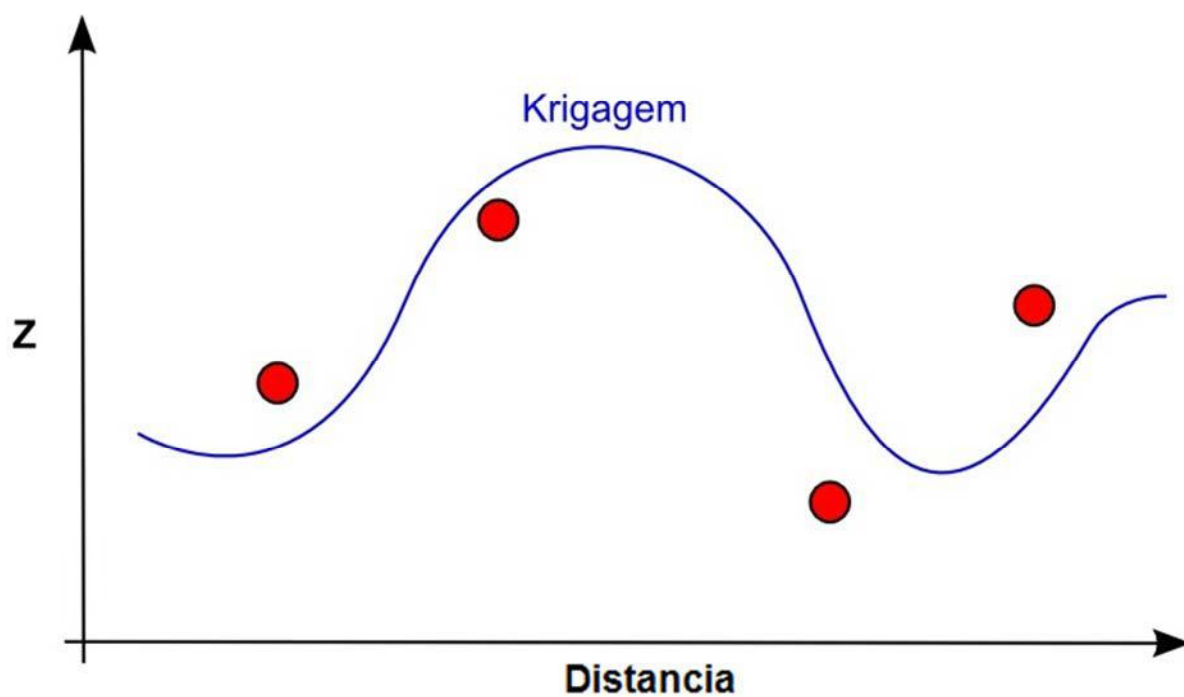


Figura 18 - Krigagem (modificado de CHILDS, 2004)

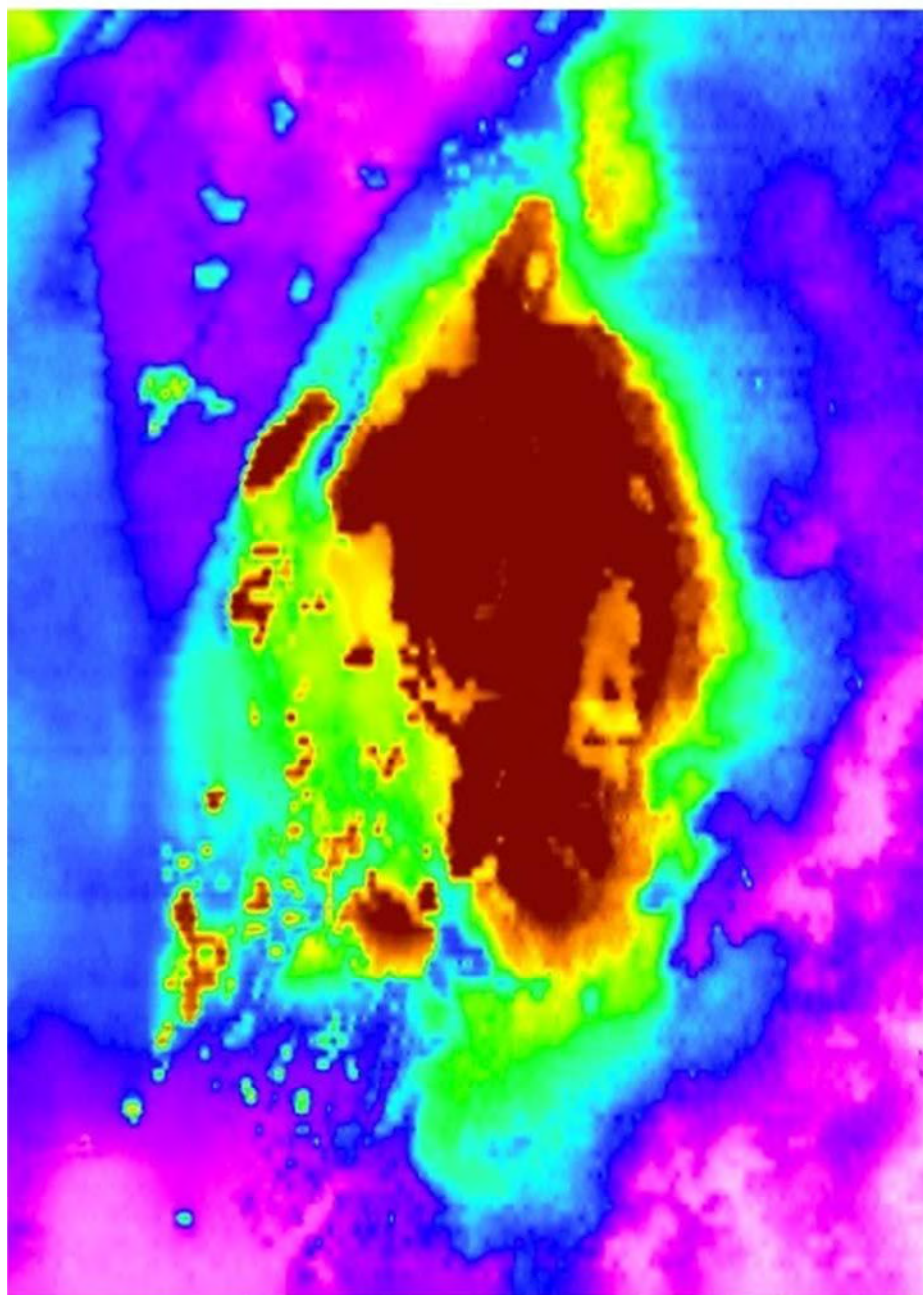


Figura 19 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método Krigagem

3.3.1.4. *Natural Neighbor*

Natural Neighbor, ou vizinhos próximos, apresenta várias características positivas e pode ser usado tanto para interpolação quanto para extrapolação. É mais um método que utiliza médias ponderadas, e a equação básica usada para interpolação com natural neighbor é idêntica àquela usada para interpolação com IDW (Figura 20). Este método pode suportar com eficiência uma carga de dados com amostras muito grandes. Usando o método natural neighbor, coordenadas

locais definem o quanto um ponto da amostra influenciará na célula de saída (CHILDS, 2004, Figura 21).

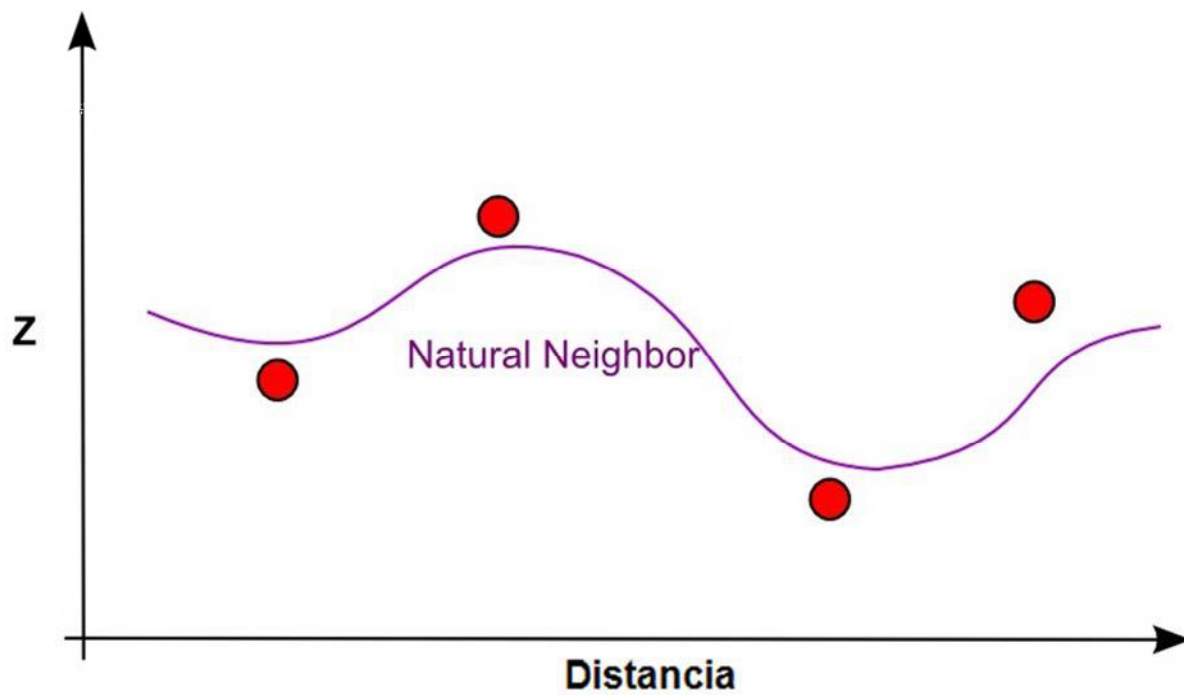


Figura 20 - *Natural Neighbor* (modificado de CHILDS, 2004)

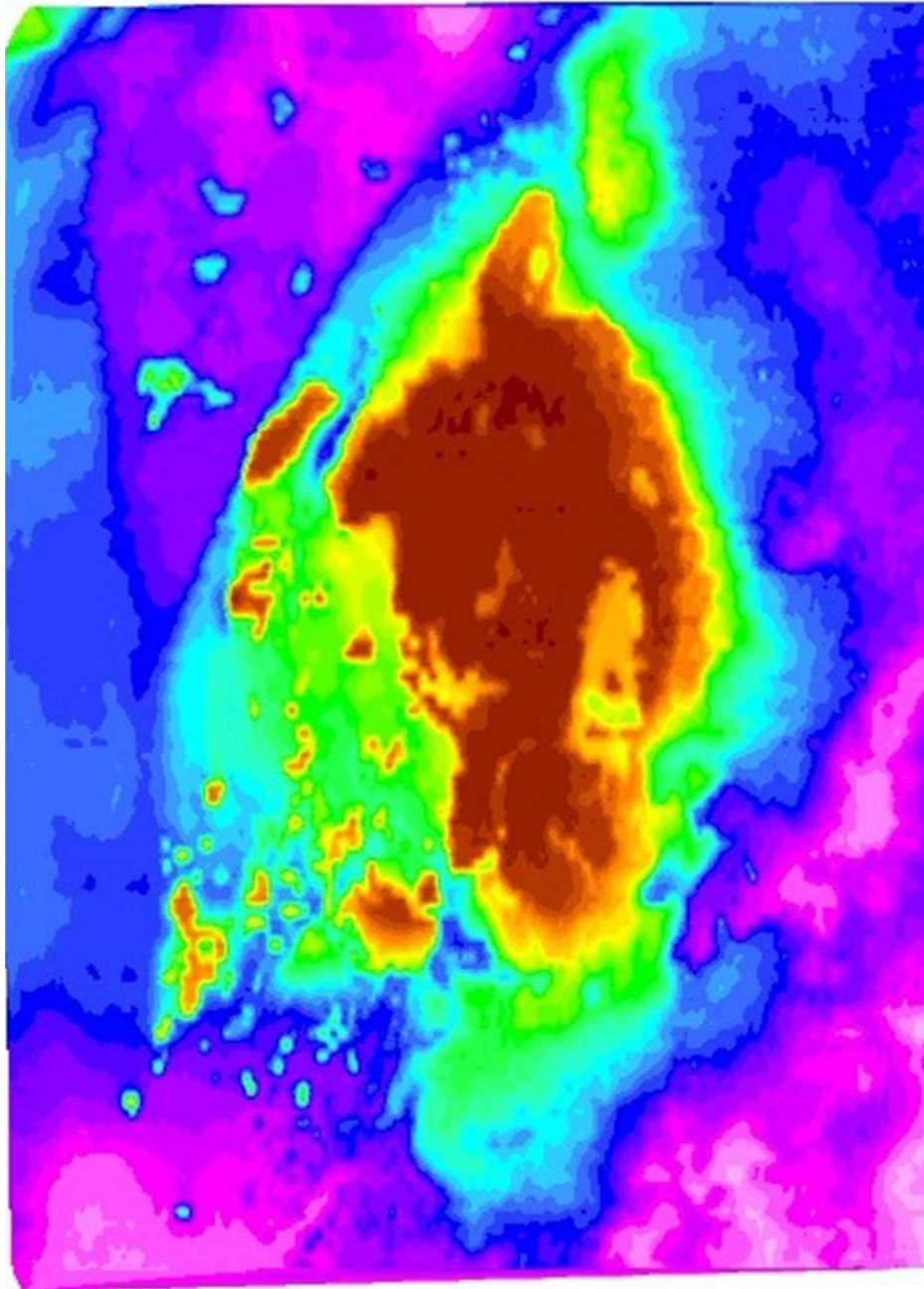


Figura 21 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método *Natural Neighbor*

3.3.1.5. *Topo to Raster*

Topo to Raster é um método de interpolação usado para criar modelos digitais de elevação hidrológicamente corretos. É baseado no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989) usando a versão 4.6.3. (Disponível em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6068&pid=6061&topicname=Using the Topo to Raster tool](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6068&pid=6061&topicname=Using%20the%20Topo%20to%20Raster%20tool)> Acesso em 16 jun. 2011). Este método impõe restrições, que podem ser estruturas, pontos, linhas,

polígonos, bordas e máscaras para garantir um modelo de elevação. É um modelo hidrológicamente correto, o que significa conter estruturas de drenagem que representem corretamente cumes e vales especificados nos dados de entrada (Figura 21). Isto garante que a superfície gerada passe exatamente pelos valores dos pontos da malha de dados (CHILDS, 2004, Figura 22)

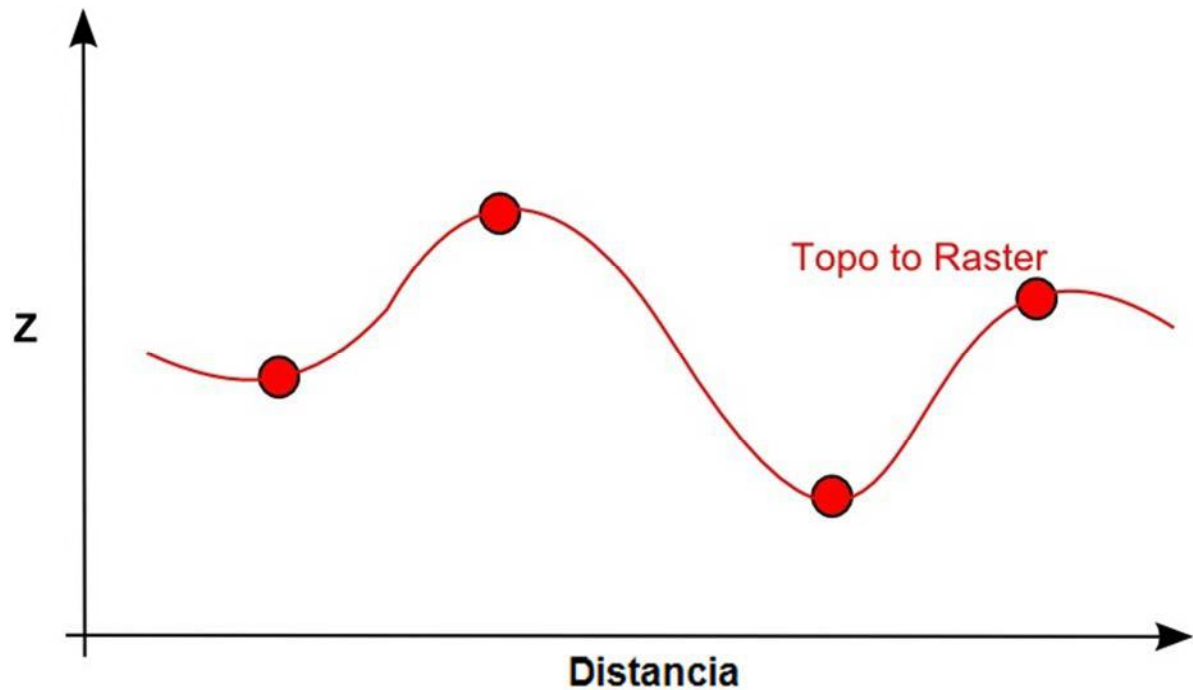


Figura 22 - *Topo to Raster* (modificado de CHILDS, 2004)

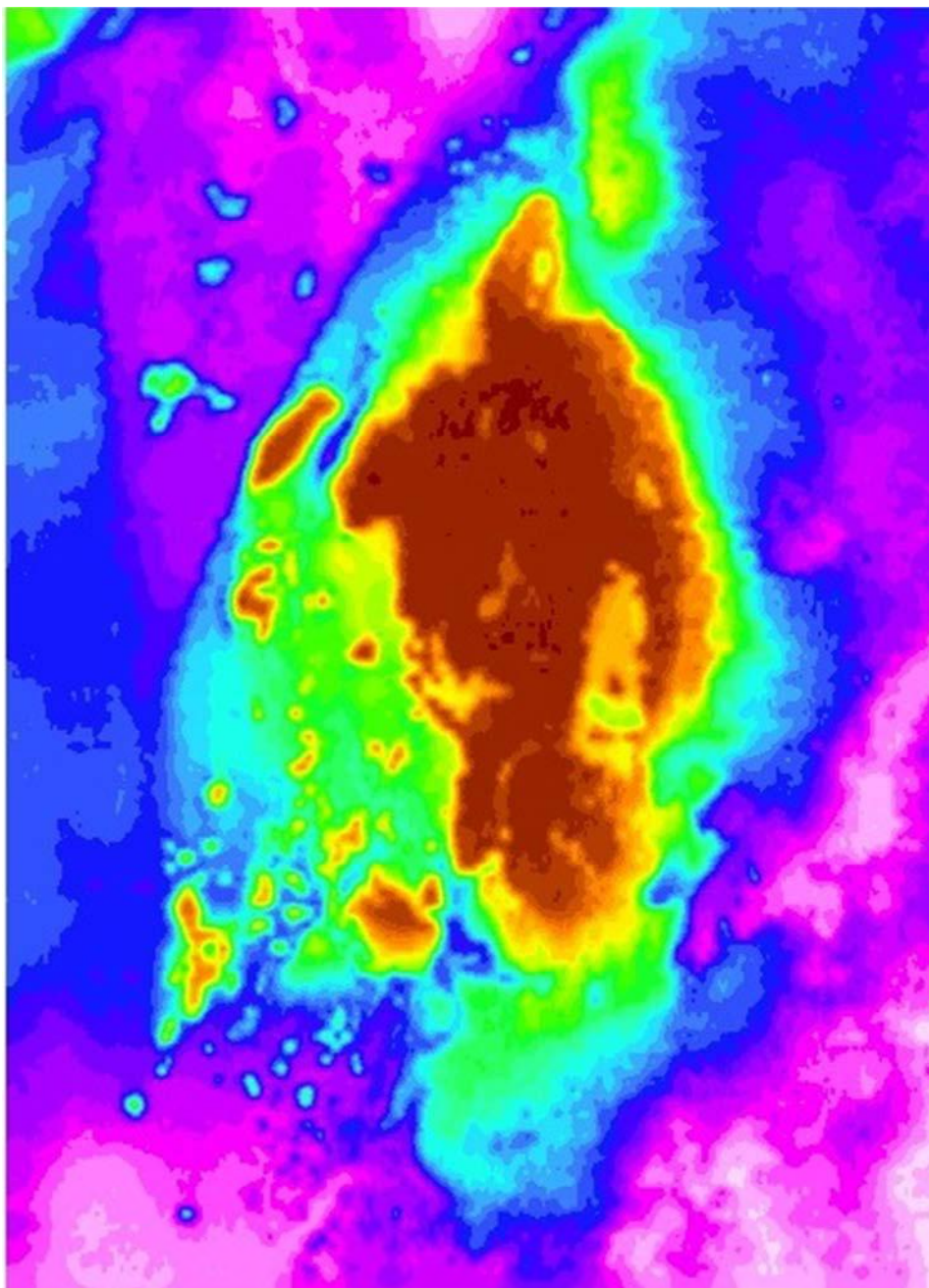


Figura 23 – Esboço digital do mapa batimétrico gerado com método *Topo to Raster*

3.3.2. GEOSTATISTICAL WIZARD

A ferramenta *GeoStatistical Wizard* é encontrada no Módulo ArcMpa da Suíte ArcGIS 9.3, na extensão *GeoStatistical Analyst*. Esta ferramenta oferece outros métodos de interpolação e possibilidades de melhor modelar as informações (Figura 24).

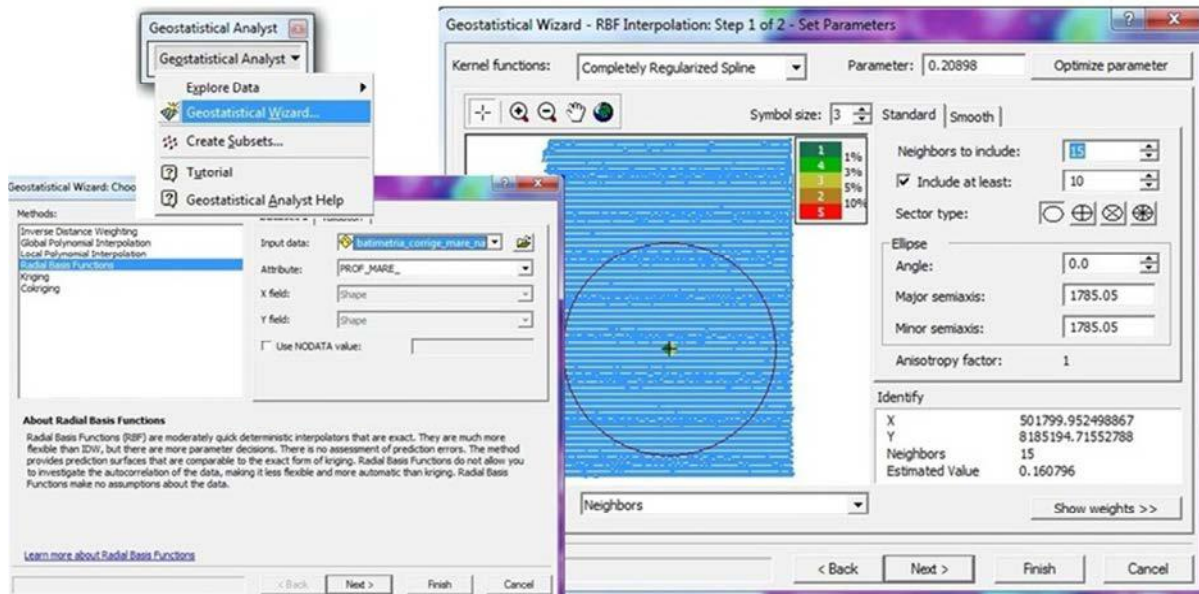


Figura 24 – Ferramenta GeoStatistical Wizard

A família de métodos *Radial Basis Function* – RBF inclui diversos tipos de *Spline* e produz bons resultados para dados que apresentem pouca variação de altimetria, não sendo indicado quando existem grandes variações altimétricas em uma curta extensão horizontal. (Acesso em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: http://webhelp.esri.com/arcgisDEsktop/9.3/index.cfm?TopicName=How_Radial_Basis_Functions_%28RBF%29_work Acesso em 18 jun. 2011).

Esta ferramenta permite um controle diferenciado das informações da interpolação, como comprimento dos eixos da elipse que determina a área de busca dos pontos utilizados para interpolação, alteração do ângulo de inclinação do eixo maior da elipse, número de vizinhos envolvidos no processo e o parâmetro de suavidade da superfície. Estas variáveis podem ser alteradas de modo a reproduzir anisotropias observadas no levantamento dos dados (no caso, de batimetria), ou podem ser alterados controlando o erro resultante de cada modelo, de modo que este seja minimizado. Foram utilizados os valores 150 e 200 para o eixo maior (de modo a considerar 3 a 4 linhas amostradas) e 30, 50 e 75 para o eixo menor da elipse, encontrados empiricamente. Com esta ferramenta pode-se minimizar a margem do erro na modelagem dos dados.

De modo a otimizar ainda mais os resultados os dados foram modelados também em quadrantes, permitindo maior controle da anisotropia das amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Interpolação Raster

Cada método responde de maneira diferente ao tipo de amostra, espaçamento, metodologia de levantamento e sua densidade (Figura 25).

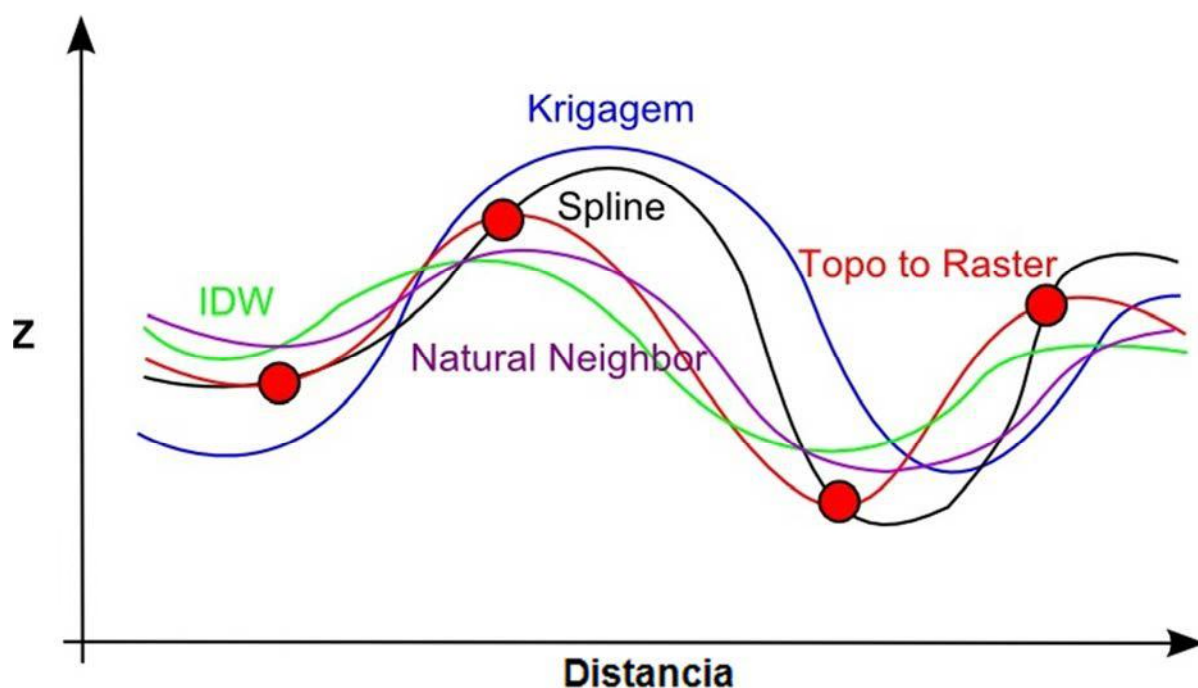


Figura 25 - Comparação da estimativa de variação entre os métodos da ferramenta Interpolação Raster (modificado de CHILDS, 2004)

Entre os modelos da ferramenta Interpolação Raster, o modelo *Topo to Raster* foi aquele que apresentou a melhor representação para a superfície real da área ao serem utilizados 100% dos dados (Figura 26).

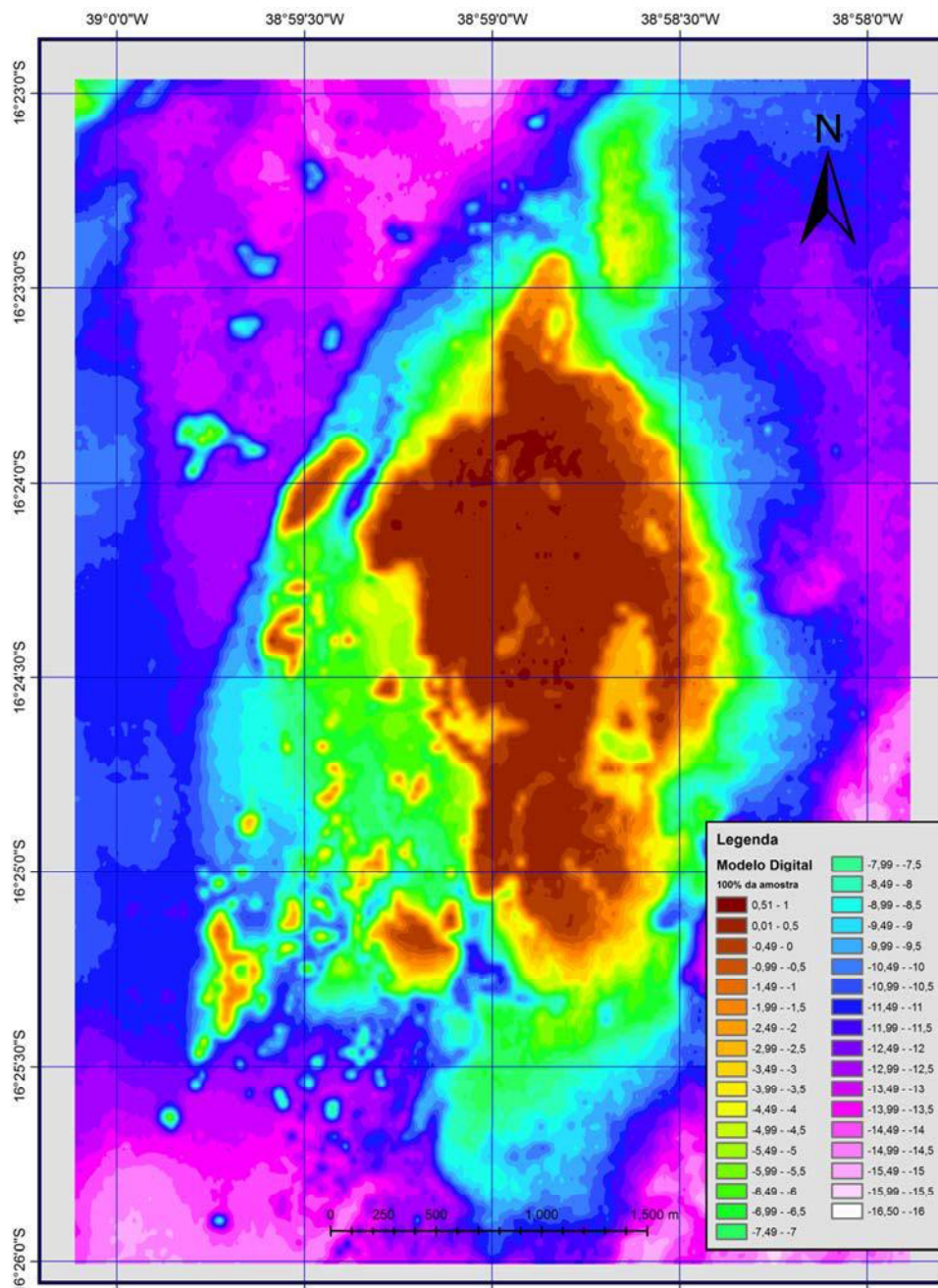


Figura 26 – Mapa batimétrico digital gerado com método *Topo to Raster*

4.2. *GeoStatistical Wizard*

Os resultados encontrados com a ferramenta *GeoStatistical Wizard* utilizando 100% das informações apresentaram um erro médio quadrático (*Root Mean Square* – RMS) de 0,47m. Entretanto, este resultado não foi satisfatório, porque a maior parte dos pontos da amostra apresentam um erro RMS bastante considerável, de até 1,85m e valor máximo de 5,59m (Figura 27). Para todos os modelos gerados

com o método *Radial Basis Function* foi utilizada a *Kernel Function Completely Regularized Spline*, por apresentar os melhores resultados.

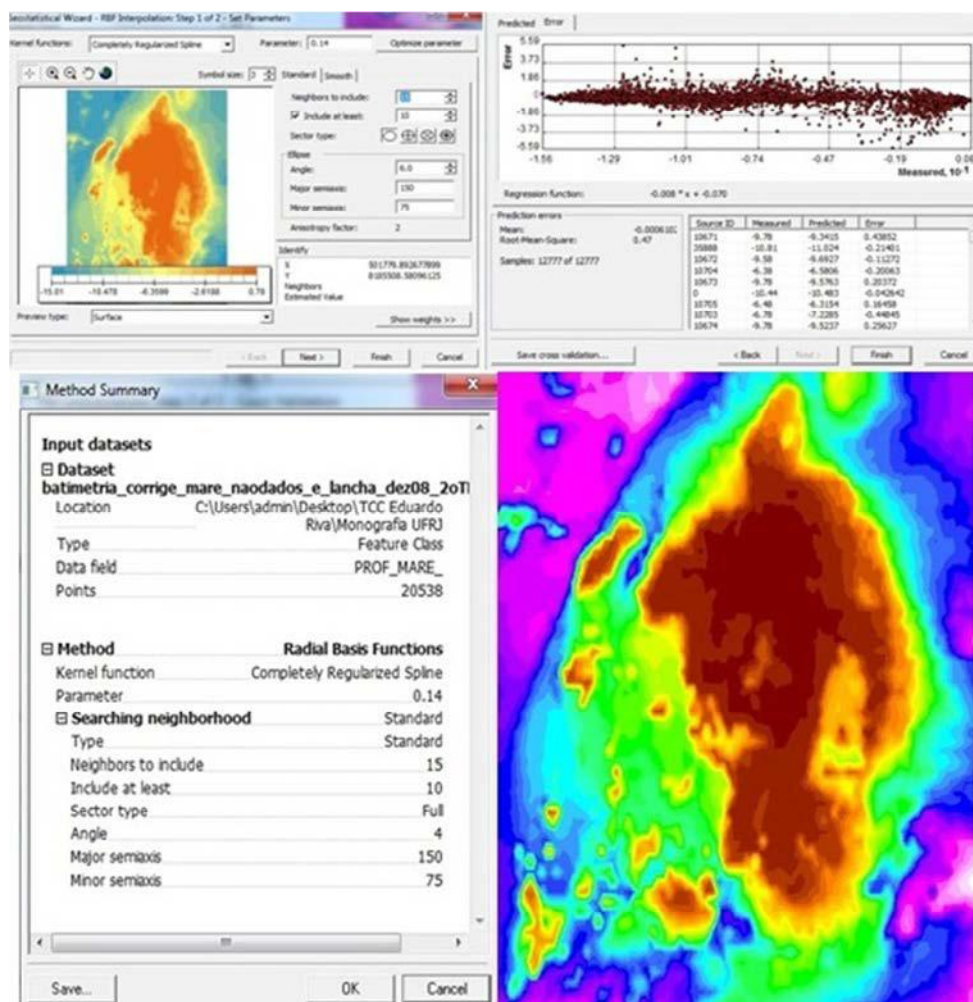


Figura 27 – Interpolação RBF com toda a amostra. A) Previsão da superfície – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 06° , eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Erro RMS médio de $\sim 0,47\text{m}$, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 1,85m e valores esparsos de até 5,59m de erro; C) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e D) Esboço da batimetria.

A alternativa foi dividir a malha de pontos em 4 quadrantes (NE, NW, SE, SW), possibilitando maior influência da ferramenta sobre a modelagem dos dados. Com esta alternativa foi possível melhorar consideravelmente os resultados, garantindo que a grande maioria dos dados amostrados em cada quadrante encontre-se dentro do intervalo de erro de 0,33m.

Resultados gerados para o quadrante NE (Figura 28):

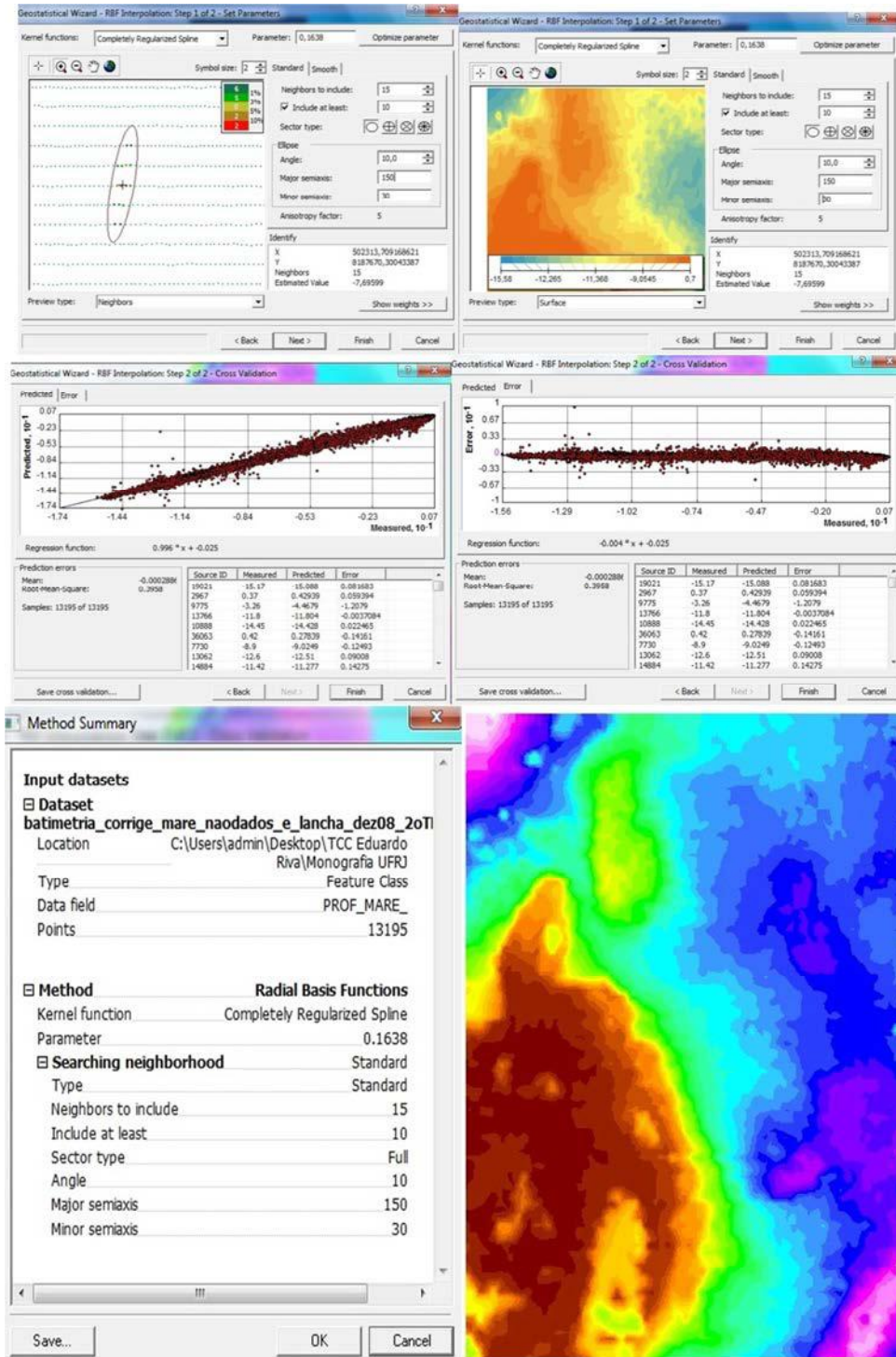


Figura 28 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante NE. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 10°, eixo maior 150 e menor 30, fator de anisotropia igual a 5; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,4m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante NE gerado.

Resultados gerados para o quadrante NW (Figura 29):

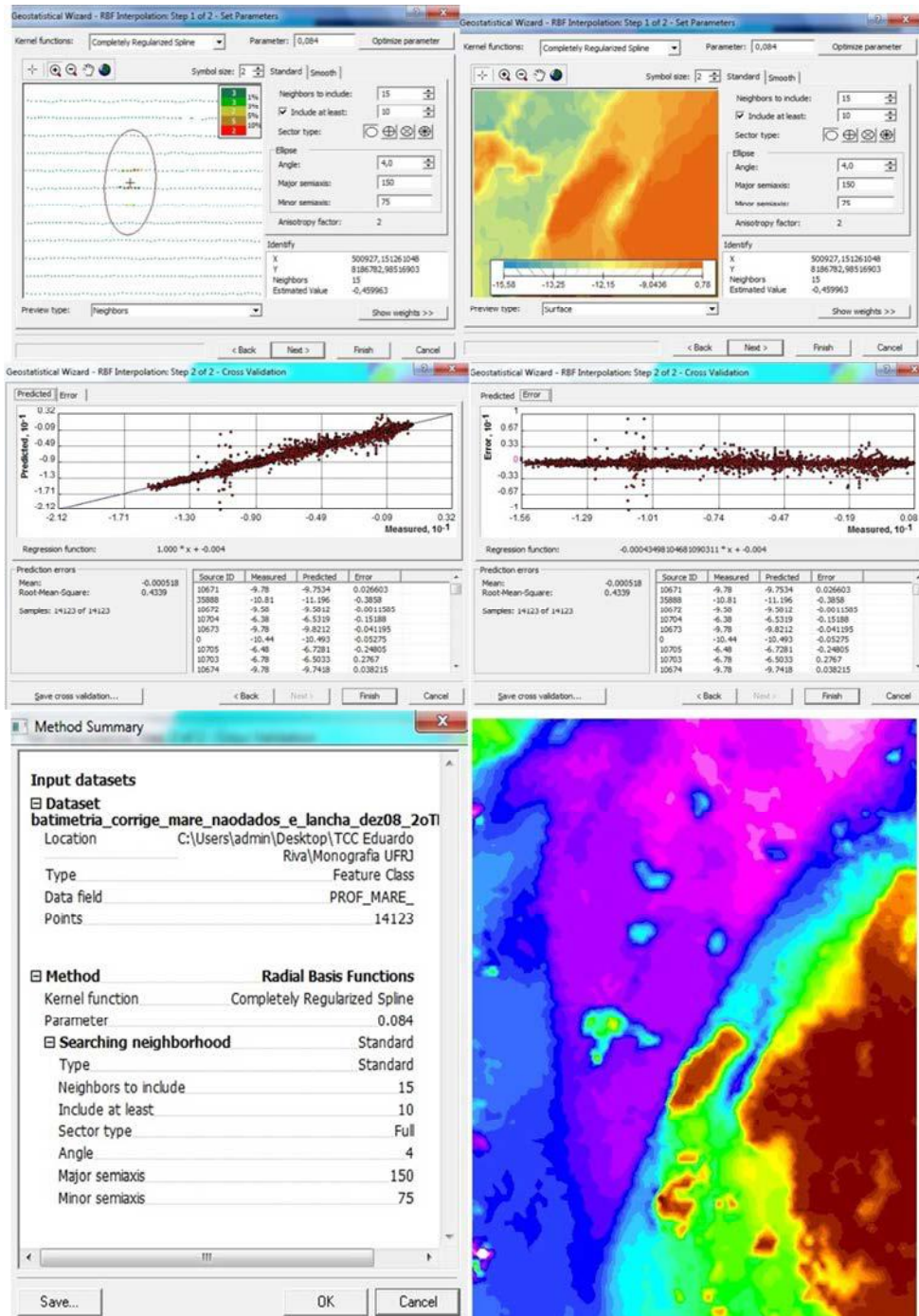


Figura 29 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante NW. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 04° , eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de $\sim 0,43\text{m}$, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que $0,33\text{m}$ e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante NW gerado.

Resultados gerados para o quadrante NE (Figura 30):

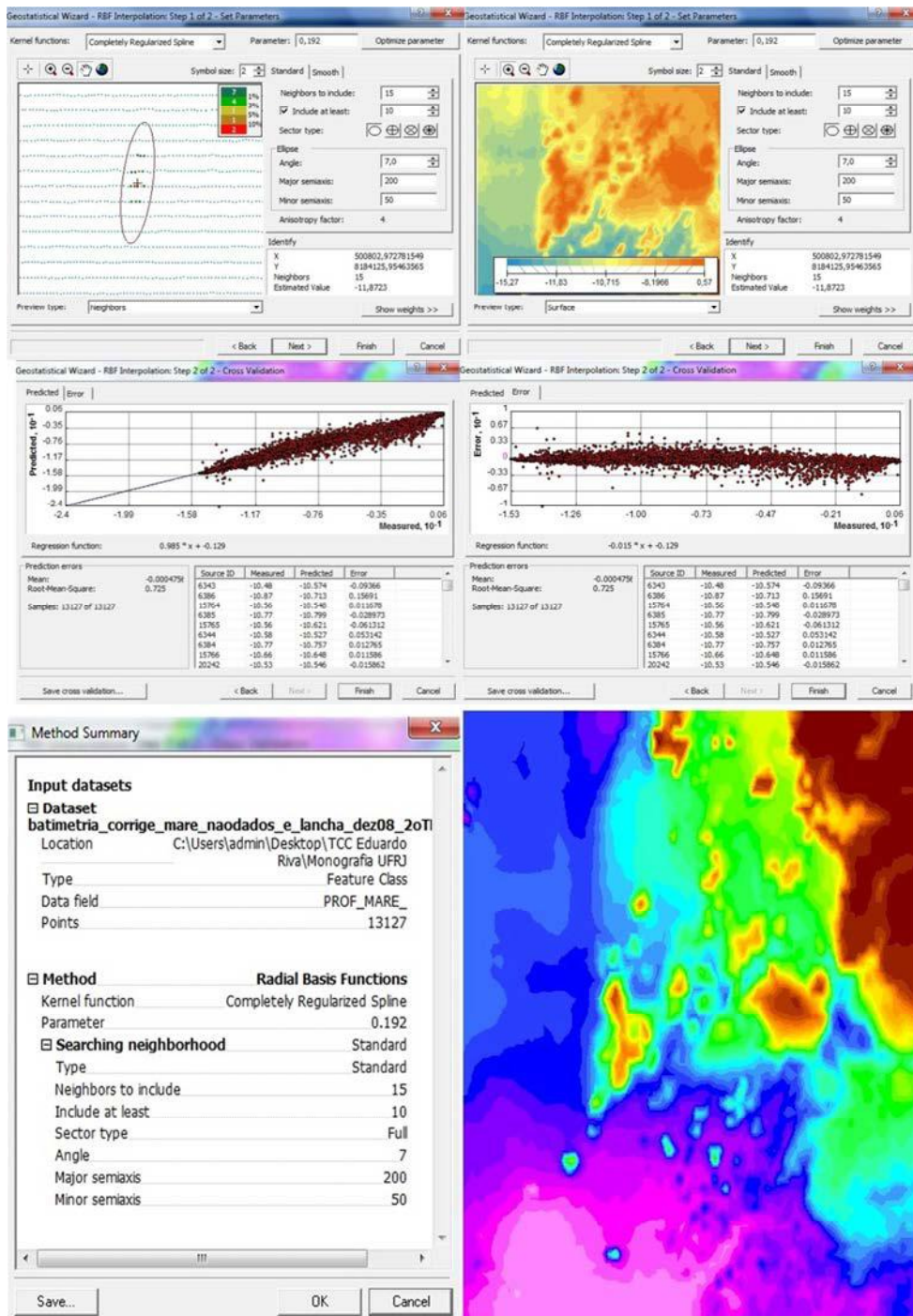


Figura 30 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante SW. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 07°, eixo maior 200 e menor 50, fator de anisotropia igual a 4; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de ~0,72m, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que 0,33m e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante SW gerado.

Resultados gerados para o quadrante SW (Figura 31):

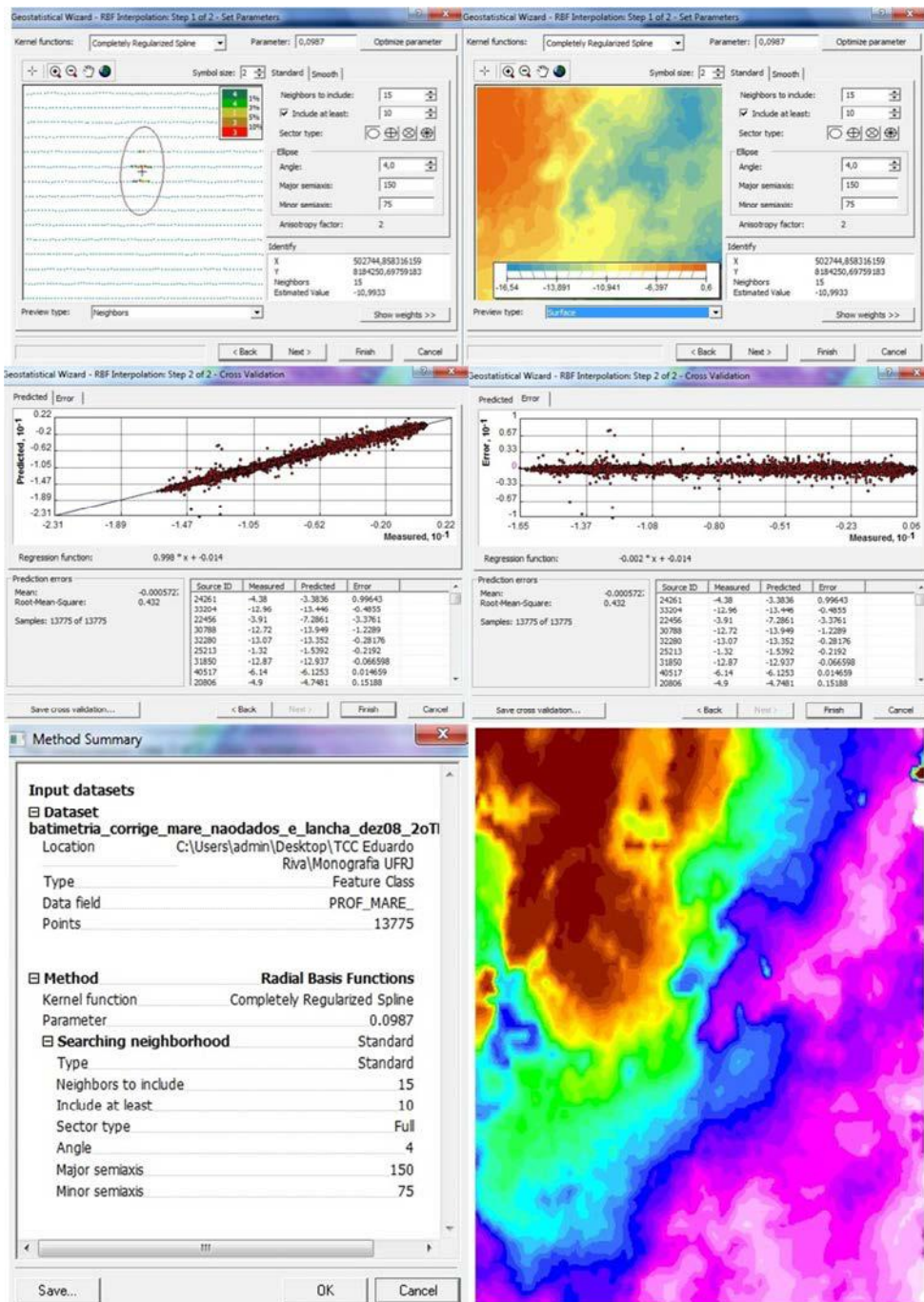


Figura 31 – Interpolação RBF com amostra dividida, quadrante SE. A) Definição da área de busca – utilizar até 15 pontos vizinhos, no mínimo 10, ângulo de inclinação da elipse de 04° , eixo maior 150 e menor 75, fator de anisotropia igual a 2; B) Previsão da superfície; C) Erro previsto X Erro aferido; D) Erro RMS médio de $\sim 0,43\text{m}$, apresentando a maioria dos pontos inseridos no intervalo de erros menores que $0,33\text{m}$ e valores esparsos de até 1m de erro; E) Tabela gerada com resumo das informações inseridas e F) Esboço da batimetria do quadrante SE gerado.

Após de gerados os *Layers* para cada quadrante da malha, foram criados seus respectivos *Rasters* para que fosse possível reagrupá-los com a ferramenta *Mosaic to New Raster*. Para isto foi utilizado *pixel* do tipo *32_Bit_Float*, para que o *software*

pudesse reconhecer as variações das casas decimais (“flutuantes” – *float*) e o método de mosaico *mean*, para o *software* realizasse a média dos valores das células nas áreas sobrepostas (Figura 32).

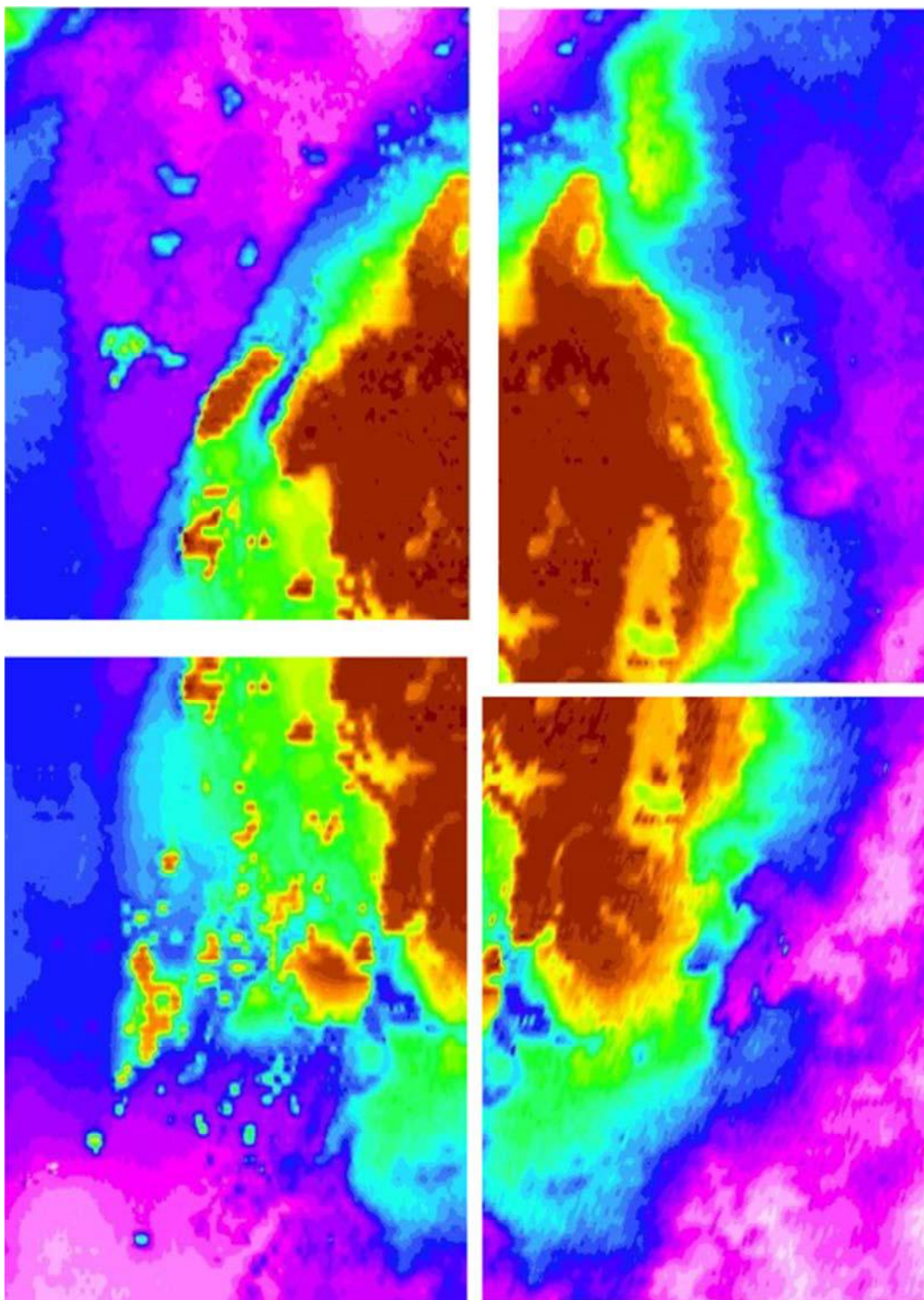


Figura 32 - Quadrantes gerados com método *Radial Basis Function*. A média das áreas sobrepostas garante que a diferença de anisotropia de cada quadrante seja compensada.

Este é o resultado final gerado com a ferramenta *GeoStatistical Wizard* (Figura 33). O mapa não apresenta contornos tão suaves quando comparado com os métodos citados anteriormente, porém, apresenta uma confiabilidade muito superior, pois a grande maioria dos pontos de cada quadrante deste mapa encontra-se dentro do intervalo de erros menores que 0,33 metros, referentes à profundidade batimétrica da área.

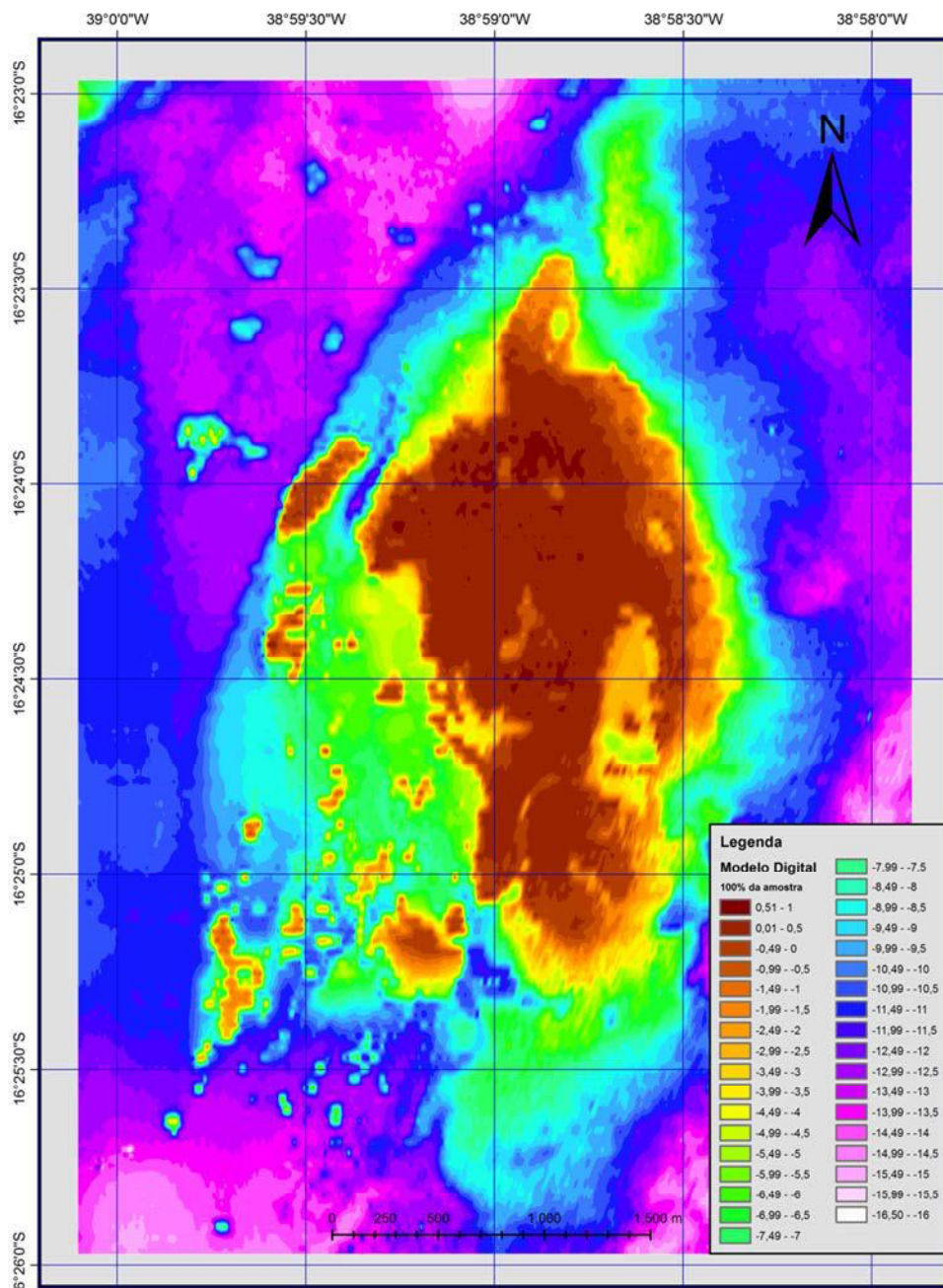


Figura 33 – Mapa final gerado com método RBF após reagrupamento dos quadrantes

4.3. Utilização de Menor Quantidade de Dados

Um trabalho deste porte requer um grande investimento financeiro e pode-se gastar muito tempo durante o levantamento dos dados. Este trabalho é o resultado gerado a partir das informações de 109 corridas de aproximadamente 4km distando 50 metros entre linha, contendo pontos separados a cada 10-12 metros num total de 41.267. Uma questão muito importante é a possibilidade de gerarmos mapas e superfícies confiáveis com, por exemplo, metade dos dados amostrados. Isto geraria uma considerável economia financeira e possivelmente, ganharíamos tempo no levantamento dos dados.

Neste caso, buscou-se responder à seguinte pergunta:

“É possível gerar mapas e superfícies, com boa qualidade, com apenas 50% das informações?”

Ou seja, se o levantamento de dados tivesse ocorrido de forma a gerar 55 corridas, distando 100 metros entre si mantendo o mesmo espaçamento dos pontos, resultaria em economias financeiras e seria necessário menos tempo para o levantamento (Figura 34).

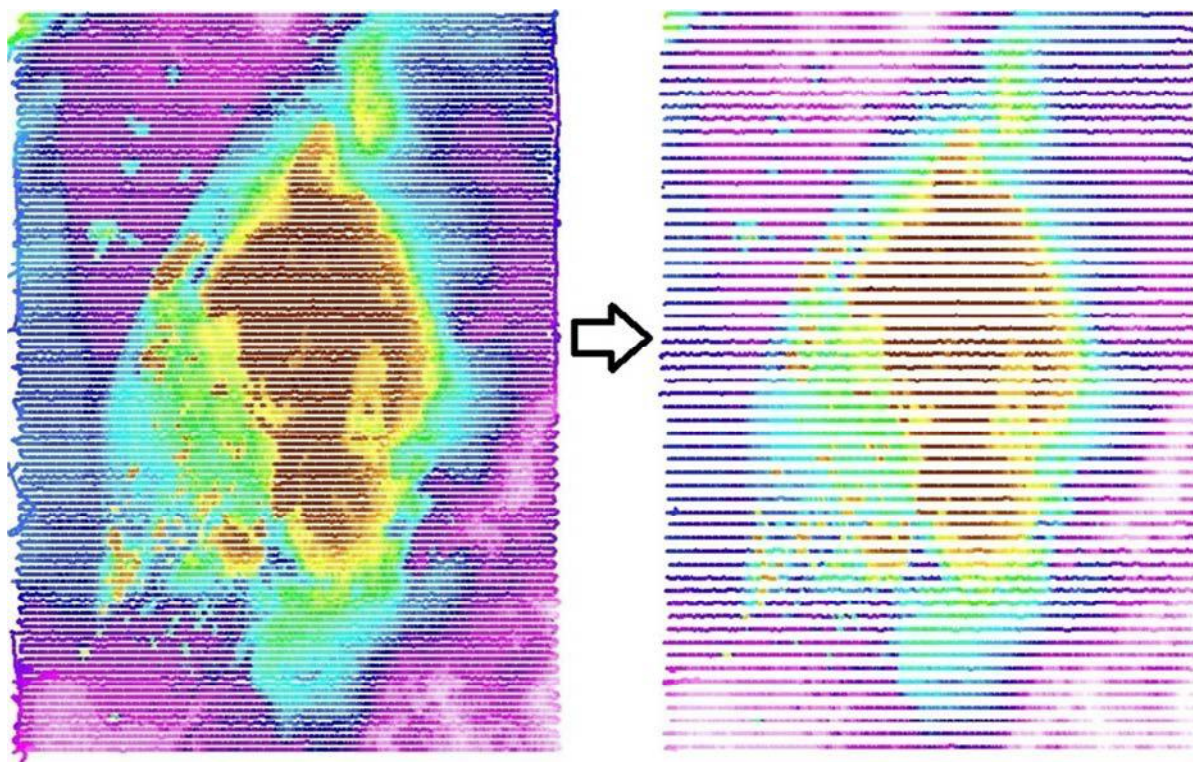


Figura 34 – Malha de pontos apresentando 50% das informações (linhas espaçadas 100 metros)

Para os fins desta comparação, foram gerados os esboços dos mapas utilizando os modelos *Topo To Raster* – considerado melhor modelo da ferramenta *Raster Interpolation*, e *Radial Basis Function* – *GeoStatistical Analyst*.

Nota-se que o modelo *Topo To Raster* gerou feições influenciadas pela ausência de dados (Figura 35). Estas feições seguem claramente o sentido das linhas amostradas durante o levantamento dos dados, evidenciando a anisotropia da malha amostral, de onde se conclui que os dados são insuficientes para representar corretamente a batimetria. Ao duplicarmos a distância entre as linhas (50 para 100m), o *software* é incapaz de gerar informações coerentes utilizando o método *Topo To Raster*.

Com dados distando 50 metros é possível gerar interpolações mais consistentes, ou seja, esta quantidade de informações será suficiente para o método gerar uma superfície condizente com a realidade.

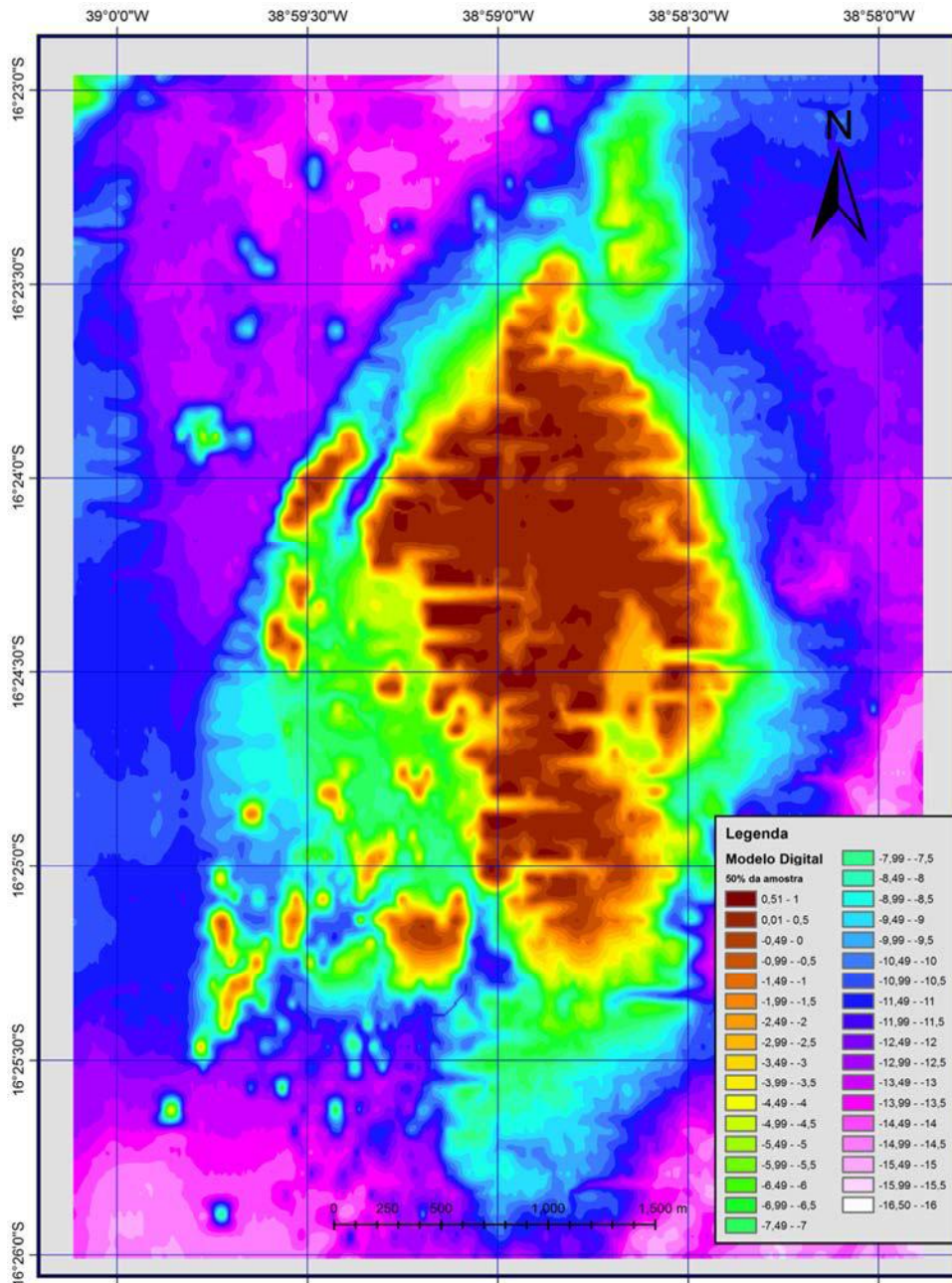


Figura 35 – Resultado encontrado utilizando *Topo to Raster* com informação reduzida

Entretanto, ao reutilizar a ferramenta *GeoStatistical Wizard*, com 50% da amostra e tomando toda a área, ou seja, não dividindo em quadrantes, buscando agilização do processo, conseguimos resultados satisfatórios (Figura 36), que ao depender do nível de precisão desejado ou da margem de erro tolerada, pode ser uma opção para gerar superfícies digitais com menor quantidade de informação.

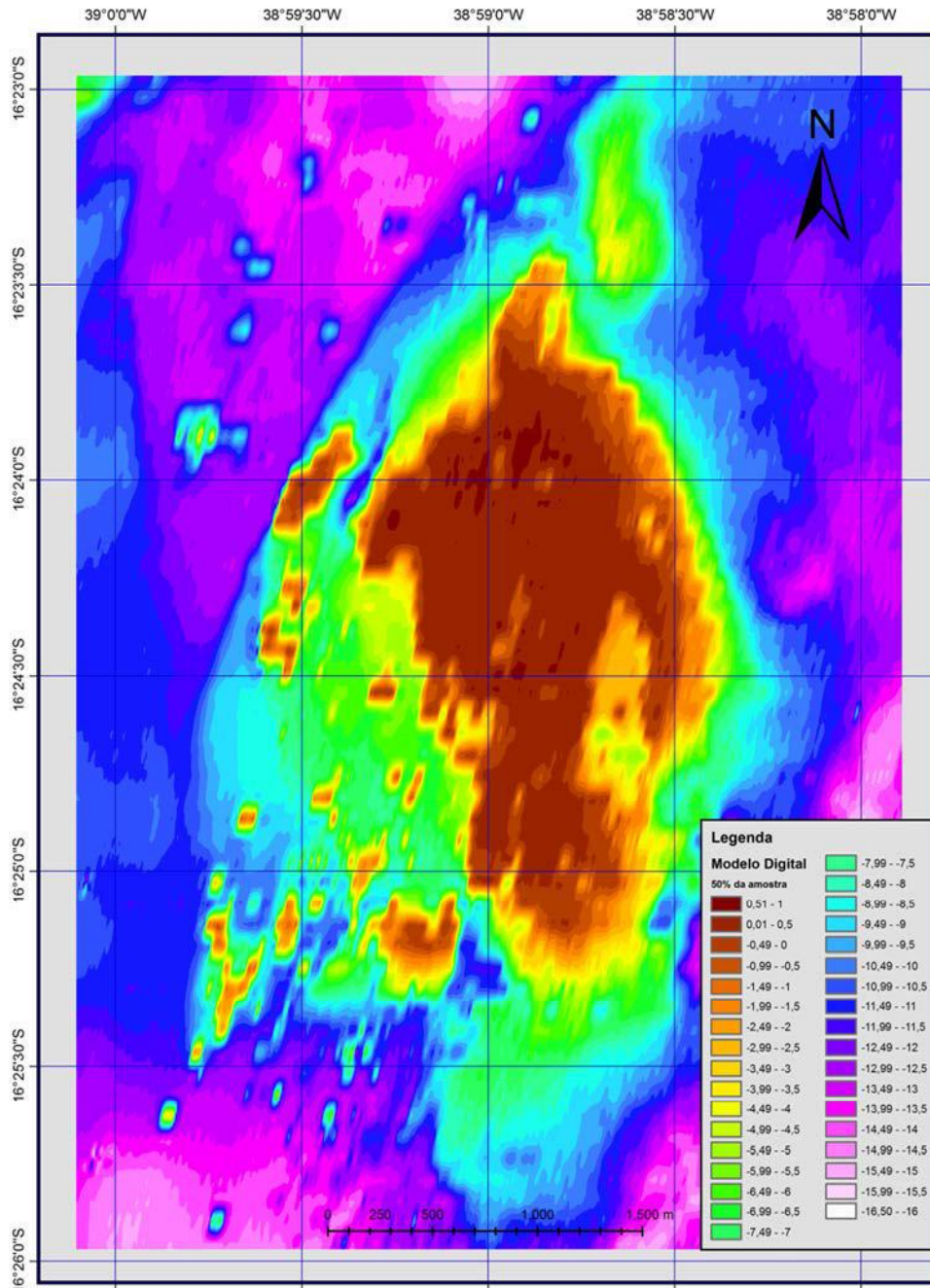


Figura 36 - Resultado encontrado utilizando RBF com informação reduzida

Com isto, foi respondida a pergunta anterior mostrando que o modelo *Radial Basis Function* suporta o espaçamento de 100 metros entre linhas, interpolando coerentemente os dados para gerar a superfície da área estudada.

Foi possível manter um erro RMS médio de ~0,40 metros, com a maioria dos pontos dentro do intervalo de erros menores que 1.86 metros e erro máximo de 5.59 metros (Figura 37).

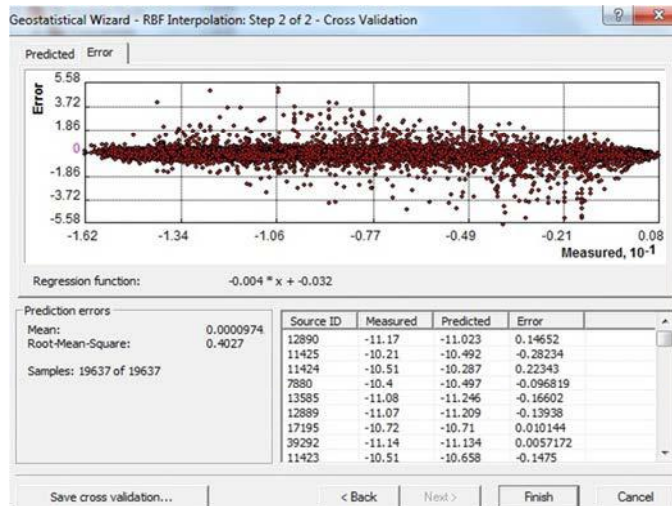


Figura 37 – Margem de erro medio utilizando 50% dos dados

Para melhor comparar os modelos com espaçamento de 50 e de 100m, é possível subtrair um do outro. Subtraindo as duas superfícies geradas, obtêm-se uma imagem com as diferenças entre eles. Caso ambos fossem idênticos, o resultado seria zero. Observa-se que aproximadamente 73% das células tem diferenças entre as duas superfícies de até 0,25m, e quase 90% das células tem diferenças inferiores a 0,5m. Menos do que 1% das células tem diferenças maiores que 2m, com uma discrepância máxima de 7,15m (Figura 38).

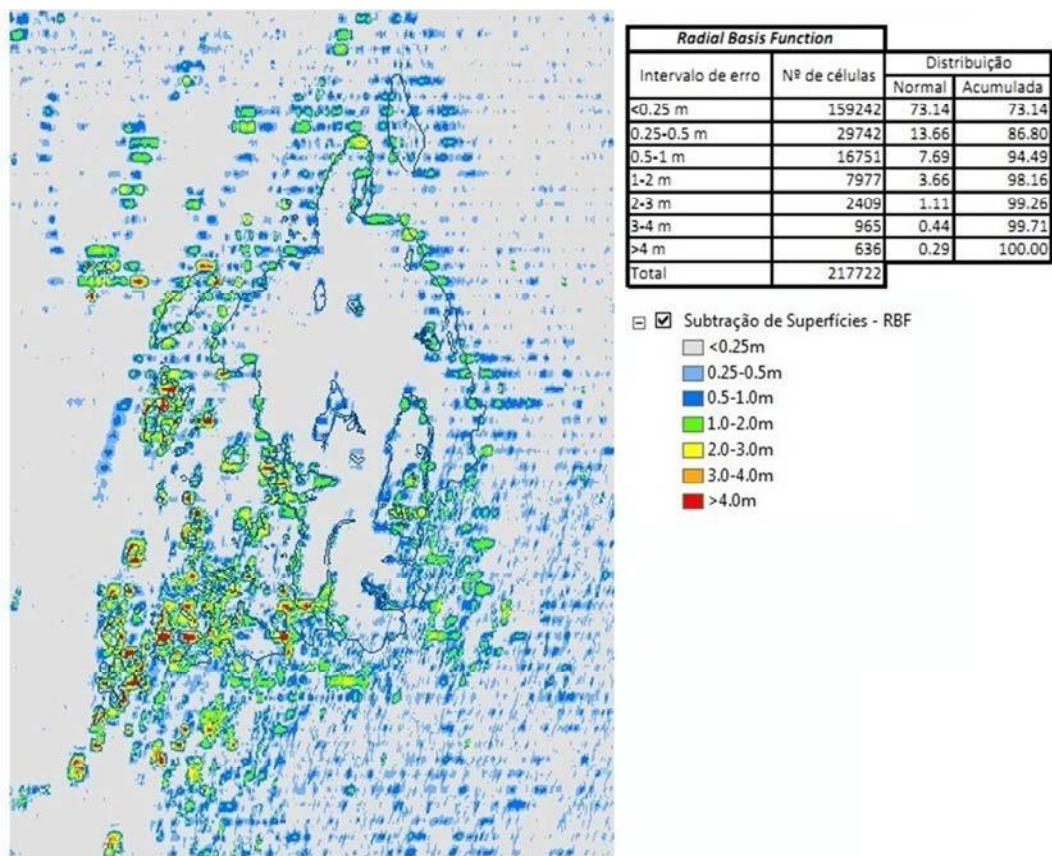


Figura 38 – Subtração de superfícies. (Superfície RBF 100% dos dados) – (Superfície RBF 50% dos dados), com isso foi possível mensurar a quantidade de erro gerado ao diminuir a densidade de amostragem. De acordo com a tabela, ~73% das células apresentam erros menores que 0,25m e ~90% das células apresentam erros de no máximo de 0,5m.

Observa-se a concentração de erros acima de 3m no quadrante SW, mostrando que para mapeamento de pináculos ou quaisquer estruturas pontuais ou com pouca extensão, é necessário maior densidade dos dados amostrados.

4.4. Superfícies 3D

4.4.1. SUÍTE ESRI ARCGIS 9.3 – Módulo ArcScene

Para serem geradas as superfícies 3D, são necessários os arquivos *raster*, gerados previamente no Módulo ArcMap, referentes ao método desejado. Neste caso foi usado o *raster* gerado com o método *Radial Basis Function – GeoStatistical Wizard*, que foi um dos focos do presente trabalho (Figura 39).

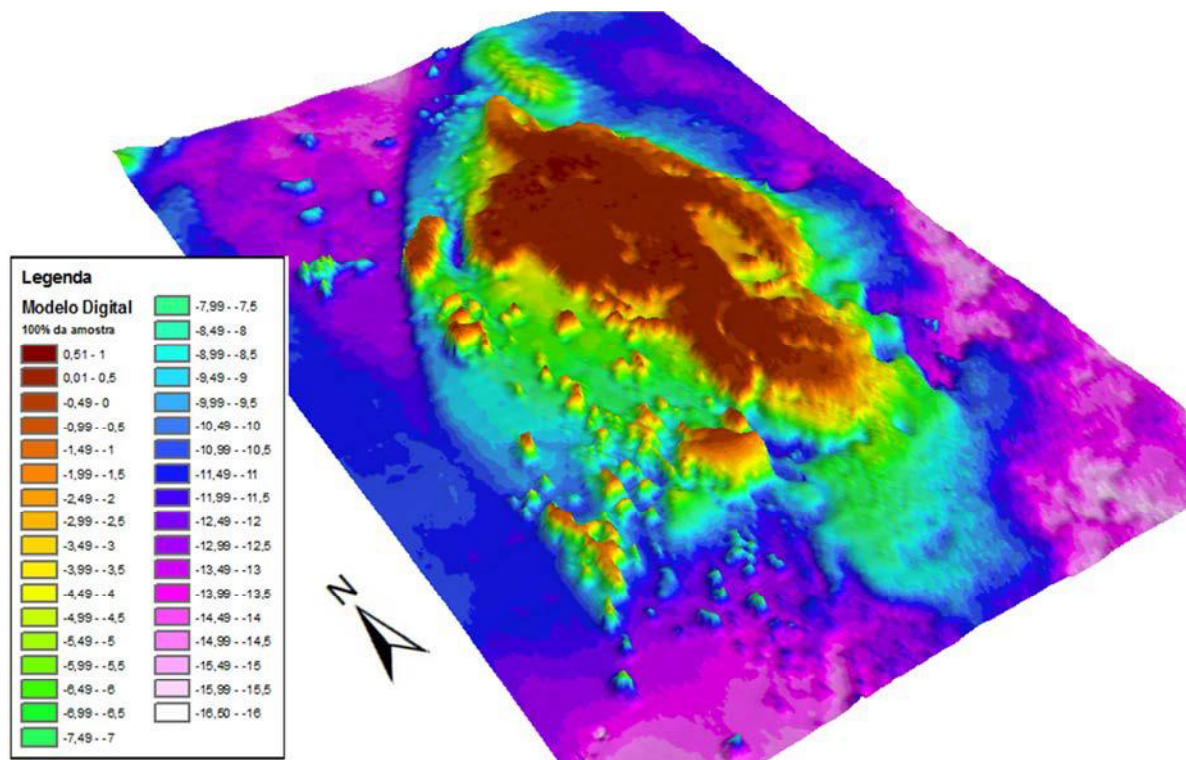


Figura 39 – Superfície 3D gerada a partir do mapa onde se utilizou o método RBF e 100% dos dados após reagrupamento dos quadrantes

4.4.2. SOFTWARE SCHLUMBERGER PETREL 2010.1

O Petrel 2010.1 é naturalmente um *software* usado principalmente para interpretação sísmica, confecção de modelos 3D voltados para área de exploração de petróleo, dados e poços e outras utilidades. Enfim, trata-se de um *software* bastante robusto, que também apresenta boas ferramentas para se gerar superfícies digitais.

Após carregar os dados respeitando os procedimentos do software e formatadas suas propriedades (Figura 40), foi utilizada a ferramenta *Make/Edit Surface*, localizada no meu *Processes* (Figuras 41).

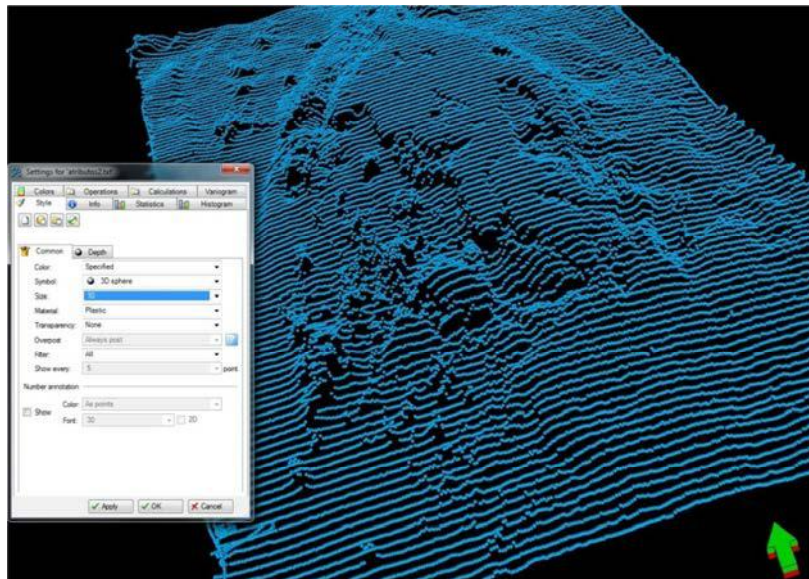


Figura 40 – Malha de pontos carregada no Software Petrel 2010.1

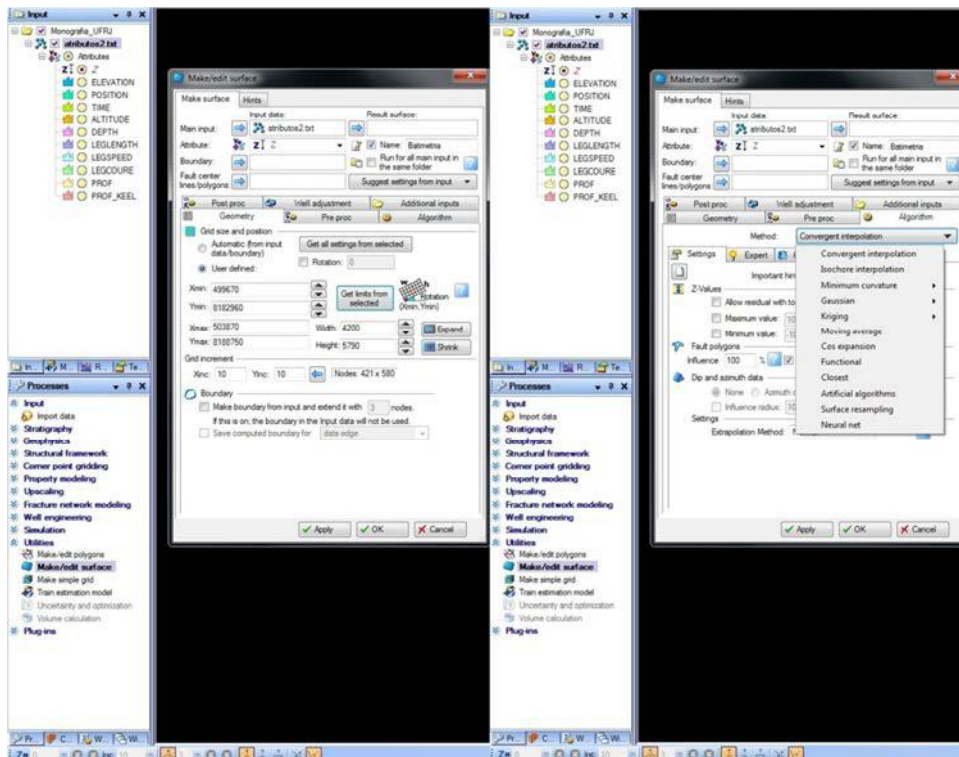


Figura 41 – Ferramenta Make/Edit Surface e os métodos de interpolação disponíveis

Foram geradas superfícies utilizando os métodos de interpolação disponíveis no *software*. Os métodos que apresentaram os resultados mais interessantes foram *Convergent Interpolation*, Krigagem e *Functional*.

O primeiro método, *Convergent Interpolation*, gerou uma superfície com características bastante razoáveis, mas interpolou picos que não deveriam existir (Figura 42).

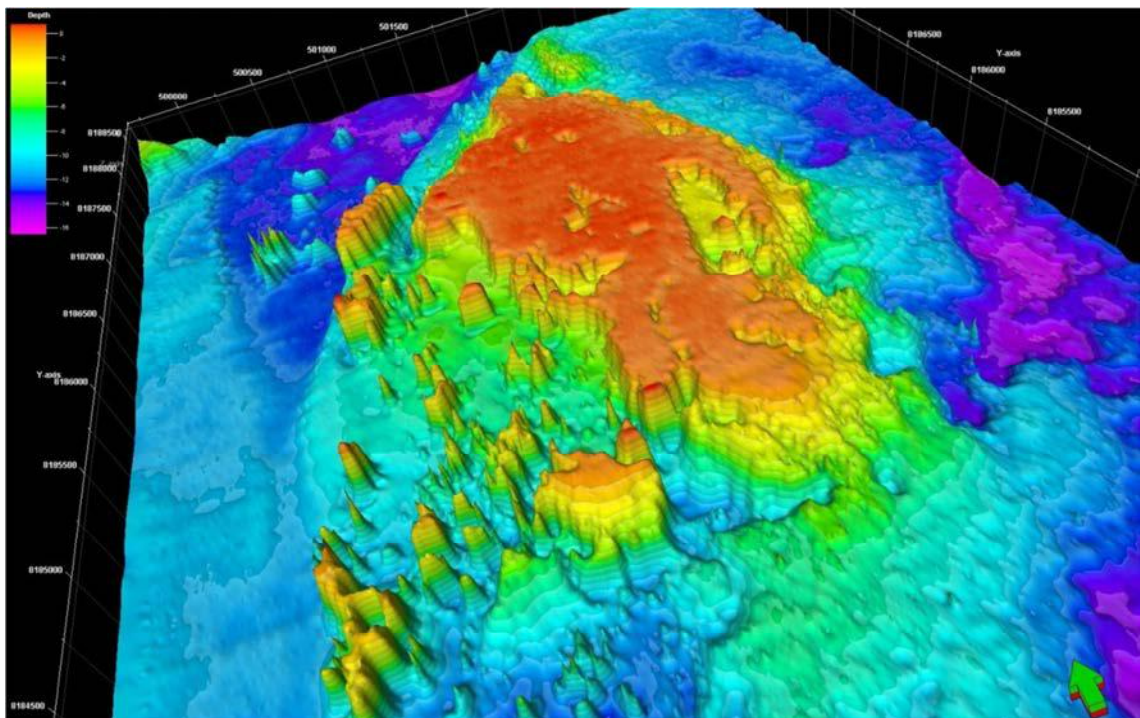


Figura 42 – Superfície gerada com o método *Convergent Interpolation*

O segundo método, Krigagem, gerou uma superfície com feições suavizadas, com boa representação da geometria a área (Figura 43).

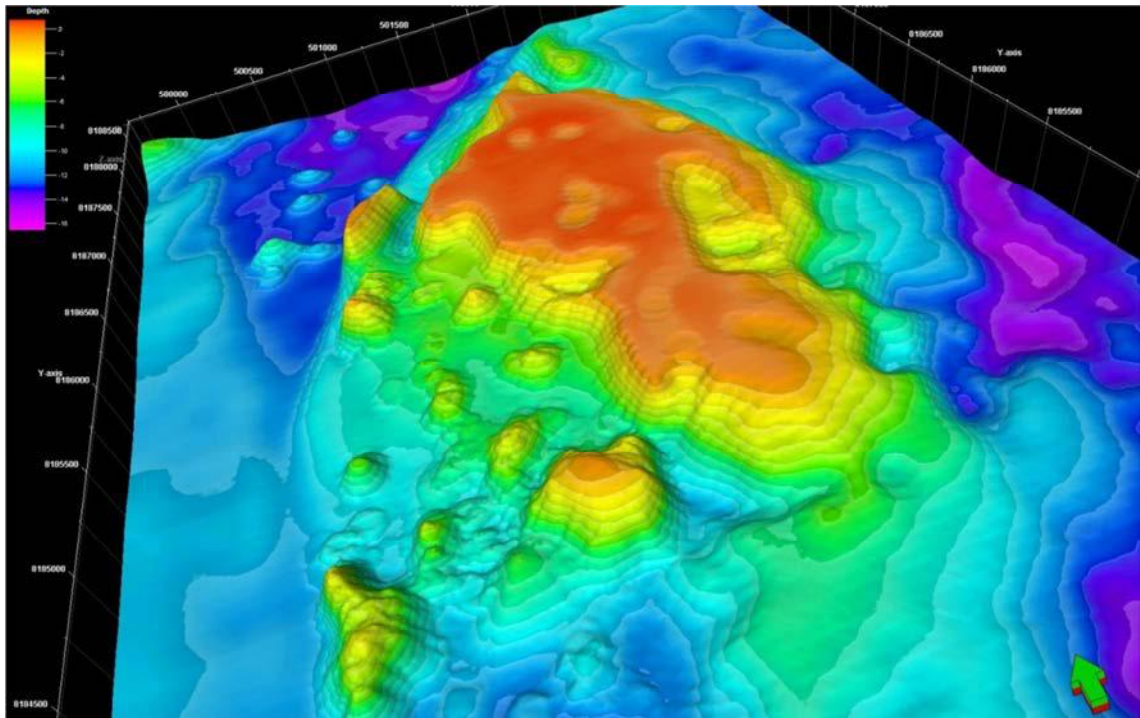


Figura 43 - Superfície gerada com o método Kriging

O terceiro método, *Functional*, gerou uma superfície que apresenta distorções (este modelo busca *trends* para gerar a superfície), provavelmente, geradas pela anisotropia da malha de levantamento dos dados (Figura 44).

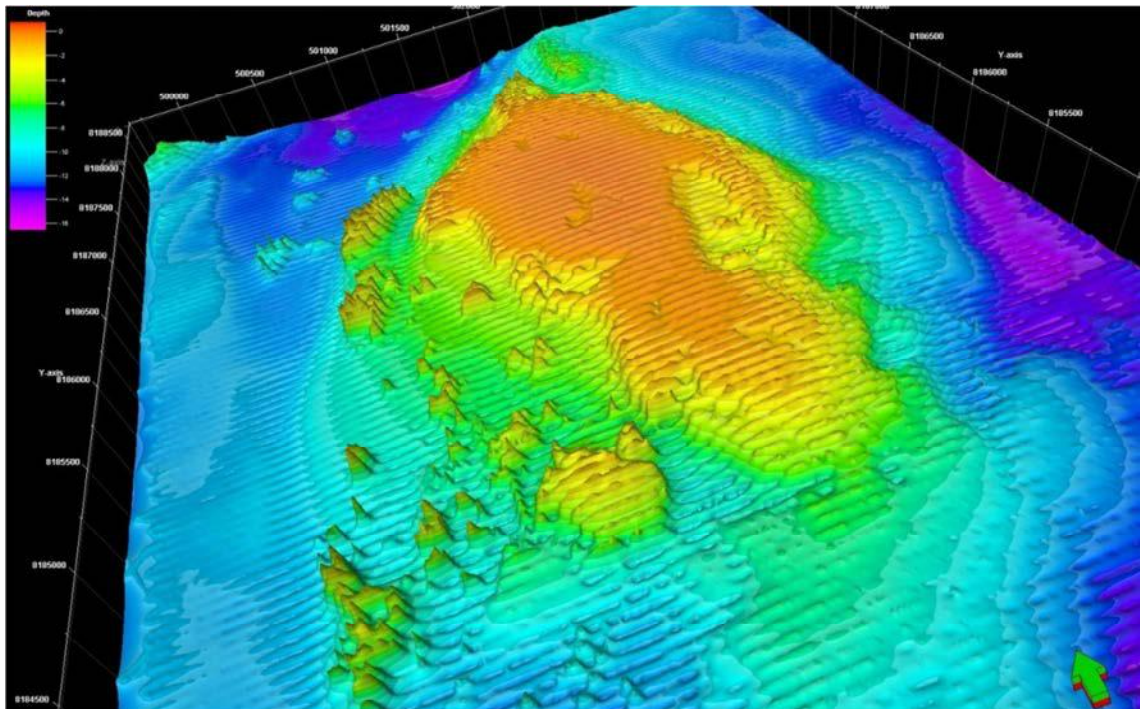


Figura 44 - Superfície gerada com o método Function

5. CONCLUSÕES

O uso de mapas batimétricos nos estudos de Geo e Biodiversidade marinha é indispensável. Com os constantes incrementos nas ferramentas de Geoprocessamento tornou-se possível realizar melhorias consideráveis na qualidade dos mapas e superfícies gerados nos softwares deste segmento.

Aumentar a confiabilidade das informações de um mapa ou superfície batimétrica permite melhorar a qualidade dos resultados em estudos mais pontuais, especialmente para estudos biológicos, como por exemplo, para o estudo de corais, onde a diferença de profundidade implica na quantidade de luz solar incidente, temperatura da água, quantidade e tipo de nutrientes disponíveis, influência das ondas e marés e a microfauna do substrato marinho.

5.1. *Inverse Distance Weighting - IDW*

IDW não foi conveniente para o estudo por gerar superfícies ligeiramente achatadas devido à utilização das médias dos valores amostrados. Com isso, a informação relativa à profundidade fica distorcida e não confiável para o grau de confiabilidade desejado.

5.2. *Spline*

O resultado utilizando *Regularized Spline* não foi satisfatório devido ao “enrugamento” da superfície. Tension Spline gerou uma superfície visualmente mais fiel à realidade, porém inferior ao ser comparado com outros métodos. É indicado para representar fenômenos onde a informação relevante mais seja encontrada nos picos e mínimos dos valores amostrais e menos relevante a precisão no formato da área.

5.3. Krigagem

A Krigagem é um método estatístico de interpolação poderoso, porém um pouco mais complicado se comparado com os demais métodos devido às possibilidades de controle da informação. Neste trabalho, a superfície gerada com este método apresentou contornos um pouco mais suavizados do que outros métodos, deixando a informação de profundidade menos confiável.

5.4. *Natural Neighbor*

Este método é o mais rápido e simples, pois não possibilita muito controle sobre as informações e, considerando sua maior simplicidade, apresentou resultados interessantes, bons para visualizar o formato da área ou fenômeno sem maior rigor.

5.5. *Topo to Raster*

O método *Topo to Raster* gerou uma superfície relativamente fiel à realidade, mas para isto necessita de uma grande quantidade de informações. Quando utilizado com dados que apresentam um considerável espaçamento, o método não se mostrou robusto o suficiente para interpolar superfícies coerentes.

5.6. *Radial Basis Function*

O método, uma variação mais sofisticada do Spline presente em outros módulos do ArcGIS (Spatial Analyst, 3D-Analyst), mostrou-se bastante eficiente para a modelagem dos dados batimétricas, gerando considerável melhoria na margem de erro amostral e, conseqüentemente, aumentando a confiabilidade do mapa final da área.

Desta forma, o método *Radial Basis Function* foi uma alternativa eficaz para se gerar superfícies com dados amostrados, inclusive quando é simulado o maior espaçamento entre linhas amostrais.

Outro ganho foi a possibilidade de mensurar o erro das superfícies, o que não é possível com a ferramenta de Intertpolação Raster.

A simulação de maior espaçamento entre linhas de levantamento com a ecosonda revelou que é possível dobrar o espaço entre as linhas amostradas (de 50 para 100m) e não perder a confiabilidade do DEM gerado, uma vez que ao subtrairmos os dois modelos de batimetria, cerca de 90% das células têm valores com discrepâncias menores do que 0,5m.

Entretanto, como observado no quadrante SW da figura 29, para o mapeamento de estruturas pinaculares é necessário considerar a variação de sua área, ou seja, quanto maior a variabilidade da superfície ou maior escala de detalhe, maior deve ser a quantidade de pontos amostrados.

6. BIBLIOGRAFIA

BENEDICTO-JUNIOR, M. G. 2011. Mapeamento Mineralógico Por Difração De Raios-X Dos Sedimentos De Fundo Do Parque Municipal Marinho Do Recife De Fora, Porto Seguro. Rio de Janeiro 98p.

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, Beatrice Padovani; GOUVEIA, M. T. J. ; SEOANE, José Carlos Sícoli . 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., July-September 2004. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ArcUser: pag 32-35.

Garmin GPSMAP® 276C owner's manual, pag 48 e 99.

Iracema Reimão Silva / Revista de Gestão Costeira Integrada 8 (2):47-60 (2008)

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.

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 atol 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.

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.

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. Projeto Coral Vivo. Rio de Janeiro. 11 p. (Cartas, mapas ou similares).

7. WEBGRAFIA

ArcGIS Desktop 9.3 Help:

Disponível em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6270&pid=6268&topicname=IDW>> Acesso em 16 jun. 2011.

Acesso em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6068&pid=6061&topicname=Using the Topo to Raster tool](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6068&pid=6061&topicname=Using%20the%20Topo%20to%20Raster%20tool)> Acesso em 16 jun. 2011.

Acesso em: ArcGIS Desktop 9.3 Help: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How Radial Basis Functions %28RBF%29 work](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Radial%20Basis%20Functions%20work)> Acesso em 18 jun. 2011.

Projeto Coral Vivo:

Disponível em: Projeto Coral Vivo <<http://www.coralvivo.org.br/new/index.asp?conteudo=19220090265384537>> Acesso em 15 de jun. 2011.

Wikipedia. A enciclopédia Livre:

Disponível em: Wikipedia <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ge%C3%B3ide>> Acesso em 15 jun. 2011.