



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO  
CURSO DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

**TÉCNICAS DE MODELAGEM DE SUPERFÍCIE: COMPARAÇÃO DO SRTM E  
ALOS PAUSAR NA GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL TERRENO**

ANANINDEUA - PA  
2018

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

**TÉCNICAS DE MODELAGEM DE SUPERFÍCIE: COMPARAÇÃO DAS IMAGENS  
ALOS PALSAR E SRTM NA GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para a obtenção do Grau de Tecnólogo em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda.

Coorientador: Prof. Dr. Estevão Barbosa.

ANANINDEUA - PA  
2018

ERLEN ASSIS DE ALMEIDA

**TÉCNICAS DE MODELAGEM DE SUPERFÍCIE: COMPARAÇÃO DAS  
IMAGENS ALOS PALSAR E SRTM NA GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DO  
TERRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para a obtenção do Grau de Tecnólogo em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda.

Coorientador: Prof. Dr. Estevão Barbosa.

**Data de aprovação:** 27/07/2018

**Conceito:** Excelente

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda  
FTG/UFPA  
Orientador

Prof. Dr. Estevão José da Silva Barbosa  
FTG/UFPA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Danielle Costa Carrara Couto  
FTG/UFPA

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre a qualidade do modelo digital do terreno gerado através do processamento das imagens do ALOS PALSAR e SRTM, almejando representar cartograficamente a modelagem da superfície do setor sul do município de Colares. Para tanto, utilizou-se o SIG Arcgis 10.5.1 como plataforma de processamento das imagens, bem como a finalização do layout dos resultados. A comparação destes realizou-se antes e após a efetivação de correção radiométrica de ambas. Além de avaliar os resultados entre o processamento das duas imagens, correlacionou-se com as informações geomorfológicas do sector de estudo, produzidas pelo Barbosa (2007), almejando inferir a discrepância entre os valores alcançados e reais, diante da impossibilidade de realizar um levantamento de campo com maior precisão. Deste modo, entre os resultados adquiridos, o MDE que apresentar melhores resultados na geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) foi o SRTM, em função da especificidade radiométrica do sensor utilizado para a aquisição das imagens, muito embora agregando menor resolução espacial do que ALOS PALSAR.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Correção Radiométrica das imagens do Radar; Modelagem Digital do Terreno.

## ABSTRACT

This study aimed to carry out a comparative analysis between the quality of the digital terrain model – DEM generated through the processing of ALOS PALSAR and SRTM images, in addition to cartographic representing and modeling of the surface of the southern sector of the municipality of Colares, State of Pará, Brazil. For that, GIS Arcgis 10.5.1 was used as image processing platform, as well as the finalization of the layout of the results. These were compared before and after carrying out radiometric correction of both. In addition to evaluating the results between the processing of the two images, correlated with the geomorphological data of the area, produced by Barbosa (2007), aiming to infer the discrepancy between the achieved and actual values, given the impossibility to carry out a more accurate field survey. In this way, among acquired results, the DEM that presents better results in the generation of the Digital Terrain Model (DTM) was the SRTM, due to the specificity radiometry of the sensor used for image acquisition, although adding lower spatial resolution than ALOS PALSAR.

**Keywords:** Remote Sensing; Radiometric correction; Radar images; Digital Terrain Modeling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Figuras

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 – Representação de energia do fóton (elétron Volts), o espectro eletromagnético organizado de acordo com a energia por fóton.....                                       | 13 |
| FIGURA 2 – Imagem ilustrativa, MDS e MDT.....  | 25 |
| FIGURA 3 – Bases do modelo digital de elevação utilizadas para a correção das imagens de satélite ALOS em diversas regiões do globo .....  | 29 |
| FIGURA 4 – A esquerda tem-se a imagem ALOS original, a direita o SRTM original, com ênfase nos valores negativos .....   | 32 |
| FIGURA 5 – Imagem do condicional “ <i>SetNull</i> ” localizado na calculadora <i>raster</i> do Arcgis .....  | 32 |
| FIGURA 6 – A esquerda ALOS, a direita SRTM, observa-se que os valores negativos não existem mais .....   | 33 |
| FIGURA 7 – Ilustração do condicional “ <i>IsNull</i> ” .....   | 33 |
| FIGURA 8 – Resultado do “ <i>IsNull</i> ” no MDE da ALOS .....   | 34 |
| FIGURA 9 – Ilustração para eliminar os valores nulos .....   | 34 |
| FIGURA 10 – Ilustração da ferramenta “ <i>FocalStatistics</i> ” .....  | 35 |
| FIGURA 11 – MDE corrigido, a esquerda tem-se ALOS e a direita o SRTM .....   | 35 |
| FIGURA 12 – Ilustração de pontos gerados de cada pixel da SRTM .....   | 36 |
| FIGURA 13 – Imagem da ferramenta “ <i>Image Analysis Options</i> ” no <i>software</i> Arcgis.....  | 37 |
| FIGURA 14 – A esquerda, foco na área urbana de colares, a direita visão geral da área de estudo. Tons em preto indicam o intervalo de 0 a 0,2 .....                              | 38 |
| FIGURA 15 – Pontos com altitude da imagem ALOS PAUSAR, selecionado apenas pontos referentes a solo exposto ou vegetação rasteira .....   | 39 |
| FIGURA 16 – Imagem da ferramenta “ <i>Topo Raster</i> ” com os dados que foram interpolados para a geração do MDT .....  | 40 |
| FIGURA 17 – Ilustração da formação do TIN, com as coordenadas X, Y e o Z. Ilustrando a elevação do terreno por Namikawa (1995) apud Filho, Lastoria e Torres (2008, p.175) ..... | 40 |
| FIGURA 18 – Ilustração da tabela de atributos com os valores de X, Y e Z, em que Z corresponde a altitude do local, valores gerados do MDE-ALOS PAUSAR .....                     | 41 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 19 – Ilustração da ferramenta TIN .....  | 42 |
| FIGURA 20 – TIN .....   | 42 |
| FIGURA 21 – MDE original da SRTM .....  | 43 |
| FIGURA 22 – Ilustração da ferramenta TIN <i>to raster</i> .....                                 | 43 |
| FIGURA 23 – Imagem das planícies fluviomarinhas no sul de colares, vista do Furo da Laura ..... | 79 |

### **Mapas**

|  |    |
|--|----|
| MAPA 1 – Mapa do NDVI gerado da imagem RapidEye .....  | 37 |
| MAPA 2 – Área de estudo .....  | 44 |
| MAPA 3 – Mapa de unidades de relevo da área de estudo .....  | 46 |
| MAPA 4 – Mapa hipsométrico gerado do MDE original da ALOS PAUSAR sem nenhum tipo de conversão, com a sobreposição das unidades de relevo ..... | 49 |
| MAPA 5 – Mapa hipsométrico gerado do MDE original do SRTM sem nenhum tipo de conversão com a sobreposição das unidades de relevo .....         | 52 |
| MAPA 6 – MDE da ALOS corrigido com a sobreposição das unidades de relevo ...   | 54 |
| MAPA 7 – MDE do SRTM corrigido com a sobreposição das unidades de relevo ...   | 56 |
| MAPA 8 – MDT gerado do MDE corrigido da ALOS .....   | 58 |
| MAPA 9 – MDT gerado do MDE corrigido do SRTM .....   | 60 |
| MAPA 10 – Mapa MDT gerado do MDE da ALOS, utilização do método TIN .....   | 64 |
| MAPA 11 – Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação apenas com valores mantidos .....     | 66 |
| MAPA 12 – Mapa altimétrico da interpolação dos valores correspondente ao intervalo 0 a 0,2 .....   | 68 |
| MAPA 13 – Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta TIN .....   | 73 |
| MAPA 14 – Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação .....                                 | 75 |
| MAPA 15 – Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação .....                                 | 77 |
| MAPA 16 – Unidades de relevo e imagens correspondente aos locais de estudo ...   | 80 |
| MAPA 17 – Curvas de nível no MDT de melhor resultado .....   | 81 |

## **Tabelas**

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 – Regiões do espectro eletromagnético mais usadas em sensoriamento remoto..... | 15 |
| TABELA 2 – Informações do satélite Rapideye.....  | 26 |
| TABELA 3 – Características de imageamento do satélite ALOS PAUSAR.....                  | 27 |
| TABELA 4 – Especificações do produto SRTM.....  | 29 |
| TABELA 5 – Dados coletados do mapa 4 .....  | 48 |
| TABELA 6 – Dados coletados do mapa 5 .....  | 50 |
| TABELA 7 – Dados coletados do mapa 6 .....  | 53 |
| TABELA 8 – Dados coletados do mapa 7 .....  | 55 |
| TABELA 9 – Dados coletados do mapa 8 .....  | 57 |
| TABELA 10 – Dados coletados do mapa 9 .....   | 59 |
| TABELA 11 – Distribuição dos pontos gerados dos pixels do MDE da ALOS PAUSAR .....      | 62 |
| TABELA 12 – Distribuição do total de pontos dos valores que foram mantidos .....        | 63 |
| TABELA 13 – Dados coletados do mapa 11 .....  | 65 |
| TABELA 14 – Dados coletados do mapa 12 .....  | 67 |
| TABELA 15 – Distribuição dos pontos gerados dos pixels do MDE do SRTM .....             | 70 |
| TABELA 16 – Distribuição dos pontos dos valores que foram mantidos .....                | 71 |
| TABELA 17 – Dados coletados do mapa 13, ferramenta TIN .....                            | 72 |
| TABELA 18 – Dados coletados do mapa 14 .....  | 74 |
| TABELA 19 – Dados coletados do mapa 15 .....  | 76 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 10 |
| 2. OBJETIVOS .....  | 11 |
| 2.1. GERAL .....  | 11 |
| 2.2. ESPECÍFICO .....   | 11 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....  | 12 |
| 3.1. O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI) .....   | 12 |
| 3.2. PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....   | 13 |
| 3.3. OPERAÇÃO ENTRE BANDAS .....  | 19 |
| 3.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO OU DE SUPERFÍCIE – MDE OU MDS (OU DIGITAL<br>ELEVATION MODEL – DEM) ..... | 21 |
| 3.5. O MODELO DIGITAL DO TERRENO - MDT .....  | 23 |
| 3.6. CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE RAPIDEYE .....   | 25 |
| 3.7. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - MDE (ALOS PALSAR) .....   | 26 |
| 3.8. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - MDE (SRTM) .....  | 29 |
| 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....  | 31 |
| 4.1. CORREÇÃO DOS MDES ORIGINAIS .....  | 31 |
| 4.2. MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO .....   | 35 |
| 4.3. MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO COM A FERRAMENTA TIN .....  | 40 |
| 4.4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....   | 44 |
| 5. RESULTADOS .....   | 47 |
| 5.1. UNIDADES DE RELEVO E HIPSOMETRIA NOS MDES ORIGINAIS .....  | 47 |
| 5.2. UNIDADES DE RELEVO E HIPSOMETRIA NOS MDES CORRIGIDOS .....   | 53 |
| 5.4. MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE MDTs NOS MDES CORRIGIDOS .....                              | 57 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 82 |
| REFERENCIAS .....   | 84 |

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução dos computadores que ocorreu nos anos 60 introduziu mudanças drásticas em muitos aspectos da sociedade, subsidiando o desenvolvimento científico e tecnológico, sendo um dos campos mais afetados pela enorme capacidade operacional dos computadores. Aliado ao desenvolvimento dos equipamentos cada vez mais eficientes, a acessibilidade aos mesmos tem ampliando a sua utilização prática entre os usuários civis, em especial, às equipes de pesquisa de pequena escala, permitindo, inclusive, a germinação de novas técnicas e métodos de tratamento e análise de dados geográficos (FELICÍSIMO,1994).

Sendo assim, novos procedimentos e materiais surgem para facilitar e melhorar os estudos, surge em meio a essa revolução o processamento digital de imagens (PDI) de dados geográficos que tornou de suma importância e assumiu maior rapidez, facilidade e acurácia de informação. Este vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em duas categorias bem distintas, como o aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana, fazer análise automática por computador de informações extraídas de uma cena (FILHO; NETO,1999).

A partir disso, é possível utilizar o conhecimento destas técnicas de PDI para a execução de diversas categorias como em setoriais de planejamento, como por exemplo, no planejamento urbano, em execução de obras de engenharia e o planejamento ambiental, o processamento e a interpretação de imagens captadas por satélites e outros sensores, em diferentes plataformas, auxiliam os trabalhos voltados ao conhecimento e organização socioespacial na escala temporal.

Assim, o principal objetivo deste estudo consiste em utilizar os modelos digitais de elevação (MDE) e aplicar as técnicas de conversão para Modelo Digital de Terreno (MDT), utilizando como objeto de estudo a parte sul do município de Colares, uma área de planície costeira, localizado no Estado do Pará.

Portanto, procurou-se dar ênfase na avaliação de técnicas e procedimentos para a obtenção de produtos digitais relativos a Modelo Digital do Terreno, e para fazer uma análise da metodologia mais precisa dos resultados alcançados, possibilitando identificar o modelo que melhor aproximação do real apresentar. Para tanto, como forma de alcançar os resultados almejados, foi realizada consultas aos trabalhos que auxiliassem o entendimento da problemática ora apresentada. Além

da consulta de referenciais teóricos ao desenvolvimento do trabalho, fez-se uma correlação entre os dados produzidos e as informações topográficas da ilha de Colares descritas por Barbosa (2007), como forma de confrontar os dados alcançados com os provenientes de pesquisas pretéritas. Esta, firma-se como um meio de comprovação das altitudes dos MDEs provenientes de sensores do radar, sendo os dados provenientes do SRTM e ALOS PALSAR. Além da verificação dos sensores com melhor aplicabilidade aos serviços da modelagem de superfície, fez-se uma avaliação dos procedimentos metodológicos empregados na correção radiométrica do MDE, bem como a sua conversão para MDT.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

Efetuar uma análise comparativa na geração do modelo digital do terreno, através das imagens do SRTM e ALOS PALSAR, como forma de representar cartograficamente as características geomorfológicas da região sul do município de Colares.

### **2.2. ESPECÍFICO**

- ✓ Avaliar e efetivar as correções geométricas das imagens do SRTM e ALOS PALSAR;
- ✓ Elaborar o modelo digital de elevação com as imagens do SRTM e ALOS PALSAR;
- ✓ Transformar o Modelo Digital de Elevação para o Modelo digital do Terreno;
- ✓ Analisar, comparativamente, os resultados de modelo digital do terreno obtidos através do processamento do SRTM e ALOS PALSAR.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1. O Processamento Digital de Imagens (PDI)**

A história do processamento digital de imagem está intimamente ligado ao desenvolvimento do computador, os primeiros computadores poderosos que surgiram na década de 60 foram suficiente para realizar uma série de processamento de imagens. Em paralelo com aplicações espaciais, técnicas de processamento digital de imagens começaram a ser usado primeiramente em imagens médicas, a partir desse momento, o PDI cresceu vigorosamente, além de aplicações na medicina e no programa espacial, as técnicas do processamento de imagem digital atualmente são usadas em uma ampla gama de aplicações (COSTA, 1998).

O processamento digital de imagens deriva de duas aplicações principais, que consiste: na melhoria da informação pictórica para interpretação humana; e processamento de dados de imagem para armazenamento, transmissão e representação para percepção da máquina (COSTA, op cit).

Crósta (1992) define o processamento digital de imagens provenientes de sensores remotos como sendo um artifício que trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens.

Na mesma linha de abordagem Costa (1998) explica que o termo processamento digital de imagens refere-se a análise e a manipulação de imagens por computador e que este processamento resulta em duas finalidades: extração de informação da imagem ou transformação da mesma para aprimorar seu aspecto ou facilitar sua análise, além de ter uma vasta gama de aplicações.

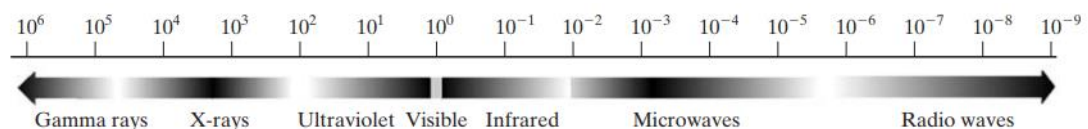
Os dois autores citados acima definem o PDI (Processamento Digital de Imagem) como sendo uma técnica em que se busca extrair ou melhorar o máximo de informações em uma determinada imagem sobre um determinado local, buscando técnicas que ajudem o profissional das geotecnologias.

### 3.2. Produtos de Sensoriamento Remoto

De acordo com Costa (1998) as imagens digitais são constituídas por conjuntos discretos e elementos pictóricos denominados pixels, que se distribuem ao longo de uma grade regular. Para cada pixel é associado um valor numérico que indica a variação de emitância e/ou reflectância média de uma região relativamente pequena. Estes valores são representados graficamente por níveis de cinza que podem variar do preto ao branco. Os valores mais altos são representados por níveis de cinza mais claro e valores mais baixos por níveis de cinza mais escuros, estes dependem, sobretudo, da composição físico-química dos alvos, quanto menor for a área representada por cada pixel, maior será a quantidade de detalhes preservados na representação digital da imagem.

As Imagens digitais são baseadas na radiação do espectro eletromagnético, especialmente imagens no raio X e bandas visíveis do espectro, as ondas do espectro eletromagnético são propagadas em diferentes comprimentos de onda, também podem ser definidas como um fluxo de partículas sem massa, cada uma viajando em um padrão de onda e se movendo na velocidade da luz. Cada partícula sem massa contém uma certa quantidade (ou feixe) de energia e cada pacote de energia é chamada de fóton (GONZALEZ; WOODS 2008).

**Figura 1:** Representação da energia do fóton (elétron Volts), o espectro eletromagnético organizado de acordo com a energia por fóton.



Fonte: Gonzalez, Woods (2008).

A banda do visível do espectro eletromagnético é o mais comum em todas as atividades, a imagem nesta banda supera todos os outros em termos de amplitude de aplicação. a banda do infravermelho é frequentemente usada em conjunto com imagens visuais.

O nível de cinza de cada pixel representado da imagem indica um valor médio da radiação recebida a partir de uma determinada região do solo, todavia nem sempre é isso o que acontece, pois muitas vezes ocorre erros nas imagens, que geralmente são causados por falhas no sensor, interferência da atmosfera ou pelas

próprias características eletromagnéticas. Em suma, erros como estes são denominados de *ruídos* (COSTA,1998).

Os ruídos causados pelo sensor se devem geralmente por falhas nos detectores e podem ocasionar linhas onde os pixels têm valor zero (preto), um efeito denominado por Jensen (1996) apud Costa (1998) como *line drop-out*, neste caso não é possível corrigir totalmente o erro, visto que valores reais dos pixels foram perdidos.

No entanto, o processamento em softwares através de técnicas para fazer a correção minimiza estes erros, a técnica consiste em fazer uma estimativa dos valores dos pixels perdidos, baseando-se em suas vizinhanças, e para determinar as linhas nos quais os ruídos ocorrem, compara-se a média dos níveis de cinza da linha com um determinado limiar, se a média estiver abaixo do limiar, os pixels da linha são considerados ruídos e os valores podem ser estimados através da média aritmética (COSTA,1998). Que consiste em:

- Média entre os níveis de cinza superior e inferior, isto é, dado um pixel  $p(i,j)$  no qual ocorre ruído

$$p(i,j) = \frac{p(i,j-1)+p(i,j+1)}{2} \quad (\text{Expressão 1})$$

Outro ruído também muito conhecido e que acontece normalmente em imagens provenientes de radar, são os chamados ruídos “speckle”. Estes ruídos são provocados por espalhamentos elementares das ondas eletromagnéticas refletidas, neste caso ocorre o fenômeno ruidoso que se manifesta nas intensidades dos pixels da imagem que provoca variações e compromete a interpretação da imagem, este ruído também é um dos principais ocasionadores de distorções radiométricas, conforme afirmam Coutinho e Ling (2015). E é muito comum em sensores que operam na faixa do microondas que reduzem a resolução espacial da imagem, dificultando a identificação das diferentes feições do terreno. Duas técnicas são utilizadas para reduzir ao máximo os efeitos do ruído speckle, que são:

A primeira técnica é o processamento multilook que consiste em dividir o espectro de frequência azimutal em “N” segmentos e processá-los independentemente, assumindo uma independência estatística, e fazendo uma média destes “N” segmentos, ou “looks”, tal processamento reduz o desvio padrão do speckle por um fator igual a  $\sqrt{N}$ . A segunda técnica

consiste na filtragem devem ser considerados, por exemplo, os elementos da diagonal principal da matriz, cujos módulos correspondem a componentes de intensidade na imagem (COUTINHO, LING, 2015. p.3).

Pode-se dizer que o sensoriamento remoto é uma tecnologia para levantar dados de superfície terrestre que pode ter várias aplicações. Dessa maneira, a definição mais conhecida ou clássica, caracteriza Sensoriamento remoto como sendo:

[...] uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto, ou mais cientificamente, é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2002. p.3).

Partindo desse pressuposto, nas imagens de sensoriamento remoto, os pixels equivalem as regiões da superfície da terra, estas imagens são multiespectrais, o que significa que a mesma cena é representada em várias bandas espectrais geradas simultaneamente, cada uma das bandas resulta em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, na tabela 1 pode-se observar as faixas do espectro eletromagnético juntamente com o seu comprimento de onda.

Para melhor entendimento, as faixas entre o azul e o infravermelho médio são consideradas refletivas, isto é, a energia registrada corresponde à luz do sol refletida pelo terreno, a faixa do infravermelho distante é emissiva (ou termal), ou seja, que a energia registrada é emitida pelo próprio objeto imageado, devido ao seu calor. Na faixa do microondas, costumeiramente o que se tem de registro é o retorno a partir de um pulso de energia emitido pelo próprio sensor (COSTA,1998).

**Tabela 1:** Regiões do espectro eletromagnético mais usadas em sensoriamento remoto.

| Faixa do espectro | Comprimento de ondas |                          |
|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Luz do visível    | Azul                 | 0,4 – 0,5 $\mu\text{m}$  |
|                   | Verde                | 0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$  |
|                   | Vermelho             | 0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$  |
| Infravermelho     | Próximo              | 0,7 – 1,3 $\mu\text{m}$  |
|                   | Médio                | 1,3 – 3,0 $\mu\text{m}$  |
|                   | Distante             | 3,0 – 15,0 $\mu\text{m}$ |
| Microondas        | 1mm – 1m             |                          |

**Fonte:** Adaptado de Lillesand & Kiefer (1994) *apud* Costa (1998).

No sensoriamento remoto o que irá diferir uma imagem de satélite para a outra é o tipo de sensor utilizado na obtenção dos dados, de acordo com Filho, Lastoria, Torres (2008) os sensores podem ser:

- Passivos: são chamados sensores passivos os chamados eletro-óticos e se utilizam principalmente da energia eletromagnética emitida pelo sol
- Ativos: este tipo de sensor emitem um sinal, em geral de radar, que corresponde à parte das micro-ondas no espectro eletromagnético e medem a intensidade e outras características do sinal de retorno refletido pela superfície terrestre.

Com base nessas informações e para saber os diferentes tipos de imagens geradas de diferentes sensores é necessário conhecer o conceito de resolução, pois o que também irá diferenciar esse vasto leque de imagens existentes no sensoriamento remoto será a sua resolução, juntamente com a aplicabilidade da imagem no resultado final.

Schrader & Pouncey (1997) apud Filho, Lastoria, Torres (2008) mencionam que o termo resolução é amplo e pode ser empregado normalmente para descrever o número de pixels que podem ser exibidas em uma tela de computador, ou a área no solo que um pixel no arquivo da imagem representa.

Logo são quatro os tipos de resolução envolvendo o uso de imagens de satélites, de acordo com Costa (1998) podem ser:

- Resolução espectral: refere-se ao número de bandas espectrais no qual é dividida a cena imageada e a variação de frequência que pode ocorrer dentro de cada uma destas bandas. A resolução espectral do sensor REIS (RapidEye Earth Imaging System) do satélite RapidEye é de 5 bandas (tabela 2), que significa que a radiação eletromagnética, proveniente da superfície, é dividida em 5 faixas de frequências diferentes (comprimento de ondas), para cada uma dessas bandas, são geradas simultaneamente, imagens monocromáticas distintas.
- Resolução espacial: essa resolução refere-se ao tamanho da área representada por cada pixel da imagem. No caso do satélite RapidEye, a resolução da imagem ortorretificada é de 5 metros, o que indica que cada pixel representa a luminância média proveniente de um retângulo de,

aproximadamente, 5x5 da superfície, o que, por consequência, objetos distanciados entre si a menos de 5 metros não serão discriminados pelo sistema.

- Resolução radiométrica: associado à sensibilidade do sensor com o intuito de distinguir os níveis de intensidade do sinal captado, diz respeito ao número de níveis de cinza usados para representar cada banda espectral. Por exemplo, as bandas do sensor REIS/RAPIDEYE são geradas com 4.096 níveis de cinza, isto é, 12 bits por pixel (tabela 2).
- Resolução temporal: refere-se ao tempo em que o satélite reamostra o mesmo ponto sobre a superfície terrestre. No caso do RAPIDEYE, ele demora 24hs na lateral da superfície da terra para fazer reamostragem da imagem, na revisada vertical ele demora 5 dias e meio.

No processamento digital de imagens, as imagens de satélites são formadas por um grupo de células e cada célula é chamada de pixel. Cada pixel é atribuído um valor numérico, que irá ser chamado de número digital (ND), esse número indica o valor da resposta espectral lida pelo sensor de varredura naquele ponto do alvo (FILHO, LASTORIA, TORRES 2008).

De acordo com Lillesand *et alii* (2004) apud Filho, Lastoria, Torres (2008. p.27), explica que:

A atmosfera interfere no processo da medição da radiância medida nos diferentes pixels que compõe a imagem, pois primordialmente tem um efeito de atenuação da energia que chega sobre o solo e, secundariamente, atua como refletor, causando um efeito de dispersão que interfere nas medições do sensor remoto, causando um efeito de embaçamento e redução.

Sendo assim, o sinal obtido em cada pixel (expressão 1) e a relação entre o valor do número digital e a resposta espectral (expressão 2), para uma determinada banda, de acordo com Lillesand *et alii* (2004) apud Filho, Lastoria, Torres (2008), são expressas nas expressões 1 e 2:

$$L_{tot} = \frac{\rho ET}{r} + Lp \quad \text{(Expressão 2)}$$

Onde:

$L_{tot}$  = o total de radiância espectral medida pelo senso

$r$  = reflectância do objeto  
 $E$  = Irradiância no objeto  
 $T$  = Taxa de transmissão da atmosfera  
 $L_p$  = Radiância de dispersão (efeito do embaçamento).

$$DN = GL + B \quad \text{(Expressão 2)}$$

Onde:

$DN$  = Valor do número digital registrado

$G$  = Efeito de ganho da banda (função da curva de resposta radiométrica)

$L$  = Radiância espectral medida (o intervalo espectral da banda)

$B$  = Efeito de redução da banda (depende da função da resposta radiométrica)

Dessa maneira, desconsiderando a interferência atmosférica e outros fatores que interferem na captura da imagem (podem ocorrer erros como falha do sensor, interferência na atmosfera ou pelas características da radiação eletromagnética), pode-se dizer que o modo como o sistema determina o valor do ND leva em consideração a resolução espacial e o lfov.

O lfov é o campo de visão instantâneo (*instantaneous field of view*), medida da área visualizada, entretanto não é a resolução espacial, pois leva em consideração quantos pixels é dividido no campo de visão total da imagem, então objetos menores que o tamanho do pixel, podem ser detectados na imagem se houver a contratação com o fundo, exemplos: rodovias e padrões de drenagem. No entanto, objetos que obtiverem o mesmo tamanho que o do pixel (ou até maiores), podem não ser detectados se estiverem próximo de outros mais brilhantes (SCHRADER & PONCEY, 1997 apud FILHO, LASTORIA, TORRES, 2008).

### **3.3. Operação entre bandas**

Conhecida como álgebra de imagens é uma técnica em que será usada operações entre as bandas das imagens, que é geralmente utilizada para a criação de índices de vegetação, isto é, imagens que são criadas pela combinação matemática dos NDs de diferentes bandas (SCHRADER & PONCEY, 1997 apud FILHO, LASTORIA, TORRES, 2008).

#### **3.3.1. Os índices de vegetação**

Os índices de vegetação (VI) de dados de sensoriamento remoto multiespectrais foram propostos e são amplamente utilizados em várias aplicações na área das geotecnologias. A proposta básica dos índices é fazer a combinação de bandas espectrais, este pode nos dizer algo útil sobre a concentração da massa foliar da vegetação natural ou das propriedades agrícolas, oferecendo subsídios para a compreensão da sua salubridade. A aplicação do índice de vegetação nos estudos ambientais, deve ser desenvolvida cientes de que o resultado esperado pode ser influenciado por alguns aspectos como: densidade e distribuição foliar, teor de água na folha, idade, deficiências minerais e ataques parasitários, além de minimizarem efeitos da iluminação da cena e declividade da superfície que influenciam na reflectância da vegetação. Um bom índice de vegetação deve ser muito sensível a esses fatores, por outro lado, outros fatores também afetam a reflectância espectral, tais como propriedades do solo, iluminação solar e outras condições atmosféricas e geometria de visualização do sensor (LIANG, 2004). Portanto, para encontrar o índice de vegetação ideal, deve-se determinar os fatores que afetam os índices de vegetação com base em uma compreensão física das interações entre a radiação eletromagnética, a atmosfera, a cobertura vegetativa e fundo do solo (BANNARI ET AL. 1995 APUD LIANG, 2004).

Assim, as equações dos índices são as ferramentas pelas quais essas transformações são efetuadas, sendo realizadas diretamente pelos sistemas de informação geográfica (SIG). As bandas das imagens de satélite são compostas por pixels, que por sua vez, são transformados diretamente pelas equações, ressaltando determinados aspectos inerentes a cada índice. Assim, a combinação das bandas tem sido transformada e combinada surgindo então vários índices na área do sensoriamento remoto, e geralmente as bandas utilizadas são as informações contidas nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho e do

infravermelho próximo, na qual são combinadas equações na forma de razões. (ROSENDO e ROSA 2005).

As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90 % da variação da resposta espectral da vegetação, dessa forma estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma (ROSA, 2003 Apud ROSENDO e ROSA 2005, p.3286).

Assim, os IVs são utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global. Esse sucesso deve-se a reflectância diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho (BARBOSA, 2006 apud MARCUSSI, BUENO, MIQUELONI, ARRAES, 2010). São diversos os índices dentre eles têm-se:

- Índice de Vegetação da Razão Simples (SR): Este índice de vegetação foi o primeiro índice a ser usado (JORDAN, 1969 apud Ramos, 2016), e é obtido pela razão entre a reflectância no infravermelho próximo e a reflectância na região do vermelho.
- RVI (Ratio Vegetation Index): primeiro índice proposto por Pearson e Miller (1972), citado por BARBOSA (2006) o índice faz uma razão de bandas do vermelho e infravermelho próximos.
- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): também foi proposto por Rouse et al. (1974) citado por EASTMAN (1998) foi introduzido para produzir um infravermelho (IV) espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas.

O índice mais comum e que será usado nessa pesquisa será o NDVI, O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que foi proposto por Rouse et al. (1973) (Equação 3), consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo correspondente as bandas 3 e 5 respectivamente da imagem rapideye, a equação é exemplificada abaixo:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{V}}{\text{IVP} + \text{V}} \quad (\text{Equação 33})$$

Onde,

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

V: valor de reflectância da banda no vermelho.

### **3.4. Modelo Digital de Elevação ou de Superfície – MDE ou MDS (ou Digital Elevation Model – DEM)**

A palavra modelo, originada em áreas geográficas, define-a como uma representação simplificada da realidade na qual algumas de suas propriedades aparecem (JOLY, 1988 *apud* FELICISMO, 1994), sendo uma versão da realidade que se realiza através de um modelo, isto significa que pretende-se reproduzir apenas algumas propriedades do objeto ou sistema original que, portanto, é representado por outro objeto menos complexo, os modelos são construídos estabelecendo uma relação de correspondência com a realidade, cujas variantes podem produzir modelos de características visivelmente diferentes (FELICISMO, 1994).

Modelos digitais de elevação apresentam diversas aplicações no ramo das Geotecnologias, sendo importante avaliar vantagens e limitações de cada um visando alcançar os melhores resultados conforme o objetivo de cada trabalho.

De acordo com Chaplot (2006) *apud* Cândido, Encina, Schlichting, Hauptental, Filho, Júnior, Silva (2014) O MDE ou DEM é um arquivo digital que consiste em elevações de terreno para posições no solo em intervalos horizontais regularmente espaçados, ou seja, consiste em uma representação numérica da topografia com células de igual tamanho (pixel), que representam valores de elevação, este modelo é formado por estruturas de dados convenientes para processamentos digitais, e pela definição de funções de ajustes, determinando futuramente o comportamento da variável dentro dos elementos básicos do modelo.

Conforme Nelson et al. (2009) *apud* Silveira, Silveira (2015) os MDEs são processados de uma forma que possa criar modelos digitais que vão representar a variabilidade da altitude local na forma mais real possível, sendo assim há três maneiras mais conhecidas de se construir um MDE, sendo elas:

Técnicas de levantamento de campo, com a aquisição de pontos precisos de latitude, longitude e elevação (x, y, z); 2) Mapas topográficos existentes, com a derivação de curvas de nível, drenagens, lagos e pontos de elevação; 3) 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 a Laser (NELSON et al., 2009 *apud* SILVEIRA, SILVEIRA, 2015. p.107).

No Brasil, a construção dos MDEs ainda funciona de forma arcaica, a fonte de dados destes modelos ainda são as geradas em cartas topográficas com a

derivação de curvas de nível, juntamente com a sua hidrografia. Estas cartas geralmente são elaboradas por órgãos como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ou as produzidas pelo exército brasileiro, todavia, para se obter uma melhor acurácia de detalhes está sendo cada vez mais comum utilizar imagens de sensores orbitais, visto que as escalas disponíveis por estes órgãos brasileiros não são o suficiente para estudos que necessitam de um maior detalhamento.

Por exemplo, quando há necessidade de se trabalhar com regiões de relevo plano em que a variabilidade altimétrica é mínima, muitas feições ficam imperceptíveis em cartas topográficas, partindo desse ponto os modelos digitais de elevação considerados razoavelmente de alta resolução espacial aparecem como um diferencial apresentando certo potencial para estudos que necessitam de um maior detalhamento (CÂNDIDO, et al, 2014).

Por esta razão, os MDEs, gerados a partir de pares de imagens estereoscópicas de sensores óticos orbitais, apresentam algumas vantagens significativas sobre outras fontes de dados, como: a disponibilidade de dados em nível mundial; grande cobertura de área por cena; resolução moderadamente elevada; processamento mais rápido através de softwares sofisticados e pouco esforço manual; baixo custo de processamento e capacidade de aquisição em qualquer condição ambiental, no caso de sensores ativos (SUBRAMANIAN et al., 2005 apud CHAGAS, FILHO, ROCHA, JÚNIOR, NETO, 2010. p.219).

Infelizmente, não existe um órgão responsável pela elaboração de MDEs provenientes de sensoriamento remoto no Brasil, na maioria das vezes os MDEs são produzidos pelos próprios usuários locais ou empresas privadas, em casos de alguns órgãos que disponibilizam derivados do SRTM (um sistema de radar americano que oferece gratuitamente modelos digitais altimétricos em todo o globo terrestre), como a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) por exemplo que concede um produto derivado do SRTM (com resolução de 90m), o site do Topodata do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que oferece MDEs elaborados também a partir dos dados SRTM que são disponibilizados oficialmente pelo USGS (Serviço geológico dos Estados Unidos), ou seja as imagens digitais de sensoriamento remoto apesar de estar presente em sites brasileiros, estas são todas provenientes de satélites americanos.

O Serviço Geológico dos EUA (USGS) é um dos que mais produzem estes modelos digitais com diferentes tipos de resolução. Este órgão concede cinco diferentes produtos digitais de elevação, a principal característica diferente entre

estes modelos é o espaçamento, ou intervalo de amostragem dos dados, embora todos sejam idênticos com relação à maneira pela qual os dados são estruturados, cada um deles varia o intervalo de amostragem, sistema de referência geográfica, áreas de cobertura e precisão (LIANG, 2004).

### **3.5. O Modelo Digital do Terreno - MDT**

Os derivados dos modelos digitais de elevação (DEM) são técnicas de PDI que buscam ajustar os variados DEMs para objetivos específicos. A utilidade e a validade dos resultados derivados dos MDEs estão estreitamente relacionadas com a qualidade do modelo original, é muito frequente, na bibliografia, a ausência de informações sobre as características desses modelos utilizados nas aplicações, em especial quando eles são construídos pelos próprios investigadores e não provêm de fontes oficiais de organismos qualificados (FELICÍSIMO, 1994).

Sobre o MDE ou DEM, alguns autores preferem utilizar a denominação de Modelo Digital de Superfície (MDS) para descrever o MDE. Segundo Cruz et al. (2011) o MDS é um modelo que representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos como árvores e construções onde o topo desses objetos será representada como a superfície do terreno, assim ele caracteriza o DEM como sendo um MDS.

Com o avanço das tecnologias, surgem técnicas de PDI que fazem gerar novos modelos derivados do MDE, isto é, uma nova categoria de modelo digital, o chamado MDT (Modelo Digital do Terreno), esta imagem gerada do MDE é uma espécie de modelo simbólico que nasceu e se desenvolveu sob a proteção das novas tecnologias, (DOYLE, 1978: 1481 *APUD* FELISCISMO, 1994), ou melhor é um conjunto de dados numéricos que descrevem a distribuição espacial de uma característica do território.

Dessa forma, os MDTS estão incluídos na categoria modelos simbólicos pois os objetos reais são representados pela simbolização matemática e, conseqüentemente, as relações de correspondência estabelecidas com o objeto têm a forma de algoritmos ou formalismos matemáticos, neste caso, este modelo apresentam algumas vantagens em relação aos demais tipos de modelos, derivados de sua natureza numérica como: não-ambigüidade, possibilidade de modelagem de

processos com dedução estrita, verificabilidade e repetibilidade dos resultados (FELISCIMO,1994).

Então, para chegar à elaboração dos MDTs é necessário, realizar um processo de decodificação da informação, que permita uma representação virtual em forma de figuras, as características a serem representadas são traduzidas em diferentes tipos de estruturas numéricas (vetores, matrizes, conjuntos, etc.) ou expressões matemáticas que exercem relações topológicas e funcionais (FELISCIMO,1994).

Partindo desse ponto e relacionando e conceituando os termos MDS e MDT, de acordo os com Pike et al. (2009) e Li et al. (2005) apud Silveira, Silveira (2015) há muitas divergências relacionado aos conceituais destes termos MDS, MDE e MDT, sobretudo entre “Modelo Digital de Elevação” e “Modelo Digital do Terreno”, sendo que muitas vezes ambos são empregados como sinônimos, muitos empregam a mesma definição para esses termos.

Para outros, como Zhou et al. (2008) apud Silveira, Silveira (2015), o MDE se refere à representação da elevação unicamente, enquanto o MDT é uma derivação que contém a representação de atributos ou objetos. No entanto, nesta pesquisa adotou-se a interpretação de El-Sheimy et al. (2005) que foi adotada por Silveira, Silveira (2015) e que é a definição mais usada atualmente pelos meios tecnológicos das geotecnologias quem consistem em:

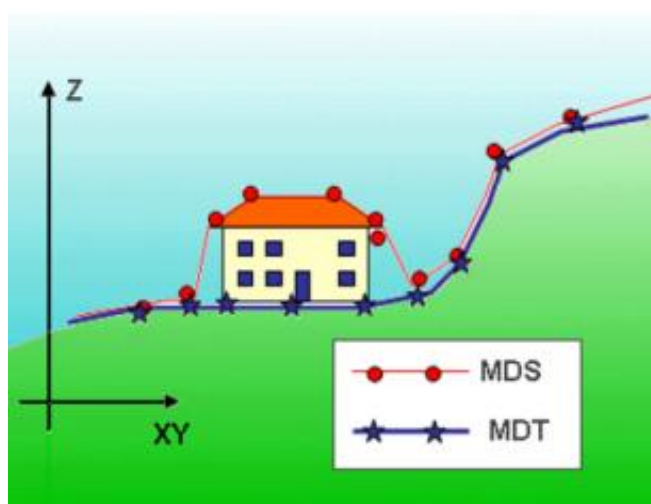
O MDT (Modelo digital do Terreno) é uma forma de representação numérica/matemática de uma característica ou fenômeno espacial ambiental e reflete a superfície topográfica (FILHO; LASTORIA; TORRES, 2008. p.171).

Segundo estes autores, os Modelos Digitais do Terreno (MDTs) se referem aos valores altimétricos do terreno desconsiderando quaisquer objetos na superfície (como árvores ou construções), enquanto que os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) ou também chamado de Modelos digitais de superfície (MDS) se referem aos valores altimétricos contemplando os objetos existentes na superfície. De modo geral, para se referir a um conjunto de modelos digitais, sejam apenas do terreno ou de elevação, adotou-se a designação MDE ou DEM (do inglês), visto que os sites disponibilizam com o termo apenas DEM.

No entanto, para diferenciar os termos gerados do MDE no processamento digital de imagens, conceitua este MDE ou MDS, como uma representação

planialtimétrica da superfície da Terra, incluindo a vegetação e edificações, enquanto que o MDT (modelo digital de terreno) é a representação planialtimétrica da superfície da Terra, excluindo as interferências de vegetação e edificações (Digital Globe, 2014).

**Figura 2:** Imagem ilustrativa, MDS e MDT.



**Fonte:** Site DronEng (2016)

Assim, um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa a altimetria que ocorre em uma determinada região da superfície terrestre, sendo um derivado do MDE gerado em ambiente SIG. Os dados de MDTs são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente SIG (SILVEIRA; SILVEIRA 2015).

Nesta pesquisa será utilizado imagens provenientes de sensores remotos e todos os derivados dos MDEs originais serão chamados de MDT, os principais modelos de elevação e que foram utilizados nesta pesquisa e que estão disponíveis gratuitamente são: os MDEs da SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle) disponibilizados no site do USGS (que variam de 30 a 90m), e o não tão conhecido, mas também que será usado nesta pesquisa o MDE da ALOS PALSAR (resolução espacial de 12,5m).

### **3.6. Características do Satélite RapidEye.**

As imagens Rapideye opera em uma constelação com cinco satélites, e adquirem imagens várias vezes ao longo do ano sobre um mesmo local, o que é um aspecto importante em estudos fenológicos por satélite com alta resolução espacial,

considerando, também, a capacidade de apontamento fora-do-nadir dos instrumentos (PLANET, 2018).

Este satélite tem como sensor o RapidEye Earth Imaging System (REIS), e foi lançado em 2008, o que pode fornecer informações importantes sobre a estrutura e a fenologia da vegetação, as imagens rapideye é composta por cinco bandas espectrais (tabela 1), que são elas: Azul, Verde, Vermelho, Red Edge e Infravermelho próximo, cada banda possui características específicas devido ao seu comprimento de ondas. Para tanto, a tabela 1 indica mais informações detalhadas sobre esse satélite.

Vale ressaltar também a resolução espacial da imagem Rapideye, o seu produto é ortorretificado (nível 3A) que são correções radiométricas e sensoriais aplicadas aos dados, e as imagens além de ortorretificadas são projetadas em UTM. Dessa forma, a ortorretificação real das cenas usam os RPCs (Rational Polynomial Coefficients), para remover distorções do terreno e o modelo de terreno usado para o processo de ortorretificação é derivado de múltiplas fontes (SRTM, Intermap e outros conjuntos de dados de elevação locais) que são atualizados periodicamente. A rapideye também podem atingir exatidão de até 5 metros (tabela 1), ou seja, seu pixel está definido com 5 metros de resolução espacial, o que permite a elaboração de mapas com escalas de 1:25.000 (PLANET, op cit.).

**Tabela 2:** Informações do satélite Rapideye

| Sensor  | Bandas Espectrais        | Resolução Espectral | Resolução Espacial                       | Resolução Temporal  | Resolução Radiométrica                           |
|---|--------------------------|---------------------|--|---|--|
| REIS<br>(Rapideye<br>Earth Imaging<br>System) | Azul                     | 440-510nm           | 6,5m (nadir) e<br>5m para<br>ortoimagens | 24hs (off-nadir<br>- lateral) e 5,5<br>dias (nadir -<br>vertical) | 12 bits por pixel<br>ou 4.096 níveis de<br>cinza |
|   | Verde                    | 520-590nm           |  |   |  |
|   | Vermelho                 | 630-690nm           |  |   |  |
|   | Red - Edge               | 690-730nm           |  |   |  |
|   | Infravermelho<br>Próximo | 760-880nm           |  |   |  |

**Fonte:** Adaptação do Planet (2018)

### 3.7. Modelo Digital de Elevação - MDE (ALOS PALSAR)

Atualmente o MDE mais utilizado no Brasil e conhecido no mundo é proveniente da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) e na área da

geotecnologia quando se fala em MDE a primeira fonte do modelo de elevação em mente é este, entretanto outros sistemas sensores disponibilizam, de forma gratuita, os dados referentes ao modelo digital de elevação, como por exemplo o satélite ALOS PALSAR, que cada vez mais se populariza no Brasil diante da possibilidade de efetivar análises espaciais numa escala de maior detalhe se comparado ao SRTM, pois oferece uma resolução espacial de 12,5 metros, superando o segundo pelo fato deste gerar raster com o tamanho das células equivalentes à 30 metros.

O satélite japonês ALOS foi lançado pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) em janeiro de 2006, com o objetivo de acompanhar as mudanças climáticas globais e os desastres ambientais no mundo, o ALOS dispõe de três sensores de imageamento de sensoriamento remoto: o AVNIR-2, PRISM e o PALSAR.

Neste estudo foi aplicado o processamento da imagem do sensor PALSAR, este sensor opera nas faixas espectrais de micro-ondas é um sistema imageador de abertura sintética que opera na banda L e com resolução espacial que variam entre 10 a 100 metros. O PALSAR possui três modos de imageamento que são: fino, ScanSAR e polarimétrico. O modo fino obtém dados em uma única polarização (HH) ou em duas polarizações (HH e HV) e estas imagens são identificadas como FBS (fine beam single) e FBD (fine beam dual), respectivamente, todas estas imagens podem ser adquiridas no catalogo do Alasca Satellite Facility (ASF). O modo ScanSAR adquire imagem na polarização HH e a sua faixa de imageamento pode atingir 350 km, o modo polarimétrico registra imagens em quatro polarizações (HH, HV, VH e VV), sua faixa de imageamento é a menos de todos, variando de 20 a 65km (SANTOS, 2009).

**Tabela 3:** Características de imageamento do satélite ALOS PAUSAR

| Parâmetro                   | MODO    |         |           |               |
|-----------------------------|---------|---------|-----------|---------------|
|                             | FBS     | FBD     | ScanSAR   | Polarimétrico |
| <b>Polarização</b>          | HH      | HH,HV   | HH        | HH,HV,VH,VV   |
| <b>Faixa de imageamento</b> | 40-70km | 40-70km | 250-350km | 20-65km       |
| <b>Banda</b>                | L       | L       | L         | L             |

**Fonte:** Adaptação, Santos (2009).

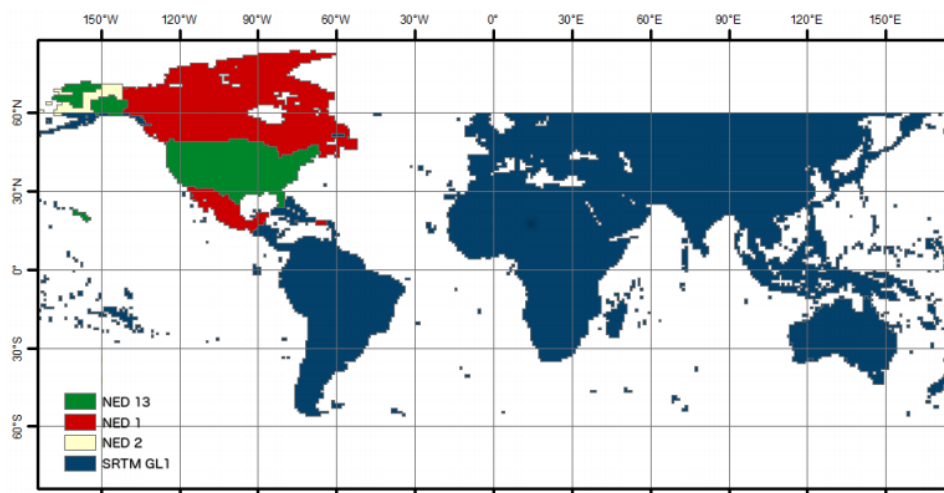
### 3.7.1. Correção da Imagem do Alos Palsar

A geometria lateral das imagens SAR (Synthetic Aperture Radar ou Radar de abertura sintética) lida com as distorções geométricas e radiométricas, este provoca variações de encurtamento, de escala, sombreamento e radiométricas devido à inclinação que dificultar qualquer análise adicional (SHIMADA, 2010 *apud* ASF, 2015).

Visto que o sensor PAUSAR é um SAR, ou seja, um radar de abertura sintética e que é um radar de visão lateral (side -looking radar – SLR), é necessário fazer uma correção radiométrica do terreno, pois isso irá melhorar as estimativas de retroespalhamento que podem ser usadas como entrada para aplicações como: o monitoramento do desmatamento, classificação de uso e cobertura do solo e delineamento e áreas cobertas de neve (SMALL, 2011 *apud* ASF, 2015).

De acordo com o guia do produto, disponibilizado no site do Alasca Satellite Facility(ASF), com o objetivo de corrigir geometricamente os dados, os MDEs da ALOS passaram por um *down sampling*, ou seja, foram reamostrados para a resolução 30 metros, sendo em seguida reamostrados novamente (*up sampling*) para a resolução 12,5m, ou seja, para derivar este MDE de 12.5 m, diferentes técnicas foram utilizadas para diferentes lugares no mundo, para a América do Norte, foram utilizados dados NED (National Elevation Dataset), e para o resto do mundo, inclusive o Brasil, foi utilizado o SRTM para efetivar as correções, como ilustrada na Figura 2. Assim sendo, a correção das distorções geométricas, bem como o ajuste radiométrico relacionado nas imagens SAR requer o uso de modelos digitais de elevação (DEMs) e a precisão de um terreno corrigido o resultado está diretamente relacionado à qualidade do MDE (ASF, 2015).

**Figura 3:** Bases do Modelo digital de elevação utilizadas para a correção das imagens do satélite ALOS em diversas regiões do globo.



Fonte: ASF, (2015).

### 3.8. Modelo digital de elevação - MDE (SRTM)

A Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) é uma missão espacial para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre com média resolução espacial. As tecnologias de mapeamento altimétrico da topografia convencional produzem mapas de qualidade desigual, alguns com elevada acuracidade e outros pouco adequados geometricamente. O SRTM obteve um modelo digital de elevação de aproximadamente 80% do planeta, sendo amostrado em uma malha de 1 arco por segundo (aproximadamente 30 metros) como pode-se ver nas especificações da Tabela 3, com um erro linear vertical absoluto de menos de 16 metros (USGS, 2015).

**Tabela 4:** Especificações do produto SRTM

| Projeção                       | Geográfica  |
|--------------------------------|---|
| Datum Horizontal               | WGS84   |
| Datum Vertical                 | EGM96 (Earth Gravitational Model 1996)  |
| Unidades Vertical              | Metros  |
| Resolução Espacial             | 1 arc-second para cobertura global (~30 meters)<br>3 arc-seconds para cobertura global (~90 meters) |
| Comprimento de onda da banda C | 5.6 cm  |

Fonte: Adaptação USGS (2015)

### 3.8.1. Especificações dos produtos SRTM

O nível de processamento e a resolução dos dados irão variar de acordo com o conjunto de dados SRTM, de acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, op cit.), podem ser:

- SRTM Non-Void ou SRTM “não-vazio” em que os dados de elevação foram processados a partir de sinais de brutos de radar da banda C espaçados em intervalos de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) no Jet Propulsion Laboratory (JPL) da NASA. Esta versão foi editada pela NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) para delinear e achatar corpos de água, definir melhor as linhas da costa, remover pontas e preencher vazios pequenos na imagem. Dados para regiões fora dos Estados Unidos foram amostrados a 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros) usando uma técnica de reamostragem de convolução cúbica para distribuição aberta.
- SRTM Void ou “SRTM Vazio” os dados de elevação são o resultado de processamento adicional para endereçar áreas de dados ausentes ou vazios na coleção do arquivo SRTM Non-Void ou SRTM “não-vazio”. Os vazios ocorrem em áreas onde o processamento inicial não atende às especificações de qualidade. Como os dados SRTM são uma das fontes de dados de elevação mais utilizadas, a NGA preencheu os vazios usando algoritmos de interpolação em conjunto com outras fontes de dados de elevação. A resolução dos dados do “SRTM Void” é de 1 arc-second para os Estados Unidos e 3 arc-second para a cobertura global.
- Os dados de elevação global de 1 arc-Second do SRTM oferecem cobertura mundial de dados, preenchendo os vazios a uma resolução de 1 arc-second (30 metros) e fornecem uma distribuição aberta desse conjunto de dados globais de alta resolução. Algumas partes ainda podem conter “vazios” ou seja locais em que cobertura de imagens SRTM não chegou, neste caso os usuários devem verificar o mapa de cobertura no EarthExplorer para verificar se sua área de interesse está disponível. Nota-se também que a cobertura do SRTM fica acima de 50 ° norte e abaixo de 50 ° de latitude sul e são amostradas com uma resolução de 2 arc-second por 1 arc-second.

Deste modo, observando os 2 modelos visualmente e comparando com as altitudes apresentadas por Barbosa (2007) e observando as vegetações presentes nestas áreas, apesar do MDE do SRTM apresentar bons resultados em alguns locais, nota-se que estes modelos necessitam de algum tratamento que reduzam este erro pois sabe-se que os MDEs não conseguem penetrar a copa das árvores e muitas vezes a altitude real não é apresentada por estes modelos, uma série de conversões nos MDEs proveniente de sensores ópticos serão feitas ao decorrer deste trabalho, o resultado destas conversões serão denominados de MDT.

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O procedimento metodológico da pesquisa se delineou em etapas, conforme a necessidade encontrada ao longo da busca pelo alcance dos objetivos propostos. Dentre estas, destacam-se: i) pesquisa e revisão bibliográfica; ii) Levantamento das bases cartográficas; iii) Análise e processamento das imagens dos sensores ativos (Radar), especificamente as da SRTM e ALOS-PALSAR. Esta terceira etapa constituiu-se por correções geométricas e radiométricas, almejando transformar o modelo digital de elevação em modelagem do terreno, aplicando os seguintes procedimentos: Retificação dos números digitais para cada DEM; Extração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), através da Imagem do satélite Rapideye, sendo posteriormente utilizado na Interpolação para geração do MDT, com base na interceptação entre as amostras correspondentes ao solo exposto, vegetação rasteira e os valores dos pixels do Alos e SRTM.

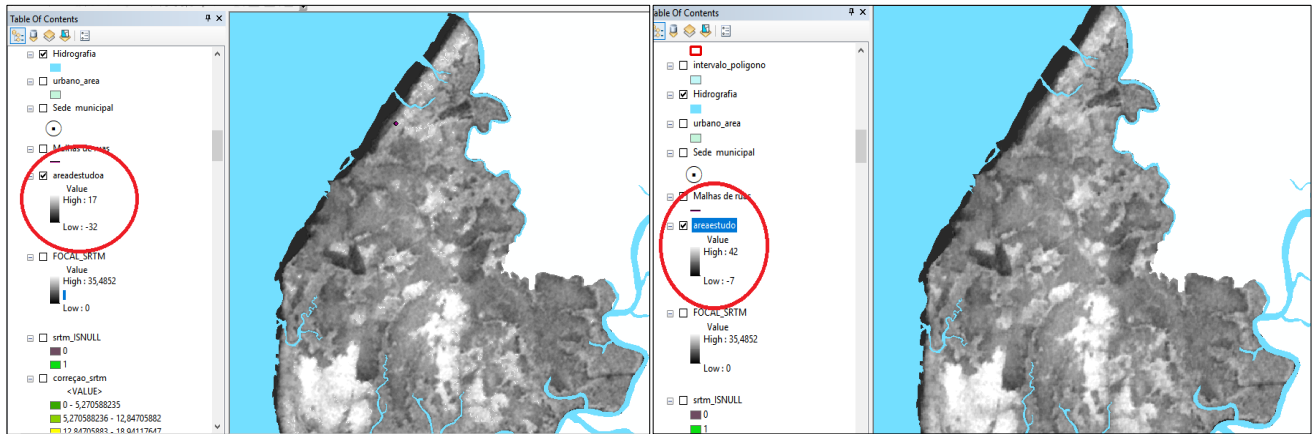
A pesquisa bibliográfica concretizou-se por meio de buscar de referências nas bibliotecas físicas e virtuais. No que se refere às bases cartográficas (imagens do satélite Alos e SRTM) foram adquiridas nos sites ALASKA e USGS, com resolução espacial de 12,5 e 30 metros, respectivamente. Em geral, as etapas se desenrolaram conforme abaixo mencionadas.

##### **4.1. Correção dos MDEs originais**

Como os MDEs do ALOS e SRTM apresentaram valores negativos foi feito a conversão destes em valores nulos, visto que são considerados, na sua maioria, como erros radiométricos, para que diminuísse as discrepâncias nas informações

produzidas optou-se por eliminá-los, gerando, deste modo, células sem informações que posteriormente preenchidas através das lógicas matemática e estatística.

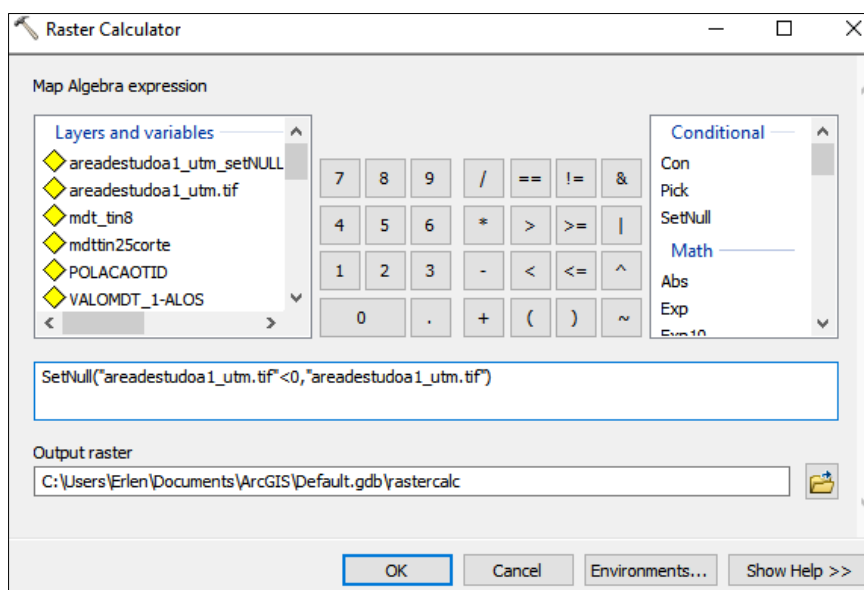
**Figura 4:** A esquerda tem-se a imagem do ALOS original, a direita o SRTM original, com ênfase nos valores negativos



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

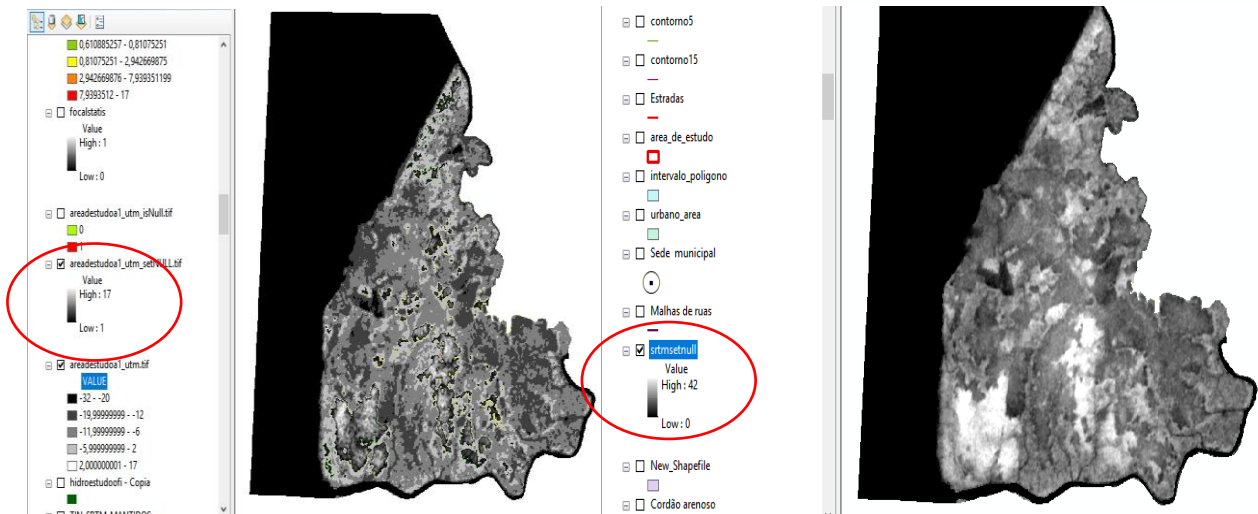
Assim, o primeiro passo consistiu em projetar todos os rasters para Datum SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção UTM zona 22S, em seguida usou-se o condicional “SetNull” localizada na ferramenta “raster calculator”, encontrada em arctoolbox->spatial analyst tools -> Map álgebra, para transformar todos os valores negativos em nulos. Na Figura 4 e 5 tem-se a exclusão dos valores menores que zero.

**Figura 5:** Imagem do condicional “SetNull” localizado na calculadora raster do Arcgis.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

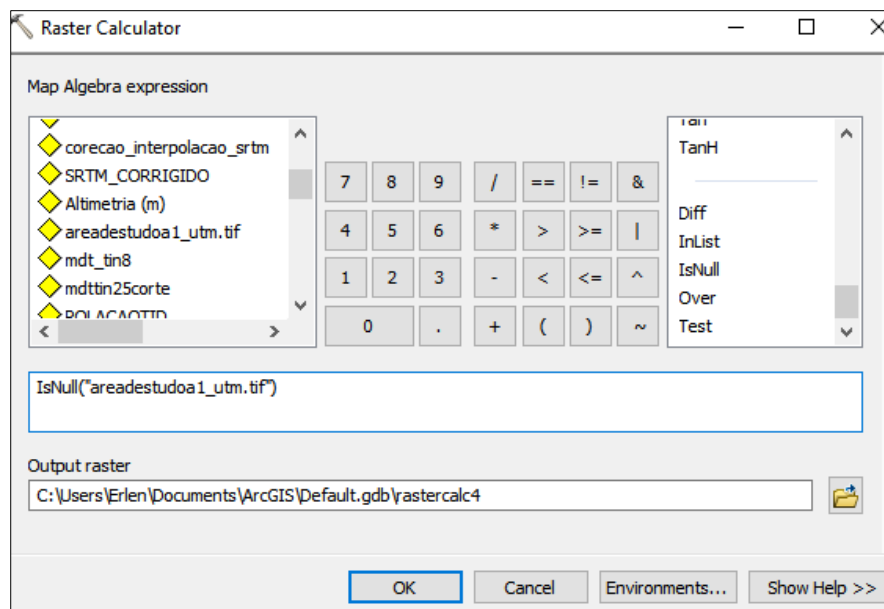
**Figura 6:** A esquerda ALOS a direita SRTM, observa-se que os valores negativos não existem mais.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

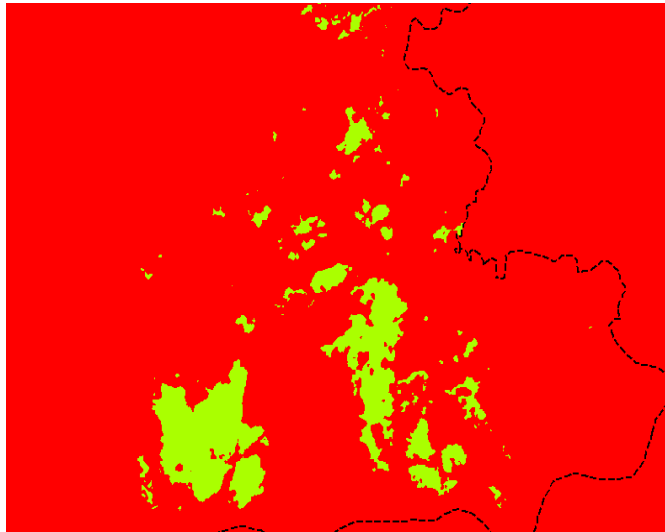
Próximo passo consistiu em classificar o DEM em duas classes, sendo uma representando os pixels como valos conhecidos (em verde) e o agrupamento dos pixels sem informações (em vermelho), ver Figura 7. Pois, se destacou os valores negativos, utilizando-se a lógica *IsNull* (“raster”), visto na Figura 6.

**Figura 7:** Ilustração do condicional “IsNull”



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

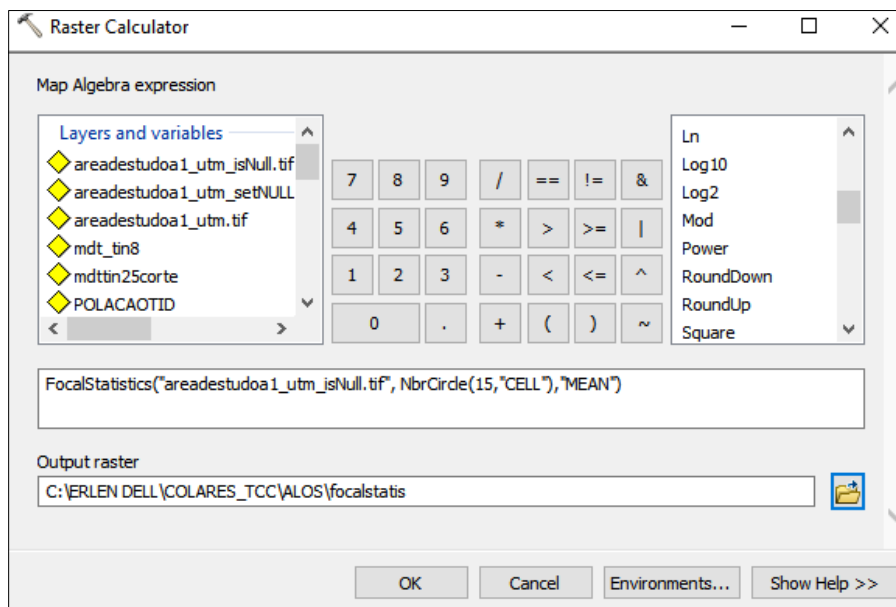
**Figura 8:** Resultado do “IsNull” no MDE da ALOS



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

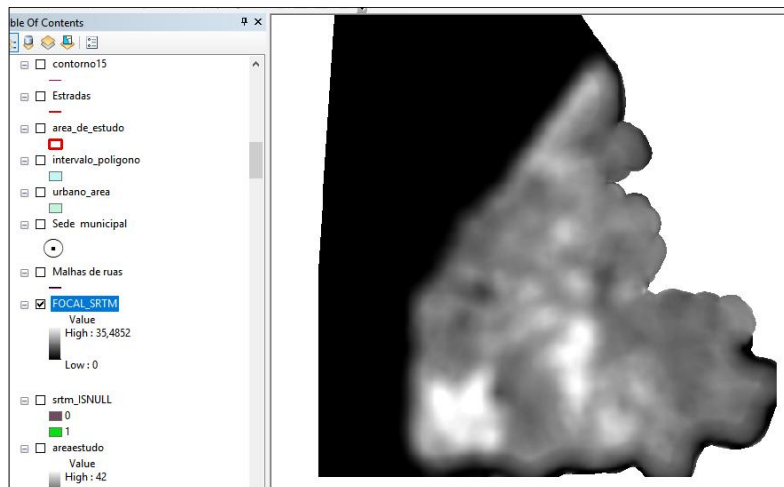
O seguinte passo foi eliminar os valores nulos através de aplicação de estatística e usou a Calculadora raster, foi feito o seguinte processo na calculadora raster -> `FocalStatistics("raster", NbrCircle(15,"CELL"),"MEAN")`, foi usado essa condicional na imagem gerado do “IsNull”. Os resultados podem ser vistos na figura 8 e 9.

**Figura 9:** Ilustração para eliminar os valores nulos



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

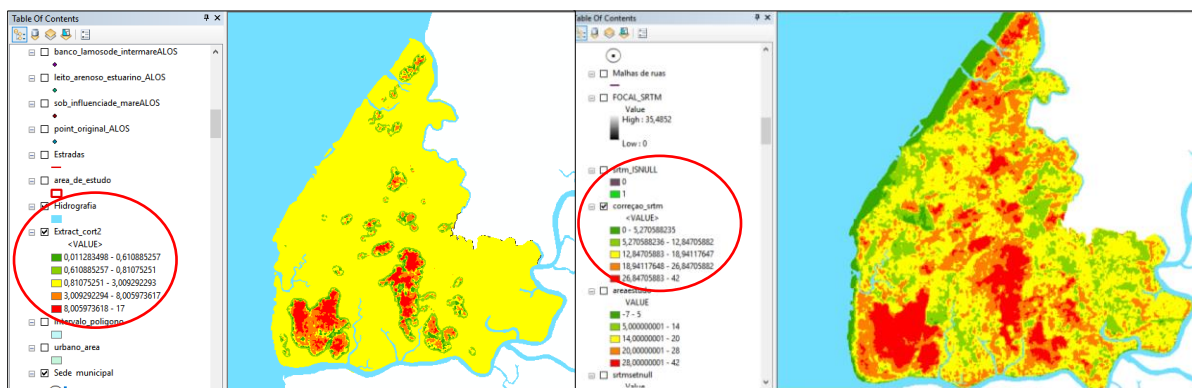
**Figura 10:** Ilustração da ferramenta “FocalStatistics”.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

O último passo foi aplicar a condicional para alterarmos na imagem SRTM e ALOS apenas os valores dos pixels sem informação, preservando os demais DN (números digitais), os resultados podem ser vistos nas figuras 11.

**Figura 11:** MDE corrigido, a esquerda tem-se a ALOS e a direita o SRTM.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

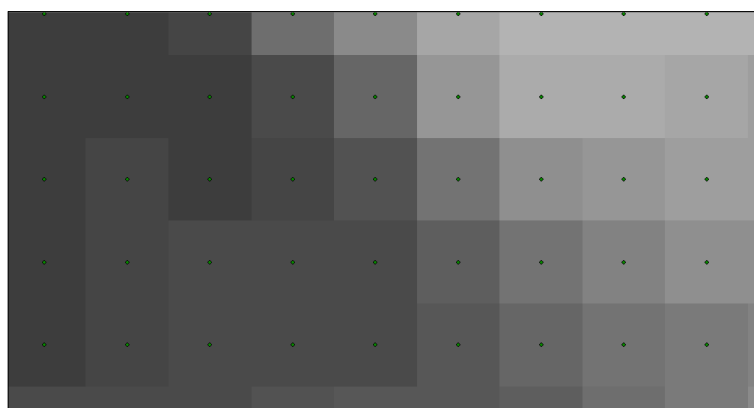
## 4.2. Método de Interpolação

A primeira metodologia para a construção do MDT que represente a realidade local foi a interpolação dos dados. Assim, para a construção de um MDT, foi necessário novamente o conjunto de coordenadas (x,y e z) e com esse conjunto faz-se a interpolação da superfície contínua, que irá representar a altitude do terreno (LIPORACI et al.,2003 *apud* FOLHARINI, OLIVEIRA, FURTADO,2015).

O diferencial desta metodologia será a inserção da imagem rapideye no processo, ou seja, para a produção deste MDT ocorrerá uma serie de rotinas de conversão no *software arcgis*, e será utilizado uma sequência de tratamentos no MDE que reduza a interferência causada por objetos como árvores, ou construções, alcançando um acurado modelo final de representação de terreno (FOLHARINI, OLIVEIRA, FURTADO,2015).

Inicialmente foi feito a conversão de raster para arquivo vetorial de ponto, cada pixel gerou um ponto (figura 12).

**Figura 12:** Ilustração de pontos gerados de cada pixel da SRTM.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

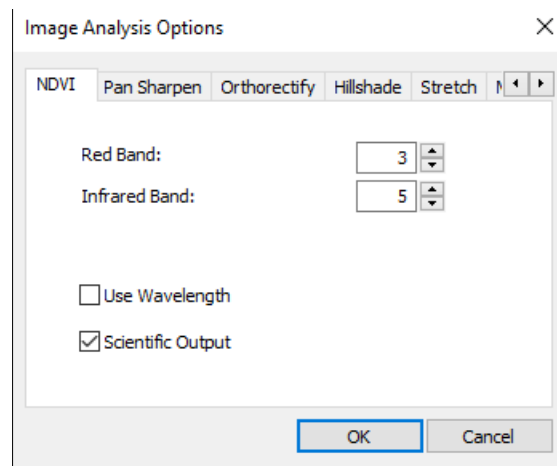
O seguinte processo consistiu na extração do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) na imagem Rapideye que está disponibilizado no geocatálogo no site do Ministério do Meio Ambiente (<http://geocatálogo.mma.gov.br/>).

#### 4.2.1. Extração do NDVI da Imagem RapidEye

Na extração do NDVI será selecionado o intervalo de 0 a 0,2 que faz referência as classes de solo exposto ou vegetação rasteira (ou gramíneas), intervalo este que representa pouca ou nenhuma vegetação, dessa forma, não interfere no cálculo de variáveis morfométricas, que no caso a declividade (OLHARINI, OLIVEIRA, FURTADO, 2015).

A ferramenta que corresponde ao NDVI no Arcgis se chama *Image Analysis Options*, que está localizada na aba *Windows* deste programa, onde será selecionado as bandas 3 e 5 (figura 13) e o Arcgis irá gerar automaticamente o NDVI, o programa tem uma ferramenta que gera automaticamente este índice.

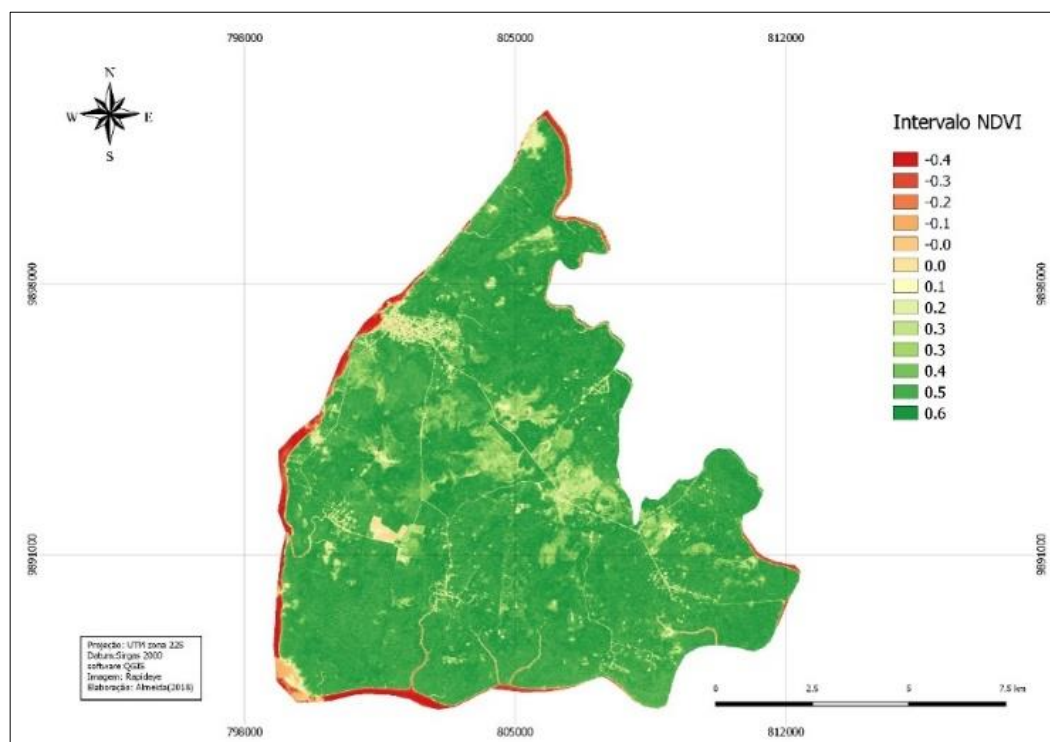
**Figura 13:** Imagem da ferramenta Image Analysis Options no software Arcgis.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

O NDVI da imagem Rapideye na figura 13 gerou um intervalo de -0.4 a 0.6, observa-se que a regiões avermelhadas corresponde a hidrografia da área de estudo, assim como os locais mais verdes indicam a vegetação, será então selecionado o intervalo de 0 a 0.2, o que como já foi dito anteriormente corresponde a vegetação rasteira.

**Mapa 1:** Mapa do NDVI gerado da imagem RapidEye.

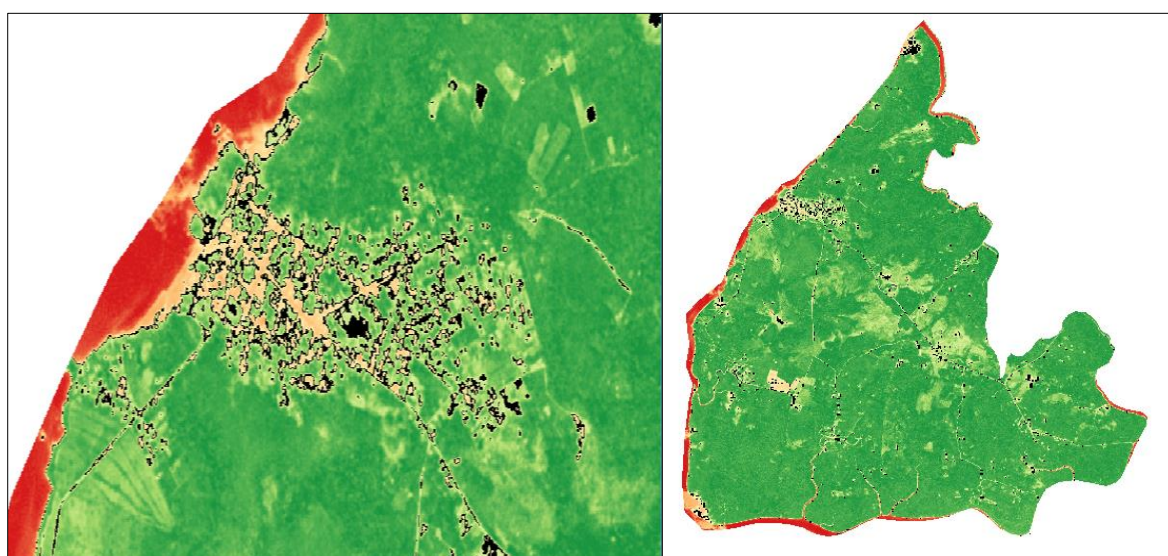


**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Com o NDVI gerado, o seguinte passo consistiu em reclassificar este índice e extrair o intervalo 0 a 0,2, a ferramenta utilizada foi a *Reclassify*, localizada *Arctoolbox -> Spatial Analyst Tools -> Reclass*.

Na figura 14 os intervalos em tons pretos fazem referência a classe de solo exposto ou vegetação rasteira, observa-se que a área urbana tem grande concentração desse tipo de classe, afinal é comum em área urbana ter pouca ou nenhum tipo de vegetação assim como ao redor da hidrografia em que geralmente vegetações como gramíneas prevalecem.

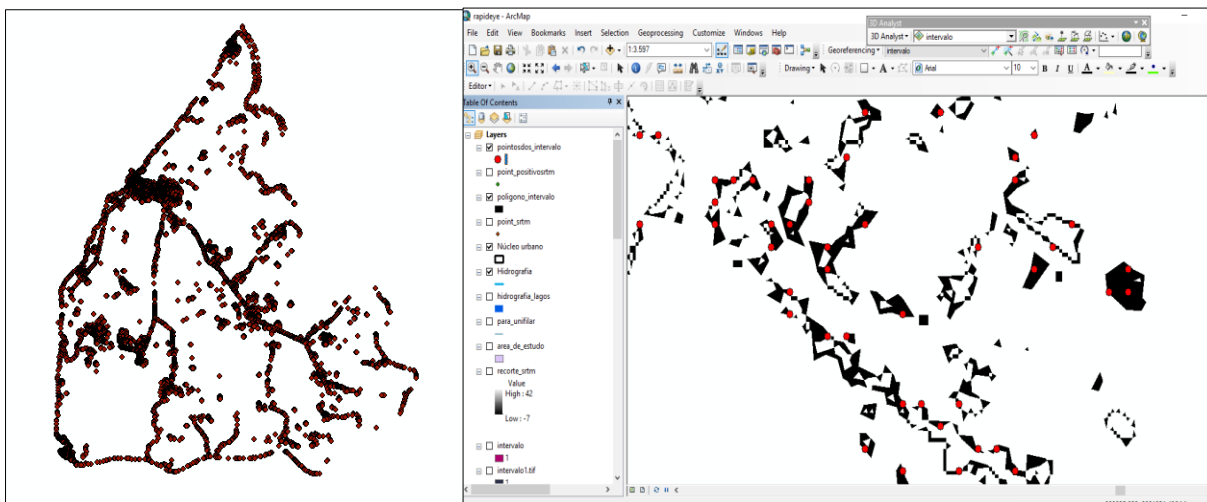
**Figura 14:** A esquerda, foco na área urbana de colares, a direita visão geral da área de estudo, tons em preto indicam o intervalo de 0 a 0,2.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

De posse do intervalo (figura 14), o passo seguinte consistiu em obter os pontos com altitude gerados dos MDEs da ALOS e SRTM em que foi convertido de raster para vetor, selecionou os pontos com altitude que correspondem ao intervalo selecionado de 0 a 0,2, utilizou a ferramenta *select by location* do *Arcgis* (FOLHARINI, OLIVEIRA, FURTADO, 2015).

**Figura 15:** Pontos com altitude da imagem ALOS PAUSAR, selecionado apenas os pontos referentes a solo exposto ou vegetação rasteira.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

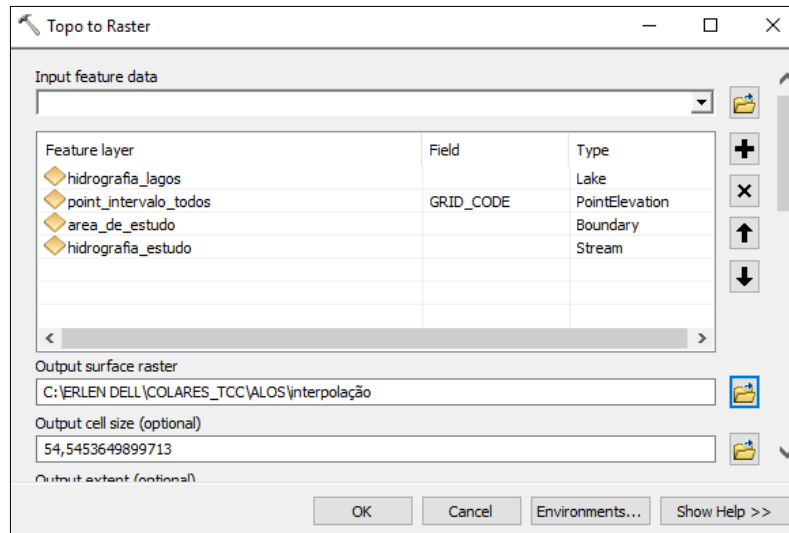
#### 4.2.2. Interpolação e geração do MDT

O último passo consistiu em interpolar os pontos selecionados (figura 15) e interpolar com o shapes de drenagens, ou seja, com a hidrografia da região em estudo, a ferramenta utilizada foi a *Topo to Raster*, localizada *ArcToolbox->Spatial Analyst Tools -> Interpolation* (FOLHARINI, OLIVEIRA, FURTADO, 2015).

Portanto, foi interpolado a hidrografia, a área de estudo, os pontos com altitude, o qual classificou esses elementos para que a ferramenta compreendesse quais eram estes dados e qual o tipo de dados como mostrado na figura 15. Observa-se que cada shape foi classificado e o shapes interpolados foram:

- *lake*: representa o shape de lagos e lagoas
- *Point elevation*: o shape dos pontos de elevação obtidos dos MDEs que estavam no intervalo de 0 a 0.2.
- *Boundary*: são os limites, no caso a área de estudo para que interpole dentro desta área
- *Stream*: o shape de curso d'água

**Figura 16:** Imagem da ferramenta topo to raster com os dados que foram interpolados para a geração do MDT.

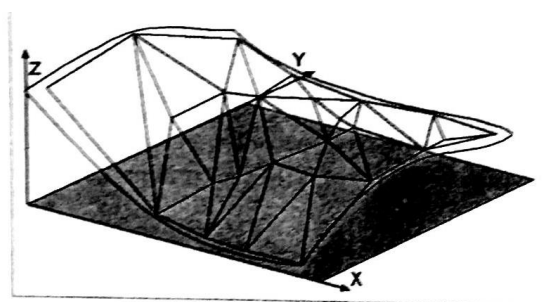


**Fonte:** Elaboração própria (2018).

### 4.3. Método de interpolação com a ferramenta TIN

A grade irregular triangular ou TIN (Triangular Irregular Network) é uma estrutura do tipo vetorial, com topologia do tipo nó arco e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligados, ou seja para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x,y) e o atributo z, correspondente ao de elevação ou altitude (FILHO, LASTORIA, TORRES, 2008). Ilustração na figura 17.

**Figura 17:** Ilustração da formação do TIN, com as coordenadas x, y e o z ilustrando a elevação do terreno por Namikawa (1995) apud Filho, Lastoria e Torres (2008, p175).



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Está técnica para a geração do MDT foi utilizada por Neto (2010) do CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), em que consiste em gerar um raster com determinados pontos (pixels) gerado do MDE original, em que

posteriormente será utilizada as altitudes apresentadas por Barbosa (2007) para a geração do MDT através deste método.

#### 4.3.1. Geração do MDT com a ferramenta TIN

O processo consiste em converter de raster para pontos, e estes terão valores de x,y e z (figura 18) e será gerado um TIN tanto para os valores da SRTM quanto para os da ALOS PALSAR, a ferramenta *create TIN* no Arcgis, está localizada em *Arctoolbox-> 3D Analyst Tools -> Data Management -> create TIN*. Serão utilizados os pontos referentes as altitudes apresentadas por Barbosa (2007) e com esses pontos serão criados uma interpolação chamada de TIN, figura 19, 20, 21 e 22.

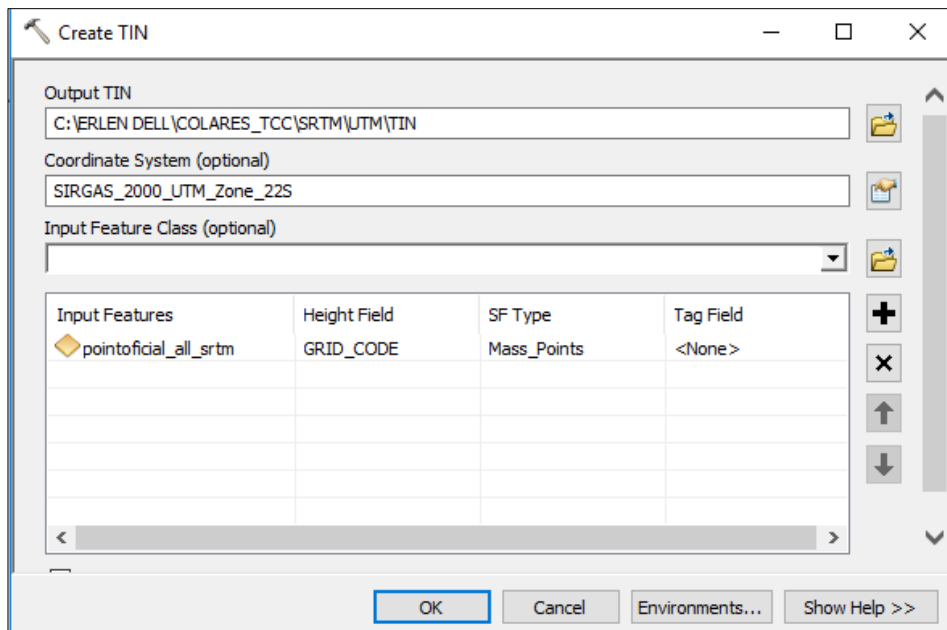
**Figura 18:** Ilustração da tabela de atributos com os valores de x, y e z, em que z corresponde a altitude do local, valores gerados do MDE-ALOS PALSAR

| ID    | Shape | X           | Y         | Z  |
|-------|-------|-------------|-----------|----|
| 12000 | Point | 821937.6875 | 9894112.5 | 34 |
| 20007 | Point | 821950.1875 | 9894112.5 | 34 |
| 20007 | Point | 821962.6875 | 9894112.5 | 34 |
| 20063 | Point | 821937.6875 | 9894100   | 34 |
| 20063 | Point | 821950.1875 | 9894100   | 34 |
| 13217 | Point | 827962.6875 | 9896150   | 33 |
| 13217 | Point | 827975.1875 | 9896150   | 33 |
| 13217 | Point | 827987.6875 | 9896150   | 33 |
| 13217 | Point | 828000.1875 | 9896150   | 33 |
| 13251 | Point | 827962.6875 | 9896137.5 | 33 |
| 13252 | Point | 827975.1875 | 9896137.5 | 33 |
| 13252 | Point | 827987.6875 | 9896137.5 | 33 |
| 13252 | Point | 828000.1875 | 9896137.5 | 33 |
| 13287 | Point | 827975.1875 | 9896125   | 33 |
| 13287 | Point | 827987.6875 | 9896125   | 33 |
| 13287 | Point | 828000.1875 | 9896125   | 33 |
| 19894 | Point | 821950.1875 | 9894137.5 | 33 |
| 19894 | Point | 821962.6875 | 9894137.5 | 33 |
| 19894 | Point | 821975.1875 | 9894137.5 | 33 |
| 19951 | Point | 821925.1875 | 9894125   | 33 |
| 19951 | Point | 821937.6875 | 9894125   | 33 |
| 19951 | Point | 821950.1875 | 9894125   | 33 |
| 19951 | Point | 821962.6875 | 9894125   | 33 |
| 20006 | Point | 821925.1875 | 9894112.5 | 33 |
| 20007 | Point | 821975.1875 | 9894112.5 | 33 |
| 20062 | Point | 821925.1875 | 9894100   | 33 |
| 20063 | Point | 821962.6875 | 9894100   | 33 |
| 20063 | Point | 821975.1875 | 9894100   | 33 |
| 20119 | Point | 821937.6875 | 9894087.5 | 33 |
| 20119 | Point | 821950.1875 | 9894087.5 | 33 |
| 13152 | Point | 827975.1875 | 9896175   | 32 |
| 13184 | Point | 827962.6875 | 9896162.5 | 32 |
| 13184 | Point | 827975.1875 | 9896162.5 | 32 |
| 13184 | Point | 827987.6875 | 9896162.5 | 32 |
| 13184 | Point | 828000.1875 | 9896162.5 | 32 |
| 13217 | Point | 827950.1875 | 9896150   | 32 |
| 13217 | Point | 828012.6875 | 9896150   | 32 |
| 13251 | Point | 827950.1875 | 9896137.5 | 32 |
| 13252 | Point | 828012.6875 | 9896137.5 | 32 |
| 13287 | Point | 827962.6875 | 9896125   | 32 |
| 13287 | Point | 828012.6875 | 9896125   | 32 |
| 13324 | Point | 827962.6875 | 9896112.5 | 32 |
| 13324 | Point | 827975.1875 | 9896112.5 | 32 |
| 13324 | Point | 827987.6875 | 9896112.5 | 32 |

Fonte: Elaboração própria (2018).

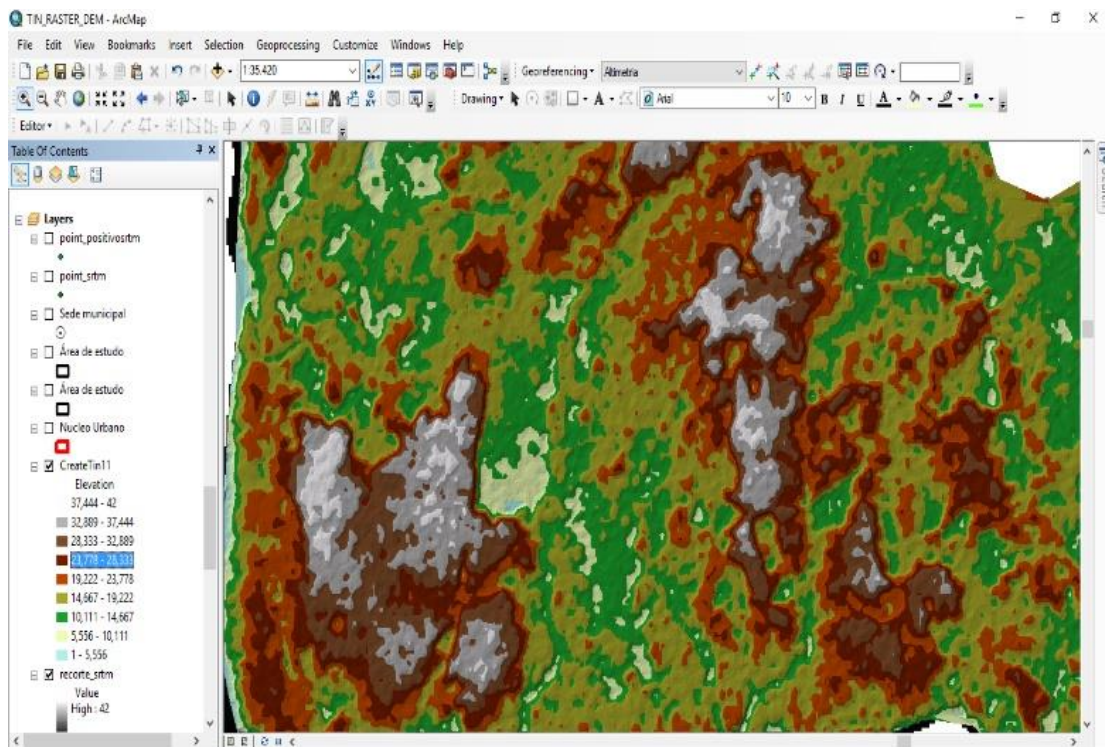
Com as altitudes selecionado no intervalo apresentado por Barbosa (2007), foi gerado a interpolação com a ferramenta TIN.

Figura 19: Ilustração da ferramenta TIN.



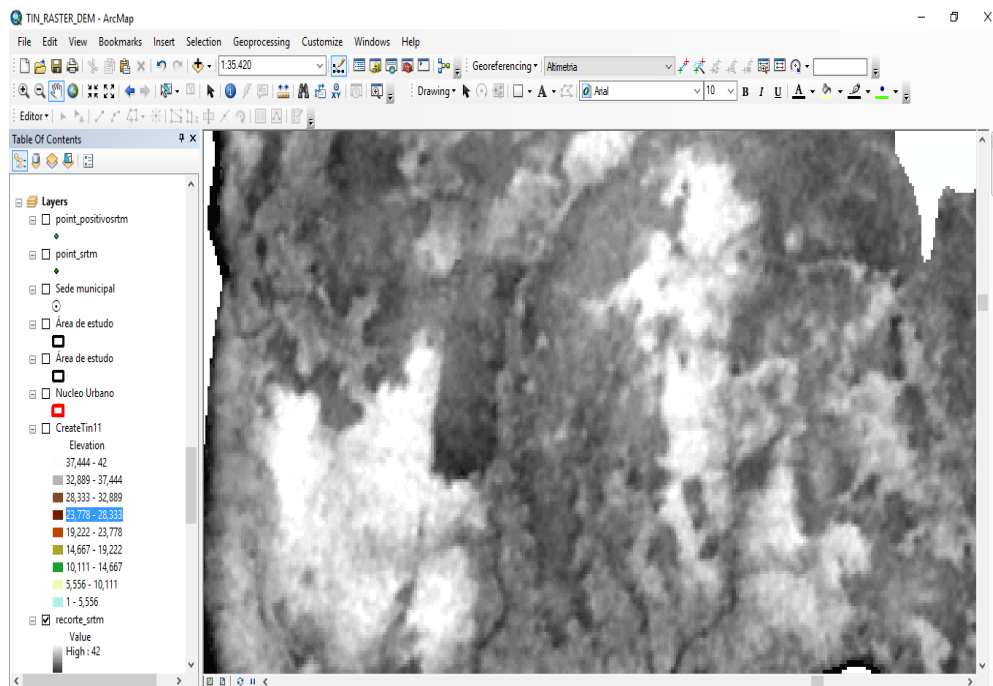
Fonte: Elaboração própria (2018).

Figura 20: TIN



Fonte: Elaboração própria (2018).

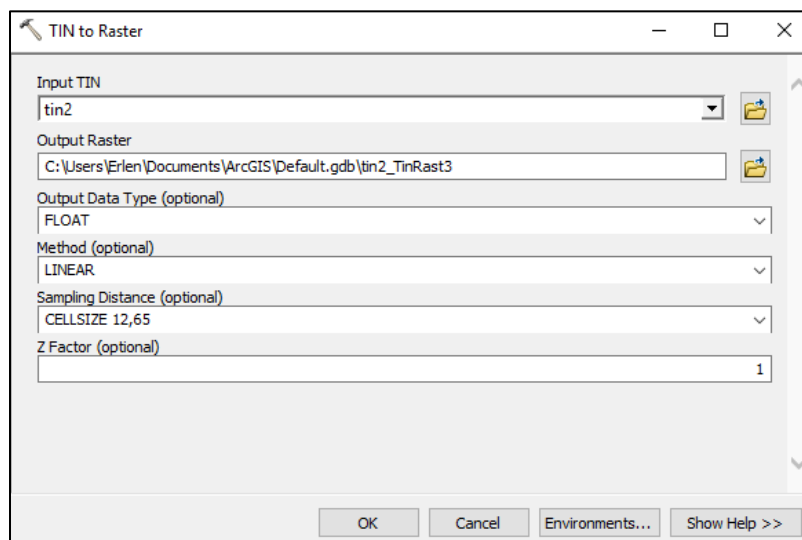
**Figura 21:** MDE original da SRTM.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

De acordo com a metodologia de Neto (2010), este transforma de TIN para raster e obtém o MDT. A ferramenta no Arcgis para fazer este procedimento se chama *TIN to raster*, e está localizada em *Arctoolbox-> 3D Analyst Tools -> conversion -> from TIN -> TIN to raster*. Na imagem da figura 20 tem-se a ferramenta utilizada no *software*. Os resultados serão vistos no próximo tópico.

**Figura 22:** Ilustração da ferramenta TIN to raster.

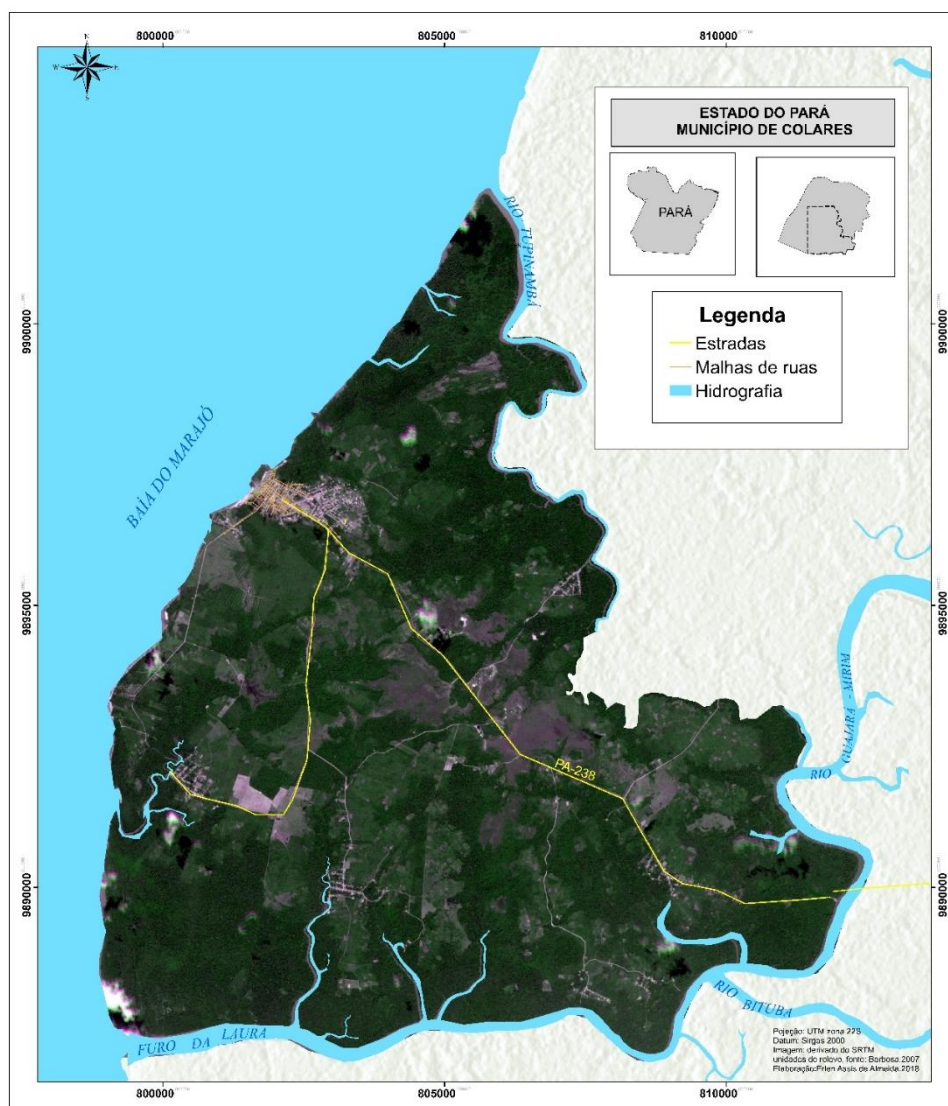


**Fonte:** Elaboração própria (2018).

#### 4.4. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa, está localizada no sul do município de Colares (mapa 2) no Estado do Pará. Emancipado em 1962, o município de Colares é uma ilha com cerca de 250 km<sup>2</sup> pertencente a microrregião do salgado, a sede de Colares localiza-se à margem da baía do Marajó distante 93,9 km de Belém, com acesso pelas rodovias BR-316, PA-140 e com acesso a área urbana a PA-238, o município faz divisa ao norte com a baía de Marajó, ao sul com o município de Santo Antônio do Tauá, e ao leste com o município de Vigia (mapa 2). A população total do município no último censo em 2010 é de aproximadamente 11.382 habitantes, sendo apenas 32,17% residente em área urbana, a maioria da população está distribuída em área rural (IBGE,2010).

**Mapa 2:** Área de Estudo.



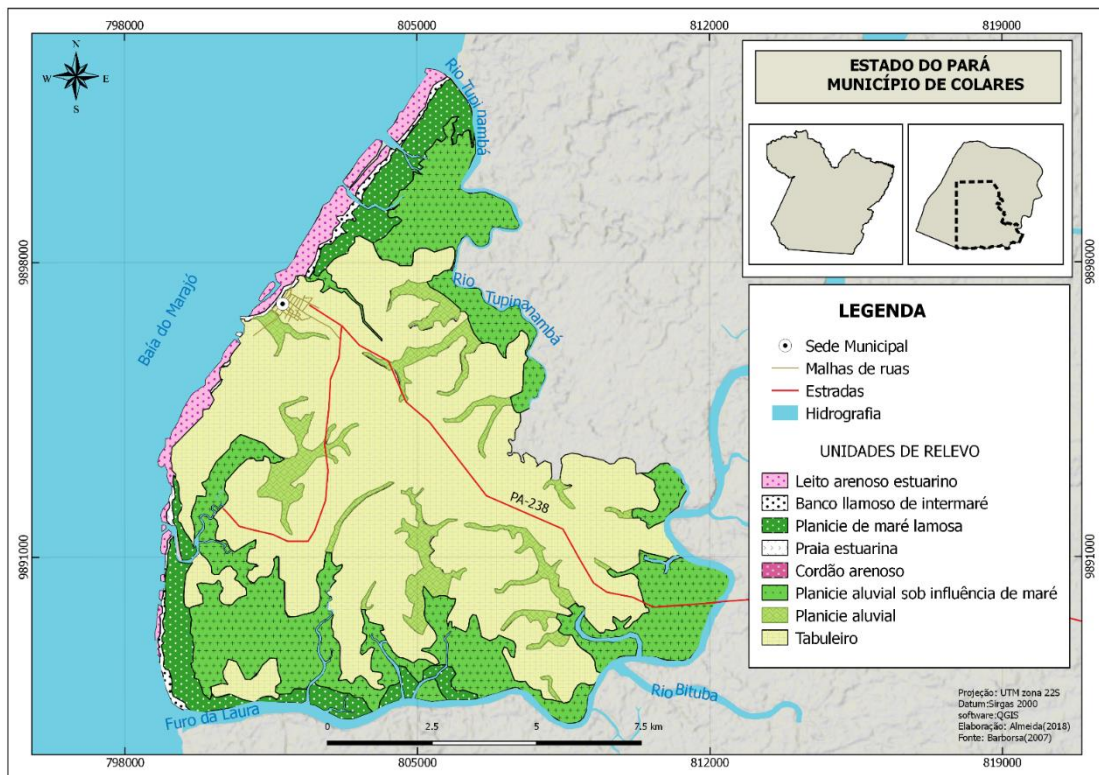
**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Barbosa (2007) e Lima, Tourinho, Costa (2000) explica que devido à localização de Colares está contido no vasto estuário da baía do Marajó (visto no mapa 1) a planície costeira deste município é considerada como estuarina, isso porque, ocorre a associação entre as correntes de vazante com as marés que adentram o estuário do rio Pará pela baía do Marajó.

Sendo assim, para compreender a dinâmica e realidade local foi de suma importância caracterizar a área em questão para estudos mais aprofundados, então utilizou a pesquisa de Barbosa (2007) com ênfase em colares em que este identificou, mapeou e caracterizou os elementos de relevo através de literatura, trabalho de campo (no caso observação) e sensoriamento remoto (interpretação), os elementos de análise do autor levou em consideração a configuração espacial, a natureza dos depósitos superficiais, topografia e altimetria, hidrografia, posição inferida em relação ao nível da maré e a cobertura vegetal.

Barbosa (2007) elaborou uma matriz que agregou para cada unidade de relevo os elementos acima mencionados, foram identificadas 8 unidades de relevo, como formas de acumulação: leito arenoso estuarino; banco lamoso de intermaré; planície de maré lamosa; praia estuarina; cordão arenoso; planície aluvial sob influência de maré; e planície aluvial. A forma relacionada a relevo erosivo está sendo classificado como tabuleiro (ou planalto), na tabela 1 observa-se as unidades de relevo e os elementos de análise do autor. No mapa 2, tem-se a espacialização das unidades de relevo da área de estudo.

**Mapa 3:** Mapa de unidades de relevo da área de estudo.



**Fonte:** Adaptação de Barbosa (2007).

Visto que o objetivo principal desta pesquisa é encontrar a altimetria ideal nos MDEs provenientes de sensoriamento remoto através de conversões em ambiente SIG, a partir da classificação de Barbosa (2007), o elemento topografia e altimetria (tabela 1) da realidade local será de suma importância para o resultado desta pesquisa, a altimetria e características desta região coletada por este autor será usada como base de confrontação nos resultados obtidos durante este trabalho.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Unidades de relevo e hipsometria nos MDEs originais.

Inicialmente para avaliar a altimetria encontrada nos modelos digitais provenientes de sensores ativos, fez-se a sobreposição das unidades de relevo apresentadas por Barbosa (2007) em que este classifica a altimetria de acordo com as características da região, apresentando as cotas altimétricas, foi usado o MDE do satélite ALOS PALSAR, que possui resolução espacial de 12,5m, e o outro de SRTM com resolução de 30m.

Nos Mapas 4 e 5, abaixo ilustrados, encontram-se o MDEs sem nenhuma correção, contendo apenas os valores dos pixels originais, sendo ALOS o satélite que possui uma resolução espacial maior e conseqüentemente oferece uma escala de representação cartográfica de melhor detalhamento do que a do SRTM, a escala da ALOS pode chegar a 1:40.000, enquanto que o SRTM se limite num detalhamento de até 1:100.000, com uma resolução espacial inferior ao ALOS.

De acordo com classificação de Barbosa (2007), e como se pode ver na Tabela 5, este autor identificou as altitudes de cada unidade de relevo, foi utilizada a ferramenta do arcgis "selection by location" de cada unidade de relevo e separou os pixels em cada unidade e em seguida fez-se uma porcentagem de acerto de cada local desses pixels de acordo com as altitudes apresentadas pelo autor, ou seja, a porcentagem de acerto foi determinada com base nas altitudes apresentadas.

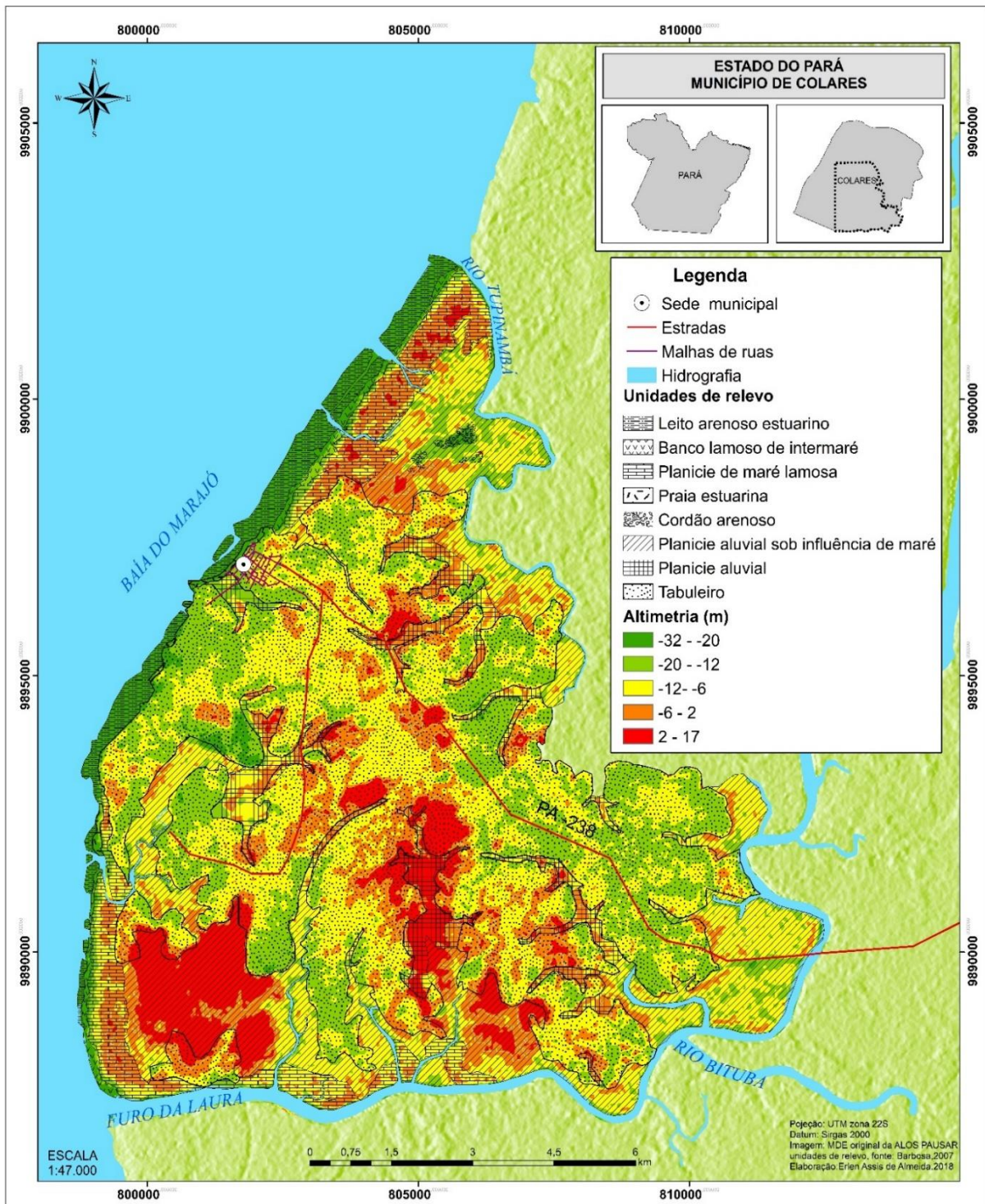
Entretanto, o que se percebe na Tabela 5 e no Mapa 4 o MDE (ALOS PALSAR) apresenta cotas extremamente baixíssimas, não representando com exatidão o real altimétrico da região, e todas as 7 unidades do relevo tiveram uma média de apenas 7,10% de acerto, além de estar muito aquém da realidade. Praia estuarina, leito arenoso estuarino e cordão arenoso não obtiveram porcentagem de acerto.

**Tabela 5:** Dados coletados do Mapa 4

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas do mapa 4</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 4 (%)</b> |
|--|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | -32 a -11                              | Sem vegetação 0 a 2m  | 0  |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | -28 a 1                                | Vegetação pioneira de mangue ou aluvial de 0 a 5m                     | 6,12                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | -27 a 11                               | Mangue com espécies facultativas de várzeas. Abaixo de 5m             | 9,00                                       |
| <b>Praia estuarina</b>                         | -28 a -6                               | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 0  |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | -24 e 2                                | 5 a 12m   | 0  |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | -28 a 17                               | Abaixo de 5m  | 9,6  |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                               | Variável  | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -28 a 16                               | Acima de 5 e até 30m  | 25,00                                      |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 4:** Mapa hipsométrico gerado do MDE original da ALOS PAUSAR sem nenhum tipo de conversão, com a sobreposição das unidades de relevo



Fonte: Elaboração própria (2018).

No DEM do SRTM (mapa 5) e analisando a tabela 5, este MDE apresentou muito mais cotas positivas do que no da ALOS, nota-se no SRTM que a maioria das cotas negativas são observadas nas extremidades próximo as hidrografias da área de estudo não chegando ao extremo como aconteceu com o modelo anterior, os tabuleiros apontam cotas a partir de 5m chegando em algumas partes até 30 a 40 metros o que pode-se dizer que está correto visto que o tipo de vegetação que predomina nesta área é a vegetação secundária de “terra firme”, com altitudes um pouco mais elevadas, entretanto a áreas de planícies em que há o predomínio de Vegetação aluvial (várzea e igapó) em que existe arvores densas e o satélite provavelmente não conseguiu penetrar a copa das arvores fazendo com que esta área obtivesse um equívoco grande, pois indicou altitudes de 20 até o extremo 42m que deveriam chegar a no máximo 5m, planície de maré lamosa e planície aluvial sob influência de maré foram os que apresentaram resultados menos satisfatório, com menos de 5% de acerto nestes locais. Todas as unidades verificadas tiveram um acerto de média de 45,82 em todas estas unidades, um acerto mediano se comparado a da ALOS.

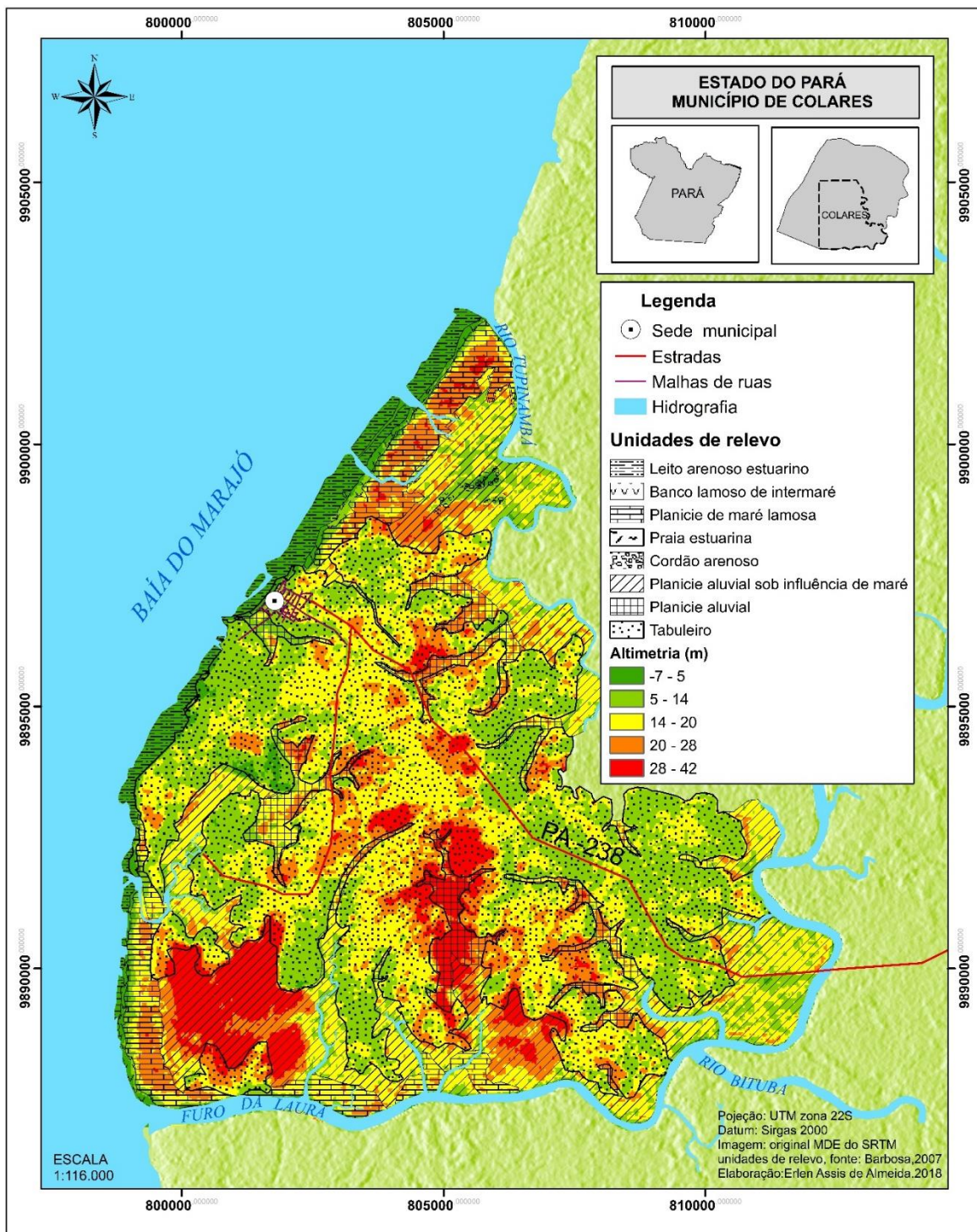
**Tabela 6:** Dados coletados do Mapa 5

| <b>Unidades de relevo</b>        | <b>Altitudes encontradas do mapa 5</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 5 (%)</b> |
|----------------------------------|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>   | -7 a 11                                | Sem vegetação 0 a 2m  | 90   |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b> | -1 a 25                                | Abaixo de 5m  | 73   |
| <b>Planície de maré lamosa</b>   | -1 a 36                                | Abaixo de 5m  | 3,2  |
| <b>Praia estuarina</b>           | -2 a 18                                | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 75,4                                       |
| <b>Cordão arenoso</b>            | 2 a 28                                 | Campo equatorial higrofilo ou   | 58,52                                      |

|  |          |                                 |                          |
|--|----------|---------------------------------|--------------------------|
|  |          | campo misto<br>varia de 5 a 12m |                          |
| <b>Planície aluvial sob<br/>influência de maré</b> | 0 a 42   | Abaixo de 5m                    | 1,08                     |
| <b>Planície aluvial</b>                            | Variável | Variável                        | Sem dados<br>comprovados |
| <b>Tabuleiro</b>                                   | -1 a 42  | Acima de 5 e até<br>30m         | 95                       |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 5:** Mapa hipsométrico gerado do MDE original do SRTM sem nenhum tipo de conversão, com a sobreposição das unidades de relevo.



Fonte: Elaboração própria (2018).

## 5.2. Unidades de Relevo e Hipsometria nos MDEs corrigidos

### 5.2.1. Análise do MDE corrigido do Alos Palsar

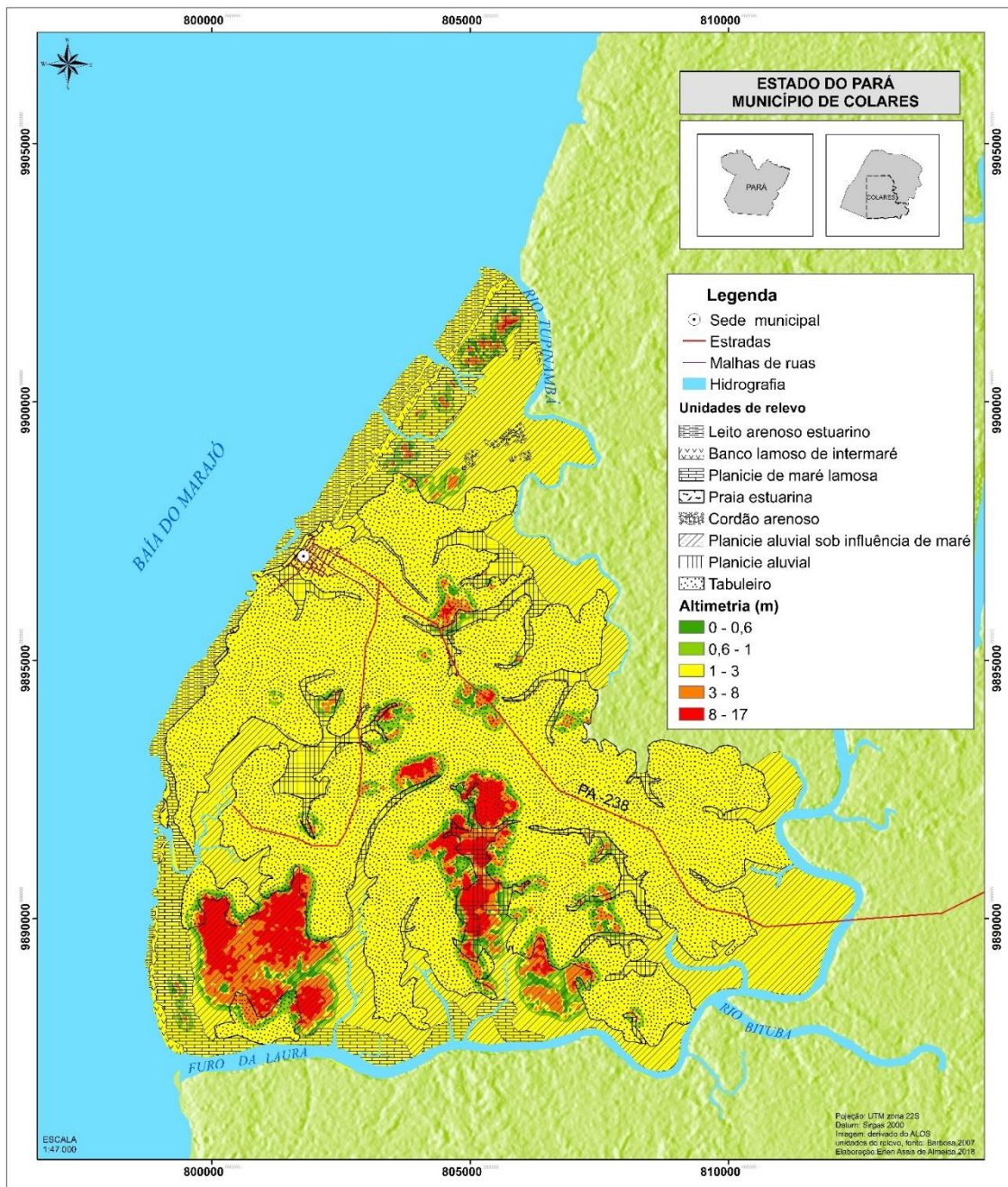
Com a correção do MDE do ALOS a média de acerto passou a ser de 52,06%, houve uma melhora nas altitudes identificadas após correção dos números digitais, mas devido ao MDE original ter apresentado muitos valores negativos e altitudes baixas não foi possível uma melhora em locais como o cordão arenoso e toda a região de estudo apresentou pouca ou nenhuma variabilidade altimétrica. A seguir tem-se os dados coletados da tabela 7 e mapa 6.

**Tabela 7:** Dados coletados do Mapa 6

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas no mapa 6</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 6 (%)</b> |
|--|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 0 a 1                                  | Sem vegetação 0 a 2m  | 66,67                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 0 a 1                                  | Abaixo de 5m  | 33,33                                      |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 0 a 11                                 | Abaixo de 5m  | 97,00                                      |
| <b>Praia estuarina</b>                         | Sem variação apenas 1m                 | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 16,67                                      |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 1 a 2m                                 | Campo equatorial higrofilo ou campo misto varia de 5 a 12m            | 0,00                                       |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 0 a 17m                                | Abaixo de 5m  | 87,80                                      |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                               | Variável  | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | 0 a 16                                 | Acima de 5 e até 30m  | 63,00                                      |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 6:** MDE da ALOS corrigido com a sobreposição das unidades de relevo.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

### 5.3.1. Análise no MDE corrigido do SRTM

Com a correção do MDE do SRTM (mapa 7) houve um acerto de média de 54,01% um aumento da porcentagem em relação ao modelo original, o que mostra que a metodologia de correção foi uma grande melhoria, no entanto planície de maré lamosa e planície aluvial sob influência de maré manteve sua porcentagem baixa nestes locais, houve também bastante variabilidade altimétrica e como o

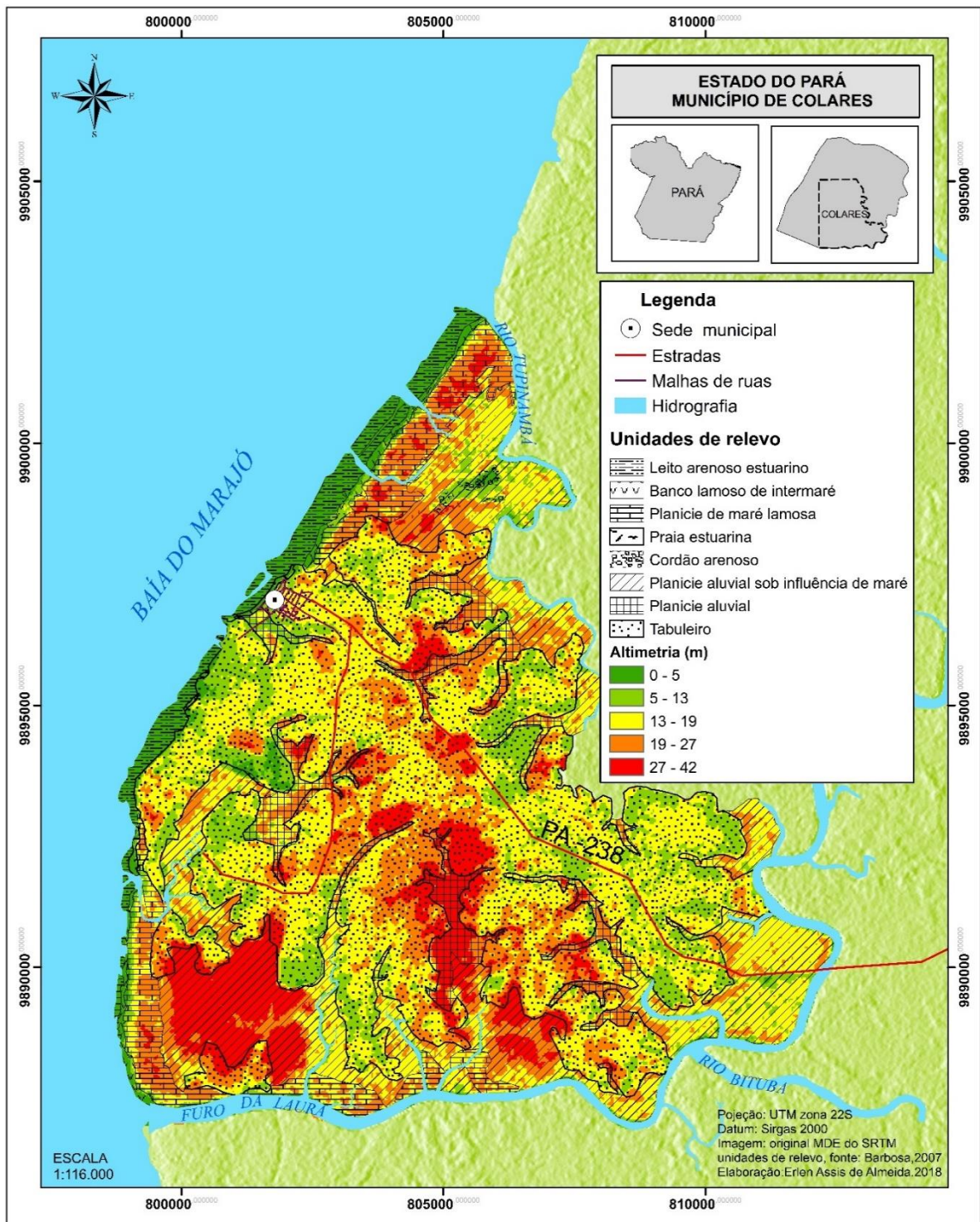
SRTM não obteve tantos valores negativos se comparado com a da ALOS fez com que a maioria das unidades abaixo obtivesse no modo geral uma boa porcentagem de acerto.

**Tabela 8:** Dados coletados do Mapa 7

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas do mapa 7</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 7 (%)</b> |
|--|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 0 a 11m                                | Sem vegetação 0 a 2m  | 97,13                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 0 a 25m                                | Abaixo de 5m  | 74,04                                      |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 0 a 36m                                | Abaixo de 5m  | 3,2  |
| <b>Praia estuarina</b>                         | 0 a 18m                                | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 75,07                                      |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 2 a 28                                 | Campo equatorial higrofilo ou campo misto varia de 5 a 12m            | 31,17                                      |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 0 a 42                                 | Abaixo de 5m  | 1,08                                       |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                               | Variável  | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | 0 a 42m                                | Acima de 5 e até 30m  | 96,43                                      |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 7:** MDE do SRTM corrigido com a sobreposição das unidades de relevo.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

## 5.4. Método de Interpolação para a Geração de MDTs nos MDEs corrigidos

### 5.4.1. Geração do MDT nos MDEs corrigidos da Alos Palsar

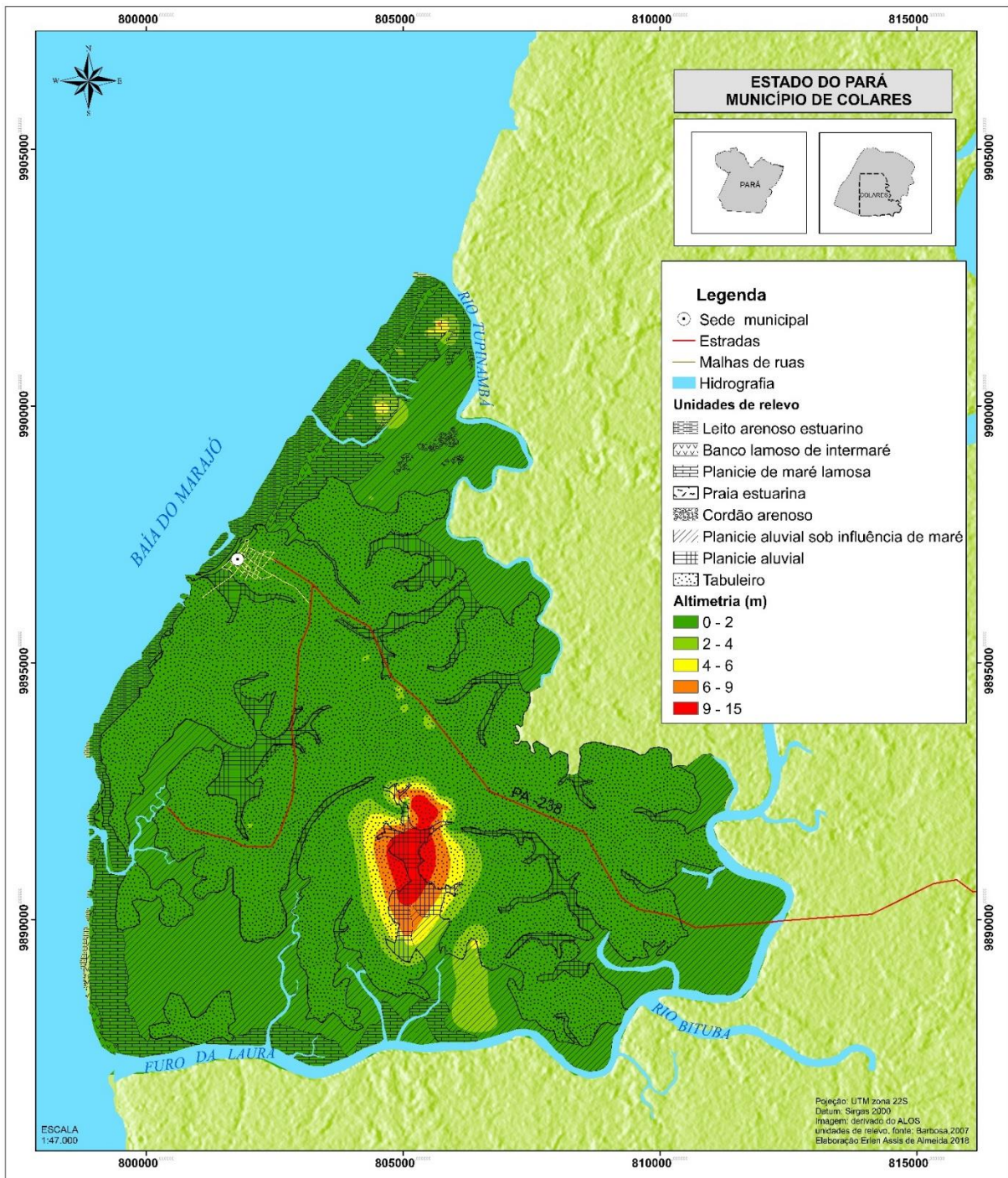
De acordo com o mapa 8 e tabela 9 e fazendo uma média de acerto do resultado deste mapa foi possível ter um aproveitamento de 42,05%, houve um aumento bem considerável se comparado com o original modelo, todavia mais uma vez o excesso de valores negativos e falta de informações em determinados locais fez com que o resultado do mapa 8 não fosse suficientemente satisfatório.

**Tabela 9:** Dados coletados do Mapa 8

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas no mapa 8</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 8 (%)</b> |
|--|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 0,6 a 1,5 m                            | Sem vegetação 0 a 2m  | 80,00                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 0,6 a 1,7m                             | Abaixo de 5m  | 40,2                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 0,5 a 7m                               | Abaixo de 5m  | 97,00                                      |
| <b>Praia estuarina</b>                         | Sem variação.<br>Apenas 1m             | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 16,67                                      |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 0,75 a 1m                              | Campo equatorial higrofilo ou campo misto varia de 5 a 12m            | 00,00                                      |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 0 a 10m                                | Abaixo de 5m  | 98,00                                      |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                               | Variável  | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | 0 a 15                                 | Acima de 5 e até 30m  | 60,5                                       |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 8:** MDT gerado do MDE corrigido da ALOS.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

### 5.5.1. Geração do MDT no MDE corrigido do SRTM

Com o MDE corrigido do SRTM foi utilizado a ferramenta de interpolação com os pontos correspondentes ao intervalo de 0 a 0,2 do NDVI da imagem Rapideye (ver capítulo anterior sobre métodos). De acordo com mapa 9 e tabela 10, a média

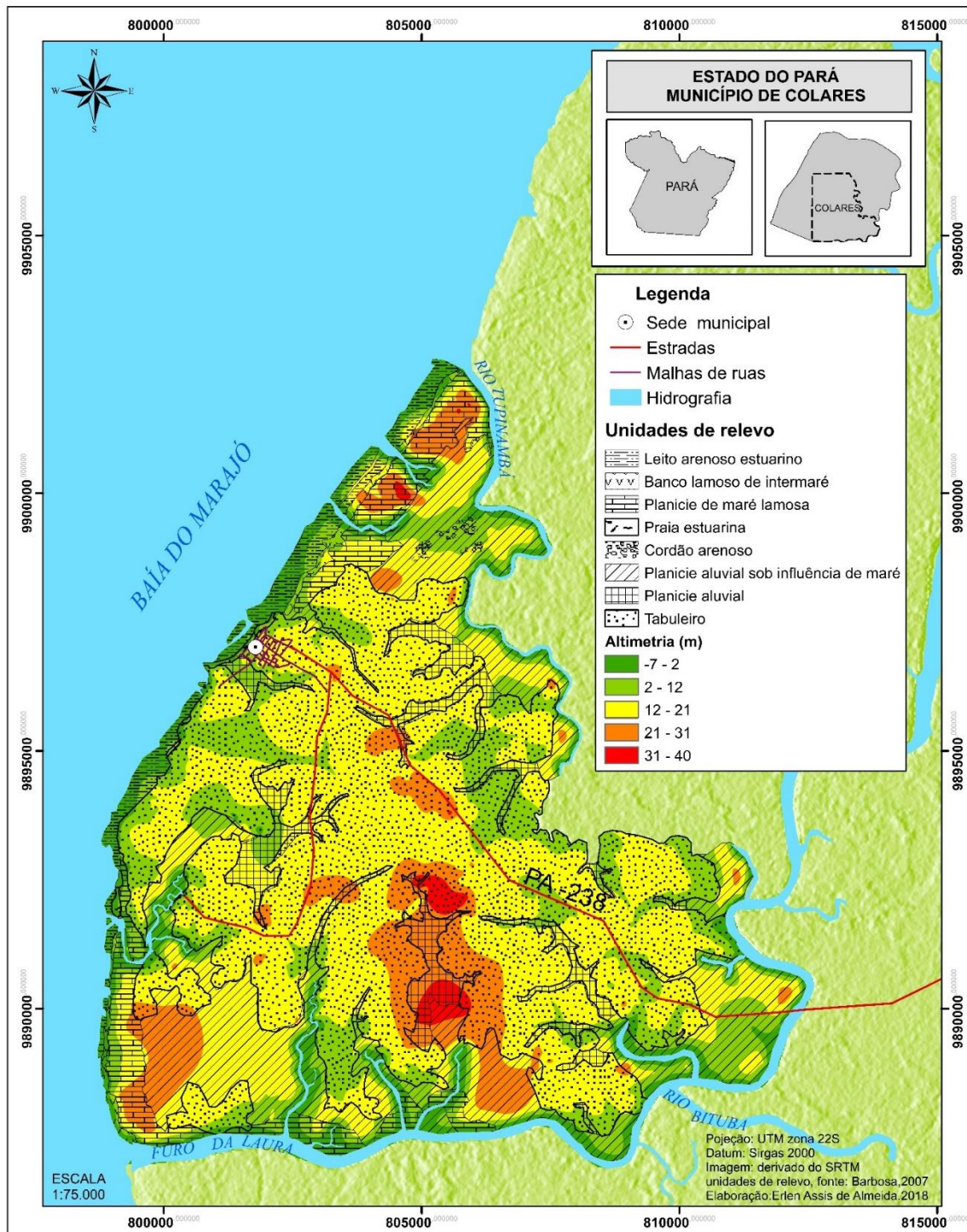
de acerto para todas as unidades analisadas foram de 50,43%. Neste resultado houve um aumento na porcentagem de acerto comparado ao original em algumas unidades de relevo, na planície de maré lamosa e planície aluvial sob influência de maré que no original obtiveram uma porcentagem de acerto de 3,2% e 1,08% no MDT houve um percentual de acerto maior que passou a ser de 22,31% a 14,65% obtendo uma grande melhora neste modelo, todavia em locais como leito arenoso estuarino a porcentagem de acerto diminuiu devido ter ocorrido um aumento de altitude nesta área passando a ser de apenas 25%, o que fez com que a média de acerto das sete unidades de relevo diminuísse em relação ao MDE corrigido que foi de 54,01%.

**Tabela 10:** Dados coletados do Mapa 9.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas no mapa 9</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                      | <b>Porcentagem de acerto do mapa 9 (%)</b> |
|--|--|---|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | -7 a 22m                               | Sem vegetação 0 a 2m  | 25,00                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | -7 a 26m                               | Abaixo de 5m  | 42   |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | -7 a 35m                               | Abaixo de 5m  | 22,31                                      |
| <b>Praia estuarina</b>                         | -7 a 9m                                | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m. | 76,2                                       |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | -1 a 20                                | Campo equatorial higrófilo ou campo misto varia de 5 a 12m            | 64,83                                      |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | -7 a 33                                | Abaixo de 5m  | 14,65                                      |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                               | Variável  | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -7 a 40                                | Acima de 5 e até 30m  | 96,80                                      |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 9:** MDT gerado do MDE corrigido do SRTM.



Fonte: Elaboração própria (2018).

## 5.6. Geração de MDT a partir dos dados de Barbosa (2007)

### 5.6.1. Análise altimétrica no MDE da ALOS PAUSAR

Apesar dos métodos citados anteriormente terem reduzidos os erros em alguns locais da área de estudo não foi suficiente para reduzir os erros que estavam

presentes nos MDEs originais, foi necessário fazer uma análise mais aprofundada em cada MDE original e manteve apenas os valores que correspondiam as altitudes apresentadas por Barbosa (2007) e utilizou as metodologias que foram citadas anteriormente para a construção de novos modelos.

Na tabela 11 foi feito uma separação dos valores altimétricos obtidos nos MDE originais em que houve a conversão dos pixels para pontos, foi gerado 743.203 pontos da área de estudo do MDE da ALOS PAUSAR e foram divididos estes pontos (através da ferramenta “selection by location” no Arcgis) e sobrepostos em cada unidade de relevo afim de examinar as cotas de altitudes nestes locais.

Verifica-se na tabela 10 dos dados obtidos da ALOS, que os tabuleiros obtiveram cotas de -28 a 16m, mais de 90% corresponde a valores negativos, e apenas 3,3% corresponde aos valores de altitudes apresentados por Barbosa (2007), na planície aluvial sob influência de maré em que prevalece a vegetação aluvial que são as famosas várzeas e igapós em espécies de mangues as altitudes nestes locais foram de -28 a 17m e apenas 8% dos valores ficaram de acordo com a realidade local. No leito arenoso estuarino em que não existe cobertura vegetal o erro foi grotesco pois nenhum dos valores desta área foi mantido visto que dos 26.126 pontos encontrados nesta área todos estes valores estão muito abaixo de zero. No banco lamoso de intermaré em que se tem uma vegetação pioneira de mangue ou aluvial 99% dos valores são negativos e menos de 1% dos valores foram mantidos, planície de maré lamosa foi a unidade que mais obteve acerto, uma porcentagem de 16,8 % nesta área em prevalece o mangue com espécies facultativas das várzeas.

Na Praia estuarina nenhum dos valores foram mantidos pois todos os valores desta área ficaram muito abaixo de zero não tendo nenhuma porcentagem de acerto nesta área, em alguns trechos impera uma vegetação pioneira de mangue. Nos cordões arenosos em que se tem um campo equatorial higrófilo ou campo misto nenhum dos valores foram mantidos pois as cotas nestes locais foram de -28 a 2m, isto é, nenhum valor chegou perto das altitudes reais deste local.

A planície aluvial é um caso muito específico pois é uma área com cotas muito variável para se obter a real altitude deste local teria que ser feito uma análise apenas para esta região, nestas áreas tem-se rios de águas claras e escuras tem também uma vegetação de muitas várzeas e igapós sabe-se apenas que nesta área

as altitudes são a partir de 5m e podem chegar a altitudes consideradas altas, entretanto cada local é muito específico, sendo assim foram mantidos os valores que estão acima de 5m.

Em suma, apenas 5,92% de 743.203(gerados do MDE original da ALOS para todas as unidades de relevo) dos valores foram usados para a construção dos derivados que vem a seguir (tabela 11 e12).

**Tabela 11:** Distribuição dos pontos gerados dos pixels do MDE da ALOS PAUSAR.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Total de pontos gerados da área de estudo</b> | <b>Total de Pontos negativos (%)</b> | <b>Altimetria de Barbosa (2007)</b> | <b>Altimetria encontrada no MDE</b> | <b>Total de pontos mantidos (%)</b> |
|--|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tabuleiro</b>                               | 417.719  | 92,7                                 | 5m até 30m                          | -28 a 16m                           | 3,3                                 |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 185.561  | 79,72                                | No máximo até 5m                    | De -28 a 17m                        | 8,03                                |
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 26.126   | Todos                                | De 1 a 2m                           | -32 a -11m                          | Nenhum                              |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 6.593  | 99,98                                | 0 a 5m                              | -28 a 1m                            | 0,03                                |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 53.444   | 90,45                                | Abaixo de 5m                        | -27 a 11m                           | 16,8                                |
| <b>Praia estuarina</b>                         | 1.886  | Todos                                | 0 a 5m                              | -28 a -6m                           | Nenhum                              |
| <b>Planície aluvial</b>                        | 49849  | 77                                   | Variável.<br>Acima de 5m            | -21 a 17m                           | 13,87                               |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 2.025  | 98,2                                 | 5 a 12m                             | -24 a 2m                            | Nenhum                              |
| <b>Total</b>                                   | 743.203  |                                      |                                     |                                     |                                     |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Tabela 12:** Distribuição do total de pontos dos valores que foram mantidos.

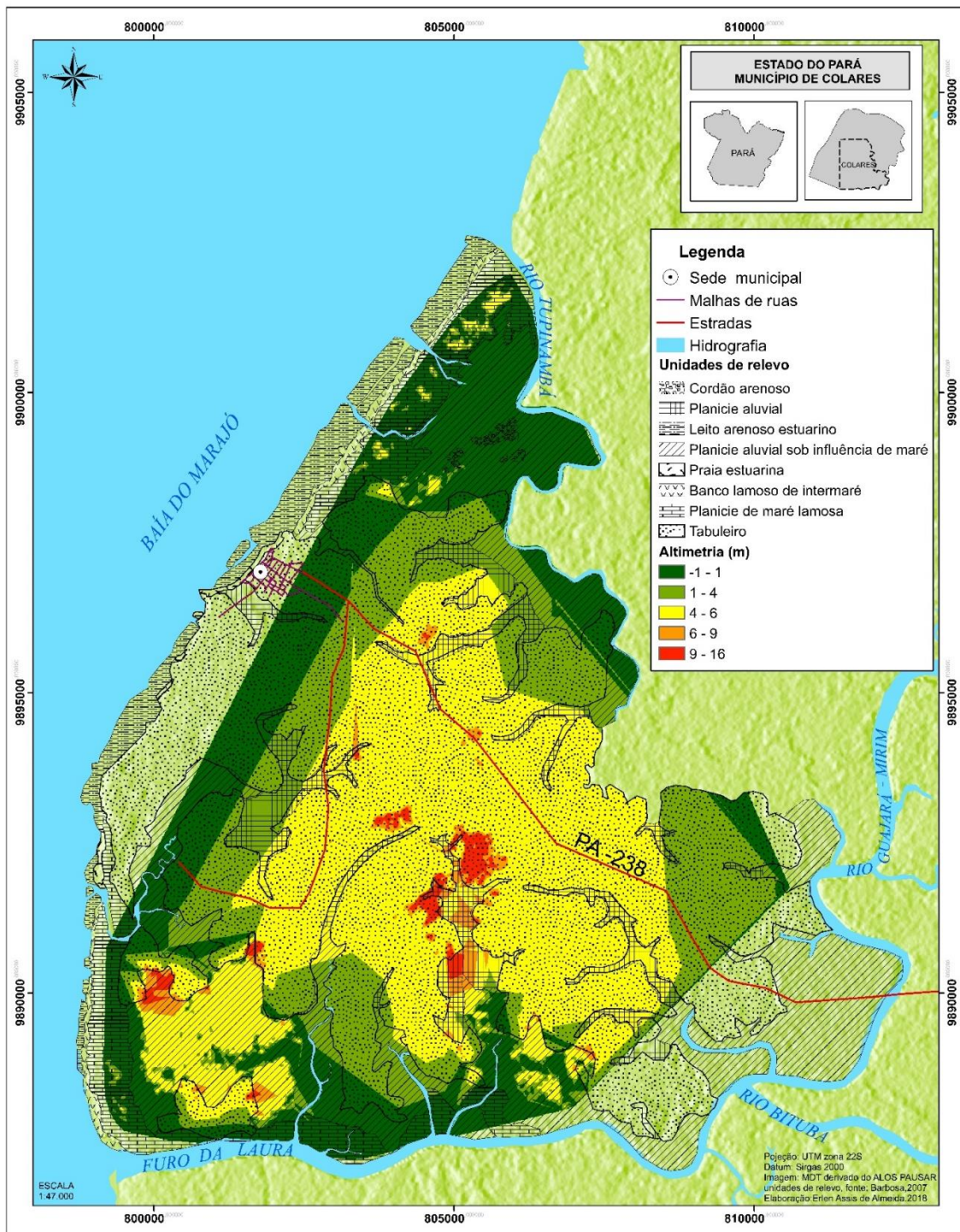
| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Total de pontos mantido</b> | <b>Total de pontos mantidos x total de pontos gerados de todas as unidades de relevo (%)</b> |
|--|--------------------------------|--|
| <b>Tabuleiro</b>                               | 14.015                         | 1,8  |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 14.902                         | 2  |
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | nenhum                         | 0  |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 2                              | 0  |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 8.978                          | 1,2  |
| <b>Praia estuarina</b>                         | nenhum                         | 0  |
| <b>Planície aluvial</b>                        | 6.916                          | 0,93   |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | nenhum                         | 0  |
| <b>Total</b>                                   | 44.813                         | 5,92   |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Com a obtenção dos 5,92% dos acertos do MDE da ALOS PAUSAR foram construídos os derivados em que como já foi dito anteriormente serão chamados de MDTs.

No mapa 10 foi construído o MDT com o método TIN usado por Neto (2010), criou-se uma estrutura do tipo vetorial com as coordenadas x e y e o atributo de altitude z e com apenas 5,92% dos valores não foi possível criar um raster que cobrisse toda a área de estudo com esta ferramenta, pois houve a exclusão de muitos valores.

**Mapa 10:** Mapa MDT gerado do MDE da ALOS, utilização do método TIN.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Ainda que o método não tenha coberto toda região houve um acerto em algumas áreas como na planície aluvial sob influência de maré ao sul da área de estudo observa-se que nesta área as mancha vermelha com cotas máxima não estão tão forte como visto no MDE original, os extremos valores negativos não estão

mais tão presentes, em resumo não se pode dizer que este método foi satisfatório e nem se pode fazer uma análise mais completa, em virtude que não conseguiu criar um raster para toda a área de estudo, todavia o método se comportou bem em locais que foi possível observar.

Com apenas os valores que foram mantidos da ALOS (rever tabela 11 e 12) criou-se o mapa 11, foi utilizada a ferramenta de interpolação “topo to raster” e interpolou os valores que foram mantidos com a hidrografia da região (ver capítulo anterior sobre métodos), com está técnica criou-se um raster que cobriu toda a região e na tabela 13 pode-se ver mais detalhadamente os dados que foram obtidos deste mapa.

O mapa 11 apresentou um bom resultado originado ALOS, houve um aumento considerável na porcentagem de acerto em todas as unidades de relevo, constatou-se que no leito arenoso estuarino, banco lamoso de intermaré e praia estuarina obtiveram resultados aceitáveis para a região se comparado com o MDE original que só apresentou para estas áreas valores negativos ou cotas muito altas. Neste mapa, o leito arenoso estuarino obteve cotas que variam de -4 a 4m com um acerto mediano e aceitável se comparado com o MDE original, na praia estuarina valores que vão de -4 a 4m também uma porcentagem aceitável, banco lamoso de intermaré altitudes de -4 a 1 um pouco a baixo do esperado.

Em síntese houve uma grande melhora no resultado desse mapa com relação ao modelo original, uma média de 47,98% considerando as sete unidades de relevo, todavia locais como cordão arenoso ficaram com cotas muito abaixo do esperado.

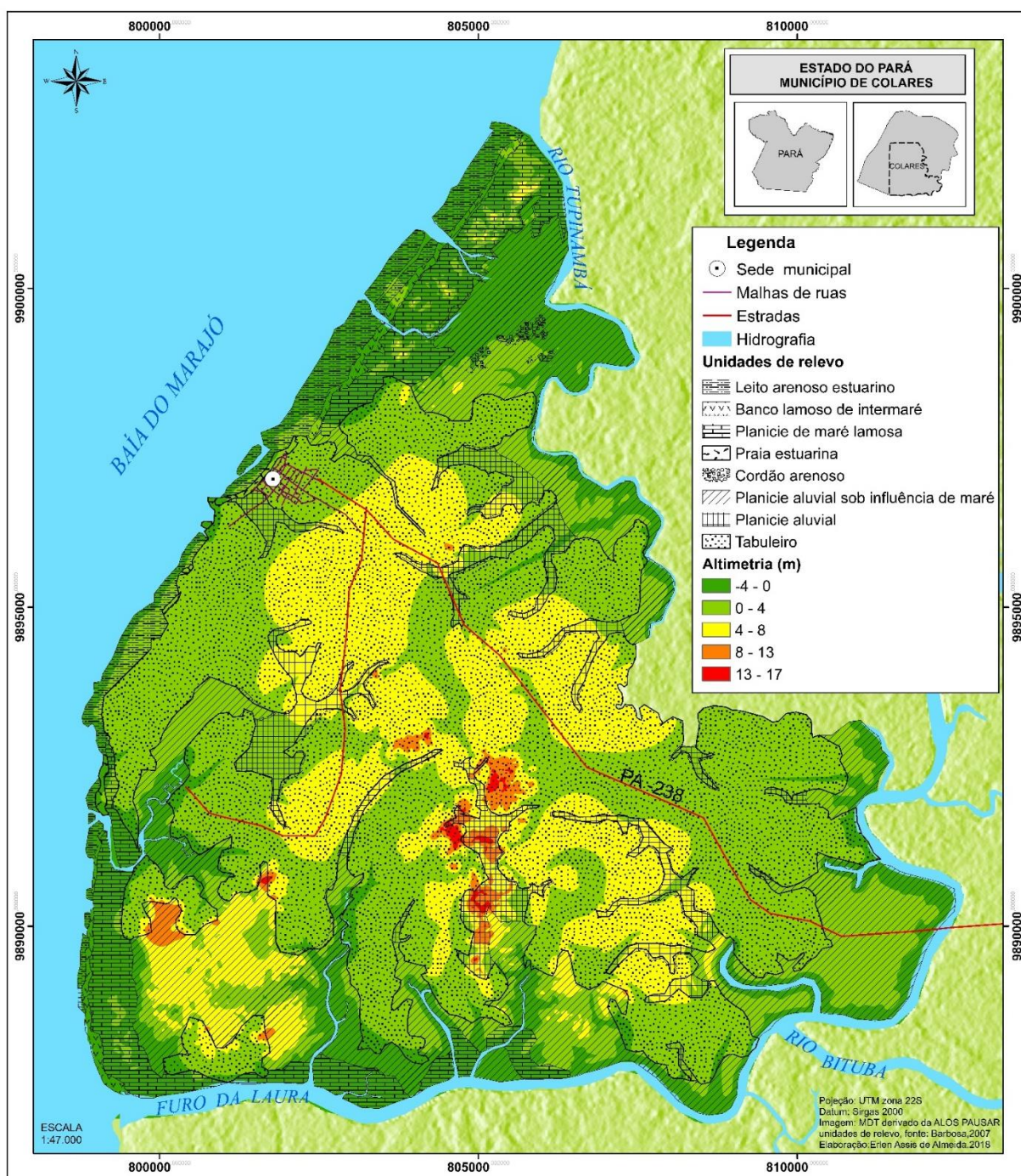
**Tabela 13:** Dados coletados do mapa 11.

| <b>Unidades de relevo</b>        | <b>Altitudes encontradas mapa 11</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b>                     | <b>Porcentagem de acerto do mapa 11(%)</b> |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>   | -4 a 4                               | Sem vegetação 0 a 2m   | 55,55                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b> | -4 a 1                               | Abaixo de 5m   | 33,33                                      |
| <b>Planície de maré lamosa</b>   | -4 a 6m                              | Abaixo de 5m   | 70,00                                      |
| <b>Praia estuarina</b>           | -4 a 4                               | Gradiente mais elevado na porção superior das praias varia de 0 a 5m | 77,77                                      |
| <b>Cordão arenoso</b>            | -2 a 2m                              | 5 a 12m  | 0,00                                       |

|  |          |                      |                       |
|--|----------|----------------------|-----------------------|
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | -4 a 14m | Abaixo de 5m         | 42,10                 |
| <b>Planície aluvial</b>                        | váriável | Variável             | Sem dados comprovados |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -4 a 16m | Acima de 5 e até 30m | 57,14                 |

Fonte: Elaboração própria (2018).

**Mapa 11:** Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação apenas com valores mantidos.



Fonte: Elaboração própria (2018).

No mapa 12 foi utilizado o método usado por Folharini, Oliveira, Furtado (2015) em que eles interpolaram apenas os pontos de altitudes correspondente no intervalo de 0 a 0,2 do NDVI da imagem rapidezeye que tem uma resolução espacial de 5m, a diferença neste método foi o uso de dos pontos que foram mantidos, foi usado os 5,92% dos acertos do MDE da ALOS e utilizou desses pontos que foram mantidos(rever tabela 11 e 12) os pontos referentes a solo exposto e vegetação rasteira (ver capítulo anterior sobre métodos).

Dessa maneira, o resultado desta técnica pode ser visto no mapa 12, fazendo uma análise e de acordo com os dados da tabela 13, o leito arenoso estuarino apresenta altitudes que variam de -3 a 3m, banco lamoso de intermaré os valores foram de -3m a 3m, na planície de maré lamosa a maioria dos locais apresentaram cotas de -3 a 6m, praia estuarina obteve cotas que variam de -3 até 3m, cordão arenoso de -1 a 3m, planície aluvial sob influência de maré de -3 e em alguns locais chegam até a 10m, e tabuleiros de -3 até 16m, planície aluvial por ser muito variável não foi considerado.

Assim, comparando estas altitudes acima com as fornecidas por Barbosa (2007) e constatando na tabela14, nota-se as unidades banco lamoso de intermaré, praia estuarina e planície de maré lamosa obtiveram resultado médio de para região.

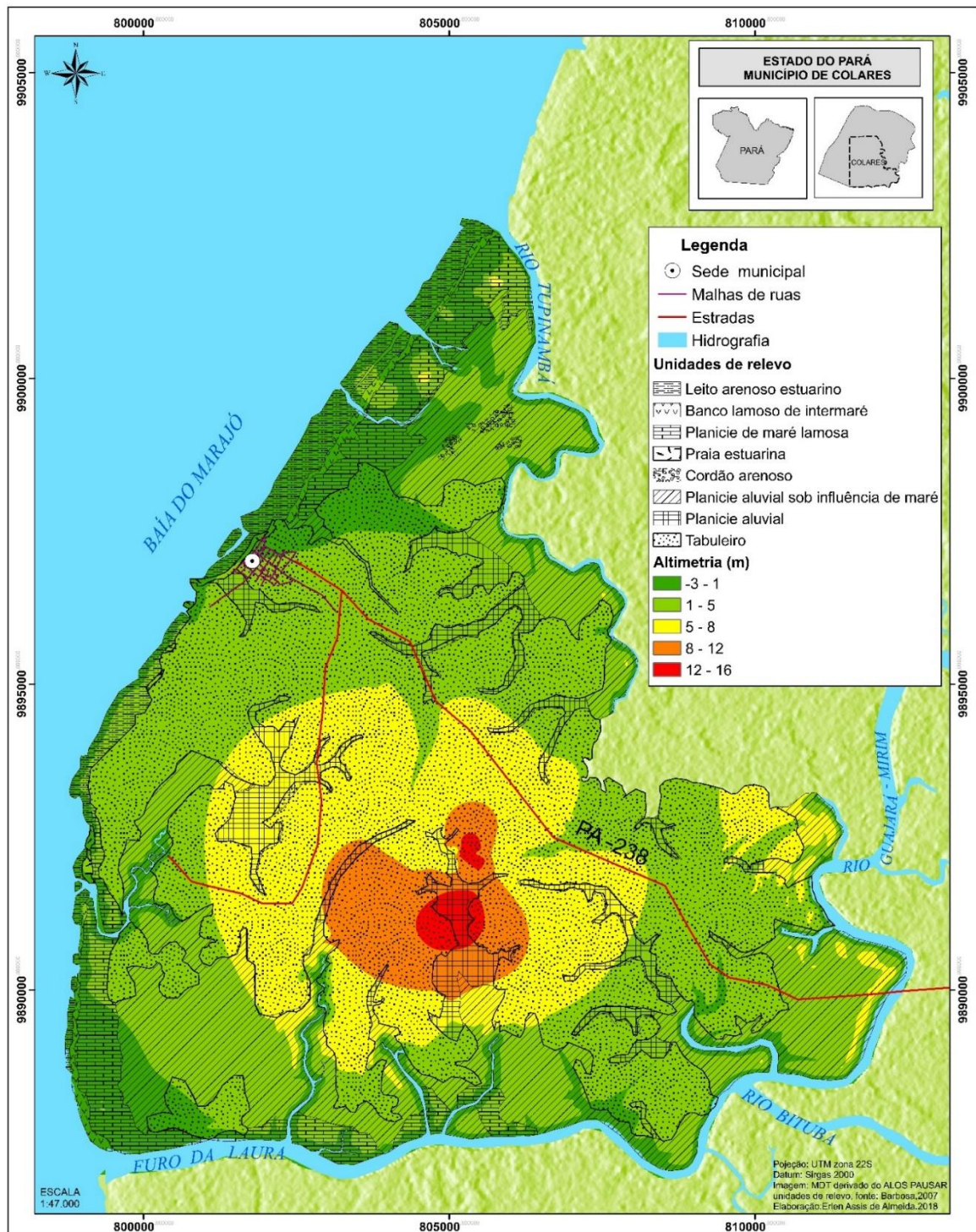
Considerando as sete unidades de relevo a média de acerto ficou em 49,02%, este derivado teve uma grande melhora em relação ao original.

**Tabela 14:** Dados coletados do mapa 12.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas mapa 12</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b> | <b>Porcentagem de acerto do mapa 12 (%)</b> |
|--|--------------------------------------|--|---|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | -3 a 3                               | 0 a 2m   | 61,00                                       |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | -3 a 3                               | Abaixo de 5m                                     | 57,14                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | -3 a 6                               | Abaixo de 5m                                     | 68,00                                       |
| <b>Praia estuarina</b>                         | -3 a 3                               | Abaixo de 5m                                     | 50,00                                       |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | -1 a 3                               | 5 a 12m  | 0   |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | -3 a 10                              | Abaixo de 5m                                     | 52,00                                       |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                             | Variável   | Sem dados comprovados                       |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -3 a 16                              | 5m até 30m                                       | 55,00                                       |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 12:** Mapa altimétrico da interpolação dos valores correspondente ao intervalo 0 a 0,2.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

### 5.6.2. Análise altimétrica no MDE do SRTM

Feito o mesmo procedimento com o MDE SRTM, fez a sobreposição dos pontos em cima de cada unidade de relevo, de acordo com a tabela 15 houve um

aproveitamento nos tabuleiros de apenas 2,1%, dos pixels convertidos em pontos foram gerados um total de 69.304 pontos nesta área com altitudes que variam de -3 a 42m e de acordo com as cotas de Barbosa (2007) este local por ser uma área de vegetação secundária e terra firme com características de campo e cerrado o correto seria apresentar altitudes que variam de 5 a no máximo 30m o que mostra que o MDE original não esteve tão equivocado nesta área, no entanto foram mantidos os pontos que correspondiam a esses valores apresentados por este autor (tabela 10). Na tabela 15 foi feita uma porcentagem do total de pontos mantidos de cada unidade com o total de pontos gerados de todas as unidades, ao sumo apenas 12,04% dos pontos gerados foram reaproveitados do SRTM, praticamente o dobro da porcentagem mantida da ALOS.

Leito arenoso estuarino, banco lamoso de intermaré e praia estuarina foram os que tiveram um melhor rendimento, cada unidade foi aproveitada 97,15%, 73,84% e 73,80 respectivamente, a porcentagem alta do leito arenoso estuarino pode-se associar a falta de vegetação desta região.

Planície aluvial sob influência de maré foi o menor aproveitamento de todos apenas 1,08% dos valores desta unidade foram mantidos, a altimetria neste MDE foi de 0 a 30m e muitos pontos foram excluído.

Na planície de maré lamosa foram encontradas altitudes que variam de -1 a 36m o que pode ser considerado um absurdo porque nesses locais prevalece cotas com baixa altimetria, foram mantidas as cotas abaixo de 5m, o que correspondeu a apenas 3,2% dos pontos gerados para essa unidade.

Os feixes de cordões arenosos a altimetria encontrada variou entre 2 a 20m, com um aproveitamento de mais de 60% dos pontos desta área o que mostra que o original MDE não esteve tão equivocado.

**Tabela 15:** Distribuição dos pontos gerados dos pixels do MDE do SRTM.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Total de pontos gerados da área de estudo</b> | <b>Total de Pontos negativos (%)</b> | <b>Altimetria de Barbosa (2007)</b> | <b>Altimetria encontrada no MDE</b> | <b>Total de pontos mantidos (%)</b> |
|--|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tabuleiro</b>                               | 69.304   | 0,002                                | 5 a no máximo 30m                   | -3 a 42m                            | 2,1                                 |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 30.739   | Nenhum                               | 0 a 5m                              | 0 a 30m                             | 1,08                                |
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 4.290  | Nenhum                               | De 0 a no máximo 2m                 | -7 a 11m                            | 97,15                               |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 1.074  | 0,09                                 | 0 a 5m                              | -1 a 25m                            | 73,84                               |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 8.998  | 0,01                                 | Abaixo de 5m                        | -1 a 36m                            | 3,2                                 |
| <b>Praia estuarina</b>                         | 313  | 1,2                                  | 0 a 5m                              | -2 a 18m                            | 73,80                               |
| <b>Planície aluvial</b>                        | 8356   | Nenhum                               | Variável. Acima de 5m               | 4 a 42m                             | 87,82                               |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 340  | Nenhum                               | 5 a 12m                             | 2 a 28m                             | 61,47                               |
| <b>total</b>                                   | 123.414  |                                      |                                     |                                     |                                     |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Tabela 16:** Distribuição dos pontos dos valores que foram mantidos.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Total de pontos mantido</b> | <b>Total de pontos mantidos x total de pontos gerados de todas as unidades de relevo (%)</b> |
|--|--------------------------------|--|
| <b>Tabuleiro</b>                               | 1.514                          | 1,2  |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 335                            | 0,27   |
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 4.168                          | 3,38   |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 793                            | 0,64   |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 288                            | 0,23   |
| <b>Praia estuarina</b>                         | 231                            | 0,2  |
| <b>Planície aluvial</b>                        | 7338                           | 6,0  |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 199                            | 0,12   |
| <b>Total</b>                                   | 14.886                         | 12,04  |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

Ao todo foram mantidos apenas 12,04% de todos os valores obtidos do MDE do SRTM, então com as metodologias anteriores criou-se os derivados deste modelo, o primeiro MDT está no mapa 13, assim como no da ALOS foi utilizado a ferramenta TIN que gerou uma topologia com as altitudes dos valores que foram mantidos.

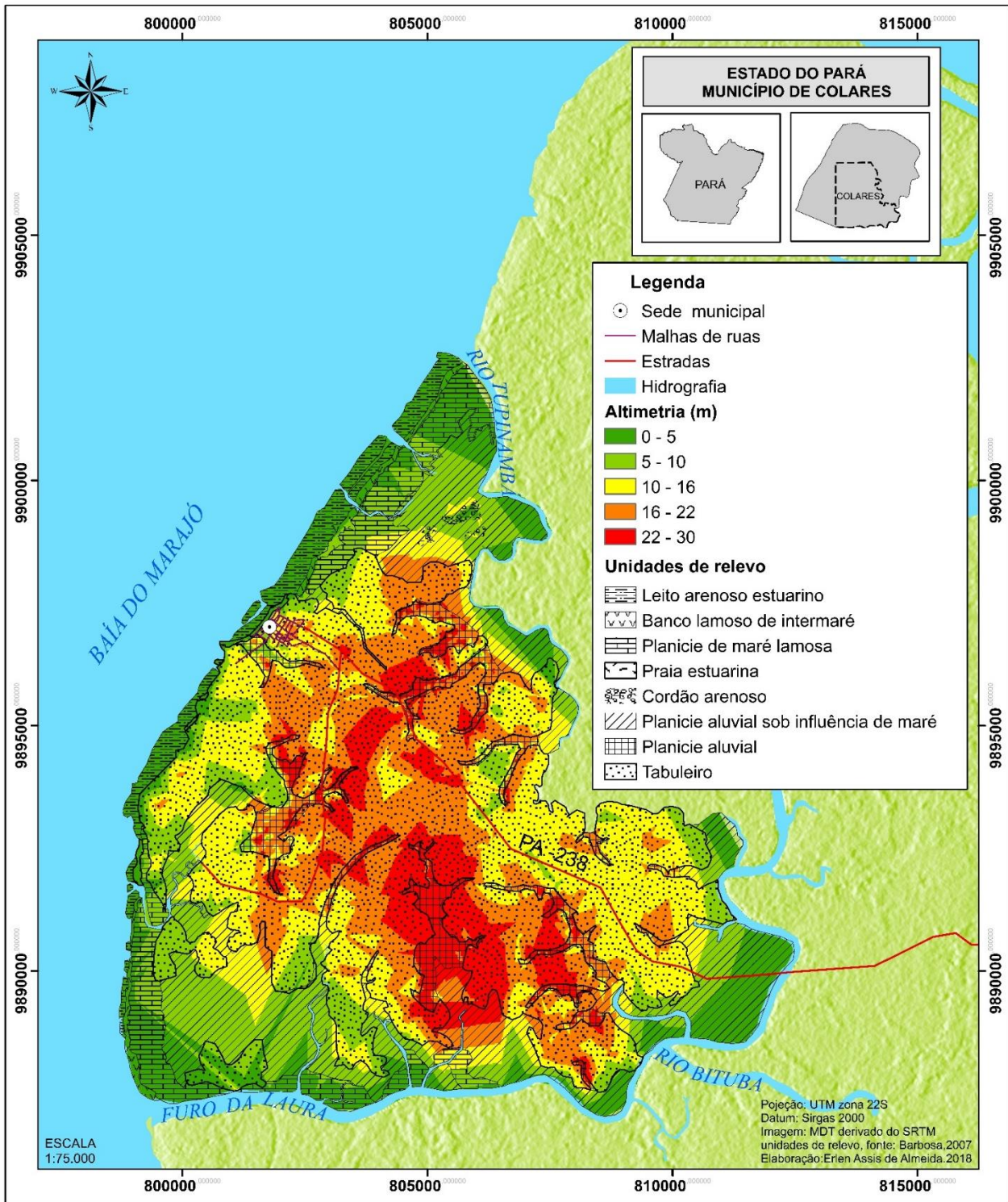
De acordo com a tabela 17 e o mapa 13 a média de acerto destas unidades foram de 76,40% uma média bem alta se comparo os resultados anteriores, no modelo original do SRTM as unidades que obtiveram valores mais aquém da realidade foram: planície de maré lamosa e planície aluvial sob influência de maré com 3,2% e 1,08% de acerto respectivamente, nota-se que a porcentagem subiu para 55,88% e 28,74%, observa-se uma grande melhora neste derivado do SRTM.

**Tabela 17:** Dados coletados do mapa 13, ferramenta TIN.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas no mapa 13 (m)</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b> | <b>Porcentagem de acerto do mapa 13(%)</b> |
|--|---|--|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | 0 a 5                                       | 0 a 2m   | 98   |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | 0 a 7                                       | Abaixo de 5m                                     | 88,8                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | 0 a 17                                      | Abaixo de 5m                                     | 55,8                                       |
| <b>Praia estuarina</b>                         | 0 a 10                                      | Abaixo de 5m                                     | 95   |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 2 a 13                                      | 5 a 12m  | 71   |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 0 a 30                                      | Abaixo de 5m                                     | 28,74                                      |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                                    | Variável   | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | 0 a 30                                      | 5m até 30m                                       | 97,4                                       |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 13:** Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta TIN.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

No mapa 14 repetiu o procedimento de interpolar os valores que foram mantidos de 12,06% com a hidrografia da região (ferramenta “topo to raster”), os dados obtidos deste mapa estão na tabela 18, a média de acerto das altitudes de

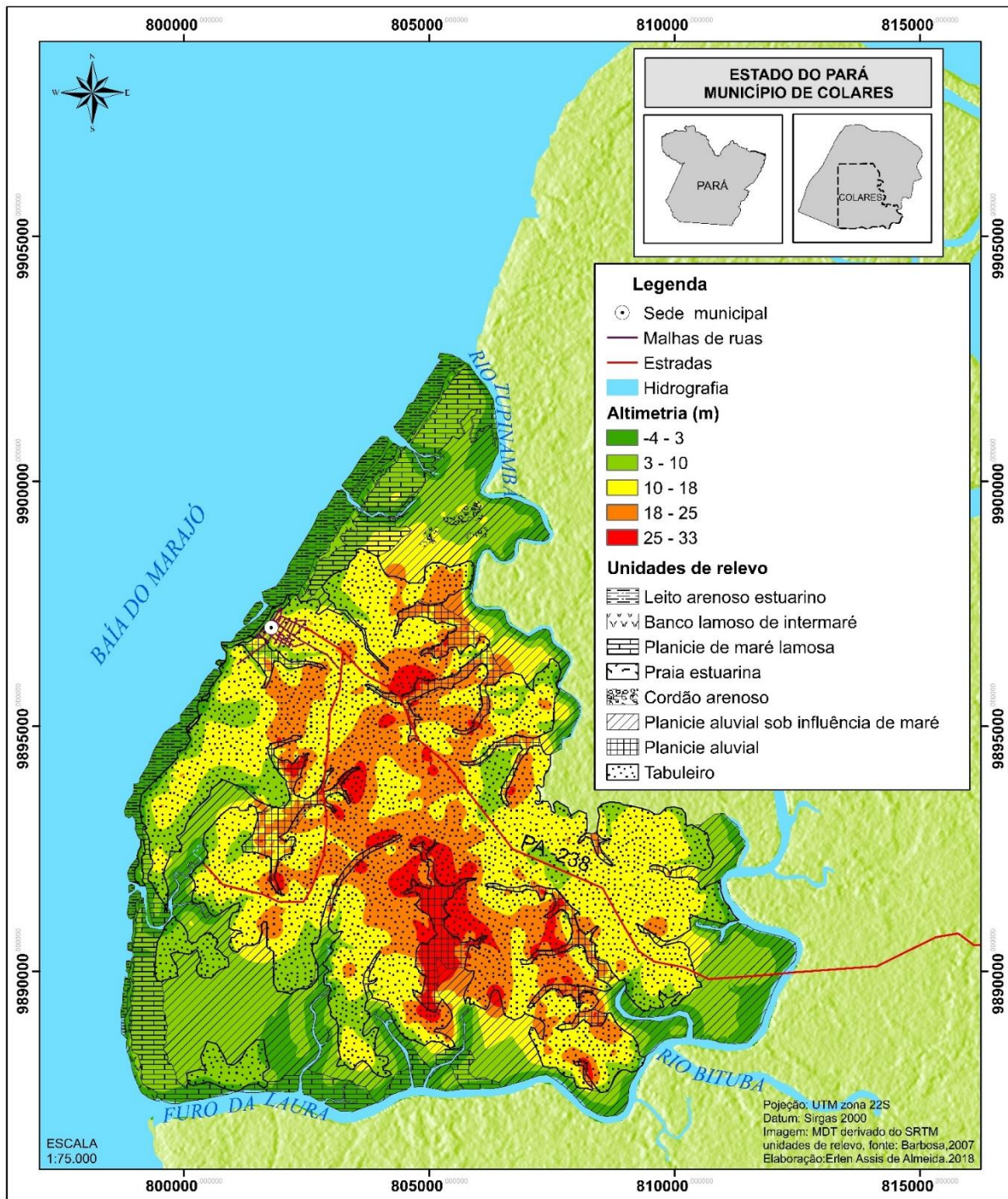
todas as unidades foram de 73,49% uma boa porcentagem também com um aumento de acerto considerável nas unidades que obtiveram um equívoco nos modelos originais.

**Tabela 18:** Dados coletados do mapa 14.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas no mapa 14 (m)</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b> | <b>Porcentagem de acerto do mapa 14 (%)</b> |
|--|---|--|---|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | -4 a 5                                      | Abaixo de 2m                                     | 70,00                                       |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | -4 a 9                                      | Abaixo de 5m                                     | 85,00                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | -4 a 14                                     | Abaixo de 5m                                     | 51,62                                       |
| <b>Praia estuarina</b>                         | -4 a 9                                      | Abaixo de 5m                                     | 93,5  |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 2 a 13                                      | 5 a 12m  | 73,5  |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | -4 a 31                                     | Abaixo de 5m                                     | 48,21                                       |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável                                    | Variável   | Sem dados comprovados                       |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -4 a 32                                     | 5m até 30m                                       | 92,6  |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 14:** Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

No mapa 15 foi utilizado novamente o método usado por Folharini, Oliveira, Furtado (2015) em que eles interpolaram apenas os pontos de altitudes correspondente no intervalo de 0 a 0,2 do NDVI, a diferença neste método é o uso de dos pontos que foram mantidos (visto nas tabelas anteriores 15 e 16), foi usado

os 12,02% dos pixels que corresponde aos acertos do MDE do SRTM e utilizou apenas os pontos referentes a solo exposto e vegetação rasteira.

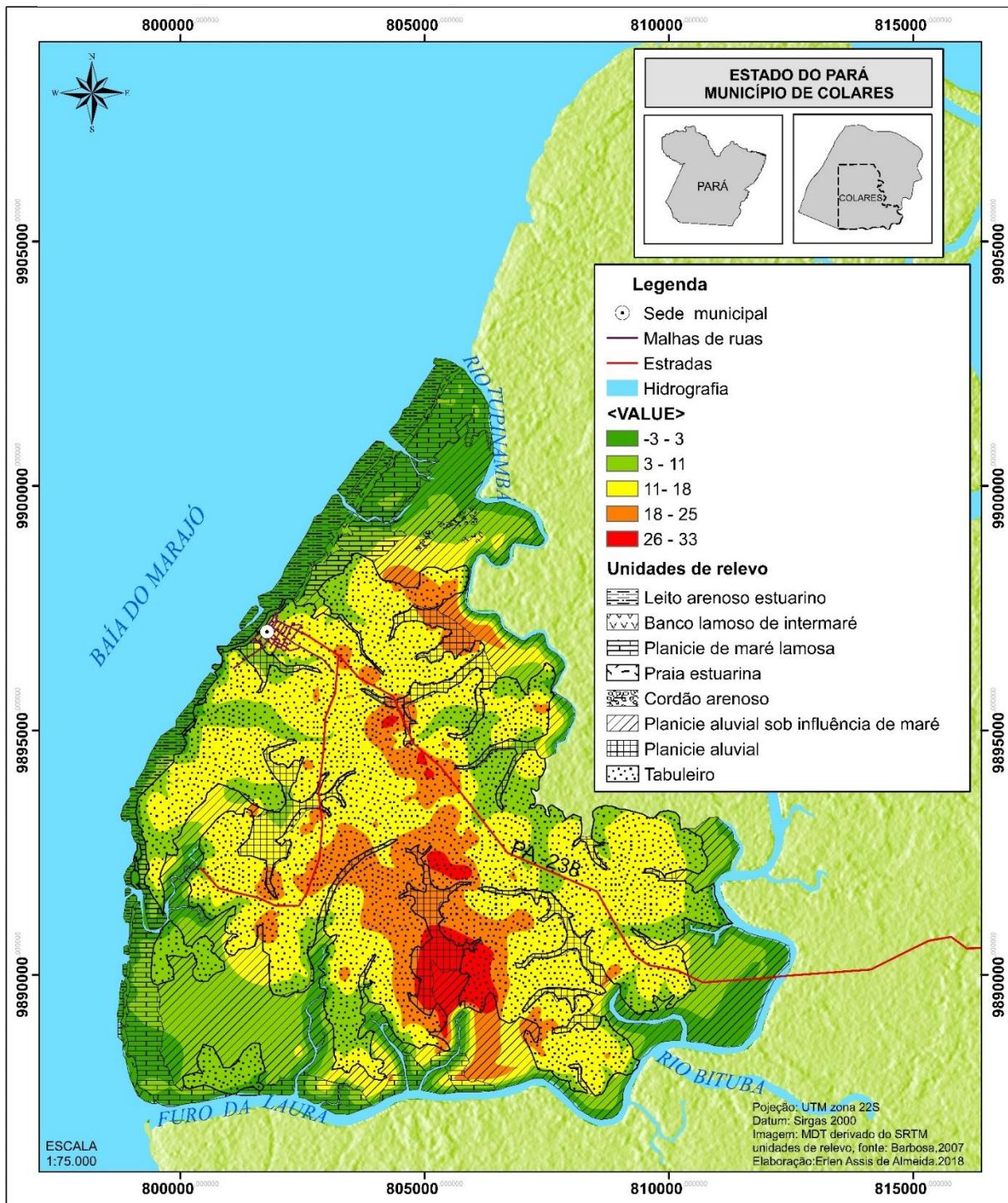
De todos os derivados e originais o mapa 15 foi o melhor resultado com uma média de acerto de todas as sete unidades de 80,35%, a planície de maré lamosa que estava bem aquém da realidade local no modelo original obteve um acerto de 75% uma porcentagem aceitável e cabível com o local de estudo.

**Tabela 19:** Dados coletados do mapa 15.

| <b>Unidades de relevo</b>                      | <b>Altitudes encontradas na figura do mapa 15 (m)</b> | <b>Altitudes apresentadas por Barbosa (2007)</b> | <b>Porcentagem de acerto do mapa 15(%)</b> |
|--|---|--|--|
| <b>Leito arenoso estuarino</b>                 | -3 a 13   | Abaixo 2m  | 90,22                                      |
| <b>Banco lamoso de intermaré</b>               | -3 a 6m   | Abaixo de 5m                                     | 95,5                                       |
| <b>Planície de maré lamosa</b>                 | -3 a 20   | Abaixo de 5m                                     | 75,00                                      |
| <b>Praia estuarina</b>                         | -3 a 6  | Abaixo de 5m                                     | 95,6                                       |
| <b>Cordão arenoso</b>                          | 2 a 14  | 5 a 12m  | 66,45                                      |
| <b>Planície aluvial sob influência de maré</b> | 2 a 33  | Abaixo de 5m                                     | 42,12                                      |
| <b>Planície aluvial</b>                        | Variável  | Variável   | Sem dados comprovados                      |
| <b>Tabuleiro</b>                               | -3 a 32m  | 5m até 30m                                       | 97,58                                      |

**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 15:** Mapa de representação dos valores que foram mantidos, utilização da ferramenta de interpolação.



Fonte: Elaboração própria (2018).

## **5.7. Diagnóstico dos MDEs originais e derivados SRTM e ALOS**

O resultado de todo nos derivados dos MDEs sempre vai estar diretamente ligado com o MDE original e por mais que seja feito várias formas de se diminuir o erro do MDE original, não foi possível encontrar resultados satisfatório em nenhum dos derivados ou originais da ALOS, em todo momento o MDT da ALOS apresentou erros equivocados o que mostra que nem sempre a resolução espacial é tudo.

Dessa maneira, o MDT é um derivado do MDE a utilidade e validade do MDT estão diretamente ligados com qualidade do modelo original e como houve a ausência de muitas informações para o MDE da ALOS PALSAR não teve como se obter um resultado satisfatório para os resultados.

O fato do MDE da ALOS ter apresentado tantos erros mostra o quanto a região amazônica é carente quanto a qualidade de imagens provenientes de sensores ópticos com disponibilidade gratuita, foi necessário fazer vários testes e conversões para se encontrar uma altimetria que esteja próximo da realidade local sem a interferência de árvores e casas que o MDE da ALOS e SRTM obtém durante o processo de busca de imagens, a média de acerto do original da ALOS comparado com as altitudes de Barbosa (2007) não chegaram nem a 10%, visto na tabela abaixo.

O que mostra que no momento de aquisição da imagem para esta região houve um grande equívoco da ALOS, pois apesar de muitas interferências que ocorrem na região amazônica devido a sua densa vegetação, não seria aplausível um erro tão grotesco como foi o caso, tendo como base estudos da área como o de Barbosa (2007), observa-se que o maior erro do SRTM ocorreu em locais que a vegetação predomina, as planícies fluvio-marinhas obtiveram um grande equívoco de acordo com Barbosa (2007).

Na figura 23 tem-se um claro exemplo por que as planícies fluvio-marinhas apresentaram um grande erro no MDE original do SRTM, houve a interferência de vegetação, ocasionando cotas equivocadas nestes locais, e no mapa 16 podemos ver claramente

Em suma, tendo como base todos os testes, pode-se dizer que MDE do SRTM foi o que se saiu melhor nesta pesquisa devido ao seu modelo original não ter apresentado tanto equívocos.

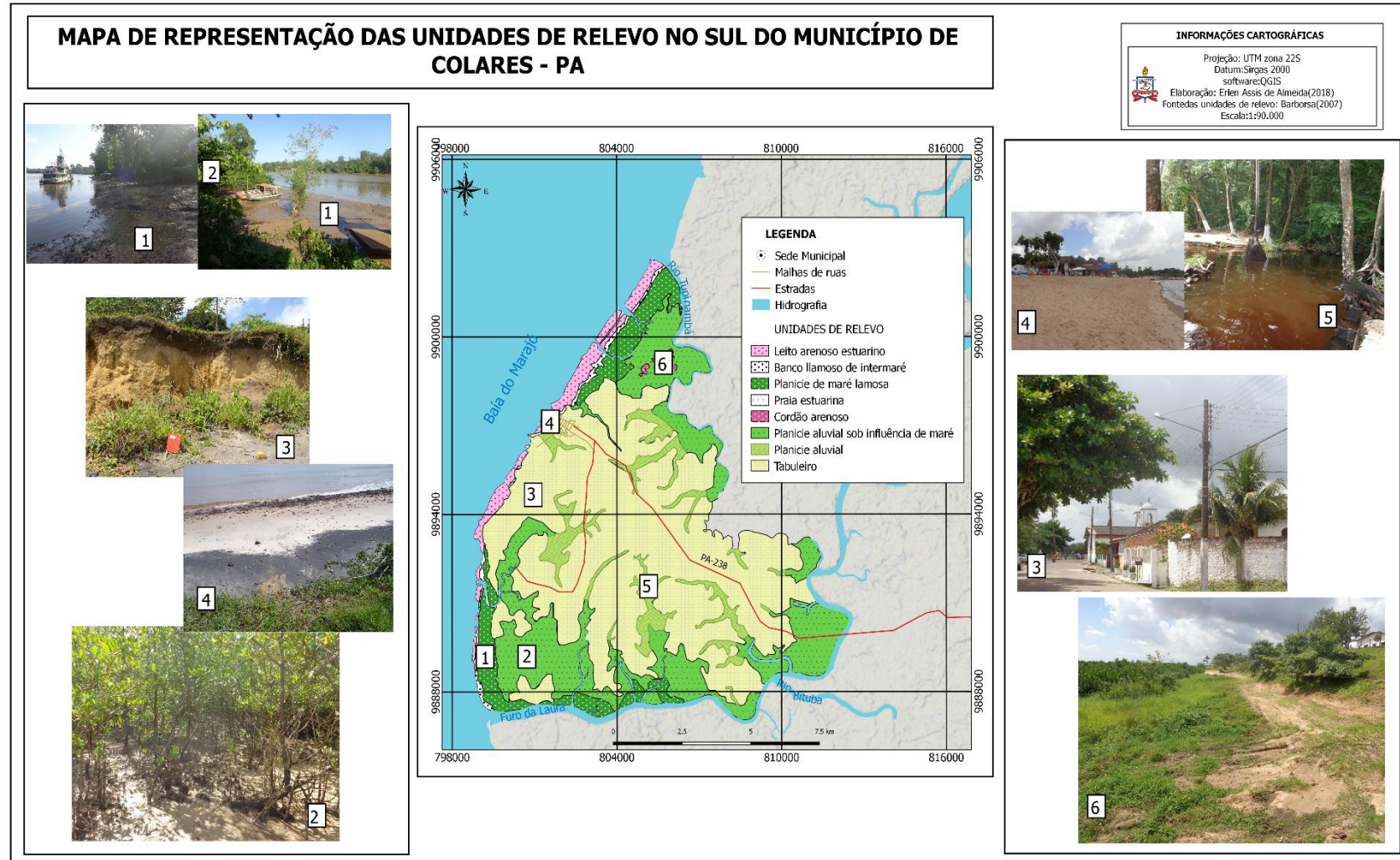
No mapa 16 tem-se a ilustração das unidades e suas imagens de representação das unidades de relevo, no mapa 17 tem as curvas de nível do melhor modelo digital do terreno conseguido nesta pesquisa.

**Figura 23:** Imagem das planícies fluvio-marinhas no sul de colares, vista do Furo da Laura



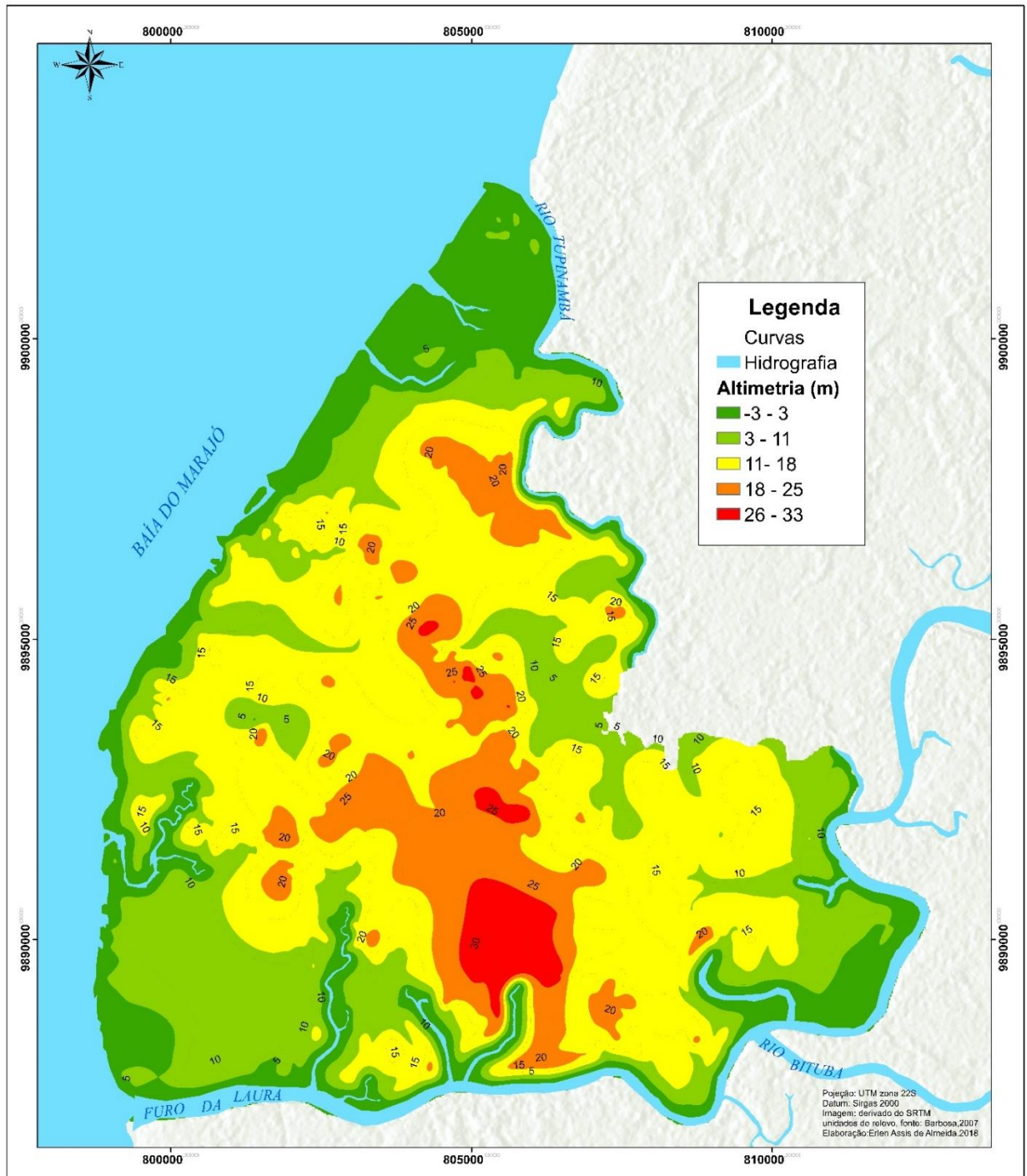
**Fonte:** Elaboração própria (2018).

**Mapa 16:** Unidades de relevo e imagens correspondente aos locais de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2018).

**Mapa 17:** Curvas de nível no MDT de melhor resultado.



**Fonte:** Elaboração própria (2018).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem uma série de vantagens de usar um MDT que podem ser aplicados, em associação à outros dados, para análises de áreas potenciais para a implementação do aterro sanitário, para projeto de estradas e barragens, elaboração de mapas de declividade, apresentação tridimensional, Cálculo de volume do terreno (movimentação de terra) e Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos. Dentre outros, o DEM auxilia as estratégias de Planejamento Urbano, Projetos de Engenharia, Inspeções de plantas industriais, Estudos e Planejamentos para infraestruturas, Segurança pública e privada (DronEng, 2016), as aplicabilidades deste modelo é vasta, abrangendo diversos setores diversos do conhecimento.

Todavia, ter um MDT de alta qualidade requer custo e muitas vezes não disponibilizados por órgãos públicos com uma precisa qualidade. Cabe frisar que ambas as bases rasters aqui aplicadas são de acesso livre e apresentam resultados satisfatórios para auxiliar a elaboração e efetivação de planos de gestão territorial em escalas diversificadas, mesmo sendo estes passivos à erros verticais.

Assim, devido às incertezas na elevação apresentadas pelos MDEs tanto no do SRTM como o da ALOS PALSAR sobre um determinado local, que depende de diversos fatores relacionados à geomorfologia da região, é razoável sugerir que o conjunto de dados do SRTM e ALOS seja utilizado com precaução, dependendo do objetivo a que se pretende. No decorrer de todos os processos o MDE do ALOS PALSAR não apresentou resultados satisfatórios com a realidade local, pois, apresentou muitos erros em sua imagem, apesar deste MDE possuir uma resolução espacial de 12,5m muito, melhor neste quesito se comparado com o SRTM, este não conseguiu identificar as variações altimétricas principalmente com o excesso de número negativos e mesmo com todos os procedimentos ele ainda ficou muito atrás do dos resultados do SRTM.

A avaliação dos acertos foi realizada com base no trabalho de Barbosa (2007), tendo este identificado e caracterizada as unidades geomorfológicas da ilha de Colares, inclusive discriminando as cotas altimétricas para cada conjunto. Embora este se caracteriza como referência na avaliação da precisão, percebe-se da necessidade de efetivar um trabalho de aerolevanteamento, com apoio em um

GPS Geodésico, para inferir melhores certezas quanto aos erros e acurácia das imagens aqui utilizadas.

## REFERENCIAS

ASF, Alaska Satellite Facility. radiometric terrain corrected products: Algorithm Theoretical Basis Document, 2015. Disponível em: <[https://media.asf.alaska.edu/uploads/RTC/rtc\\_atbd\\_v1.2\\_final.pdf](https://media.asf.alaska.edu/uploads/RTC/rtc_atbd_v1.2_final.pdf)> Acessado em: 11 mai.2018.

CÂNDIDO, A. K. A. A; ENCINA, C. C. C; SCHLICHTING, A. F; HAUPENTAL, M. R; FILHO, A. C. P; JÚNIOR, J.M; SILVA, N. M; Modelo Digital de Superfície gerado a partir de imagens de VANT, In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro, 2014. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.296-303. Disponível: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p48.pdf> acessado em: 22 mai 2018.

CHAGAS, C. S; FILHO, E I. F; ROCHA, M. F; JÚNIOR, W DE C; NETO, N. C. S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos, 2010. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a14.pdf>> acessado em: 26 mai. 2018

COSTA, C.A.R. Introdução a processamento digital de imagens: Uma abordagem voltada para sensoriamento remoto e funcionalidades do sistema SPRING. Campinas: EMBRAPA-CNPTIA, 1998. 03p, 06p, 15 -16p.

COUTINHO A.D.S.; LING L.L. Filtragem do ruído “speckle” em componentes de intensidade de imagens SAR polarimétricas. In: 7º SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO E IMAGENS MÉDICAS (SIIM) / 6º SIMPÓSIO DE PROCESSAMENTO DE SINAIS DA UNICAMP (SPS-UNICAMP'2015). 2015, Campinas. **Anais...**Campinas,2015. Disponível <[http://www.sps.fee.unicamp.br/anais/vol01/VSPS\\_a05\\_ACoutinho.pdf](http://www.sps.fee.unicamp.br/anais/vol01/VSPS_a05_ACoutinho.pdf)> acessado em: 29 mai.2018

CRÓSTA, A.P. Processamento Digital De Imagens De Sensoriamento Remoto, ed. rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 09p.

Digital Globe. Advanced Elevation Series (AES) Information Products. Disponível em: . Acesso em: 22 .out. 2014

DrongEng, Drones & Engenharia. 2016 Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/>> acessado: 23 mai 2018.

Felicismo, A. M. Livro: Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales, 1994.

FILHO, A.C.P; LASTORIA, G.; TORRES, G.T. Livro: Sensoriamento remoto ambiental aplicado: Introdução as geotecnologias. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2008. 27p, 40-41p, 171p,174-175p.

FILHO, O.M; NETO, H.V. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999. ISBN 8574520098.

FLORENZANO, T.G. Introdução a geomorfologia: Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais, livro 3 volume., São Paulo, 2008, 11p.

FOLHARINI, S. DE O.; OLIVEIRA, R.C DE O. ; FURTADO, A.L. DOS S. Metodologia para conversão de Modelo Digital de Elevação em Modelo Digital do Terreno. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais.** João Pessoa – PB: INPE, 2015, p.0338 – 0344. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0338.pdf> > acessado em: 10 abr.2018.

IBGE, censo demográfico, 2010. Disponível <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/resultados/tabelas\\_pdf/total\\_populacao\\_para.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/resultados/tabelas_pdf/total_populacao_para.pdf)>. Acessado em: 20 abr. 2018.

LIANG, S. Quantitative remote sensing of land surfaces, 2004, ed. Wiley Interscience, New Jersey, USA, 231p, 247p. Disponível < <http://dlspace.com/spatialacademysitefiles/Library/quantitative%20remote%20sensing%20of%20land%20surface.pdf> > Acessado em: 20 mai.2018.

LIMA, R. R; TOURINHO M. M.; COSTA J. P. C. Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia Brasileira: características e possibilidades agropecuárias. Belém: FCAP, 2000.

RAMOS, M. F. Estudo da Variação temporal do índice de vegetação por diferença normalizada em juiz de fora a partir de imagens de satélite – UFJS, 2016. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-2-Mateus-Ferreira-Ramos.pdf> > acessado em: 21 mai.2018

MARCUSSI, A. B; BUENO, C. R. P; MIQUELONI, D. P; ARRAES, C. L., Utilização De Índices de Vegetação para os sistemas de Informação Geografica, 2010. Revista on-line: Caminhos da Geografia. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16000> > acessado em: 20 mai.2018

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.DE. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Livro eletrônico. Brasília, 2002. 03p. Disponível em:< <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> acessado em: 14 mai.2018.

NETO, J. F. L. Procedimento para interpolar valores nulos e negativos das imagens srtm no arcgis v10 extensão 3d analyst. Centro de Desenvolvimento Tecnológico – CEDES. CPRM, 2010. Disponível em: < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/proc\\_ladeira\\_netto.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/proc_ladeira_netto.pdf) > acessado em: 24 abr. 2018.

Planet, Rapideye Satellite Constellation and Sensor Characteristics, 2018. Disponível em: <[https://www.planet.com/products/satelliteimagery/files/Planet\\_Combined\\_Imagery\\_Product\\_Specs\\_December2017.pdf](https://www.planet.com/products/satelliteimagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_December2017.pdf)> acessado em 01 mai.2018, p08,p10.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 3285-3292

SILVEIRA, R. M. P; SILVEIRA, C.T. DA. Análise Comparativa entre Modelos Digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição, 2015. Universidade Federal do Paraná (UFPR). PPGGEO / Laboratório de Pesquisas Aplicadas em Geomorfologia e Geotecnologias (LAGEO). Disponível: <10.4025/bolgeogr.v33i0.31930> acessado: 24 mai.2018

SANTOS, E. M. Dos. 2009. **Análise de Imagens do satélite ALOS PAUSAR (Banda L, Modo polarimétrico) para a discriminação de coberturas de Terras do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado.** Brasília: Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, p23. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/4132/1/2009\\_ElaineMarradosSantos.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/4132/1/2009_ElaineMarradosSantos.pdf)> acessado em: 08 abr.2018

SILVA, C. A. V. DA; SILVA, H. A. DA; OLIVEIRA, T. H. DE. Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá – PE. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 25-30 abril 2009, Natal. **Anais.** Natal – RN: INPE, 2009, p. 3079-3085. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.18.31/doc/3079-3085.pdf>> acessado em: 02 mai.2018.

USGS, United States Geological Survey, 2015. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>>