UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

PRISCILLA HELIÊNAY OLIVEIRA DO NASCIMENTO

ANÁLISE E ELIMINAÇAO DE RUÍDOS EM PRODUTO MDE DO LIDAR NA INTERFACE ÁGUA/SOLO

Recife

2017

PRISCILLA HELIÊNAY OLIVEIRA DO NASCIMENTO

ANÁLISE E ELIMINAÇAO DE RUÍDOS EM PRODUTO MDE DO LIDAR NA INTERFACE ÁGUA/SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel (a) em Engenheira Cartógrafa.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Coorientador: Prof. Msc. Aramis Leite de Lima

Recife

2017

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

N244a Nascimento, Priscilla Heliênay Oliveira do.
Análise e eliminaçao de ruídos em produto MDE do LiDAR na interface água/solo / Priscilla Heliênay Oliveira do Nascimento. – 2017.
54 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Coorientador: Prof. Msc. Aramis Leite de Lima.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2017.
Inclui Referências.

1. Engenharia cartográfica. 2. Produtos cartográficos. 3. Validação. 4. Ruídos. 5. LiDAR. 6. Modelo digital de elevação. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientadora). II. Lima, Aramis Leite de. (Coorientador). III. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2017-414

Priscilla Heliênay Oliveira do Nascimento

ANÁLISE E ELIMINAÇAO DE RUÍDOS EM PRODUTO MDE DO LIDAR NA INTERFACE ÁGUA/SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel (a) em Engenheira Cartógrafa.

Aprovado em:____ de _____de 2017

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Universidade Federal de Pernambuco (Orientador)

_____

Prof. Msc. Aramis Leite de Lima

Instituto de Tecnologia de Pernambuco (Co-Orientador)

_____

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior

Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus pais, Saulo (*In Memorian*) e Percila,

minha base e meus maiores incentivares e

ao meu esposo Diego, meu Amor.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão primeiramente ao meu Deus, ao qual sou totalmente dependente, por ter me sustentado, se não fosse Ele comigo não chegaria até aqui.

Aos meus pais Saulo (*In Memorian*) e Percila, minha base e meus maiores incentivadores. Só estou aqui porque eu sei que um dia vocês abriram mãos de coisas para vocês por mim. Pai queria que você estivesse aqui para ver sua "princesinha" se tornando Engenheira. Isso eu devo a vocês. Eu os amo muito.

Ao meu irmão Saulo Júnior pelos incentivos, amor e me apoiar sempre.

Ao meu esposo Diego por todo amor, incentivo e apoio em toda essa trajetória. Meu amor, todo seu companheirismo, compreensão e torcida foram e são imprescindíveis.

À minha querida orientadora Ana Lúcia, por toda dedicação, compreensão e incentivo nesta jornada acadêmica. A senhora sem dúvidas faz parte de toda essa jornada.

Ao meu co-orientador Aramis Leite, por todo conhecimento compartilhado durante todo o período de estágio no Instituto de Tecnologia de Pernambuco e todo o apoio durante a pesquisa.

Ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, por ceder os dados utilizados nesta pesquisa. Também aos amigos que fiz durante o período de estágio e com certeza os levarei para a vida.

Aos meus professores do departamento de Engenharia Cartográfica que me fizeram amar ainda mais este curso e a confirmar a escolha, vocês me deram a base necessária para minha vida profissional.

“ Porque dEle e por Ele, para Ele são todas as coisas;

glória, pois, a Ele eternamente.

Amém”

Romanos 11. 36

RESUMO

Com as constantes alterações urbanas, nos dias atuais há uma necessidade de se obter produtos cartográficos que forneçam informações atualizadas do comportamento urbano, que deem subsídios na solução de problemas encontrados. Ao adquirir estes produtos é importante que passem por um processo de validão, em que serão verificados se as informações que poderão ser extraídas correspondem a realidade terrestre, considerando uma determinada tolerância. Neste sentido a prefeitura do Jaboatão dos Guararapes, adquiriu produtos cartográficos e precisava da validação desses produtos para que pudessem utilizá-los. Sendo assim contratou o Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP – para valida-los. Durante esse processo foram detectados aos erros de processamento de dados e varredura do Laser. Alguns desses erros foram vazios detectados na nuvem de pontos, que consequentemente provocaram erros no processo de interpolação dos dados para a geração de Modelos Digitais de Elevação – MDE. O presente trabalho propõe uma análise do ruído encontrado em produtos LiDAR e o desenvolvimento de uma metodologia para eliminação deste erro na nuvem de pontos através de técnicas de processamento de imagens, tais como filtragem e classificação e posteriormente gerando nova nuvem de pontos e Modelos Digitais de Elevação com a correção dos erros de interpolação observados nos produtos enviados. Foram analisados os resultados obtidos através de perfis transversais, curvas de nível e Volume e área entre as superfícies.

Palavras-chave: Produtos cartográficos. Validação. Ruídos. LiDAR. Modelo digital de elevação.

ABSTRACT

With the constant urban changes, in the present day there is a need to obtain cartographic products that provide updated information of the urban behavior, that give subsidies in the solution of problems encountered. When acquiring these products it is important that they undergo a validation process, in which they will be verified if the information that can be extracted correspond to the terrestrial reality, considering a certain tolerance. In this sense, the prefecture of Jaboatão dos Guararapes, acquired cartographic products and needed the validation of these products so that they could use them. Therefore, it hired the Institute of Technology of Pernambuco - ITEP - to validate them. Laser processing and data processing errors were detected during this process. Some of these errors were detected in the cloud of points, which consequently caused errors in the process of data interpolation for the generation of Digital Elevation Models - MDE. The present work proposes an analysis of the noise found in LiDAR products and the development of a methodology for eliminating this error in the cloud of points through image processing techniques, such as filtering and classification and later generating new cloud of points and Digital Models of Elevation with the correction of interpolation errors observed in the products sent. The results obtained through transversal profiles, contours and Volume and area between the surfaces were analyzed.

Keywords: Cartographic products. Validation. Noise. LiDAR. Digital Elevation Model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Princípios e componentes do sistema de Pefilamento a Laser. 17
Figura 2 – Configuração da varredura do voo. 18
Figura 3– Varredura do *Laser* na faixa de voo. 19
Figura 4– Movimento da máscara de tamanho 3x3 no processo de filtragem da imagem. 21
Figura 5– Representação do algoritmo do classificador K-médias utilizando 3 agrupamentos. 24
Figura 6 – Exemplo da metodologia aplicada no interpolador Natural Neighbor. 27
Figura 7- Localização da área de estudo com a ortofoto de 2015-2016. 28
Figura 8- (a) Ortofoto Articulação 2845-0968.(b) Recorte da ortofoto com a área estudada. . 28
Figura 9 – Recortes contendo a área estudada. (a) Nuvem de pontos em formato ASCII. (b) Recorte do Modelo Digital de Elevação – MDE. 29
Figura 10– Fluxograma da metodologia desenvolvida 31
Figura 11 - Propriedades da ortofoto utilizada na pesquisa 32
Figura 12– Tipos de máscaras do filtro passa-baixa apresentadas no *Spring*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 32
Figura 13– Histograma do recorte da banda correspondente ao vermelho. 33
Figura 14– Recorte da ortofoto com o efeito do filtro passa-baixa, segundo o tipo de máscara aplicada. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 33
Figura 15– Recortes suavizados classificados em três classes água, vegetação e solo exposto. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 34
Figura 16– Resultado da primeira operação utilizando o *Raster Calculator* nas imagens classificadas. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 35
Figura 17– Polígonos da água segundo o tipo de máscara utilizado na filtragem. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 35
Figura 18– Novas nuvens de pontos geradas com as novas informações da água. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 36
Figura 19- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 3x3. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging. 37
Figura 20- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 5x5. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging. 38
Figura 21- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 7x7. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging. 39
Figura 22– Localização do perfil transversal utilizado na análise do comportamento dos MDE. 41
Figura 23– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador IDW. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original. 42
Figura 24– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador *Kriging*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original. 43
Figura 25– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original. 44
Figura 26– Curvas de nível do MDE enviado. 47

Figura 27– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador IDW. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 47
Figura 28– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador *Kriging*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 49
Figura 29– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador IDW. 46
Tabela 2 - Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador *Kriging*.. 46
Tabela 3 - Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*..... 46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 OBJETIVOS 15
2.1 Objetivo Geral 15
2.2 Objetivos Específicos 15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
3.1 Perfilamento a *Laser* 16
3.2 Modelo digital de Elevação 19
3.3 Técnicas de processamento de Imagens 20
3.3.1 Filtragem 20
3.3.2 Classificação 22
3.4 Interpoladores 24
3.4.1 *Inverse Distance Weigth* - IDW 25
3.4.2 *Kriging* 25
3.4.3 *Natural Neighbor* 26
4 METODOLOGIA 27
4.1 Área de Estudo 27
4.2 Materiais 29
4.3 Métodos 30
4.3.1 Detecção do ruído 30
4.3.2 Metodologia para eliminação do ruído 30
5 RESULTADOS E ANÁLISES 41
5.1 Perfil Transversal 41
5.2 Área e Volume entre as superfícies 45
5.3 Curvas de Nível 47
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 52
REFERÊNCIAS 53

1 INTRODUÇÃO

A atualização e até mesmo a criação de uma base cartográfica nas prefeituras dos munícipios são de extrema importância no planejamento urbano e na gestão pública das cidades, para que as tomadas de decisões sejam condizentes com a realidade. Ter uma base cadastral atualizada é fundamental no auxilio administrativo do município, pois facilita e dá subsídios, com embasamento, as soluções dos problemas.

Muitos desses produtos são imagens digitais, tais como imagem de satélites e ortofoto, que são oriundas de sensores encontrados em satélites ou câmeras aerofotogramétricas, respectivamente. Este tipo de produto exige o conhecimento de técnicas de processamento de imagens de seu usuário para a manipulação e posterior extração de informações. Algumas dessas técnicas podem ser: filtragem, aplicação de contraste no histograma, classificação e segmentação.

Atualmente, com o avanço tecnológico novas técnicas foram introduzidas ao processo de aquisição de dados trazendo facilidades e novos recursos que ampliam a gama de produtos e a precisão destes. Uma destas tecnologias é a técnica denominada de Perfilamento a LASER, desenvolvida com a capacidade de obter, com alta precisão, dados altimétricos.

A Prefeitura do município do Jaboatão dos Guararapes adquiriu produtos cartográficos, tais como: Ortofotos, ortofotocartas, Modelo Digital de Elevação – MDE, Modelo Digital do Terreno – MDT, Hipsométria, Composição e Curvas de nível. Estes produtos serão utilizados para atualização da sua base de dados.

Para a validação desses produtos a prefeitura contratou o Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, onde foi feita a análise de completude e consistência de produtos cartográficos. Nestes foram observados alguns erros e consequentemente notificados a empresa que executou o serviço a ENGEFOTO. Um desses erros foi a ausência de informações nos produtos do perfilamento a *Laser* causando vazios na cobertura dos pontos e consequentemente erros na interpolação do Modelo Digital de Elevação - MDE. O imageamento da interface solo/água gera problemas no retorno do sinal e o mapeamento dessas áreas não reflete a realidade sem a filtragem dos dados para retirar os pontos obtidos na água.

Neste contexto, este trabalho de conclusão de curso irá abordar sobre as técnicas de processamento de imagem e de dados e o estudo de uma metodologia para eliminar os erros encontrados na validação de produtos cartográficos adquiridos pela Prefeitura do Jaboatão dos Guararapes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é o estudo, análise e desenvolvimento de metodologia para eliminação de ruídos em produtos LiDAR na interface água com solo, através de técnicas de processamento de imagens.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar ruídos em produtos LiDAR, através da análise de consistência na validação dos produtos.
- Desenvolver uma metodologia de eliminação dos ruídos na interface água com solo utilizando técnicas de processamento de imagens.
- Analisar a qualidade dos resultados obtidos a partir da eliminação dos ruídos em produto MDE.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão expostos os conceitos e as definições que fornecem o embasamento teórico deste trabalho, como os conceitos básicos de Perfilamento a *Laser*, técnicas de processamento de imagens e interpoladores.

3.1 Perfilamento a *Laser*

Na fotogrametria a obtenção de Modelos Digitais de Elevação – MDE ou Modelos Digitais do Terreno – MDT é uma das atividades que mais consomem tempo. Na maioria dos casos este produto cartográfico é utilizado para ortorretificação de ortofotos ou para obtenção automática de curvas de nível. Esses modelos podem ser obtidos por alguns métodos válidos, contudo são mais trabalhosos, pois envolvem equipes de campo ou técnicos especializados.

Uma nova técnica foi desenvolvida na intenção de revolucionar esta metodologia, permitindo a obtenção do MDE de maneira mais direta. LiDAR, sigla utilizada para *Light Detection and Ranging*, é um termo que tem sido utilizado para designar esta nova tecnologia de sensoriamento remoto. Em português vem sendo utilizada a terminologia de Sistema de Varredura a *Laser* (CENTENO & MITISHITA, 2007; COELHO &VARGAS, 2007) ou Perfilamento a *Laser* (CASTRO & CENTENO, 2005; SILVA & RIBAS, 2007). O termo LaDAR (*Laser Detection and Ranging*) também é utilizado, porém, com mais frequência em aplicações militares (SIEPMANN, 2006).

Sistema de Perfilamento a *Laser* (ALS – *Airborne LASER Scanning*) ou Sistema para Mapeamento do Terreno por *Laser* Aerotrasnportado (ALTM – *Airborne LASER Terrain Mapper*) trata-se de um sistema que obtém dados digitais de elevação do terreno com precisão equivalente ao GPS, mas de forma muito mais eficaz, pois o sensor principal do sistema está localizado em uma aeronave, cujo deslocamento, sobre uma área de interesse, é extremamente rápido quando comparado com os levantamentos convencionais (BRANDALIZE, 2001).

O princípio de funcionamento do Perfilamento a Laser consiste na emissão de um pulso Laser de uma plataforma (aérea, terrestre ou orbital) com uma elevada frequência de repetição. O tempo de retorno dos pulsos *laser* entre a plataforma e os alvos é medido pelo sensor, permitindo a estimativa destas distâncias (GIONGO et al, 2010).

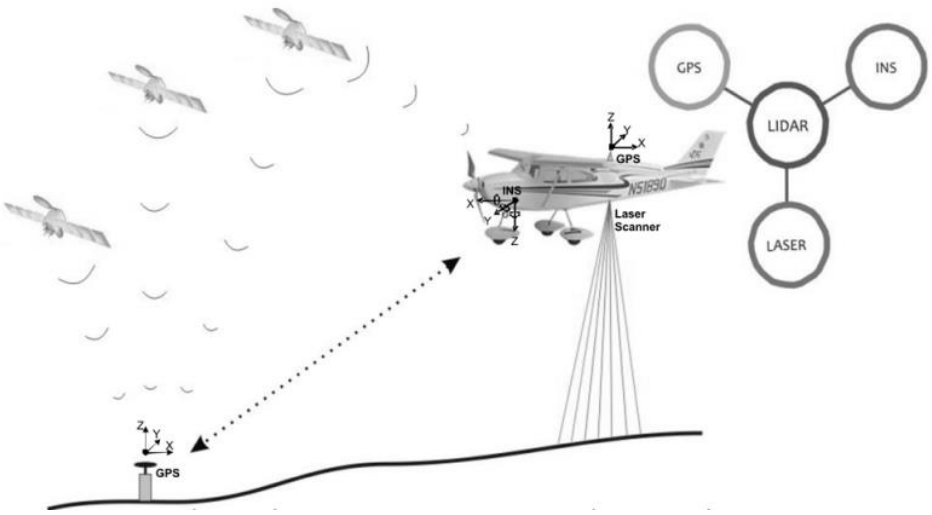
O sistema apresenta sua própria fonte de energia, que neste caso é o *laser*, não dependendo da energia emitida do sol. Essa característica é considerada uma vantagem do sistema em comparação aos clássicos sensores passivos.

Os componentes principais que se encontram a bordo de uma aeronave, preparada para este tipo de serviço, são os seguintes (BRANDALIZE, 2001):

- Sensor LASER (LRF-LASER Range Finder) composto pelo gerador do pulso LASER, ótica de transmissão e recepção do raio, detetor de sinal, amplificador e outros componentes eletrônicos;
- Sistema de Medição Inercial (SMI);
- Receptor *Global Positioning System* - GPS e seus respectivos componentes;
- Computador de bordo e respectivos programas para controlar a aquisição dos dados;
- Unidades de armazenamento dos dados brutos do Laser, do GPS e da Navegação Inercial;
- Receptor GPS para navegação da aeronave

Em terra é necessária uma rede de GPS que trabalhe de forma conjunta ao GPS que está a bordo da aeronave.

Figura 1– Princípios e componentes do sistema de Pefilamento a Laser.



Fonte: Giongo et al, 2010.

A varredura é feita no sentido transversal à direção da linha de vôo com um ângulo de abertura configurável pelo sistema. Este ângulo de abertura permite a determinação da largura da faixa abrangida pelo Perfilamento a Laser, enquanto o movimento da aeronave permite a cobertura na direção de voo (BRANDALIZE, 2001). A largura da faixa abrangida pela varredura pode ser determinada pela equação 1:

$$L = 2 \times H \times tan\beta \quad (1)$$

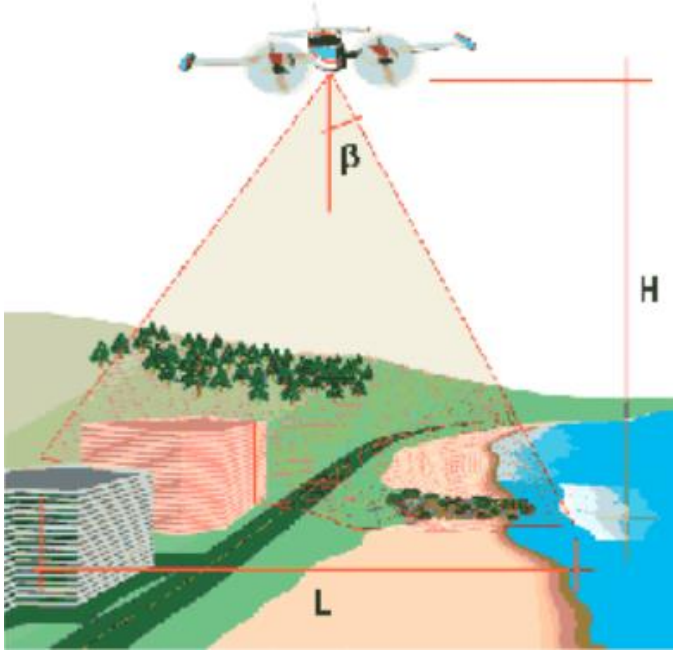
Onde:

L: Largura da faixa varrida pelo *Laser* em m;

H: Altura do voo em m;

β: Ângulo de abertura.

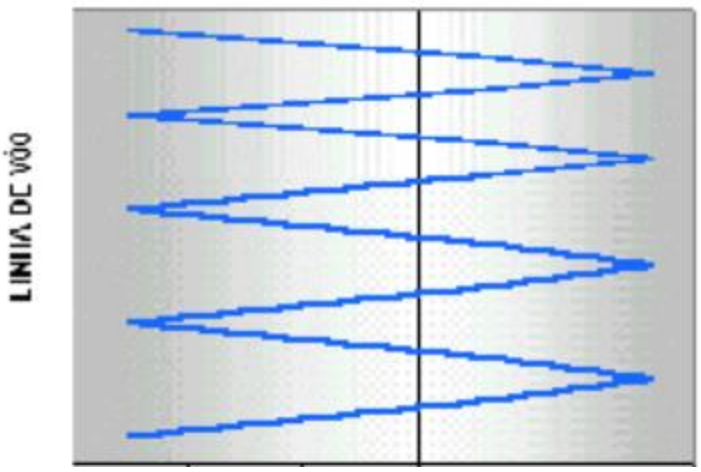
Figura 2 – Configuração da varredura do voo.



Fonte: Brandalize, 2001.

Quando o conjunto ótico móvel é programado para executar movimentos laterais combinado com o deslocamento da aeronave, o mesmo produz um feixe de pulsos perpendicular à direção de voo. A oscilação do conjunto ótico em torno do eixo (freqüência de perfilamento) em combinação com o movimento da aeronave, cria um padrão de varredura do tipo "dente de serra" (BRANDALIZE, 2001).

Figura 3– Varredura do *Laser* na faixa de voo.



Fonte: Brandalize, 2001.

O sistema de Perfilamento a *Laser* depende de dois fatores importantes o primeiro deles é a detecção de luz refletida em uma superfície natural ou artificial. Esta detecção é feita por um componente de recepção chamado de Fotodiodo ou APD – *Avalanche Photo Diode*. O segundo fator é o desvio dos pulsos emitidos que varia de acordo com o tipo de superfície, quanto mais reflexiva maior será o desvio dos pulsos emitidos e menor será o retorno dos pulsos ao sistema.

3.2 Modelo digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação – MDE – é uma representação digital de uma parte da superfície dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel correspondente à elevação.

Os Modelos Digitais de Elevação consistem em uma das principais formas de representação do relevo que podem ser usados para extrair informações de declividade, orientação de vertentes e curvatura do terreno, considerados como informações espaciais de grande importância para análise da superfície terrestre (MARION et al.,2015).

Conforme Nelson et al. (2009), há três fontes de dados para a construção de MDE's: a) Técnicas de levantamento de campo, com a aquisição de pontos precisos de latitude, longitude e elevação (x, y, z); b) Mapas topográficos existentes, com a derivação de curvas de nível, drenagens, lagos e pontos de elevação; c) Sensoriamento remoto, com a interpretação de fotografias aéreas ou de imagens adquiridas de satélites, com destaque para a fotogrametria (métodos estereocópicos), radares e, mais recentemente, levantamentos Laser.

Para determina-lo é necessário obter dados espaciais que representem a superfície que deverá ser modelada. Esses dados são um conjunto de ponto de elevação que posteriormente passam por processos amostragem, filtragem e de interpolação.

Um MDE pode fornecer informações espaciais de grande importância para o planejamento urbano e gestão municipal. Esse tipo de produto possibilita a representação do desenvolvimento das formas do relevo existente, proporcionando inúmeros subsídios para o desenvolvimento de diagnósticos e outros estudos visando o planejamento urbano.

3.3 Técnicas de processamento de Imagens

3.3.1 Filtragem

No processamento digital de imagens algumas técnicas visam realçar as imagens a partir de procedimentos que transformam os dados em função do valor individual de cada pixel. Outras técnicas enfatizam ou reduzem as informações contidas numa imagem por meio de operações que envolvam os pixels de uma vizinhança, considerando um certo espaço geométrico da imagem.

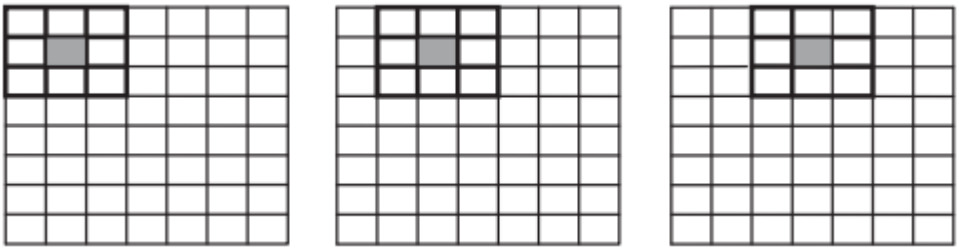
As técnicas de processamento que atuam no sentido de realçar as bordas ou limites e de reduzir a presença dos ruídos são denominadas filtragens. Os filtros são os métodos de transformação da imagem no domínio espacial (MENESES & ALMEIDA, 2012). Essa técnica transforma a imagem pixel a pixel, através de uma relação de dependência do nível de cinza de um determinado pixel e do valor dos níveis de cinza dos pixels vizinhos, portanto o pixel resultante tem um valor dependente do contexto em que ele se encontra na imagem original.

Segundo Meneses e Almeida (2012), para filtrar uma imagem é importante conhecer a natureza do filtro que deve servir ao resultado que se deseja obter do processo de filtragem da imagem. A natureza de um filtro é determinada pela sua configuração que, de maneira geral, são classificados nos seguintes tipos:

- Filtro passa-baixa: filtro que ressalta as estruturas maiores na imagem;
- Filtro passa-alta: filtro que ressalta as estruturas de detalhe na imagem;
- Filtro banda-passante: ressalta parte das maiores e menores estruturas da imagem.

O procedimento de filtragem aplicado sobre a imagem consiste em dois procedimentos. O primeiro está relacionado em definir uma máscara com a configuração de uma matriz onde cada célula da matriz contém coeficientes, e seu tamanho normalmente de números impares de pixel, como 3x3, 5x5 e 7x7, para que seja mantida uma simetria em relação ao pixel central. Em seguida esta máscara é movida pixel a pixel da imagem e o valor do pixel é multiplicado com o valor correspondente da matriz. Desta forma a média da soma do produto será o novo valor de brilho do pixel. Esse processo continua por toda a imagem (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Figura 4– Movimento da máscara de tamanho 3x3 no processo de filtragem da imagem.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012

Neste trabalho será tratado sobre o filtro passa-baixa, pois foi o que foi aplicado na metodologia desta pesquisa.

O filtro passa-baixa suaviza a imagem atenuando as altas frequências, que correspondem às transições abruptas. Tende a minimizar ruídos e apresenta efeito de borramento da imagem (INPE, 2017). Dentre as técnicas conhecidas de suavização estão os filtros de média e da mediana.

No filtro passa-baixa de média todos os coeficientes da máscara devem conter os mesmos pesos, com valor positivo igual a 1. Matematicamente, o filtro passa-baixa de média é escrito na forma:

$$g(i,j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} f(m,n) \qquad (2)$$

Onde: f(m, n): é a imagem inicial

g(i, j): é a imagem filtrada

3.3.2 Classificação

Segundo Meneses e Almeida (2012), para extrair informações de uma imagem é necessário estabelecer regras para que a mesma informação possa ser extraída por outro analista. Contudo, o resultado só será o mesmo se ambos indivíduos obedecerem a essas regras, caso contrário cada um chegará em um resultado. Pensando na eliminação dessa subjetividade e na automatização desses processos é que surgiram as técnicas de classificação de imagens.

Classificação é o processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos que são utilizados para mapear áreas da superfície terrestre as quais correspondam aos temas de interesse (INPE, 2017). Associa cada pixel da imagem a um rótulo descrevendo um objeto real. Dessa forma, obteremos um mapa temático, o qual mostrará a distribuição geográfica de um tema. Para o propósito, utilizam-se os classificadores.

A classificação pode ser subdividida em supervisionada e não-supervisionada. Há ainda a possibilidade de dividir os classificadores em classificação pixel a pixel ou por regiões. Os classificadores pixel a pixel consideram de forma individual a informação espectral cada pixel na busca por regiões dentro da imagem com características homogêneas. Já os classificadores por regiões consideram a informação espectral de cada pixel fazendo uma relação espacial com a vizinhança entre os pixels, buscando por fim regiões homogêneas na imagem.

A classificação supervisionada é um tipo de classificação em que é necessário o conhecimento prévio do operador de algumas características da área. Segundo Crósta (1992), esse reconhecimento abrange alguns parâmetros estatísticos, tais como média e desvio padrão, de cada classe presente na área analisada.

Conforme INPE (2017), a classificação não-supervisionada ocorre quando o operador utiliza algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem, sem interferir nessa rotulação e sem se preocupar com a heterogeneidade gerada pela classificação. Todos os pixels serão incluídos em algo classe. Esse tipo de classificação ocorre de forma automatizada.

Alguns alvos podem ter características espectrais semelhantes nas bandas de uma imagem de um determinado sensor, a atmosfera pode interferir na obtenção de imagens em comprimentos de onda, o comportamento do relevo, as sombras, os ruídos que

frequentemente aparecem nas imagens e a resolução espacial torna os pixels uma mistura dos alvos, esse são exemplos dos fatores que podem interferir no processo de classificação (MENESES & ALMEIDA, 2012). Os algoritmos até tentam modelar alguns desses fatores, contudo quando a classificação é não supervisionada nem sempre é possível obter uma classificação perfeita. Desta forma o resultado final da classificação deve ser avaliado.

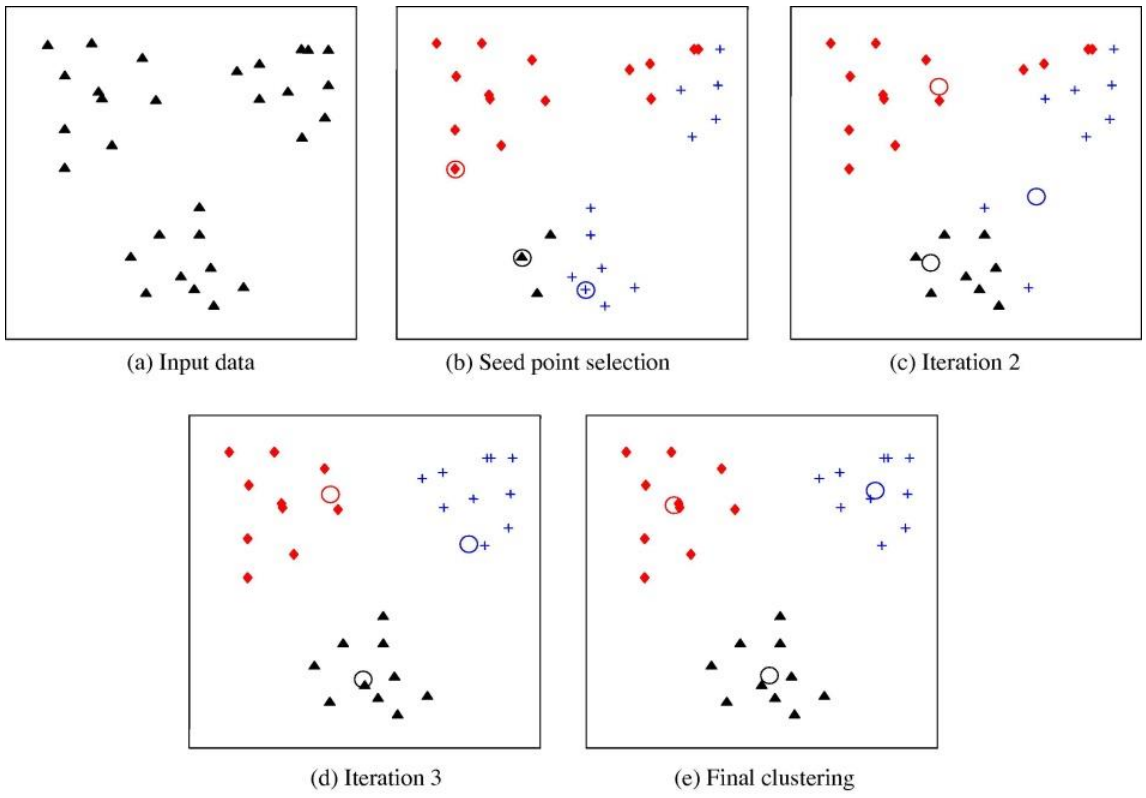
Os classificadores não supervisionados mais utilizados em Sensoriamento remoto são: o ISODATA e o K-médias. Ambos são classificadores do tipo "por regiões", se baseiam no agrupamento de pixels por suas similaridades. Neste trabalho será discutido sobre o classificador K-médias pois foi utilizado na metodologia desta pesquisa.

O classificador K-médias ele utiliza uma abordagem de agrupamento, onde ele considera a priori um número de agrupamentos. Conforme Meneses e Almeida (2012), o objetivo do K-médias é minimizar a variação dentro dos agrupamentos que é modelada pela função soma das distâncias ao quadrado entre cada pixel e o centro ao qual é direcionado. A função soma das distâncias ao quadrado é representada conforme a equação 3.

$$SS_{distância} = \sum_{xy} [\, x - C(x)^2] \qquad (2)$$

Onde: C(x) = média do agrupamento ao qual o pixel x é direcionado.

Figura 5– Representação do algoritmo do classificador K-médias utilizando 3 agrupamentos.



Fonte: Jain, 2010.

3.4 Interpoladores

A interpolação é o processo que tem por objetivo estimar valores em áreas não contempladas pela amostragem de pontos, obtendo ao final do processo um novo conjunto de dados estimados, que outrora não existia informação disponível. Para determinação desses novos pontos, levam-se em consideração as informações dos pontos mais próximos porque estes tendem a ter valores semelhantes.

Segundo Miranda (2005), o procedimento de interpolação depende de duas etapas a primeira delas é a definição um relacionamento de vizinhança e a segunda é a definição do método que será utilizado para determinar através dos cálculos os valores desconhecidos. Dentre os interpoladores mais utilizados para obter o modelo digital de elevação estão: o *Inverse Distance Weigth* – IDW, *Natural Neighbor*, *Spline*, Triangulação – TIN, *Kriging* e o *Topo to Raster*. Como o objetivo desta pesquisa não será estudar os métodos interpoladores, só iremos abordar nos próximos tópicos os métodos IDW, *Natural Neighbor* e *Kriging*.

3.4.1 *Inverse Distance Weigth* - IDW

Segundo Jakob e Young (2006), o interpolador *Inverse Distance Weigth* - IDW – utilizará os valores da amostra à sua volta considerando, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, a distância é quem irá ponderar o valor final do novo ponto, quanto menor a distância maior a influência.

$$Z(X) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \omega_i z(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \omega_i} \quad (3)$$

Onde: Z(x) - é o valor do ponto que se deseja interpolar;

n – é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x;

$Z(x_i)$ – é o valor do ponto x_i;

ω_i – é o peso do valor de x_i sobre o ponto x;

E o parâmetro ω_i é obtido por:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (4)$$

Onde: $h(x,x_i)$ – é a distância entre o ponto x e o ponto x_i;

p – é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois.

3.4.2 *Kriging*

O interpolador *Kriging* se estabelece como um interpolador geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de auto correlação entre as observações e as pondera em função da distância do ponto a interpolar a cada ponto de referência conhecido. O método consiste na obtenção de uma estimativa dos valores para um local, por determinação dos coeficientes de uma combinação linear dos valores amostrados (MIRANDA, 2015).

Desta forma, supondo que se queira estimar valores de y, para qualquer local x_0, temos (SANTOS, 2010):

$$y(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i y(x_i) + \lambda_0 \quad (5)$$

Onde: n – é o número de valores medidos;

$y(x_i)$ – valores envolvidos na estimativa;

λ_i – são os pesos associados a cada valor medido;

λ_0 – é uma constante conhecida.

Com base na equação 5 o processo de interpolação utilizando o *Kriging* é dada pela equação 6:

$$\hat{Y}(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Y(x_i) + \lambda_0 \quad (5)$$

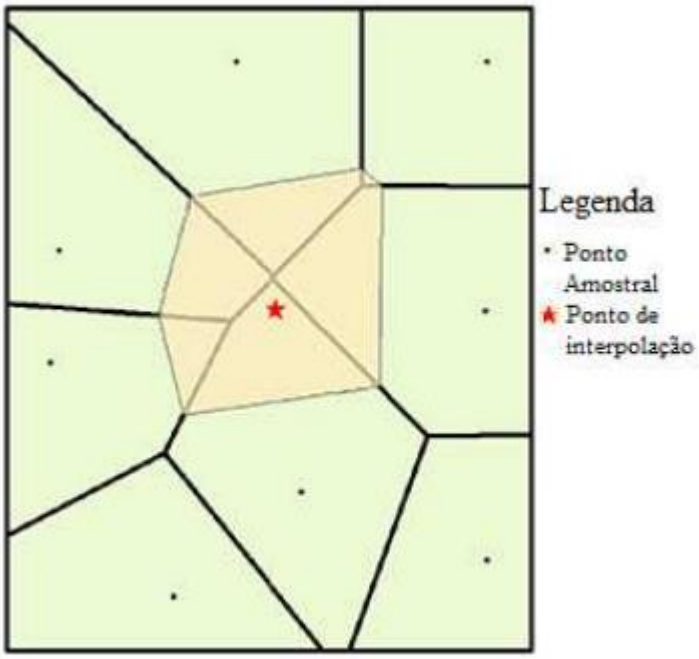
Onde: $\hat{Y}(x_0)$ – é o preditor de Krigagem linear.

3.4.3 *Natural Neighbor*

Diferentemente do interpolador IDW, apenas os efeitos locais influenciam a análise do ponto e não são realizadas inferências estatísticas sobre a variabilidade espacial do fenômeno e portanto sua interpolação é feita somente para o interior do domínio de dados (MULER & FILHO, 2015).

Em seus algoritmos o interpolador utiliza-se de pesos obtidos através das áreas proporcionais dos polígonos de Voroni (Thiessen) vizinhos ao ponto não amostrado, criando uma superfície contínua sem picos, depressões, cristas ou vales. Este interpolador utiliza a mesma equação do interpolador IDW, porém o cálculo dos pesos são feitos de forma diferente (MIRANDA, 2016).

Figura 6 – Exemplo da metodologia aplicada no interpolador Natural Neighbor.



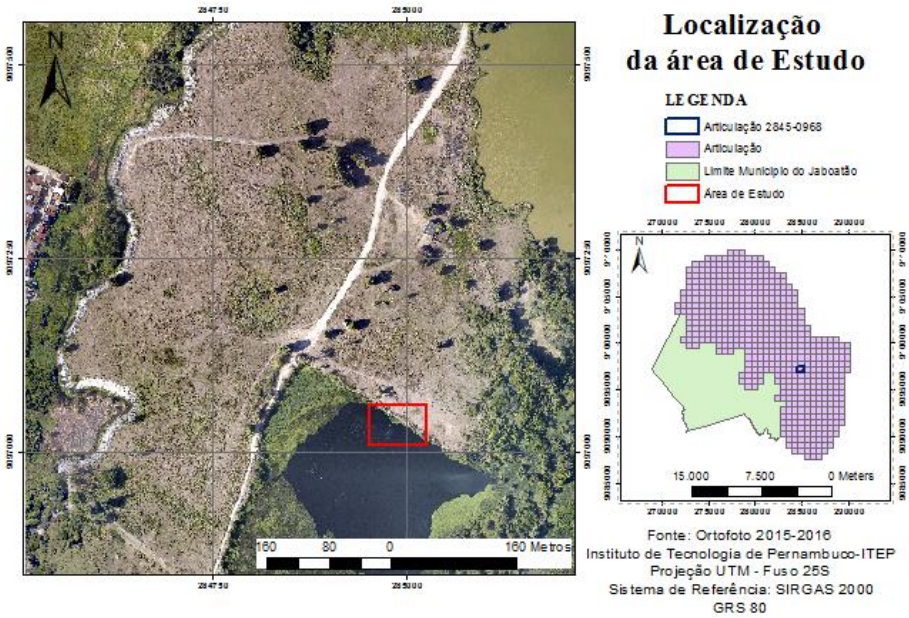
Fonte: ESRI, 2017.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no bairro da Muribeca, município do Jaboatão dos Guararapes. Durante o processo de validação foram identificados ruídos em produtos LiDAR na articulação 2845-0968 (figura 8a) mais especificamente no recorte da figura 8b, o que levou a escolha desta área.

Figura 7- Localização da área de estudo com a ortofoto de 2015-2016.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

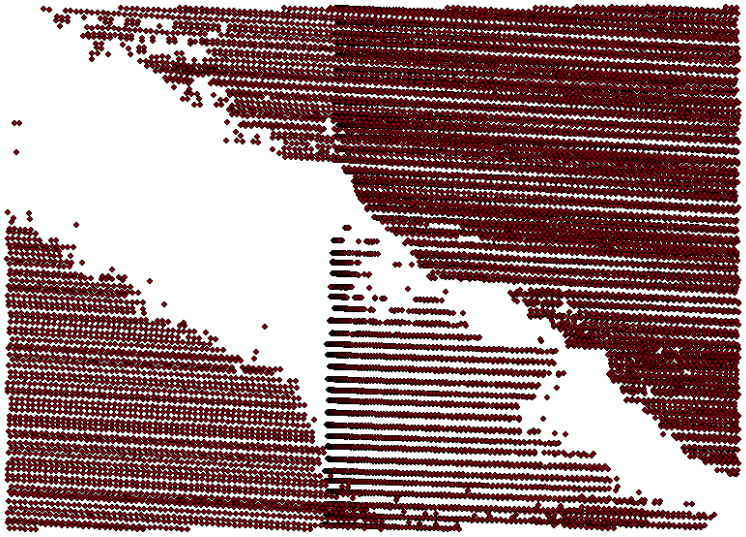
Figura 8- (a) Ortofoto Articulação 2845-0968.(b) Recorte da ortofoto com a área estudada.

(a) (b)

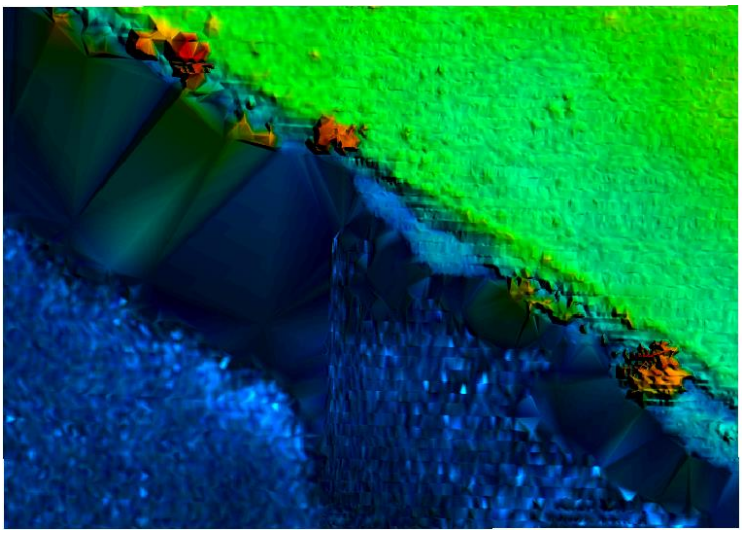
Fonte: ITEP, 2017.

A área com ruídos é composta por água, vegetação e solo exposto, contudo foram encontrados os ruídos principalmente na água. Vazios de pontos foram detectados na varredura do *Laser* e consequentemente os produtos deste sofreram alterações trazendo erros nas interpolações. (Figura 9)

Figura 9 – Recortes contendo a área estudada. (a) Nuvem de pontos em formato ASCII. (b) Recorte do Modelo Digital de Elevação – MDE.



(a)



(b)

Fonte: ITEP, 2017.

4.2 Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais na análise e procedimentos de eliminação dos ruídos:

- *Software* ArcGis versão 10;
- *Software Spring* versão 5.0.6;

- *Notebook* Dell Vostro 5470, memória 4GB, Placa de vídeo NVIDIA GEOFORCE de 2GB, disco rígido 500GB, Sistema Operacional *Windows* 8.1;
- Dados LiDAR: nuvem de pontos em formato ASCII
- Produtos LiDAR: MDE (Composição).
- Ortofoto na escala 1:1000, correspondente a articulação 2845-0968, resolução espacial 0,1 e resolução radiométrica 8bits;

4.3 Métodos

4.3.1 Detecção do ruído

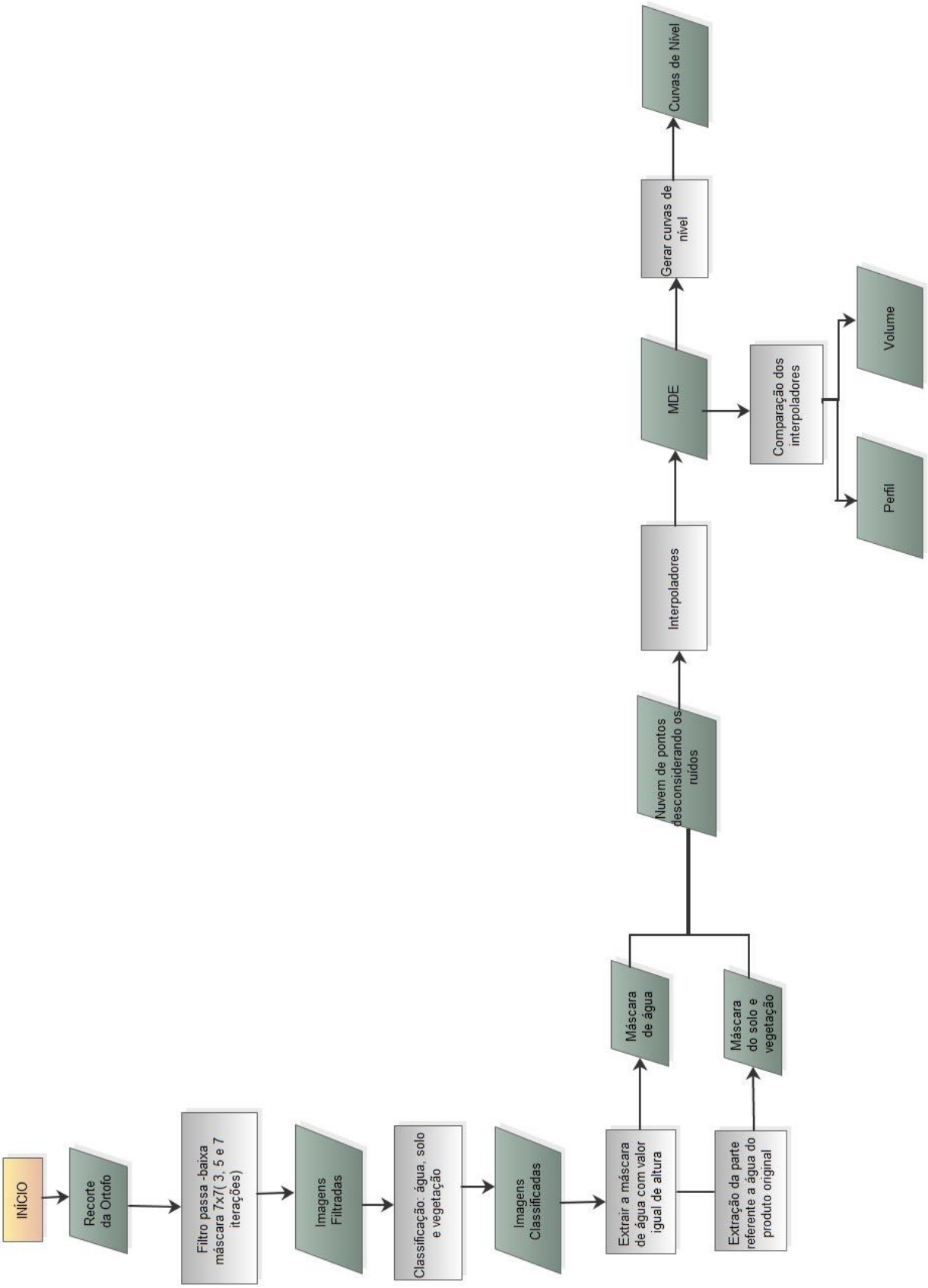
A Prefeitura do município do Jaboatão dos Guararapes adquiriu da empresa ENGEFOTO produtos cartográficos resultantes de levantamento aerofotogramétrico e Perfilamento a *Laser*. Esses produtos servirão para atualizar a base cartográfica do município. Esses produtos precisaram passar por um processo de validação e o Instituto de Tecnologia de Pernambuco foi contratado para esta tarefa.

A validação compreendeu em análises de completude, de consistência e estatística e durante esse processo foram detectados erros na interpolação do MDE. Na área analisada foram identificados triângulos e quando foi sobreposto a nuvem de pontos ficou comprovado que durante a varredura dos pontos, esta área ficou com ausência de informação e consequentemente vazios se formaram. Essa falta de pontos fez com que durante a produção do MDE, a interpolação dos dados gerou uma superfície não condizente com a realidade.

4.3.2 Metodologia para eliminação do ruído

O fluxograma apresentado na figura 10 traz de forma resumida a metodologia desenvolvida nesta pesquisa.

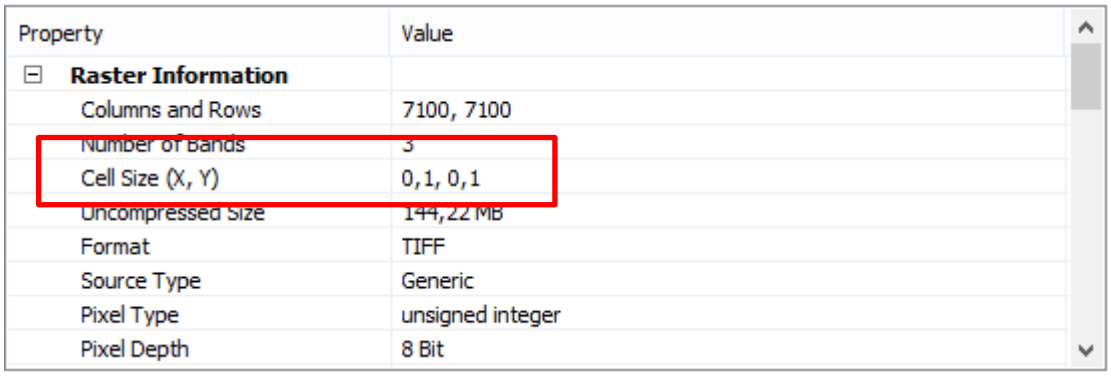
Figura 10– Fluxograma da metodologia desenvolvida.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Incialmente tomou-se o recorte da ortofoto na escala de 1:1000 (figura 8b) referente a articulação 2845-0968 e foi observado nas características gerais que sua resolução espacial é de 0,1m o que representa um alto nível de detalhes representados na imagem. Sendo a assim a extração de informações a partir da ortofoto poderia ficar comprometida, causando confusões entre os objetos.

Figura 11 - Propriedades da ortofoto utilizada na pesquisa.



Fonte: ArcGis

Desta forma fez necessário aplicar um pré-processamento no recorte da ortofoto do tipo filtragem passa-baixa. Para esta etapa do trabalho utilizou-se no *software Spring* as ferramentas já disponíveis na barra de ferramentas: *Imagem>Filtragem.*

No início das configurações do *Spring* para aplicar a filtragem são fornecidas algumas opções de filtros e máscaras, foi escolhido o filtro passa-baixa e executados três testes com diferentes tamanhos de máscaras: 3x3, 5x5 e 7x7. Esse tipo de filtro suaviza a imagem atenuando as altas frequências, que correspondem às transições abruptas, sem alterar a média da imagem. As máscaras são matrizes, de tamanho pré-estabelecido, que irão definir o nível de suavização da imagem analisada. (Figura 12)

Figura 12– Tipos de máscaras do filtro passa-baixa apresentadas no *Spring*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(a)

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

(b)

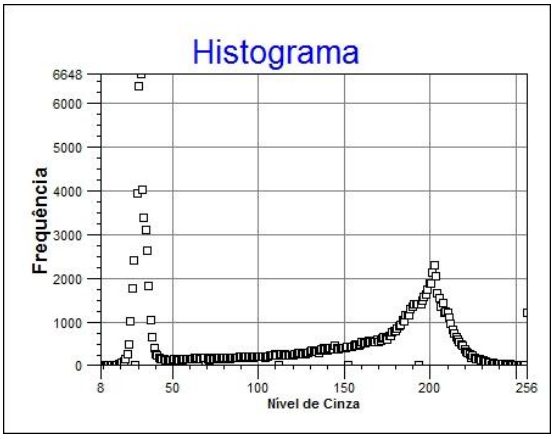
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

(c)

Fonte: Elaborada pela Autora, 2017.

Como os vazios encontrados foram na água foi escolhida a banda correspondente ao vermelho para utilização deste filtro, pois nesta banda a água apresentou uma melhor distinção aos outros tipos de classes presentes na imagem, como pode ser visto no histograma na figura 13.

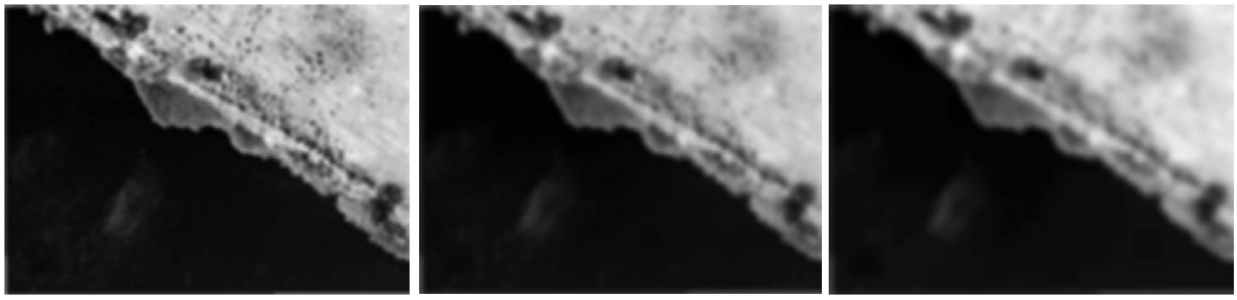
Figura 13– Histograma do recorte da banda correspondente ao vermelho.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A figura 14 traz os resultados da aplicação desse filtro para as três diferentes máscaras e observa-se que com o aumento da máscara há uma maior suavização e consequente diminuição no nível de detalhes, porém não há perca de informação.

Figura 14– Recorte da ortofoto com o efeito do filtro passa-baixa, segundo o tipo de máscara aplicada. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



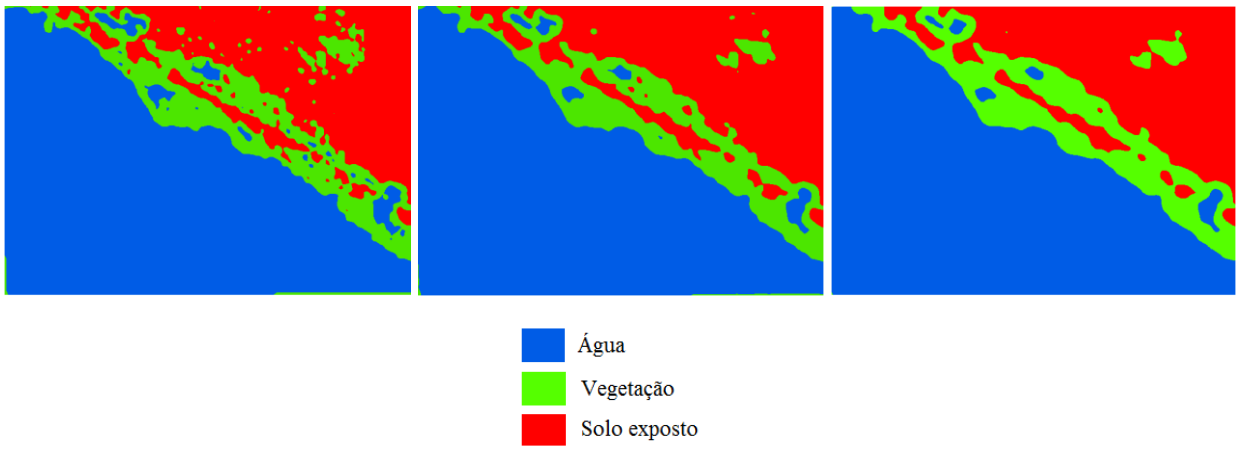
(a) (b) (c)

Fonte: Elaborada pela Autora, 2017.

Com os recortes suavizados foi executada ainda no *Spring* a classificação destes em três classes, definidas segundo a interpretação visual em: água, vegetação e solo exposto. A ferramenta de classificação pode ser encontrada no caminho: *Imagem> Classificação...*(Figura 15). O método escolhido para a classificação foi o K-médias que é um classificador não supervisionado que utiliza uma abordagem de agrupamento. O espaço de

atributos é partido em K grupos e sendo assim cada pixel da imagem é alocado ao centro mais próximo segundo a distância euclidiana.

Figura 15– Recortes suavizados classificados em três classes água, vegetação e solo exposto. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a) (b) (c)

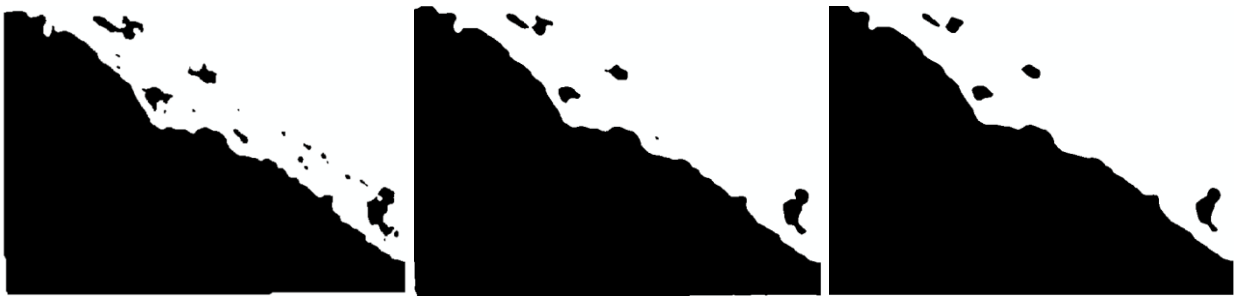
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Com a classificação fica ainda mais visível o que o filtro provoca nas imagens de acordo com o aumento da máscara. A suavização das imagens faz com que as confusões entre as classes diminuam, conforme pode ser visto na figura 15. É importante também destacar que algumas informações da borda da água são reduzidas, com o aumento da máscara.

Os procedimentos a seguir foram executados no *software ArcGis* utilizando seu acervo de ferramentas, chamado de *ArcToolBox*. Nesta etapa as imagens classificadas passaram por um outro processo que seria o de obter uma máscara da água com valor uniforme.

Inicialmente utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* para aplicar ao valor da água valor 0(zero). Essa ferramenta permite ao usuário fazer operações entre *raster* por meio de expressões de álgebra de mapa usando a sintaxe do Python em uma interface semelhante a uma calculadora. Observou-se que na classificação os pixels ficaram com valores 1,2 ou 3, conforme as classes atribuídas, respectivamente água, vegetação e solo exposto. Sendo assim utilizou-se a seguinte expressão: *"con("recorte_classificado"<=1,0)"* e todos os pixels com valor igual ou menor que um passaram a ter valor zero(figura 16).

Figura 16– Resultado da primeira operação utilizando o *Raster Calculator* nas imagens classificadas. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a) (b) (c)

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Como algumas áreas de vegetação também foram classificadas como água fez –se necessário transformar o *raster* em polígono para excluir as confusões. Contudo os pixels com valor diferente do intervalo utilizado na expressão aplicada no *raster calculator*, passaram a ser nulos e isto traria problemas na conversão de *raster* para polígono. Para resolver o problema dos valores nulos foi utilizada novamente a ferramenta *Raster Calculator* agora com a seguinte expressão: *"con(isnull("rastercalc"),1, "rastercalc")"*. Feito isso foi utilizada a ferramenta *Raster to Polygon* para transformação de Raster para polígono e posterior edição do arquivo vetorial para extração dos objetos confundidos com água durante a classificação (Figura 17).

Figura 17– Polígonos da água segundo o tipo de máscara utilizado na filtragem. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.

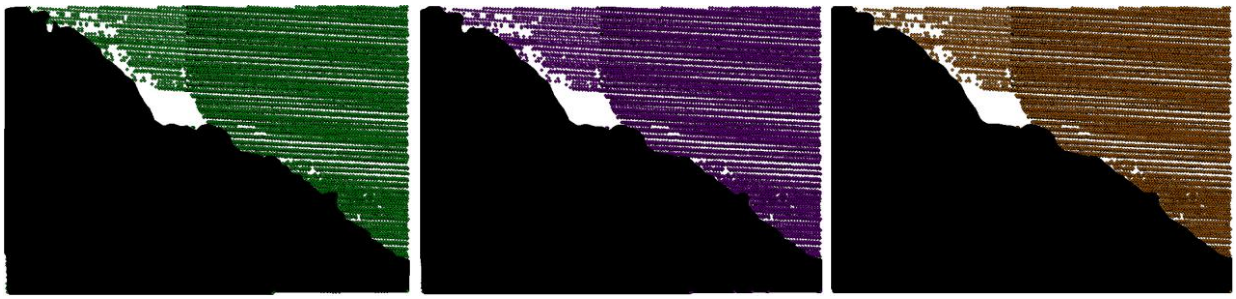
(a) (b) (c)

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Após a extração das confusões nos polígonos, foi feita a transformação do polígono para ponto. Para isto foi feita a transformação inversa de polígono para *raster*, e em seguida de *raster* para ponto, utilizando a ferramenta *Raster to Point*. Essa conversão em pontos é necessária para que seja possível gerar um MDE da área em estudo com a nova característica atribuída a água.

Do arquivo original foram extraídos os pontos da varredura do *Laser* referentes ao solo e a vegetação, para que através da ferramenta *Merge* pudessem ser unidos aos pontos obtidos no passo anterior, e formar uma nova nuvem de pontos com as novas informações da água (Figura 18).

Figura 18– Novas nuvens de pontos geradas com as novas informações da água. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a) (b) (c)

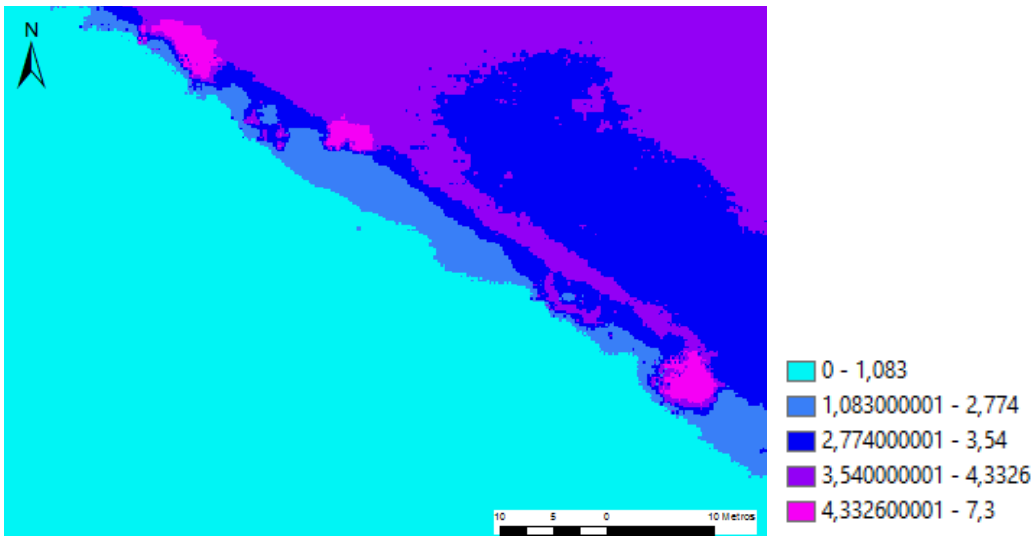
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A ausência de pontos durante o processo de varredura do *Laser* na área de estudo faz com que ao gerar o MDE ocorram erros de interpolação. Com estes novos conjunto de pontos foi possível desenvolver novos Modelos Digitais de Elevação (Figuras 19, 20 e 21), que agora considera uma superfície uniforme na água evitando erros de interpolação dos pontos.

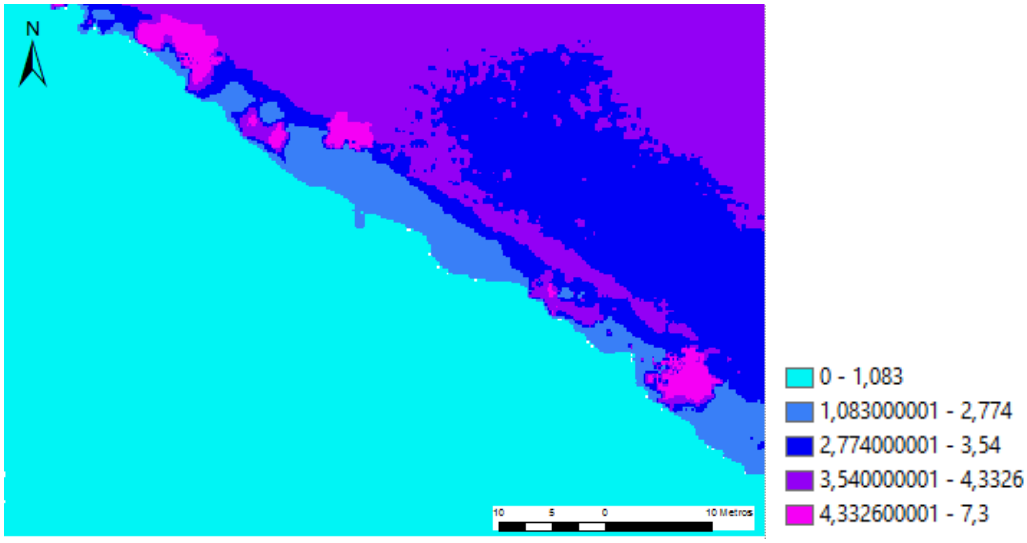
O *software* ArcGis em sua *toolbox* oferece ao usuário uma ferramenta de interpolação a partir de pontos, chamada de *Raster Interpolation*. Nesta ferramenta é possível encontrar algumas opções de interpoladores, tais como: *Inverse Distance Weighting* - IDW, Kriging e Natural Neighbor. No método IDW as amostras de pontos são analisadas com relação a distância desses pontos até o que se deseja determinar. Já o *Kriging* se baseia numa série de técnicas e análise de regressão, que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio levando em consideração a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. O método *Natural Neighbor* utiliza técnicas de média ponderada, fazendo uso de equações similares àquelas usadas no método IDW.

Figura 19- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 3x3. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging.

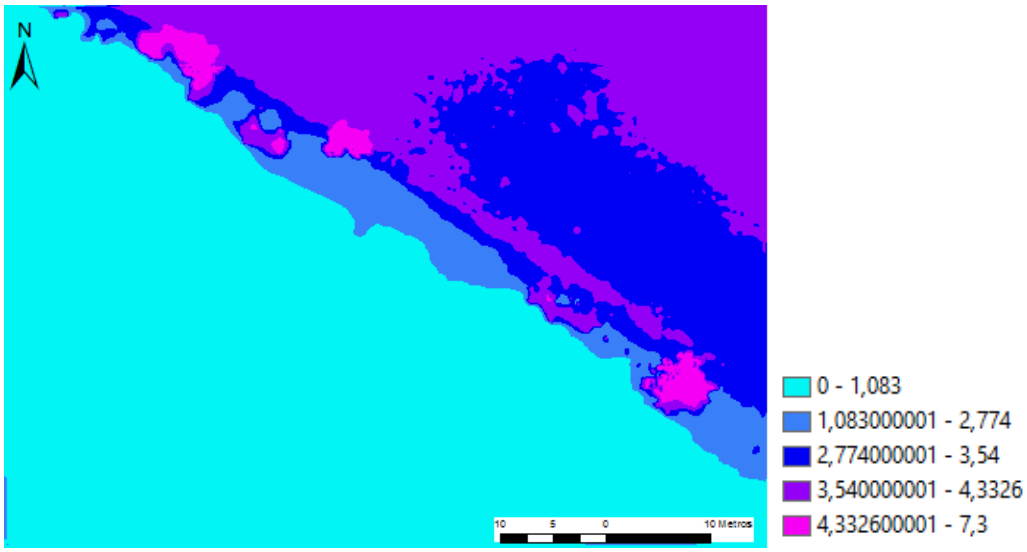
(a)



(b)

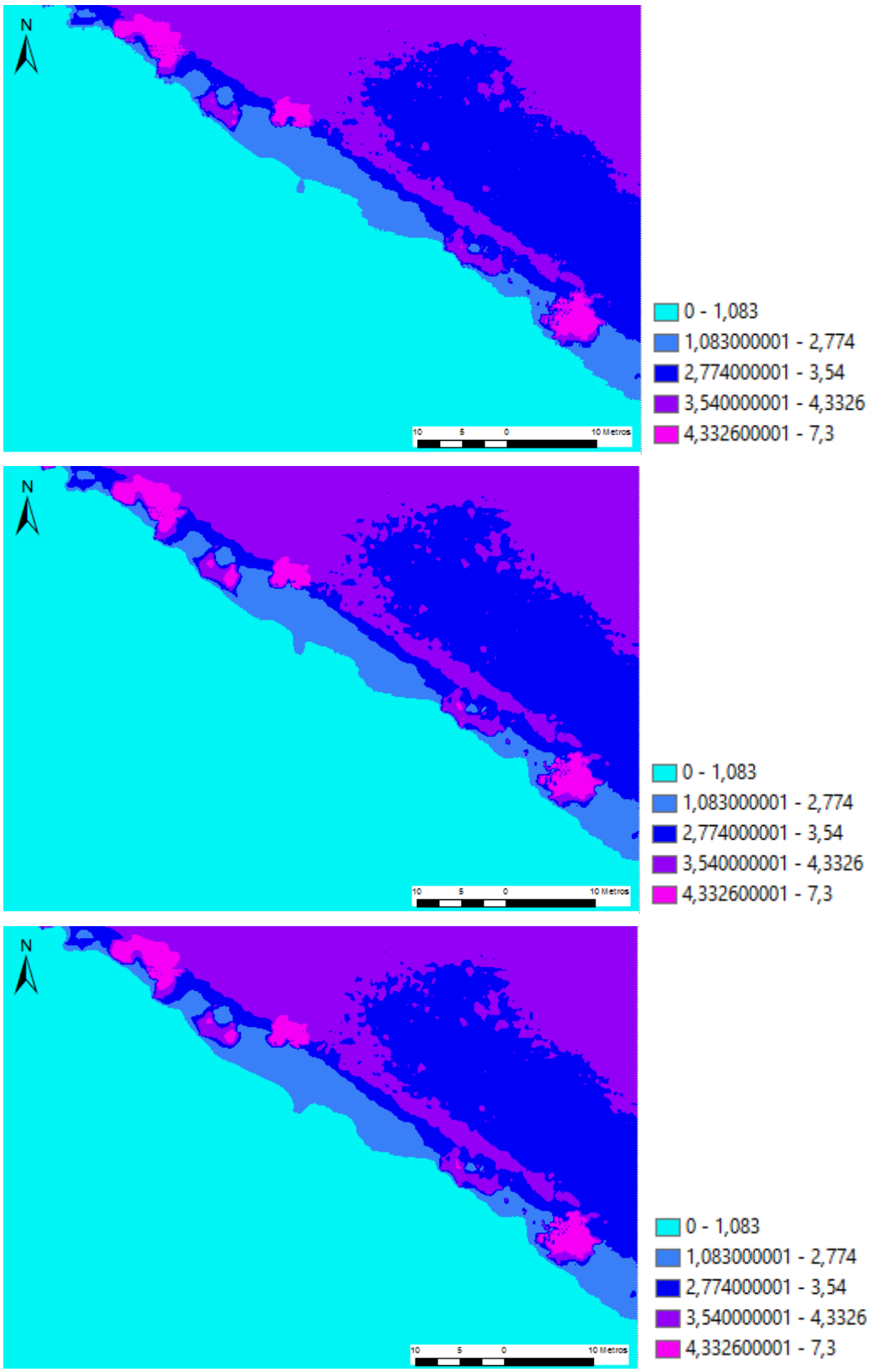


(c)



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 20- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 5x5. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging.



(a)

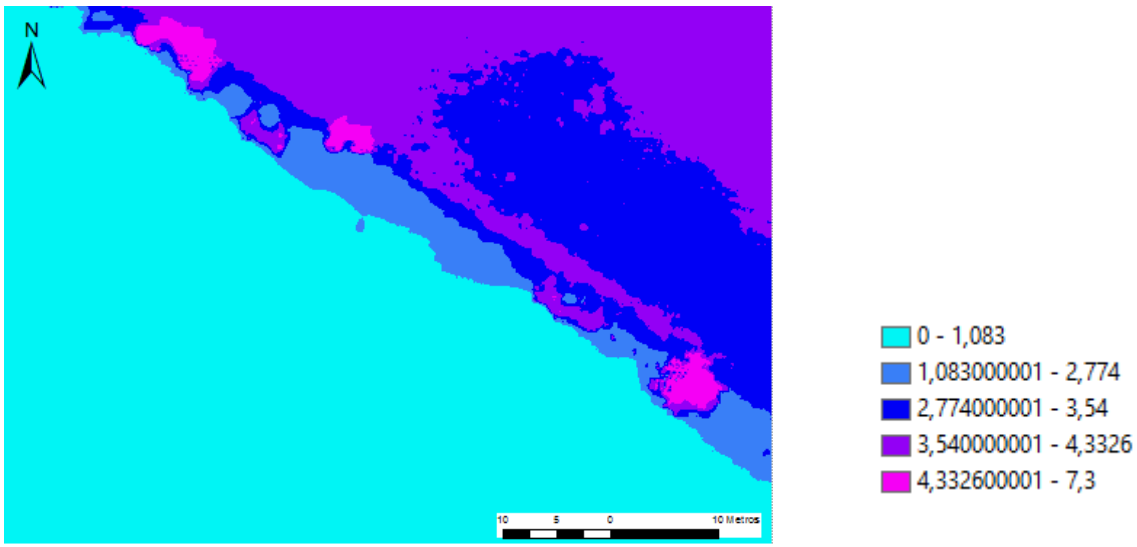
(b)

(c)

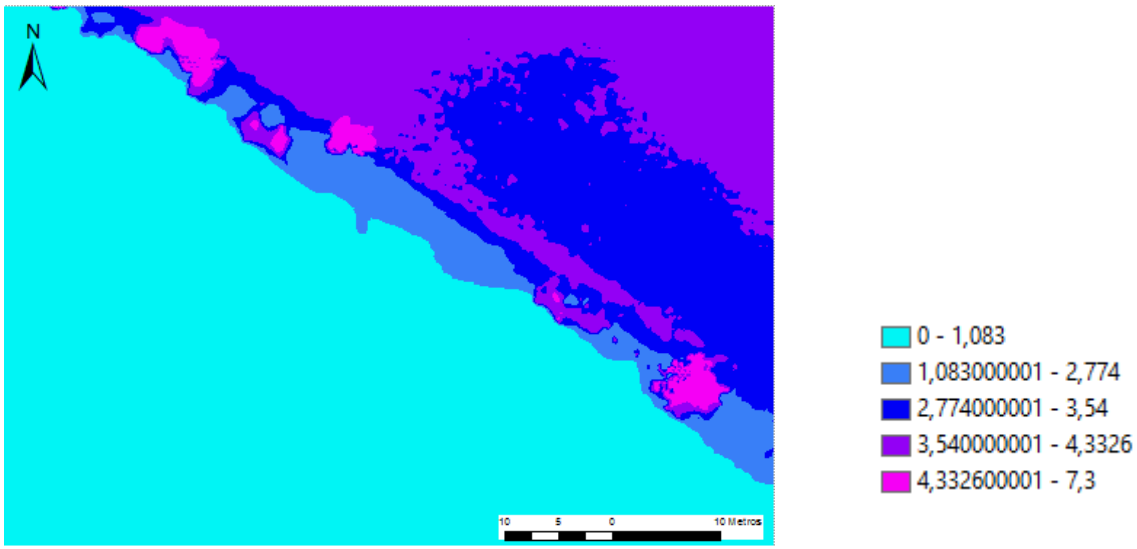
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 21- Modelos digitais de Elevação desenvolvidos a partir da interpolação dos novos conjuntos de dados obtidos da máscara 7x7. (a) IDW. (b) Natural Neighbor. (c) Kriging.

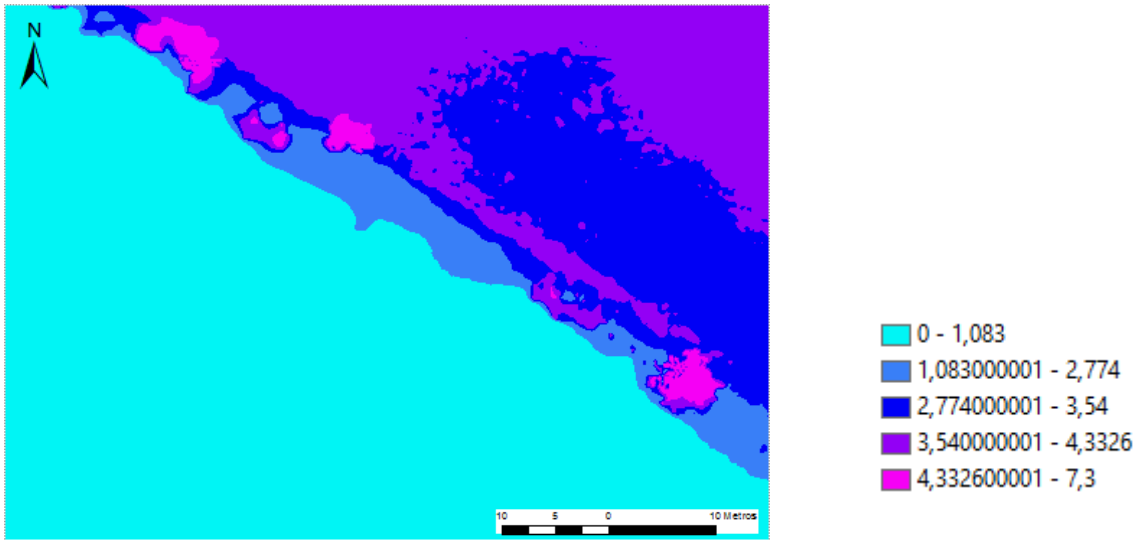
(a)



(b)



(c)



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Diante dos dados obtidos, foi traçado um perfil e calculado o volume entre as superfícies testes e a inicial para o desenvolvimento da análise do comportamento do MDE em estudo com o MDE inicial. Também foram geradas as curvas de nível das superfícies e serão analisadas na próxima seção.

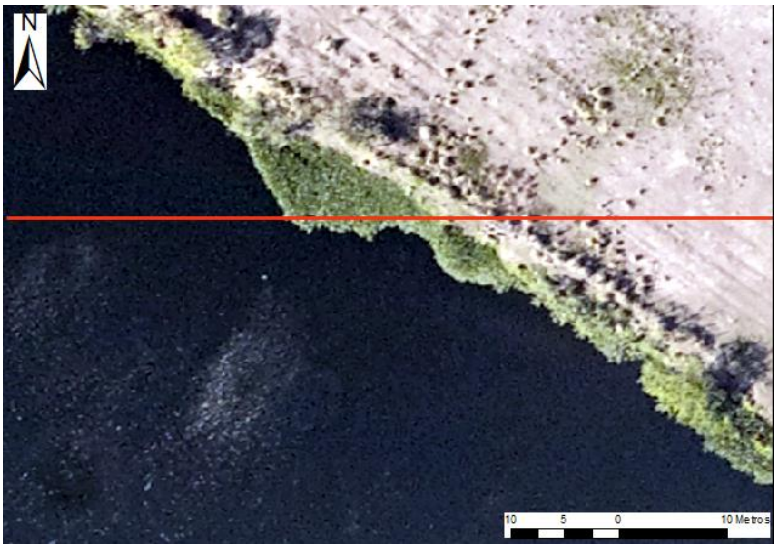
5 RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos quanto a comparação dos perfis transversais, volume entre as superfícies e curvas de nível de acordo com a metodologia proposta nesta pesquisa.

5.1 Perfil Transversal

Após a realização dos processos de filtragem, extração das máscaras da água e geração dos MDE, foi criado um arquivo vetorial do tipo linha para obter informações do perfil do terreno referente a esta linha. Sua localização foi escolhida considerando que no perfil deve-se conter parte da água, borda da água e solo (Figura 22). Além disso, verificou-se que no trecho compreendido pelo perfil haviam erros de interpolação devido a ausência de pontos.

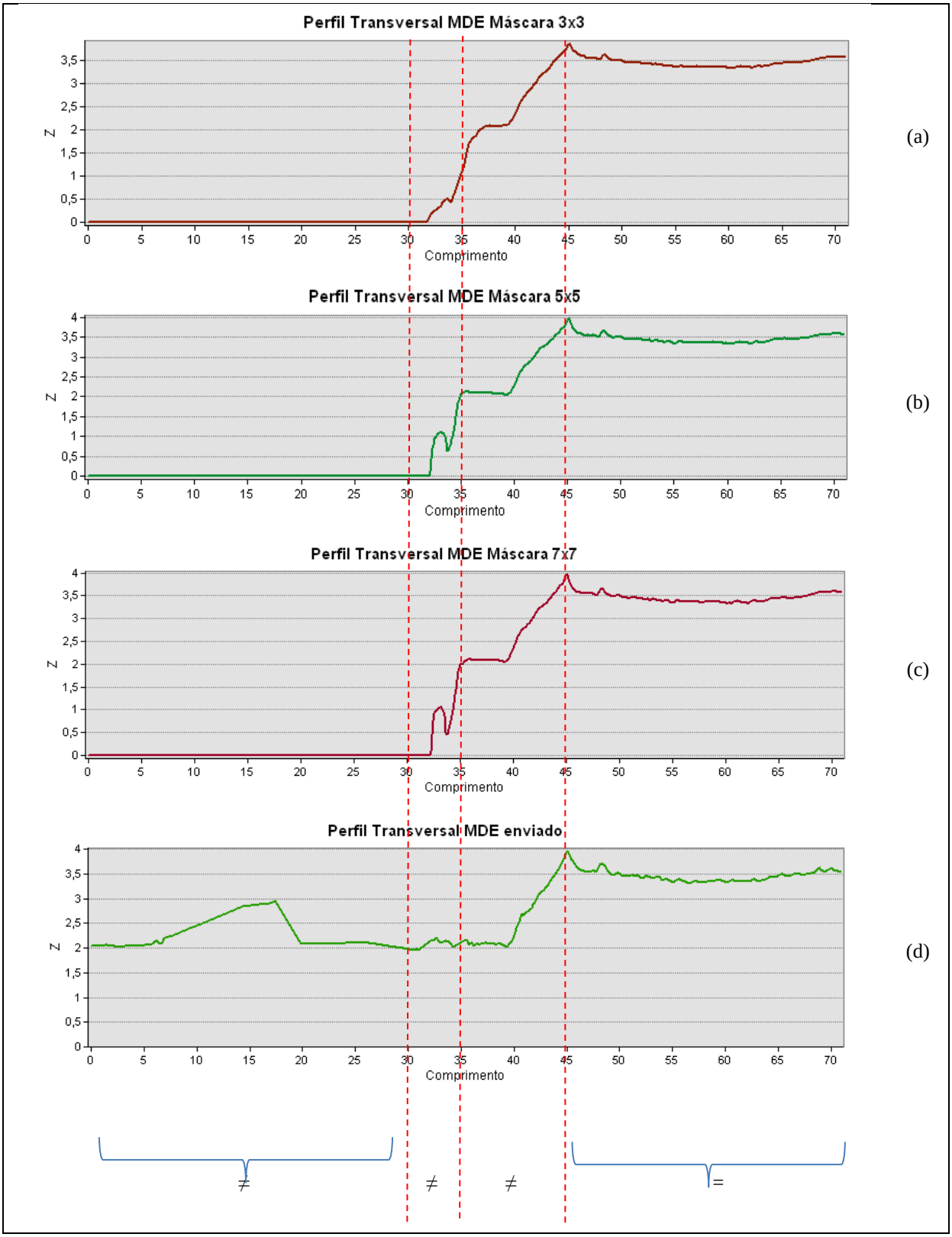
Figura 22– Localização do perfil transversal utilizado na análise do comportamento dos MDE.



Fonte: ITEP, 2017.

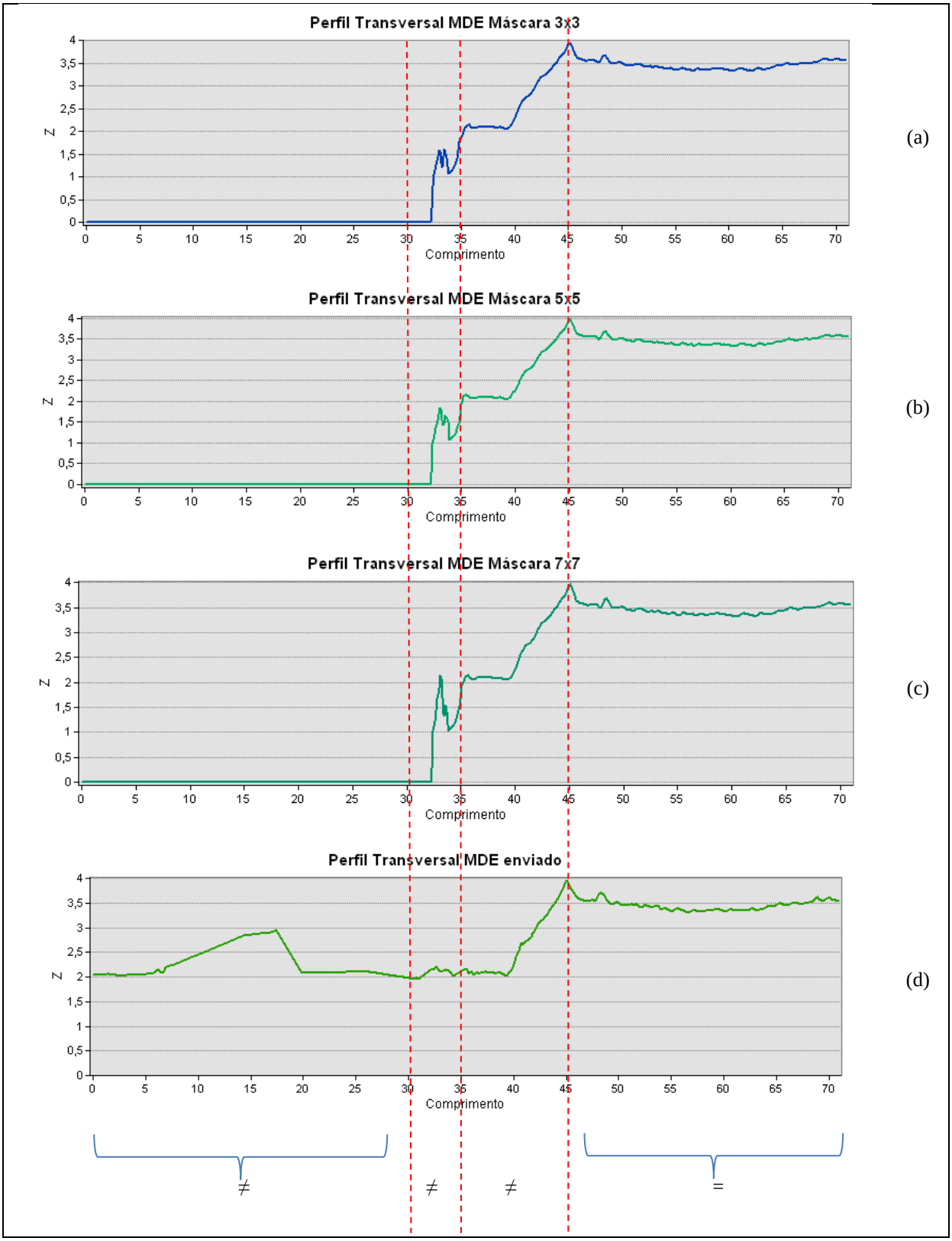
Com base neste arquivo vetorial do tipo linha, foi traçado o comportamento dos MDE obtidos e comparados com o MDE inicial, para cada tipo de interpolador e máscara utilizada na filtragem inicial (Figuras 23,24 e 25). Para esta etapa foi utilizada a ferramenta *Interpolate Shape*, contida na *toolbox* do *ArcGis*.

Figura 23– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador IDW. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original.



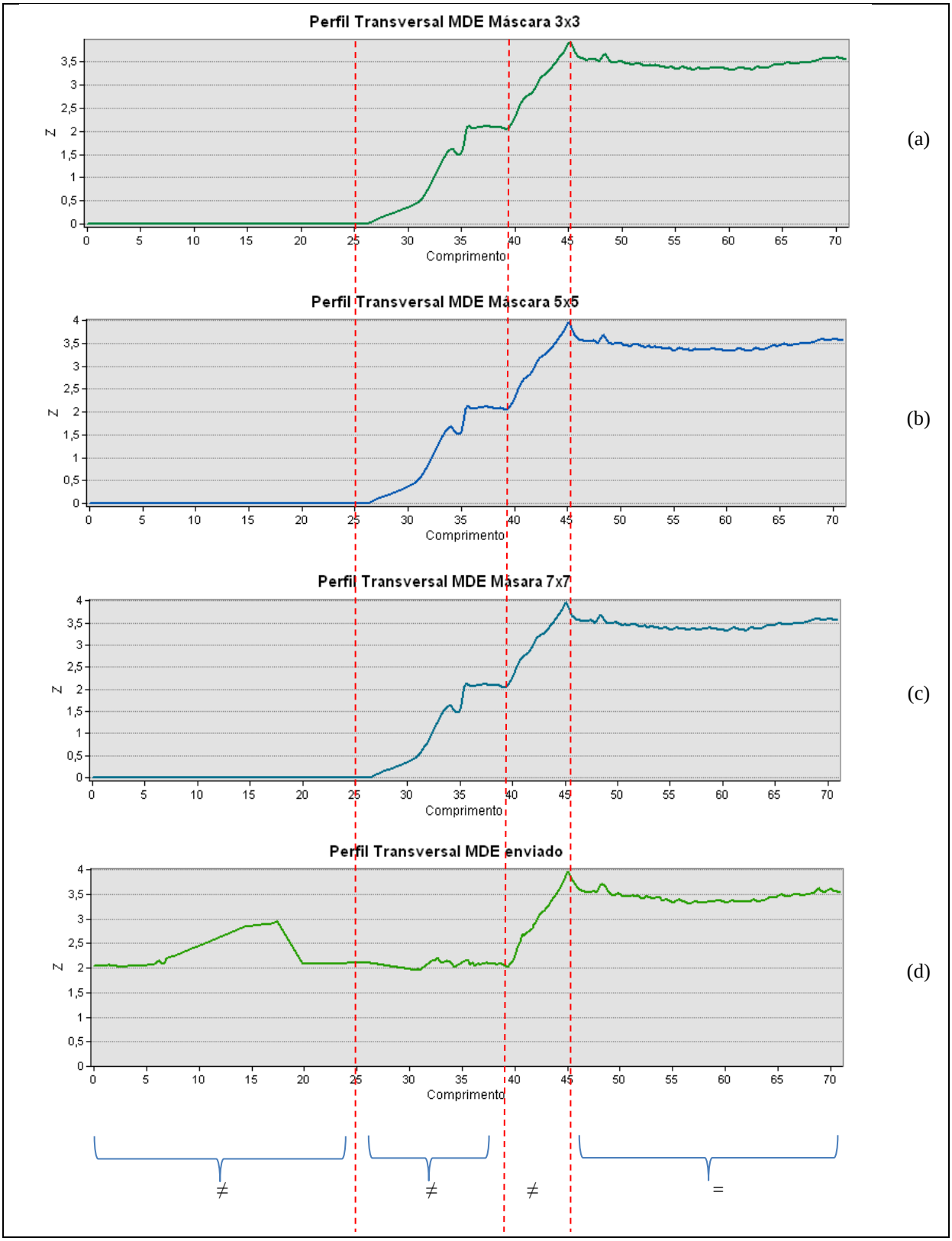
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 24– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador *Kriging*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 25– Perfil transversal dos MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.(d) Original.



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

No perfil do MDE enviado (Figura 23d) é possível identificar as oscilações causadas pelos erros na interpolação, devido a ausência de pontos. Os vazios provocam erros grosseiros na interpolação, não representando a realidade da área de estudo. Conforme pode ser visto no gráfico, há uma variação em torno de 3m no comportamento do perfil na área correspondente a água. Além dessa alteração, a configuração da interface água com solo é alterada devido a uma confusão do que realmente é solo com o que é água. Nos gráficos referentes aos perfis interpolados com os métodos IDW e *Kriging*, observa-se que a água termina no intervalo de 30 a 35 metros e no método *Natural Neighbor* a interface água/solo está no intervalo 25 a 30 metros, contundo no perfil do MDE enviado a água termina em mais ou menos 40 metros. Conforme os perfis apresentados nas figuras 23, 24 e 25 é possível identificar essas diferenças obtidas no perfil.

Nos demais perfis obtidos através da metodologia descrita anteriormente observa-se que a parte da área estudada que corresponde a água fica com altura zero em toda sua abrangência. Ao considerar a água com altura zero, levou-se em consideração o fato de que a altura e o volume da água não irão influenciar, neste caso, as informações que serão coletadas com respeito ao cadastro do município.

5.2 Área e Volume entre as superfícies

Em seguida foram analisados os volumes e as áreas entre as superfícies enviada e as geradas a partir da interpolação. Esses resultados foram obtidos através da ferramenta *Cut fill* que está contida na *toolbox* do *ArcGis*. Esta ferramenta tem como objetivo principal obter a representação do corte e aterro entre as superfícies e o volume destes. Na janela de configuração da ferramenta observa-se a solicitação da superfície que irá ficar por cima e da superfície que irá ficar por baixo, sendo assim adotou-se nesta metodologia a seguinte ordem: MDE enviado e o MDE interpolado. Os resultados podem ser vistos a seguir.

Tabela 1- Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador IDW.

	IDW (máscara 3x3) X ORIGINAL	**IDW (máscara 5x5) X ORIGINAL**	**IDW (máscara 7x7) X ORIGINAL**
ÁREA(m^2)	2591,588	2515,590	2517,570
VOLUME(m^3)	5073,100	4968,175	4972,743

Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

Tabela 2 - Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador *Kriging*.

	***Kriging* (máscara 3x3) X ORIGINAL**	***Kriging* (máscara 5x5) X ORIGINAL**	***Kriging* (máscara 7x7) X ORIGINAL**
ÁREA(m^2)	2641,441	2545,460	2546,380
VOLUME(m^3)	4951,675	4920,726	4927,222

Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

Tabela 3 - Volume e área entre o MDE enviado e os MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*.

	***Natural Neighbor* (máscara 3x3) X ORIGINAL**	***Natural Neighbor* (máscara 5x5) X ORIGINAL**	***Natural Neighbor* (máscara 7x7) X ORIGINAL**
ÁREA(m^2)	2585,117	2373,22	2378,93
VOLUME(m^3)	4883,902	4889,035	4905,472

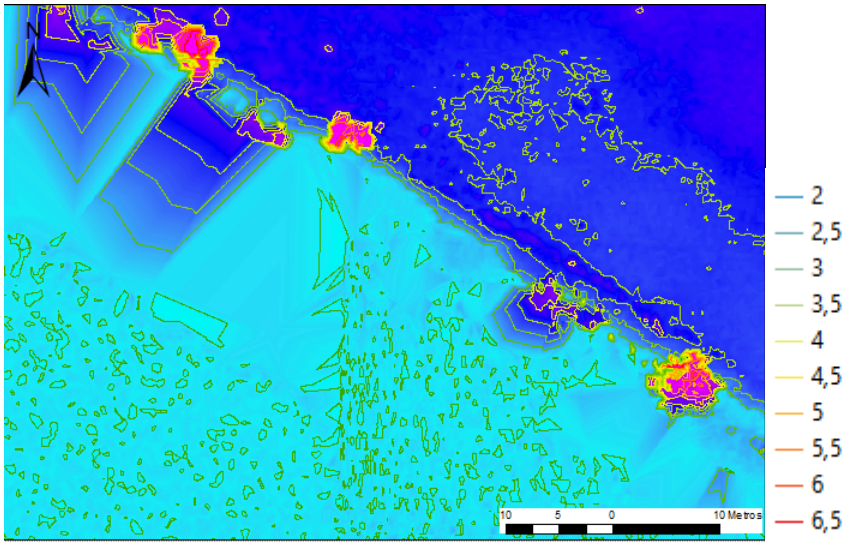
Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

Como a superfície utilizada por cima foi a enviada, e esta possui altura da água maior que as interpoladas, esses valores referem-se ao aterro entre elas, já que foi utilizada para este cálculo uma ferramenta de corte e aterro. Os valores apresentados nas tabelas representam a área e o volume entre as superfícies, caracterizando a diferença entre elas. Essa diferença também demonstra o tamanho da alteração sofrida com os erros na varredura e consequentemente na interpolação dos dados para a geração de MDE.

5.3 Curvas de Nível

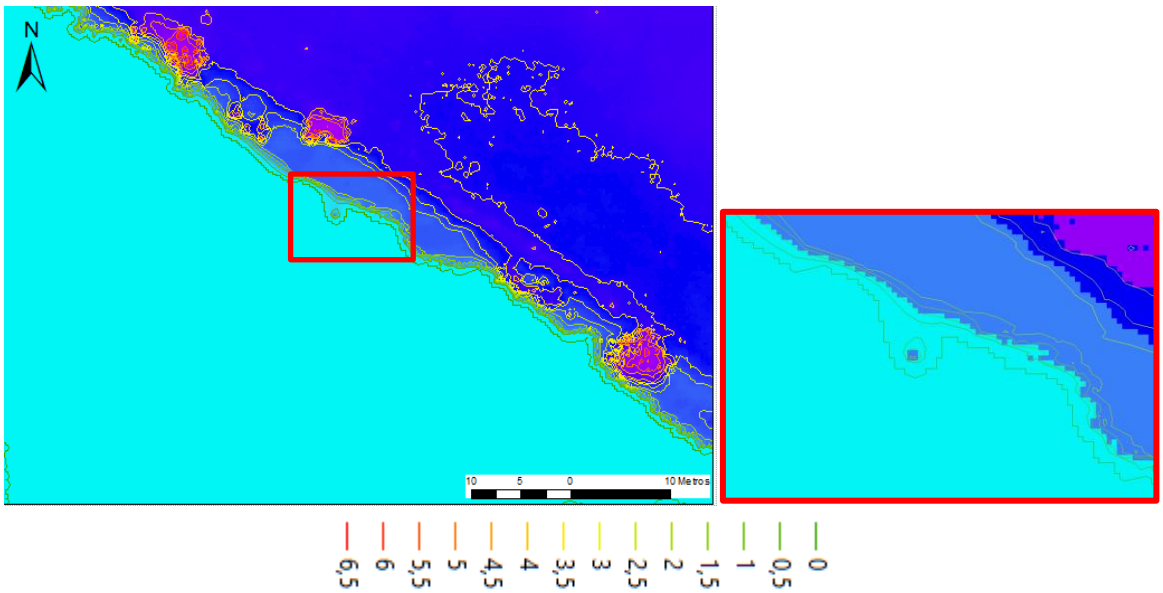
Por último foram analisadas as curvas de nível dos MDE resultantes das interpolações e o enviado. Para gerar as curvas foi utilizada a ferramenta *Contour* também contido na *toolbox* do *ArcGis*. O intervalo adotado entre as curvas foi de 0,5 m.

Figura 26– Curvas de nível do MDE enviado.

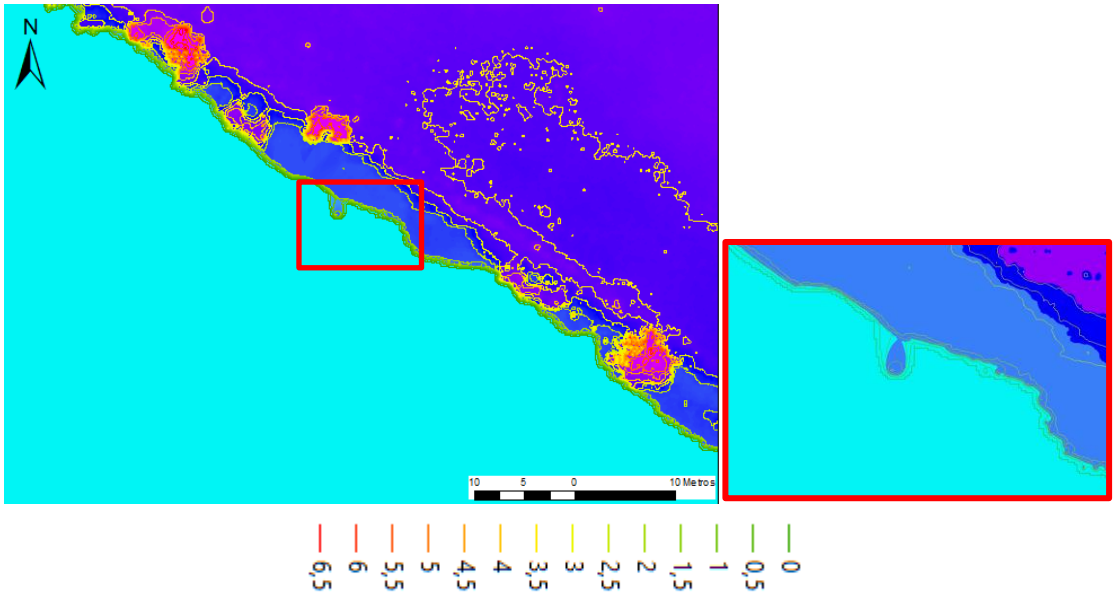


Fonte: Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

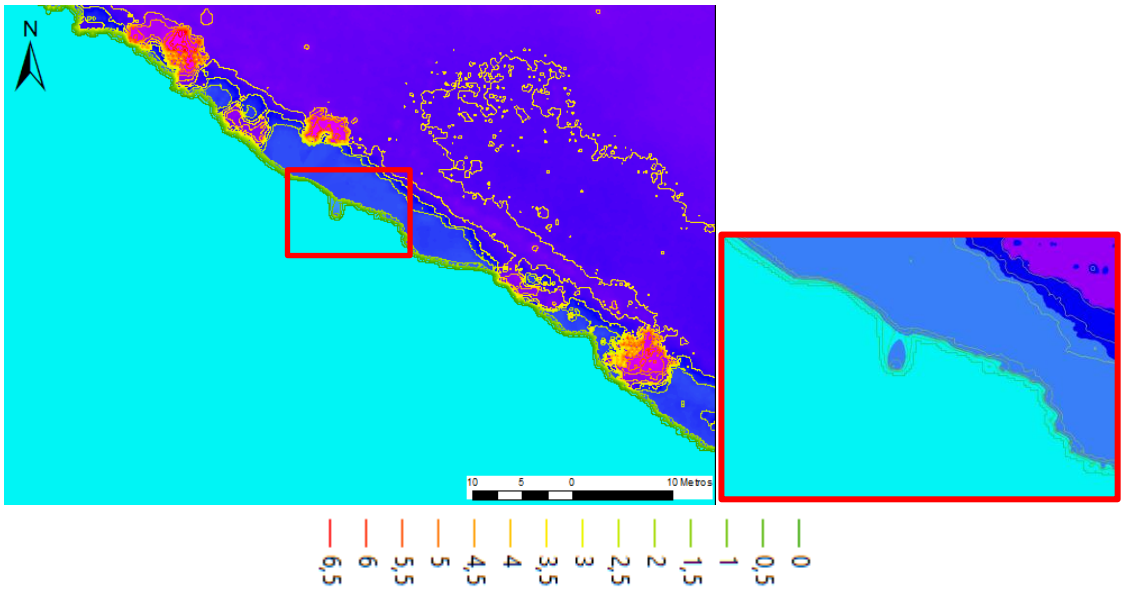
Figura 27– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador IDW. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a)



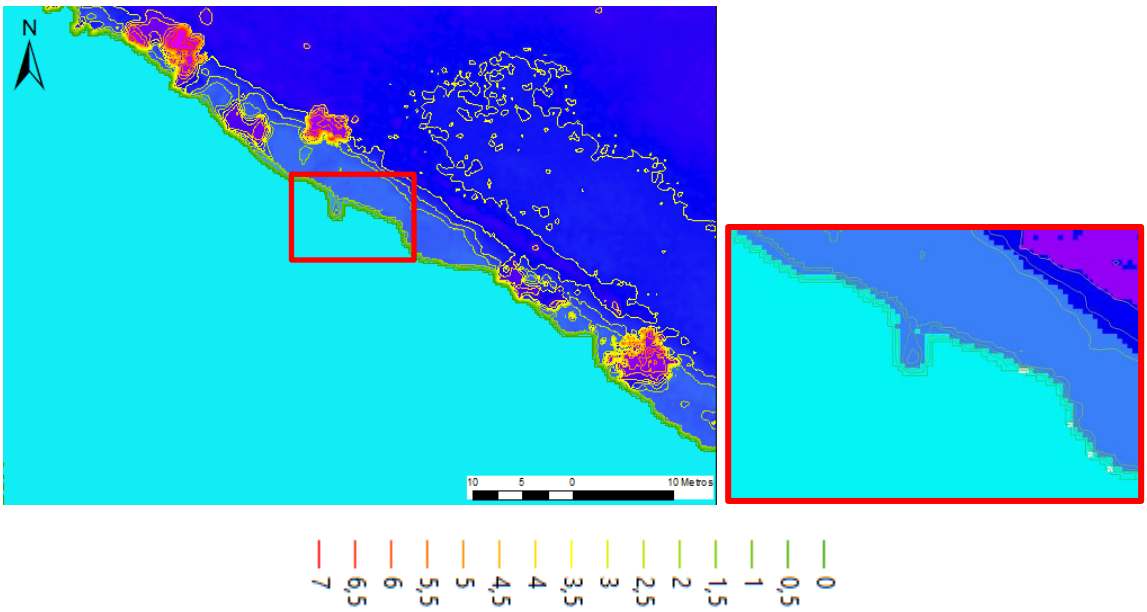
(b)



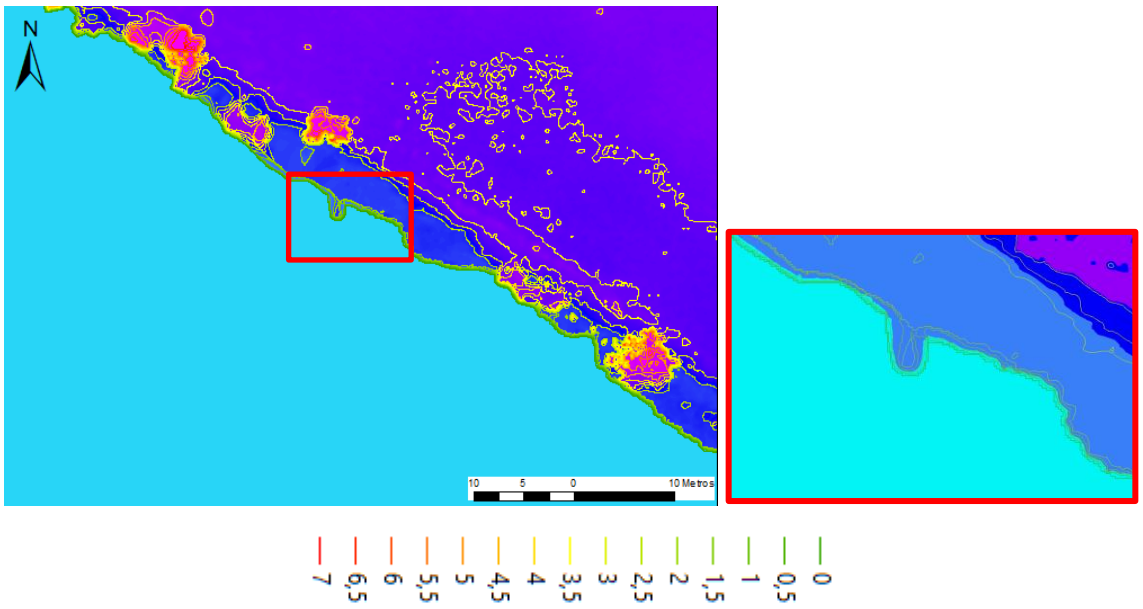
(c)

Fonte: Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

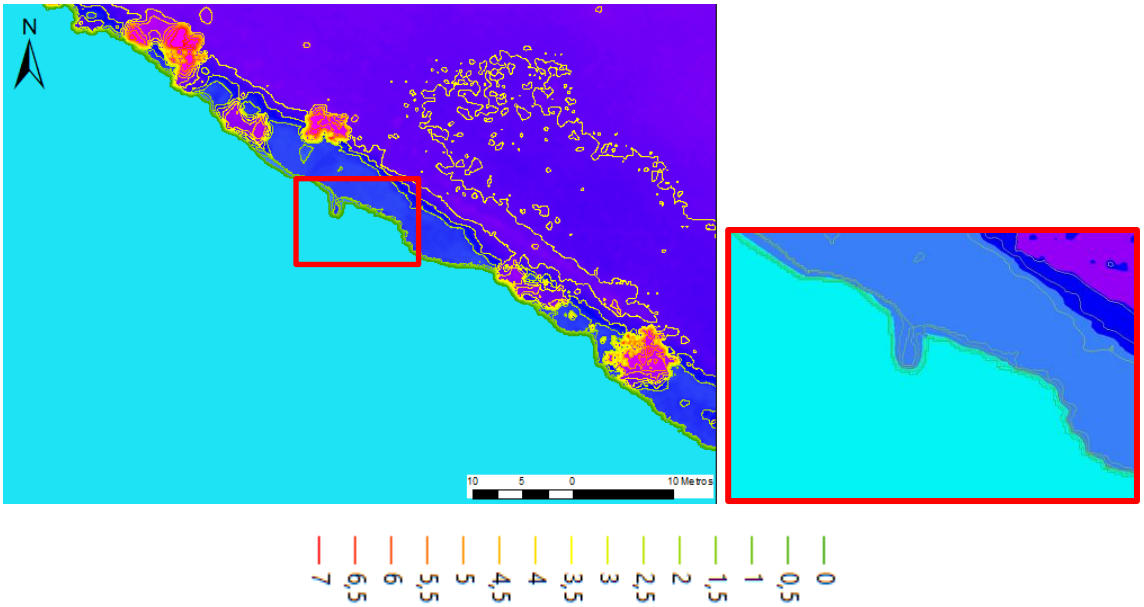
Figura 28– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador *Kriging*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a)



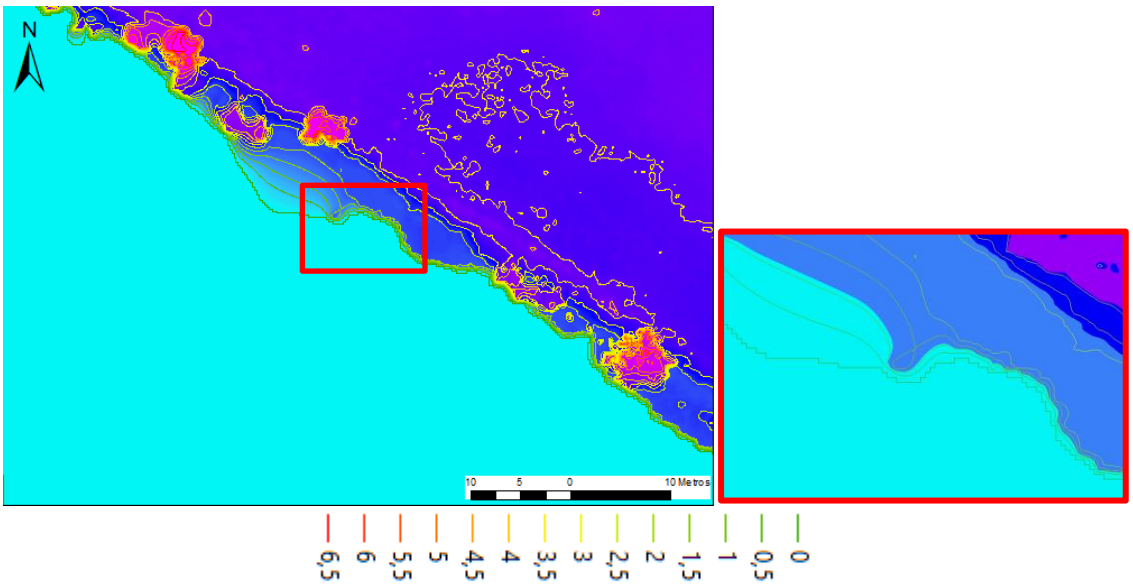
(b)



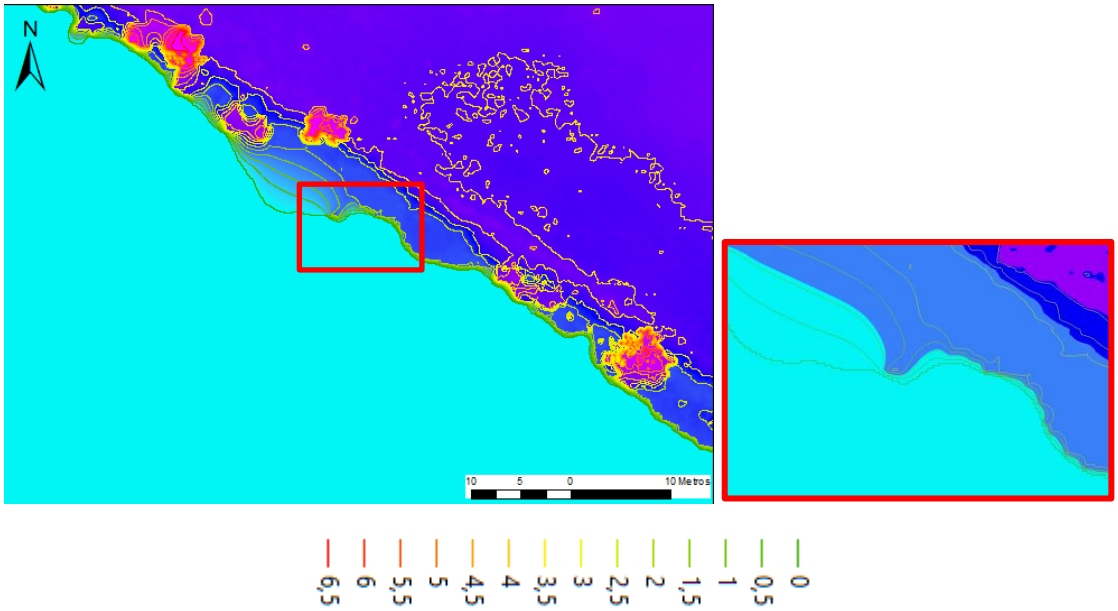
(c)

Fonte: Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

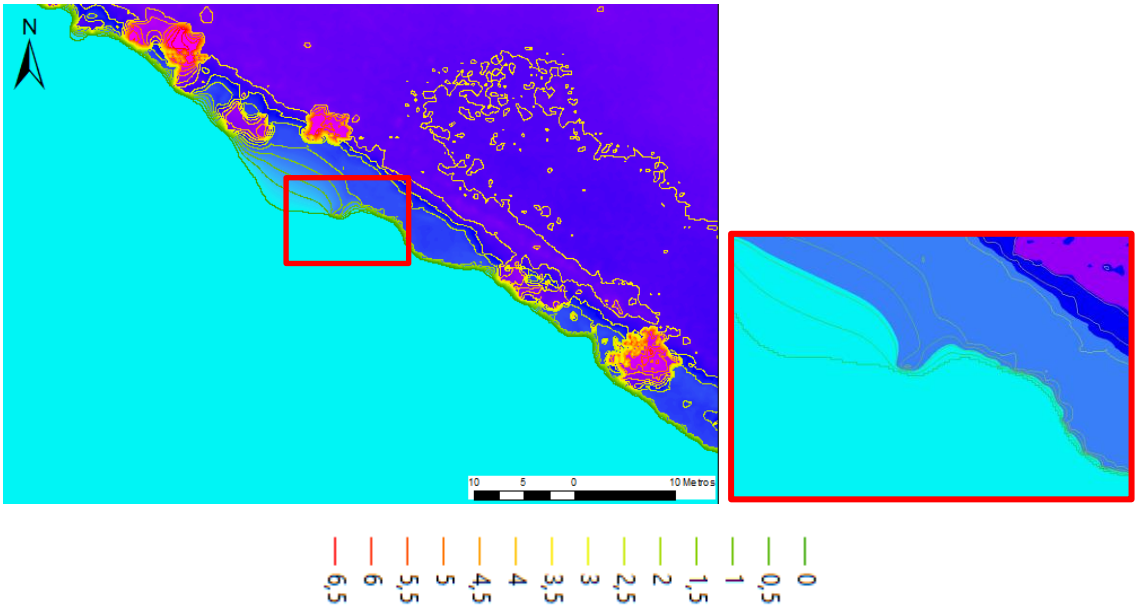
Figura 29– Curvas de nível dos MDE obtidos através do interpolador *Natural Neighbor*. (a) Máscara 3x3. (b) Máscara 5x5. (c) Máscara 7x7.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Fonte: Elaborada pela Autora, 2017

A figura 26 traz as curvas de nível geradas em relação ao MDE enviado. Nela é possível observar que há curvas até mesmo dentro da água, devido aos valores de altitude e sua variação dentro da água. Já nos resultados obtidos através dos interpoladores não se observa esse tipo de comportamento, pois toda a área compreendida por água está com valor constante zero.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho buscou-se apresentar como resultado a análise e a eliminação de um problema encontrado durante a validação de produtos cartográficos, no Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Os erros ocorreram na varredura dos pontos e locais com a presença de água ficaram com vazios de pontos fazendo com que houvesse erros durante a interpolação dos pontos. Para isso utilizou-se de um processamento de imagens que permitissem a criação de um novo Modelo Digital de Elevação sem os erros encontrados.

Inicialmente as imagens precisaram passar por um pré-processamento utilizando a técnica do tipo filtragem passa-baixa, pois a ortofoto utilizada tem uma alta resolução espacial, desta forma foram obtidas três novas imagens de acordo com o tipo de máscara utilizada na filtragem, 3x3, 5x5 e 7x7 respectivamente. Após isso as imagens filtradas passaram por um processo de classificação utilizando o método K-médias onde cada pixel foi atribuído a uma classe, água, solo e vegetação.

A partir das imagens classificadas foram obtidas máscaras com respeito a água e dessas máscaras obtidos pontos todos com valor zero de altura. Do arquivo enviado foram extraídos apenas os pontos que dizem respeito ao solo e vegetação. Com estas novas nuvens de pontos foram obtidos MDE.

Para a análise e comparação dos resultados com o arquivo enviado foi traçado um perfil transversal em cada MDE, inclusive no enviado. Desta forma foi possível analisar o comportamento dos MDE através dos perfis e como os erros de interpolação alteram a interface água com o solo. Além disso, foram criadas as curvas de nível referentes a cada MDE. Neste caso observa-se que sem essa abordagem, as curvas são geradas de forma erradas, pois levam em consideração os pontos que estão na água.

Os procedimentos apresentados nesta metodologia devem ser aplicados a classe do tipo água, contudo recomenda-se o estudo em outro tipo de classe que venha a sofrer este tipo de erro durante o processo de aquisição. Outra recomendação é análise dos resultados por métodos estatísticos que permitam a definição do melhor interpolador neste caso.

Portanto, a metodologia apresentada neste trabalho trará uma grande contribuição para a área da cartografia, em especial ao processo de análise de qualidade dos dados. Levando em consideração que constantemente empresas, instituições, prefeituras, entre outros, adquirem produtos cartográficos e estes necessitam de um processo de validação. Durante estes procedimentos surgem os erros inerentes ao processo de aquisição e neste caso específico na varredura de pontos através do *Laser Scan.* Desta forma, ter uma metodologia que traga uma solução ao problema encontrado ou que oriente a solução, facilita esta tarefa.

REFERÊNCIAS

BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a Laser: comparação com métodos fotogramétricos.** Curitiba. Paraná. 2001. Disponível em: http://www.lidar.com.br/arquivos/brandalizeperf.pdf. Acesso em: 26 de novembro 2017.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. A.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. **LiDAR: princípios e aplicações florestais**. Pesquisa Florestal Brasileira – PFB, Paraná, v.30, n. 63,2010. Disponível em: http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/148. Acesso em: 26 de novembro 2017.

ZANARDI, R. F.; SHNEIDER, A. H.; SALOMONI, T. R.; SALOMONI, C. S.; REISS, M. L. L. **Validação da qualidade do perfilamento a LASER aerotransportado da cidade de Porto Alegre**. XVI SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Foz do Iguaçu, 2013, 7p. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1103.pdf. Acesso em: 26 de novembro de 2017.

SPRING: **Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling**" Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CASTRO, F. C. E.; CENTENO, T. M. **Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos**. XII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais.Goiânia, 2005. p.737-744.Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.09.19.20/doc/737.pdf. Acesso em : 27 de novembro de 2017.

NELSON, A.; REUTER, H. I.; GESSLER, P. **DEM Production Methods and Sources**. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 31-64, 2009.

MARION, F. A.; SANTOS, E. B.; HENDGES, E. R.. **Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão** – PR. In: Rev. Geogr. Acadêmica v.9, n.2 ISSN 1678-7226, 2015. Disponível em: https://revista.ufrr.br/rga/article/view/3035/1812. Acesso em: 27 de novembro de 2017.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html. Acesso em 29 de novembro de 2017.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Instituo de Geociências/UNICAMP, 1992.

JAIN, A. K. **Data clustering: 50 years beyound k-means**. Pattern Recognition Letters, Amesterdã, vol 31, ed. 8, junho/2010, p. 651-666. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865509002323. Acesso em: 29 de novembro de 2017.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p.

CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A**. Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007.p. 3645-3652.

COELHO, A. H.; VARGAS, R. M. A. **Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de laser scanner aerotransportado em área de floresta usando o software livre GRASS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, 2007.p. 3653-3660.

SILVA, F. A.; RIBAS, W. K. **Perfilamento Laser em áreas densamente florestadas.** In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2007, Rio de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro: IBP, 2007.

JACOB A. A. E.; YOUNG A. F. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas.** XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambu, MG, Brasil, 2006. Disponível em: http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1530/1494. Acesso em: 30 de novembro de 2017.