

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E**  
**TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

---

**ANÁLISE DE BORDAS DE RESERVATÓRIO UTILIZANDO**  
**MÚLTIPLOS SENSORES: ESTUDO DE CASO:**  
**RESERVATÓRIO DE ITAPARICA-PE**

**ALEXANDRE NORMANDE GUILLOU**

**Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior**

**Dissertação de Mestrado**

Recife  
2016

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E**  
**TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

---

**Alexandre Normande Guillou**

**ANÁLISE DE BORDAS DE RESERVATÓRIO UTILIZANDO**  
**MÚLTIPLOS SENSORES: ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO DE**  
**ITAPARICA-PE**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, defendida e aprovada em 1º de março de 2016.

**Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior**

Recife  
2016

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260

G961a      Guillou, Alexandre Normande.  
              Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE / Alexandre Normande Guillou. - 2016.  
              60folhas, Il., Qua. e Tabs.  
  
              Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior.  
  
              Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2016.  
              Inclui Referências.  
  
              1. Ciências Geodésicas. 2. Borda de reservatório. 3. Filtros de borda. 4. Comportamento espectral. 5. OLI. I. Tavares Júnior, João Rodrigues (Orientador) II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-168

**Alexandre Normande Guillou**

**ANÁLISE DE BORDAS DE RESERVATÓRIO UTILIZANDO  
MÚLTIPLOS SENSORES: ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO DE  
ITAPARICA-PE**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Wellington Pinheiro dos Santos (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus amados pais  
que nunca deixaram de me apoiar,  
e graças a eles tenho conseguido  
ultrapassar os obstáculos da vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao fim desta conclusão do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, não posso deixar de destacar que o apoio e incentivo de várias pessoas tornaram este sonho possível. Por isso, venho agradecer:

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG pela oportunidade e estrutura necessária à realização desta.

A CAPES, pela bolsa de estudos que foi necessária para a minha estadia em Recife.

Aos professores que tive a honra de conhecer e poder aprender. Estes são os responsáveis pela minha formação e a quem devo minha admiração.

Ao Professor Dr. João Rodrigues Tavares Júnior pela sua orientação, dedicação e paciência que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Às Professoras Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias e Dra. Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves, pelas orientações e correções nas etapas de qualificação e andamento.

Aos meus pais, Fernando e Daniela, e minha irmã Natália, que me encorajaram e me deram todo apoio que eu precisei, me ajudando, principalmente, com as dificuldades encontradas em morar numa cidade nova, longe de toda a família.

Aos meus amigos de graduação, mestrado e apartamento, Henrique Lacet e Nicolas Gama, que me acompanharam desde o início desta jornada e que carregarei a amizade por toda a minha vida.

Aos meus colegas de mestrado, os quais compartilharam momentos de estudos, brincadeiras, comemorações e que tornaram esta tarefa árdua um pouco mais confortável. Em especial: Renan Dozzo, Thomás Martins, Lilian Nina, Elaine Osório, Túllio Aullus, Raul Cumbe, Talita Stael, Ariely Mayara e André Rocha e demais componentes da “Zuêra”.

Aos amigos de Maceió, que apesar da distância, sempre torceram e vibraram junto comigo. Em especial: Gilvan Filho, André Rebelo, Willian Fragoso e Marcos Melo.

Aos colegas da Força Aérea Brasileira, que me mostraram o significado de “espírito de corpo” e a força da união. Obrigado, turma Carcará!

Muito obrigado a todos!

## RESUMO

GUILLOU, Alexandre Normande. **Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE**. Recife, 2016, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A análise da detecção de bordas das margens de grandes reservatórios de água utilizando imagens de diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, constitui um problema complexo que requer o uso adequado de técnicas de processamento de imagens, a exemplo dos filtros de bordas e fusão de imagens. O desenvolvimento de novas técnicas de análise integrada de imagens orbitais do OLI LANDSAT-8 (*Operational Land Imager- Land Remote Sensing Satellite-8*), representa uma demanda a ser atendida no processamento de imagens. Um trecho das bordas do reservatório de Itaparica, entre os Estados Pernambuco e Bahia, constitui uma área de estudo para testes e experimentos de detecção de borda de valor estratégico diante da redução e recuo da lâmina de água, afetando a captação, navegação e uso e ocupação do solo ao redor das margens. Esta é a área de estudo do Projeto INNOVATE (*INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*), envolvendo estudos sobre a qualidade da água e uso do solo. Como resultado deste trabalho foi realizada a aplicação de uma metodologia de leitura de pixels para a análise do comportamento espectral dos alvos de interesse e assim podendo gerar uma assinatura espectral para avaliar as melhores bandas a serem trabalhadas. Outro resultado obtido foi a análise espacial feita a partir do cálculo da distância Euclidiana, comparando a borda gerada pela segmentação por crescimento de regiões com as bordas geradas a partir da aplicação do filtro de detecção de borda de Sobel. A partir das análises realizadas, percebeu-se uma grande demanda em sensoriamento remoto, visto que os diferentes resultados motivam o estudo por novas pesquisas em busca de resultados mais precisos.

Palavras-chave: borda de reservatório, filtros de borda, comportamento espectral, OLI.

## ABSTRACT

GUILLLOU, Alexandre Normande. **Analysis of reservoir edges using multiple sensors: case study: Itaparica-PE reservoir**. Recife, 2016, Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) - Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

Edge detection analysis of large reservoirs by using images different spatial resolutions, spectral, radiometric and temporal, is a complex problem that requires the proper use of image processing techniques, such as the edges and merging filters images. The development of new techniques for integrated analysis of satellite images from Landsat-8 OLI (Operational Land Imager- Land Remote Sensing Satellite-8) represents a demand to be met in image processing. An excerpt from the Itaparica's reservoir edge, between Pernambuco and Bahia, is a study area for testing and strategic value of edge detection experiments on the reduction and decrease of water depth, affecting the capture, navigation and use and land use around the edges. This is the study area of INNOVATE Project (Interplay between the multiple use of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems), involving studies on water quality and land use. As a result of this study, it was used a pixel reading methodology for analyzing the spectral behavior of targets of interest and sign may generate a spectral signature to evaluate the best bands to be worked. Another result was the spatial analysis from the calculation of the Euclidean distance, comparing the edge generated by growth targeting regions with the edges generated from the application of Sobel edge detection filter. Through these analyzes, a great demand was realized in remote sensing, since different results motivate new research study by looking for more accurate results.

Keywords: reservoir edge, edge filters, spectral behavior, OLI.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos de bordas. a) Degrau; b) Rampa; c) Em forma de telhado. ....	9
Figura 2 – Aplicação do filtro de Roberts. ....	10
Figura 3 – Aplicação do filtro de Prewitt. ....	11
Figura 4 – Aplicação do filtro de Sobel. ....	12
Figura 5 – Assinatura espectral dos alvos. ....	13
Figura 6 – Mapa de Localização. ....	14
Figura 7 – Fluxograma da metodologia de trabalho. ....	16
Figura 8 – Diagrama esquemático da fusão IHS. ....	18
Figura 9 – Fusão OLI (6-5-4 + PAN) ....	19
Figura 10 – Fusão OLI/HRC (6-5-4 + PAN). ....	19
Figura 11 – Assinatura espectral dos alvos para o sensor OLI. ....	23
Figura 12 – Banda 5 do sensor OLI. ....	24
Figura 13 – Assinatura espectral dos alvos para o sensor Resourcesat-1/LISS-3. ....	26
Figura 14 – Banda 4 do sensor LISS-3. ....	27
Figura 15 - Organograma da análise espacial. ....	28
Figura 16 – Testes de segmentação. ....	29
Figura 17 – Segmentação com Sim = 9000 e Área = 100. ....	30
Figura 18 – Aplicação do filtro de Sobel. ....	31
Figura 19 – Ponto 1 (Banda 5 OLI). ....	32
Figura 20 – Ponto 2 (Banda 5 OLI). ....	33
Figura 21 – Ponto 3 (Banda 5 OLI). ....	33
Figura 22 – Ponto 1 (Banda 4 LISS-3). ....	34
Figura 23 – Ponto 2 (Banda 4 LISS-3). ....	34
Figura 24 – Ponto 3 (Banda 4 LISS-3). ....	35
Figura 25 – Ponto 1 (Fusão OLI). ....	36
Figura 26 – Ponto 2 (Fusão OLI). ....	36
Figura 27 – Ponto 3 (Fusão OLI). ....	36
Figura 28 – Ponto 1 (Fusão OLI/HRC). ....	37
Figura 29 – Ponto 2 (Fusão OLI/HRC). ....	38
Figura 30 – Ponto 3 (Fusão OLI/HRC). ....	38
Figura 31 – Ponto 1 (PALSAR HH). ....	39
Figura 32 – Ponto 2 (PALSAR HH). ....	39

Figura 33 – Ponto 3 (PALSAR HH). .....	40
Figura 34 – Ponto 1 (PALSAR HV). .....	41
Figura 35 – Ponto 2 (PALSAR HV). .....	41
Figura 36 – Ponto 3 (PALSAR HV). .....	41
Figura 37 – Gráfico de $\Delta E$ . .....	43
Figura 38 – Gráfico de $\Delta N$ . .....	43
Figura 39 – Gráfico de Distância Euclidiana.....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do sensor LANDSAT-8/OLI. ....	5
Quadro 2 – Características do sensor Resourcesat-1/LISS-3.....	5
Quadro 3 – Características do sensor CBERS-2B/HRC .....	6
Quadro 4 – Características do sensor ALOS/PALSAR .....	7

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alvo Água do sensor OLI.....	21
Tabela 2 – Alvo Leito do rio do sensor OLI .....	21
Tabela 3 – Alvo Solo exposto do sensor OLI. ....	22
Tabela 4 – Alvo Plantações do sensor OLI. ....	22
Tabela 5 – Média dos números digitais em todos alvos para o sensor OLI. ....	23
Tabela 6 – Alvo Água do sensor LISS-3. ....	24
Tabela 7 – Alvo Leito do rio do sensor LISS-3. ....	25
Tabela 8 – Alvo Solo exposto do sensor LISS-3. ....	25
Tabela 9 – Alvo Plantações do sensor LISS-3. ....	25
Tabela 10 – Média dos números digitais em todos alvos para o sensor LISS-3. ....	26
Tabela 11 – Coordenadas dos pontos da Banda 5 OLI. ....	33
Tabela 12 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Banda 5 OLI. ....	34
Tabela 13 – Coordenadas dos pontos da Banda 4 LISS-3. ....	35
Tabela 14 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Banda 4 LISS-3. ....	35
Tabela 15 – Coordenadas dos pontos da Fusão OLI.....	37
Tabela 16 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Fusão OLI.....	37
Tabela 17 – Coordenadas dos pontos da Fusão OLI/HRC. ....	38
Tabela 18 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Fusão OLI/HRC. ....	39
Tabela 19 – Coordenadas dos pontos da Polarização HH do PALSAR.....	40
Tabela 20 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Polarização HH do PALSAR..	40
Tabela 21 – Coordenadas dos pontos da Polarização HV do PALSAR.....	42
Tabela 22 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Polarização HV do PALSAR..	42

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo Geral .....	3
1.2. Objetivos Específicos .....	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Sistemas Sensores .....	4
2.1.1. LANDSAT-8/OLI.....	4
2.1.2. Resourcesat-1/LISS-3.....	5
2.1.3. CBERS-2B/HRC.....	6
2.1.4. ALOS/PALSAR.....	6
2.2. Detecção de Bordas.....	7
2.3. Comportamento Espectral.....	12
2.4. Estado da Arte.....	13
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>14</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
4.1. Materiais.....	15
4.2. Recursos tecnológicos e hardware .....	15
4.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos .....	15
4.3.1. Escolha e aquisição das imagens.....	17
4.3.2. Georreferenciamento e Recorte.....	17
4.3.3. Fusão de imagens.....	17
4.3.4. Análise do Comportamento Espectral.....	20
4.3.5. Segmentação e Aplicação de Filtros.....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
5.1. Análise do Comportamento Espectral para o sensor OLI. ....	21
5.2. Análise do comportamento espectral para o sensor LISS-3.....	24
5.3. Análise Espacial .....	27
5.3.1. Segmentação.....	28
5.3.2. Aplicação do filtro de Sobel.....	30
5.3.3. Cálculo da distância Euclidiana.....	32
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A definição dos limites, entre dois objetos, em imagens de Sensoriamento Remoto representa um problema que requer o uso de técnicas de processamento de imagens, considerando que a determinação dos limites, ou superfícies, envolve diferentes elementos e materiais constituintes dos objetos, além da data das imagens, e a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal.

No caso dos limites entre os objetos água e terra em uma área de um lago ou reservatório de água, a linha de separação entre os mesmos, e o processamento de imagens para definir esta linha de separação, é, frequentemente difícil, principalmente quando a área de estudo é desconhecida, ou de difícil acesso, além das dimensões do corpo de água.

Corpos d'água de grandes dimensões, a exemplos dos reservatórios de hidrelétricos, torna-se trabalhosa a tarefa de constatar a verdade terrestre. Neste caso as imagens de Sensoriamento Remoto são de grande utilidade para o mapeamento das bordas, podendo o corpo de água ser enquadrado por apenas uma imagem.

As mudanças climáticas que atingem todo o planeta ao modificar o regime histórico das precipitações, e aumentar a evaporação, vêm contribuindo para a variação da lâmina de água dos lagos naturais e reservatórios para abastecimento humano e para geração de energia hidrelétrica. A redução do volume acumulado altera as bordas dos corpos de água, necessitando de uma atualização das novas bordas, ao revelar terrenos antes submersos.

A redução da superfície líquida e alteração do contorno dos reservatórios atinge os terminais dos dutos de captação da água para transporte e distribuição para o abastecimento humano e agricultura, além de modificar a área e seu recorte de proteção em torno das margens dos reservatórios, potencializando os riscos de invasões das margens.

Outro impacto é a navegação afetada fortemente pela redução da profundidade também resultante do assoreamento de rios e reservatórios, devido ao desmatamento das matas ciliares, e das nascentes.

Todos estes problemas podem ser monitorados em escala regional por meio de imagens de Sensoriamento Remoto.

Com o aumento de diferentes tipos de sistemas satélites e sistemas sensores, e a disponibilização de imagens gratuitas por órgãos governamentais no Brasil e

exterior, a detecção de borda torna-se ainda mais complexa, e requer o desenvolvimento de técnicas adequadas para geração de detectores de borda e a comparação entre bordas geradas por diferentes satélites e sensores.

Para este estudo de detecção de borda foi escolhido o reservatório de Itaparica localizado divisa entre os Estados da Bahia e Pernambuco. Uma das motivações para a escolha desta área de estudo é que este reservatório é objeto de estudo de vários pesquisadores do Projeto INNOVATE (*INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*) aprovado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e pelo Ministério Alemão de Educação e Pesquisa - BMBF do Brasil e Alemanha, abordando diferentes linhas de pesquisa, e envolvendo alunos de PIBIC, mestrado e doutorado. Uma das demandas científicas deste projeto é o mapeamento de borda do reservatório que constituiu um dado para o monitoramento da lâmina de água na escala a partir de 1:150000.

Existem épocas em que o índice de nuvens cobre grandes regiões do reservatório de Itaparica, apesar de estar em uma área semiárida, com grande evapotranspiração. Esta nebulosidade recorrente exige o uso de imagens de radar para complementar a não cobertura de imagens na faixa do visível e infravermelho.

Segundo Melo (2007; ANEEL, 2008) este reservatório foi inicialmente construído para a geração de energia, porém, há vários anos vem sendo usado para várias finalidades como: abastecimento público e industrial de água, irrigação, piscicultura, pecuária, navegação, turismo e lazer. A preocupação surge devido ao mau gerenciamento do reservatório, com ocupações irregulares no seu entorno afetando diretamente a qualidade da água.

As imagens de Sensoriamento Remoto (NOVO, 2010) vêm sendo importantes ferramentas no monitoramento contínuo de reservatórios. Obtendo-se o limite água/solo, pode-se gerar o contorno das margens e que podem auxiliar na escolha de métodos mais precisos, bem como na definição de buffers para proteção das águas do reservatório e de suas margens, ajudando na proteção do manancial e da gestão local (PAES *et al.*, 2010). Um dos problemas na detecção de bordas de margens de reservatórios são os diferentes resultados usando múltiplos sensores. Estes resultados distintos motivam experimentos visando analisar quais os métodos mais adequados para extração destas bordas, de acordo com o sensor usado.

### **1.1. Objetivo Geral**

Analisar o comportamento espacial e espectral dos sensores OLI, PALSAR, LISS-3 e HRC em relação a borda segmentada do sensor OLI.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- ❖ Analisar o comportamento espectral dos alvos dos sensores ópticos;
- ❖ Analisar espacialmente o filtro de detecção de borda aplicado aos sensores OLI, PALSAR, LISS-3 e HRC e a segmentação da Banda 5 do sensor OLI.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Sistemas Sensores

Para um melhor entendimento no que se trata dos sistemas sensores utilizados nesse trabalho, é importante aprofundar o conhecimento acerca dos conceitos fundamentais, características gerais dos sensores e os parâmetros de imageamento.

#### 2.1.1. LANDSAT-8/OLI

O LANDSAT-8 é a continuação do programa Landsat, lançado no dia 11 de fevereiro de 2013, começou a transmitir imagens no dia 18 de março, e no dia 12 de abril, atingiu a sua órbita final a 705 km acima da Terra. Disponibilizada gratuitamente pela USGS (*United States Geological Survey*).

Além de seu uso conhecido nas antigas missões, esse novo satélite traz várias novidades importantes. Com dois novos sensores: o sensor espectral OLI e o sensor termal TIRS, houve grande melhoria quanto a resolução espectral. Além disso, estes sensores proporcionam um melhor desempenho radiométrico, com uma faixa de 16 bits (65536 níveis de cinza).

O sensor OLI conta com várias novas bandas espectrais na faixa do azul, para observação da zona costeira (banda 1), e detecção de nuvens cirrus (banda 9). Este sensor possui resolução espacial de 30 m nas faixas do visível, NIR e SWIR, e 15 m na faixa pancromática (NASA, 2014). O Quadro 1 apresenta os parâmetros de imageamento deste sensor.

Quadro 1 – Características do sensor LANDSAT-8/OLI.

<b>Características</b>	<b>OLI</b>
Resolução temporal	16 dias
Resolução radiométrica	16 bits (65536 níveis de cinza).
Resolução espectral	9 bandas
Resolução espacial	OLI (30m) e OLI PAN (15m)
Sistema geodésico de referência	WGS84
Sistema de projeção	UTM

### 2.1.2. Resourcesat-1/LISS-3

O sensor LISS-III está a bordo do satélite indiano Resourcesat-1. Segundo Silva et al. (2013) este sensor passou a ser utilizado como alternativa para a comunidade após a interrupção do TM/Landsat-5. Devido à similaridade entre esses dois sensores e a necessidade de dar continuidade aos trabalhos acadêmicos e corporativos, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passou a disponibilizar gratuitamente as imagens do sensor LISS-III.

Quadro 2 – Características do sensor Resourcesat-1/LISS-3

<b>Características</b>	<b>LISS-3</b>
Resolução temporal	24 dias
Resolução radiométrica	8 bits (256 níveis de cinza)
Resolução espectral	4 bandas
Resolução espacial	23,5 m
Sistema geodésico de referência	WGS84
Sistema de projeção	UTM

### 2.1.3. CBERS-2B/HRC

O programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), desenvolvida pelo Brasil em parceria com a China, foi criado com intuito de implantar um sistema completo de sensoriamento remoto a nível internacional. A união entre os dois países proporcionou a derrubada de barreiras que impedem o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sensíveis impostas pelos países desenvolvidos.

O satélite CBERS-2B foi construído para dar continuidade ao programa de imageamento do país, às aplicações espaciais, e não interromper os projetos de milhares de instituições e usuários do Programa CBERS.

A câmera HRC (*High Resolution Camera*) opera numa única faixa espectral, que cobre o visível e parte do infravermelho próximo. Trata-se da câmera pancromática do CBERS-2B que tem como parâmetros de imageamento:

Quadro 3 – Características do sensor CBERS-2B/HRC

Características	HRC
Resolução temporal	130 dias
Resolução radiométrica	8 bits (256 níveis de cinza)
Resolução espectral	1 banda
Resolução espacial	2,7 m

### 2.1.4. ALOS/PALSAR

O programa ALOS faz parte do programa Japonês de Observação da Terra e tem como principal missão a observação dos processos e fenômenos da superfície terrestre sólida. No Brasil as imagens são disponibilizadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Os sensores radares apresentam características diferentes dos sensores ópticos, tais como: obrigatoriamente terá uma visada lateral; apresentam um ruído conhecido como *speckle*; os parâmetros de imageamento são: comprimento de onda, polarização e ângulo de incidência.

O Quadro 4 mostra as características das imagens do sensor ALOS-PALSAR disponíveis pelos IBGE.

Quadro 4 – Características do sensor ALOS/PALSAR

<b>Características</b>	<b>ALOS-PALSAR</b>
Frequência central	1270 MHz (banda L)
Polarização	HH+HV
Ângulo de incidência	34,3 graus
Resolução espacial	12,5 m
Largura da faixa	70 km
Resolução radiométrica	16 bits
Sistema geodésico de referência	WGS84
Sistema de projeção	UTM

## 2.2. Detecção de Bordas

A detecção de bordas é um problema ainda não adequadamente resolvido envolvendo Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens.

Bordas são interfaces entre diferentes objetos e materiais que os constituem. Por exemplo, a borda entre uma rua e uma calçada, o mar e a praia, a água de um rio e o solo, entre vegetação arbórea e rasteira, são exemplos reais de limites entre bordas.

A constituição da água (poluída, com sedimentos, limpa), o tipo de vegetação (arbórea, rasteira, flutuante), o recorte das margens (margem retificada de um canal, margem sinuosa com reentrâncias de um açude ou lago), o relevo ondulado ou plano; edificações nas margens, são situações reais que contribuem para os diferentes graus de dificuldade na detecção e mapeamento dos limites entre os objetos em imagem de Sensoriamento Remoto.

Problemas com nuvens (espalhamento atmosférico, oclusão e sombreamento do terreno por nuvens), sombras da vegetação e do relevo, reflexo da água, são outros elementos a considerar na detecção da borda.

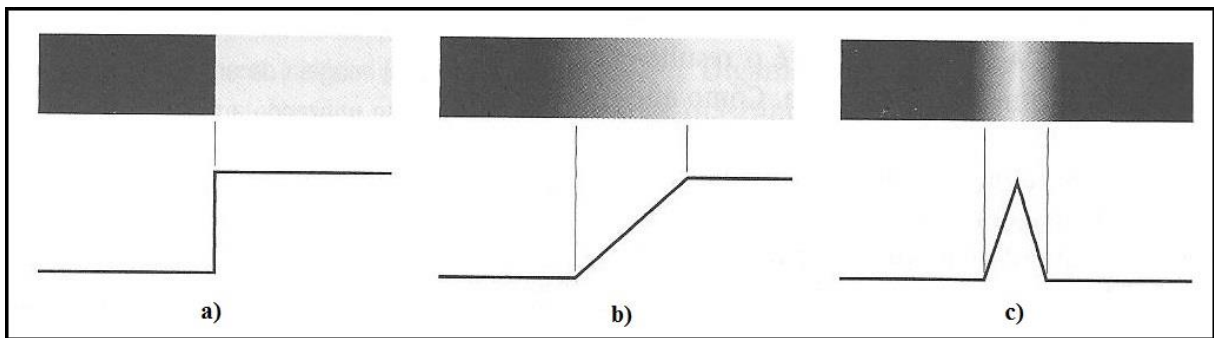
Para corpos de água de grandes dimensões, a exemplo dos reservatórios do Rio São Francisco de Sobradinho, Itaparica, Moxotó e Xingó, a vetorização manual das bordas, usando interpretação visual qualitativa, apesar de viável, não é uma

solução adequada, principalmente nos casos de monitoramento regular das margens de milhares de quilômetros de margens.

Segundo Ziou e Tabbone (1998) a detecção de bordas tem como principal objetivo fornecer informações sobre a descontinuidade das propriedades espectrais, espaciais e radiométricas do objeto da imagem. Essas propriedades estão associadas a características físicas, químicas e geométricas dos alvos, além da atmosfera. Essas informações são detectadas pelas descontinuidades dos níveis de cinza da imagem, que dependem intrinsecamente da resolução radiométrica das imagens (número de bits), além da resolução espectral e espacial da imagem do sistema sensor.

Gonzalez e Woods (2010) classificam os modelos de bordas de acordo com seus perfis de intensidade, podendo ser do tipo degrau, rampa ou em forma de telhado (Figura 1). Na Figura 1-a o degrau envolve uma transição entre dois níveis de intensidade que ocorrem com distância de um pixel, sendo de longe o mais comum tipo de borda encontrado. Esse tipo de borda resulta quando um alvo se sobrepõe a outro ou quando há uma sombra na superfície. Ocorre geralmente entre duas regiões homogêneas, mas com diferentes níveis de cinza. Essas bordas são utilizadas com frequência na elaboração de algoritmos. Na Figura 1-b um perfil de rampa é modelado a partir de bordas que são desfocadas e ruidosas, onde o grau de indefinição está determinado pelas limitações no mecanismo de focalização e o nível de ruído pelos componentes eletrônicos do sistema de imagens. Neste caso quanto maior a inclinação da rampa, menor será o grau de indefinição da borda. Na Figura 1-c o modelo em forma de telhado são linhas através de uma região, com a largura da borda determinada pela espessura e nitidez da linha. Quando, por exemplo, a largura é de um pixel, este tipo de borda será uma linha com um pixel de espessura que atravessa a imagem. As bordas em forma de telhado aparecem rotineiramente em características finas das imagens de satélite, como rodovias e rios.

Figura 1 – Modelos de bordas. a) Degrau; b) Rampa; c) Em forma de telhado.



Fonte: Gonzalez e Woods (2010).

Segundo Marques Filho e Vieira Neto (1999) e Gonzalez e Woods (2010) para a detecção e realce das bordas utiliza-se filtros por derivadas de primeira ordem (Roberts, Prewitt e Sobel) e de segunda ordem (Laplaciano). O filtro por derivada é aplicado utilizando uma máscara de convolução para calcular o gradiente no ponto  $Z_5$  da matriz mostrada abaixo:

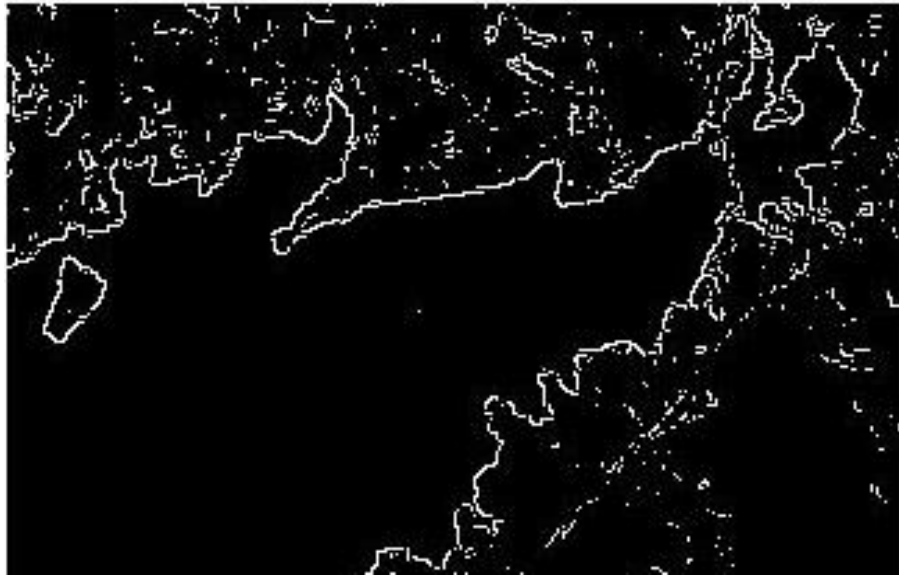
$$\begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 \\ Z_4 & Z_5 & Z_6 \\ Z_7 & Z_8 & Z_9 \end{bmatrix}$$

O filtro de Roberts é o mais simples, pois utiliza máscaras 2x2. Estes tipos de máscaras não são uteis para calcular a direção da borda. Também pode-se associar as duas equações apresentadas a seguir e gerar o resultado da Figura 2.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_9 - Z_5) \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_8 - Z_6) \quad (1.2)$$

Figura 2 – Aplicação do filtro de Roberts.



Fonte: Guillou, Tavares Júnior e Candeias (2014).

O filtro de Prewitt utiliza máscaras 3x3. Estas máscaras levam em consideração o valor dos pixels vizinhos para a determinação do ponto central, e assim, carregam mais informações a respeito da direção de uma borda. Um exemplo do resultado desse filtro utilizando as duas equações a seguir é apresentado na Figura 3.

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7) \quad (2.2)$$

Figura 3 – Aplicação do filtro de Prewitt.



Fonte: Guillou, Tavares Júnior e Candeias (2014).

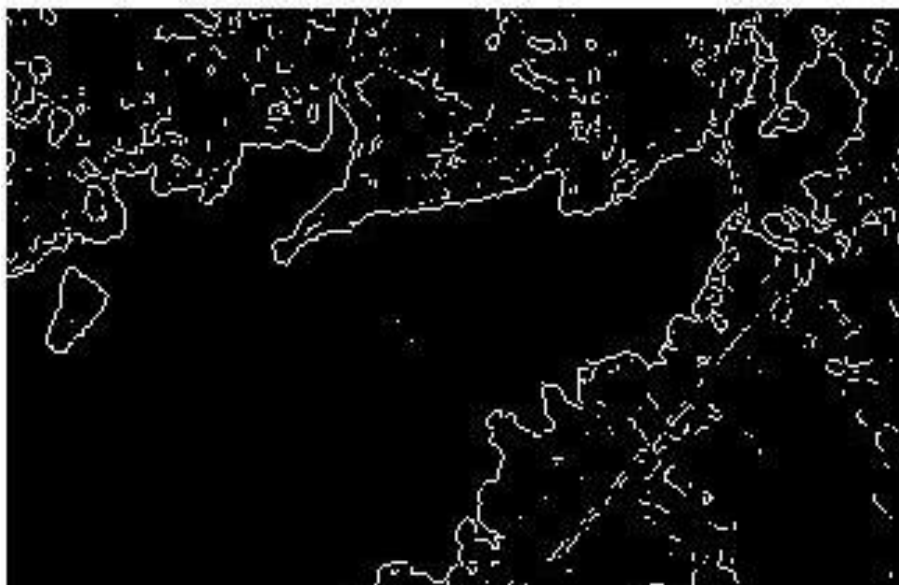
O filtro de Sobel utiliza máscaras 3x3 como o filtro de Prewitt. Porém as máscaras de Sobel apresentam melhor supressão ao ruído (suavização) e por isso são preferíveis, já que esse fator é uma questão importante quando se lida com derivadas. Um exemplo do resultado desse filtro utilizando as duas equações a seguir é apresentado na Figura 4.

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (3.2)$$



Figura 4 – Aplicação do filtro de Sobel.



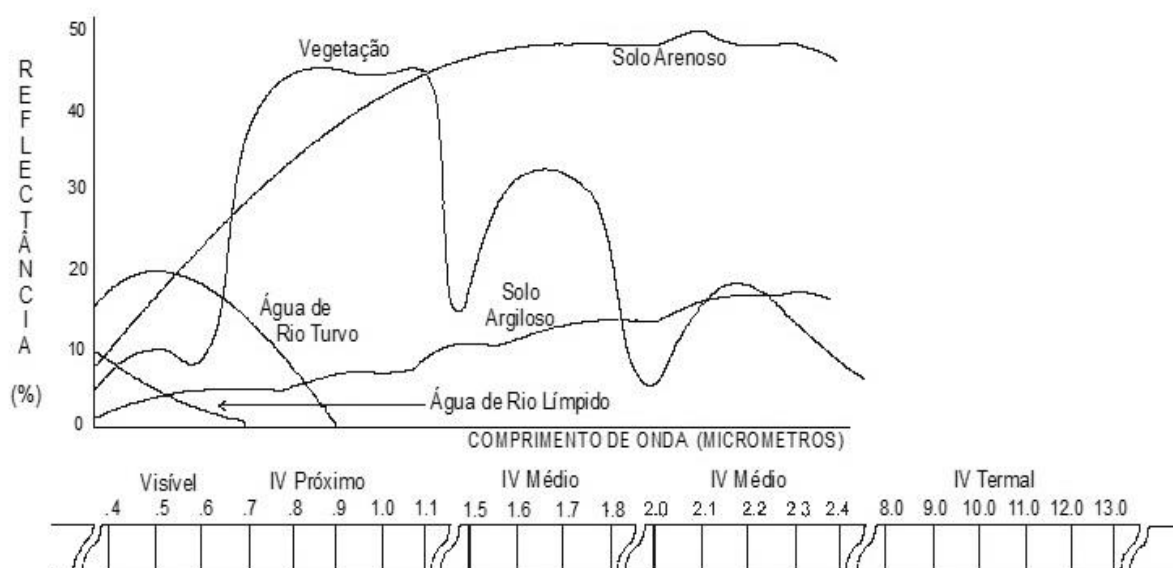
Fonte: Guillou, Tavares Júnior e Candeias (2014).

### 2.3. Comportamento Espectral

O conhecimento do comportamento espectral é um dos requisitos mais importantes em sensoriamento remoto. Para qualquer extração de informação a partir de imagens digitais, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.

O comportamento espectral é basicamente a correlação entre o grau de reflectância em que determinado alvo assume e a faixa do espectro eletromagnético em que se encontra. Portanto, se a reflectância de um objeto pudesse ser medida em faixas espectrais adjacentes e estreitas ao longo da região reflexiva do espectro, torna-se possível construir um gráfico chamado assinatura espectral (Figura 5) (NOVO, 2010).

Figura 5 – Assinatura espectral dos alvos.



## 2.4. Estado da Arte

Santos (2012) baseou-se nos testes com uso do MDE-SRTM, ASTER-GDEM-VNIR, operadores de Morfologia Matemática, borda SRTM-SWBD e a segmentação da banda 4 do TM LANDSAT-5. Como resultado obteve-se que a segmentação da banda 4 do TM LANDSAT-5 é o método mais adequado para detecção de borda de reservatório de Sobradinho – BA, na escala de 1:150000.

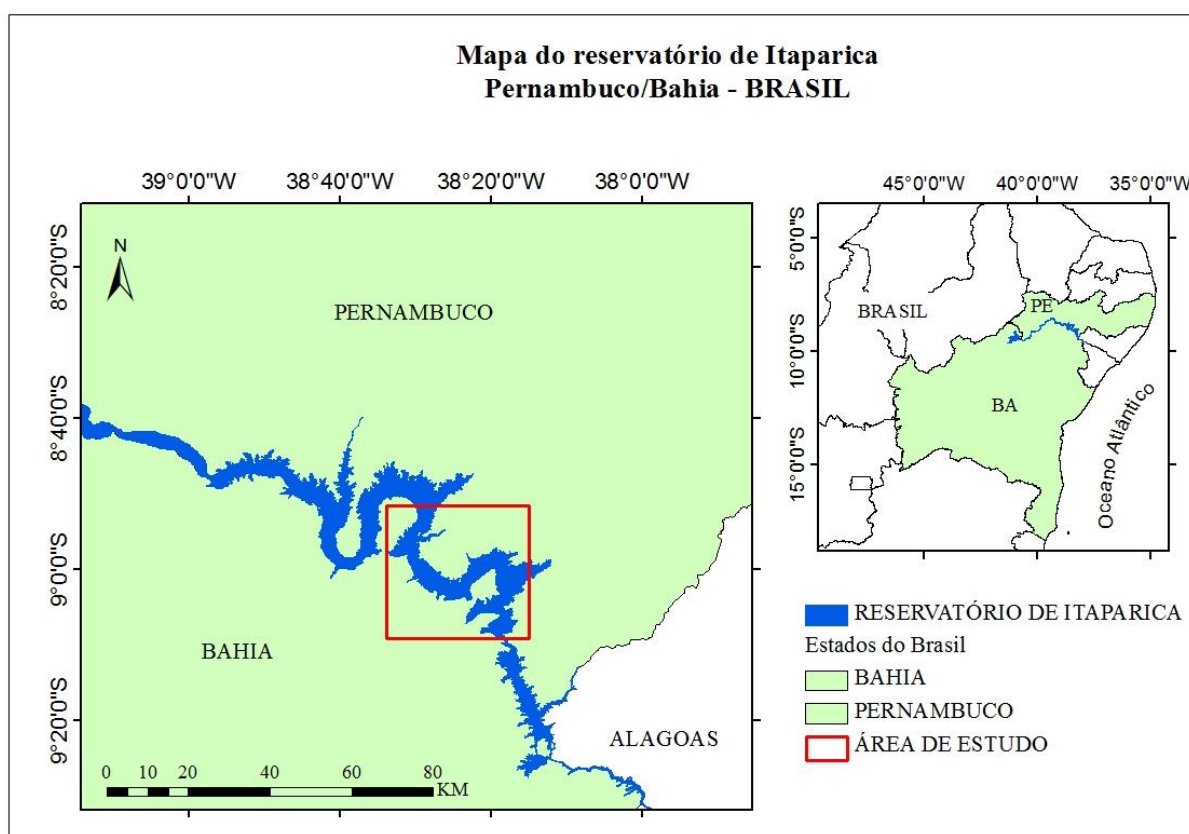
Galvani e Silva (2006) utilizaram um modelo matemático de suavização baseado na Equação Diferencial Parcial (EPD), mantendo inalteradas as bordas de interesse (pistas de aeroportos). Os resultados confirmaram a eficiência da aplicação do método proposto na detecção de bordas, indicando a possibilidade de uso deste método em processos automáticos de detecção de outras feições cartográficas como, por exemplo: rodovias, vias urbanas etc.

Do Vale e Dal Poz (2002) desenvolveram experimentos com o operador de bordas Canny, em linguagem C, para uma imagem real original e com suavizações de  $\sigma = 1$  e  $\sigma = 3$ . Observou-se que quanto maior o desvio-padrão ( $\sigma$ ), menor a quantidade de bordas espúrias. Porém se o ( $\sigma$ ) adotado for muito alto, haverá um borrimento das bordas.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Itaparica está localizado na região do sub-médio do São Francisco entre os municípios de Glória, Rodelas e Chorrochó, no estado da Bahia, e Petrolândia, Tacaratu, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco, no Estado de Pernambuco, com área de 828 km<sup>2</sup> e volume total e útil de 10,782 km<sup>3</sup> e 3,549 km<sup>3</sup> respectivamente (CHESF, 2014). A região está situada parte sobre o cristalino e parte sobre área sedimentar, com regime hídrico negativo, vegetação da caatinga, além de área de agricultura. Para este trabalho, a área foi reduzida a apenas um trecho do reservatório para que todos os experimentos representassem a mesma área (Figura 6).

Figura 6 – Mapa de Localização.



Fonte: Guillou, Tavares Júnior e Candeias (2015).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

A seguir são listados os materiais utilizados neste trabalho:

- ❖ Uma imagem do sensor OLI-TIRS, a bordo do satélite LANDSAT-8, órbita-ponto 216-066, de 23 de março de 2014, disponível gratuitamente pela *United States Geological Survey*;
- ❖ Uma imagem do sensor LISS-3, a bordo do satélite Resourcesat-1, órbita-ponto 336-083, de 16 de julho de 2013, disponível gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- ❖ Uma imagem do sensor HRC, a bordo do satélite CBERS-2B, órbita-ponto 149-110, de 20 de fevereiro de 2008, disponível gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- ❖ Uma imagem do sensor PALSAR, a bordo do satélite ALOS, nas polarizações HH e HV, disponível gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

### 4.2. Recursos tecnológicos e hardware

Para elaboração deste trabalho, os recursos tecnológicos empregados foram:

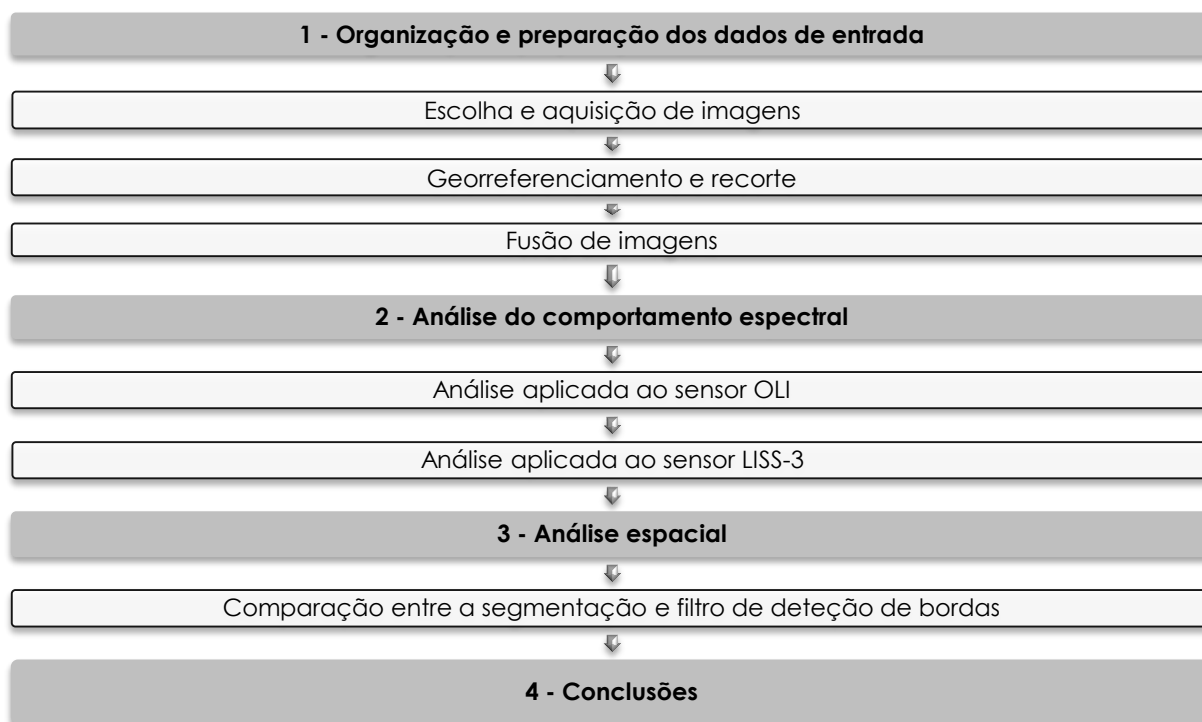
- ❖ *Software* SPRING 5.2.7 para todos os processamentos de imagens realizados;
- ❖ *Software* Microsoft Office Excel 2010 para geração de gráficos e tabelas;
- ❖ *Software* SCILAB 5.5.2 para cálculos matriciais.
- ❖ *Hardware*: Notebook Dell com sistema operacional Windows 8 de 64 *bits*, processador Intel core i5 de 2,20 GHz e memória RAM de 8 GB.

### 4.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos

O processo metodológico foi dividido de acordo com o fluxograma da Figura 7. A etapa 1, refere-se a organização e preparação dos dados de entrada. A etapa 2, a análise do comportamento espectral utilizando as bandas do sensor OLI e do sensor LISS-3. Na etapa 3, a comparação entre a borda gerada pela segmentação da banda

5 do sensor OLI com a aplicação de filtro de detecção de bordas às demais imagens. Na etapa 4, as conclusões sobre os resultados obtidos.

Figura 7 – Fluxograma da metodologia de trabalho.



#### 4.3.1. Escolha e aquisição das imagens

Para a escolha das imagens foi levado em consideração diversos fatores como: imagens gratuitas (disponíveis na rede), sem cobertura de nuvem e que fizessem a cobertura da mesma área. Além disso, o principal interesse foi adotar imagens que tivessem os parâmetros de imageamento bem distintos, para dessa forma, poder comparar os resultados diversos resultados obtidos.

#### 4.3.2. Georreferenciamento e Recorte

Um dos principais problemas enfrentados ao longo da realização do trabalho foi a área ser a trabalhada. Visto que, o interesse na análise de múltiplos sensores requer que todas as imagens cubram o mesmo plano.

Para que isso pudesse acontecer, foi feito o georreferenciamento das imagens utilizando o SPRING 5.2.7 através da ferramenta “Registro de Imagens”. Nesse processo, foi tomada como base a imagem LANDSAT/OLI para georreferenciar as demais.

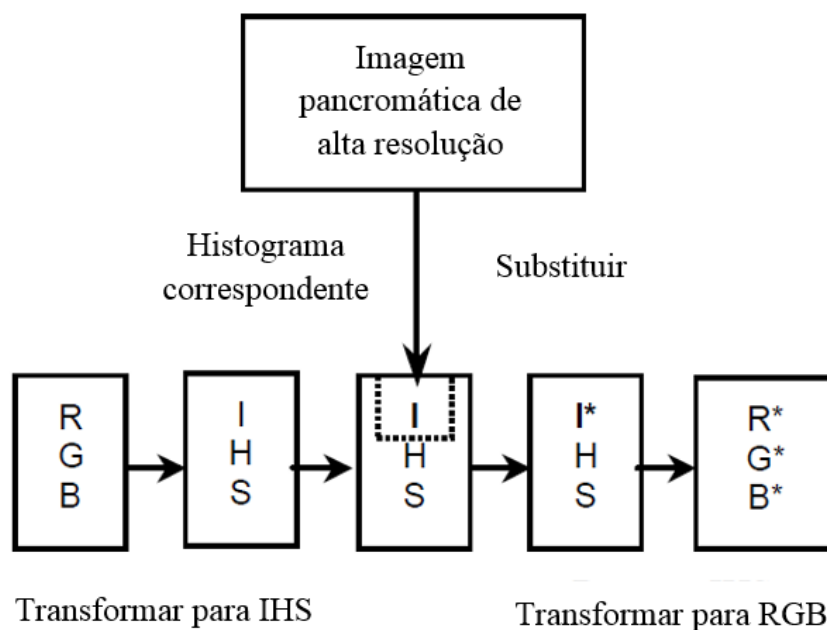
Em seguida, foi feito um recorte em todas as imagens, através da ferramenta “Recortar Plano de Informação > Selecionar Máscara > Retângulo Envolvente” e inserido as coordenadas, para que todas representassem a mesma área.

#### 4.3.3. Fusão de imagens

Com o intuito de gerar mais amostras para a comparação dos dados espaciais, foi realizada a técnica de fusão de imagens IHS. Esta técnica consiste na transformação do sistema de cores RGB para IHS. Neste último, a representação passa a ser formada por: intensidade (*Intensity* - I), matiz (*Hue* – H) e saturação (*Saturation* – S).

Após a conversão mencionada acima, a componente intensidade é substituída pela imagem pancromática de alta resolução e, em seguida é realizada a transformação IHS-RGB, conforme diagrama esquemático (Figura 8).

Figura 8 – Diagrama esquemático da fusão IHS.



Fonte: Adaptado de Zhang (2002).

Para o trabalho, foram gerados dois resultados a partir desta técnica de fusão. O primeiro, foi utilizado como dado de entrada a composição RGB com as bandas 6-5-4 do sensor OLI. Após a transformação, a componente intensidade foi substituída pela banda 8 (pancromática) do mesmo sensor, que possui 15 metros de resolução espacial. Já o segundo resultado, que utilizou os mesmos dados de entrada, após a transformação, a componente intensidade foi substituída pela única faixa espectral da câmera HRC do sensor CBERS-2B, que possui 2,7 metros de resolução espacial. A seguir, é possível visualizar os resultados na Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Fusão OLI (6-5-4 + PAN)

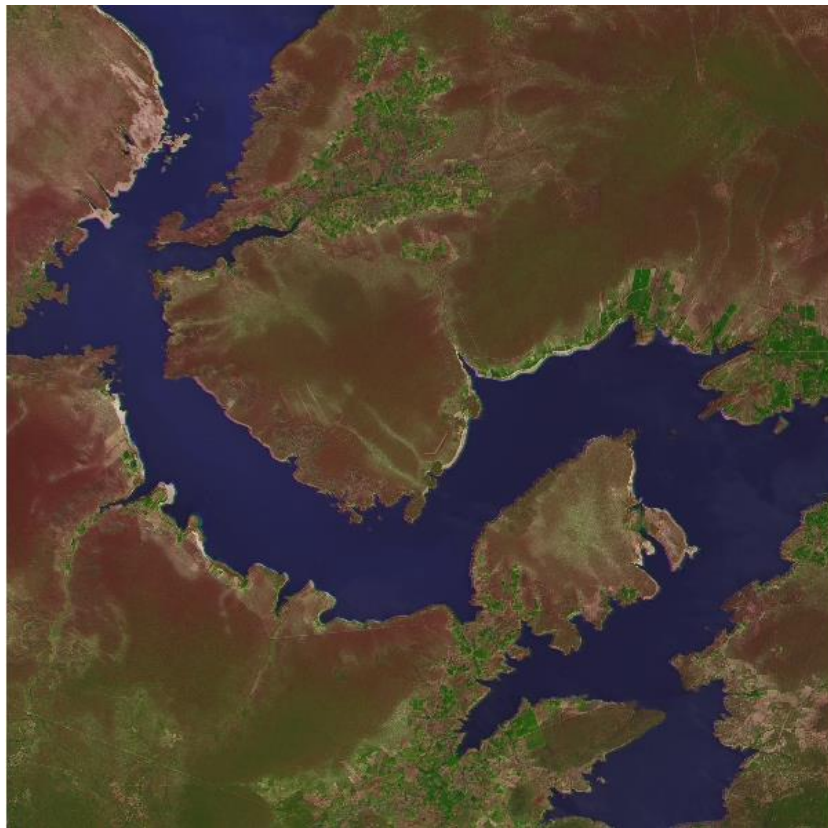
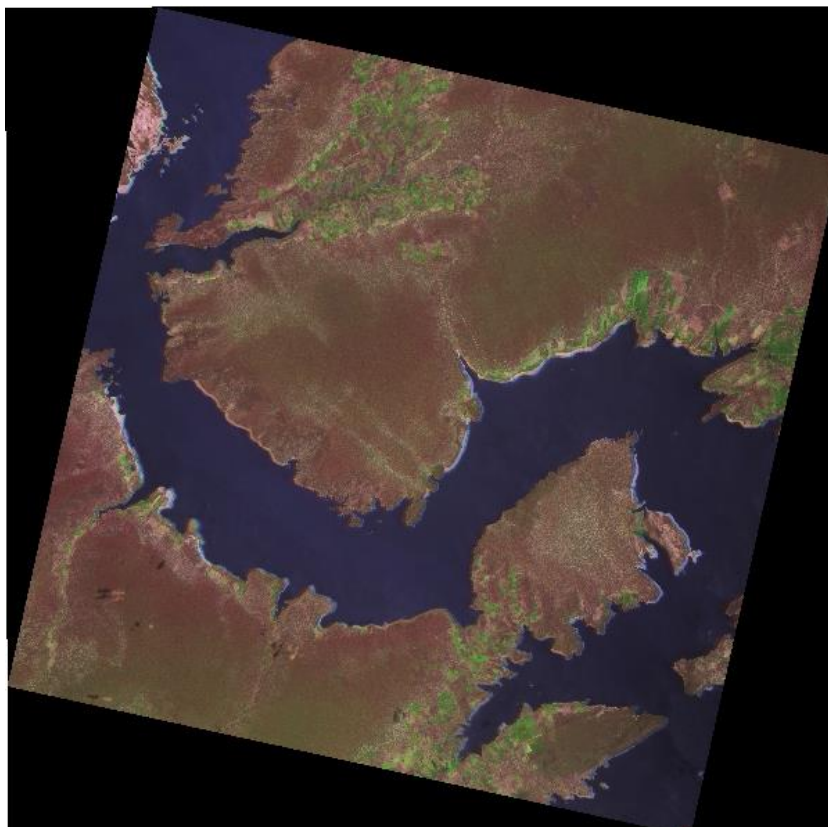


Figura 10 – Fusão OLI/HRC (6-5-4 + PAN)





#### **4.3.4. Análise do Comportamento Espectral**

O primeiro resultado deste trabalho é a análise do comportamento espectral. Visto que, o reconhecimento do comportamento espectral dos alvos serve como base para os demais resultados. A análise foi feita da seguinte forma:

Utilizando o software SPRING 5.2.7, através da ferramenta “Leitura de Pixels”, é possível determinar qual o valor do nível de cinza de um determinado pixel e seus vizinhos. Portanto, foi aplicada essa ferramenta em três amostras diferentes para cada alvo, utilizando uma máscara 5x5. Para obter um único valor do número digital, foi calculado a média dos valores das máscaras no software Scilab 5.2.2, para cada banda de todos os sensores utilizados.

#### **4.3.5. Segmentação e Aplicação de Filtros**

A partir da definição das bandas a serem trabalhadas, foram escolhidos os experimentos a serem gerados. Para utilizar como base, foi escolhida a banda 5 do LANDSAT-8/OLI e aplicada a ferramenta “Segmentação” através do software SPRING 5.2.7. Em seguida foram aplicados os filtros de Sobel para cada imagem. Foi utilizado o filtro de Sobel, pois de acordo Gonzalez e Woods (2010) esse filtro é preferível por apresentar melhor supressão de ruído (suavização) que os demais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da metodologia de análise do comportamento espectral para o sensor OLI do LANDSAT-8 e para o sensor LISS-3 do Resourcesat-1. Em seguida serão apresentados resultados da análise espacial feita a partir do cálculo da distância Euclidiana, comparando a borda gerada a partir da segmentação por crescimento de regiões com as bordas geradas a partir da aplicação do filtro de detecção de borda de Sobel.

### 5.1. Análise do Comportamento Espectral para o sensor OLI.

Para esta análise, foi identificado na imagem quatro alvos distintos. Sendo eles: Água, Leito do rio, Solo exposto e Plantações.

Água: este alvo mostrou oscilações em nível de cinza de 5209,64 a 10835,8, com os maiores valores aparecendo na Banda 2 e os menores na Banda 7.

Tabela 1 – Alvo Água do sensor OLI.

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
Água	1	10746,84	10835,8	8440,6	6236,08	5695,92	5518,12
	2	10093,12	9626,84	7296,04	5744,4	5314,72	5209,64
	3	9807,88	8891,72	7154,08	6220,8	5738,08	5554,24
	<b>Média</b>	<b>10215,95</b>	<b>9784,79</b>	<b>7630,24</b>	<b>6067,09</b>	<b>5582,91</b>	<b>5427,33</b>

Leito do rio: este alvo mostrou oscilações em nível de cinza de 13348,16 a 31423,92 com os maiores valores aparecendo na Banda 6 e os menores na Banda 2.

Tabela 2 – Alvo Leito do rio do sensor OLI

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
Leito do rio	1	13348,16	16214,36	21508,36	27071,12	31423,92	26478,68
	2	14856,28	18034,4	22428,16	28010,44	31215,88	26290,84
	3	14250,6	17305,64	21625,04	28480,32	31069,8	26015
	<b>Média</b>	<b>14151,68</b>	<b>17184,80</b>	<b>21853,85</b>	<b>27853,96</b>	<b>31236,53</b>	<b>26261,51</b>

Solo exposto: este alvo mostrou oscilações em nível de cinza de 9062,92 a 21972,72, com os maiores valores aparecendo na Banda 6 e os menores na Banda 3.

Tabela 3 – Alvo Solo exposto do sensor OLI.

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
Solo exposto	1	10067,84	9730,16	10847,76	14524,08	21111,28	15965,76
	2	9731,48	9498,64	10969,16	16425,6	21972,72	16386,96
	3	9447,64	9062,92	10293,6	14979,44	19951,24	15282,32
	<b>Média</b>	<b>9748,99</b>	<b>9430,57</b>	<b>10703,51</b>	<b>15309,71</b>	<b>21011,75</b>	<b>15878,35</b>

Plantações: este alvo apresentou oscilações em nível de cinza de 7330,72 a 30524,04, com os maiores valores aparecendo na Banda 5 e os menores na Banda 4.

Tabela 4 – Alvo Plantações do sensor OLI.

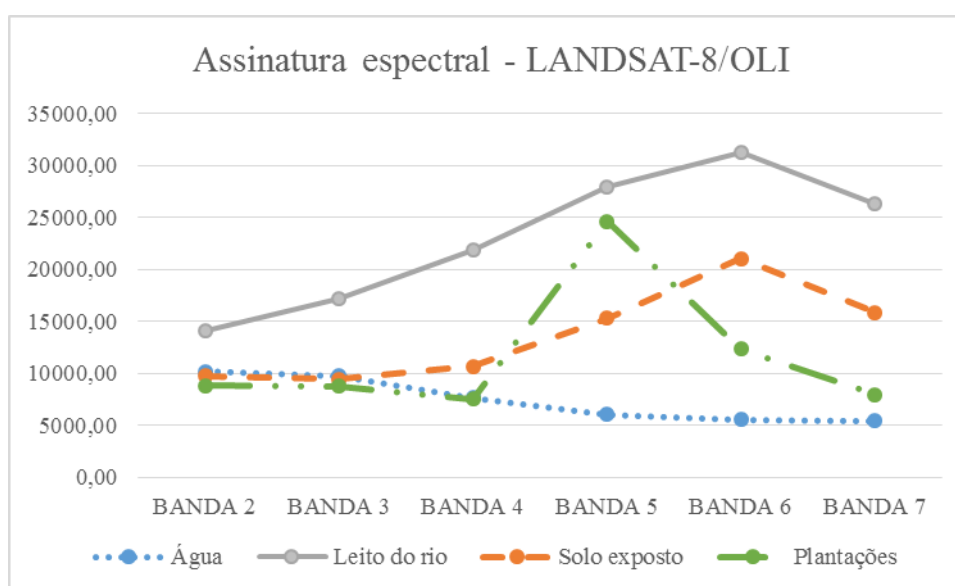
	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
Plantações	1	8693,36	8271,12	7330,72	22149,04	11031,08	7502,4
	2	8800,24	8689,28	7854,84	21232,08	11960,36	8018,84
	3	8940,28	9330,16	7440,12	30524,04	14029,72	8395,16
	<b>Média</b>	<b>8811,29</b>	<b>8763,52</b>	<b>7541,89</b>	<b>24635,05</b>	<b>12340,39</b>	<b>7972,13</b>

Com as médias obtidas (Tabela 5) para cada banda é possível gerar uma assinatura espectral (Figura 11) que representa o grau de reflectância para cada faixa de comprimento de onda do espectro eletromagnético, e assim, facilitar o entendimento do comportamento espectral dos alvos e analisar as suas discrepâncias.

Tabela 5 – Média dos números digitais em todos alvos para o sensor OLI.

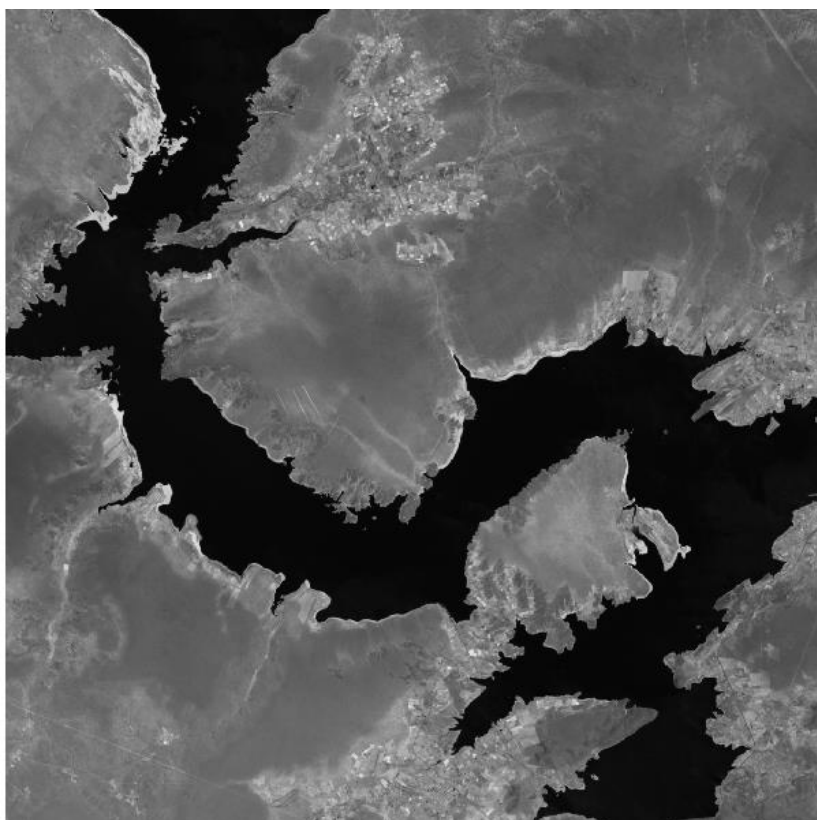
	ALVO	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
OLI	Água	10215,95	9784,79	7630,24	6067,09	5582,91	5427,33
	Leito do rio	14151,68	17184,80	21853,85	27853,96	31236,53	26261,51
	Solo exposto	9748,99	9430,57	10703,51	15309,71	21011,75	15878,35
	Plantações	8811,29	8763,52	7541,89	24635,05	12340,39	7972,13

Figura 11 – Assinatura espectral dos alvos para o sensor OLI.



A partir da assinatura espectral (Figura 11), nota-se que existe uma grande discrepância entre os alvos Plantações e Água na banda 5. Já para a banda 6, a discrepância é grande entre os alvos Leito do Rio/Solo Exposto e água. Devido à grande quantidade de plantações encontradas na região, a banda que melhor representa a borda d'água é a banda 5.

Figura 12 – Banda 5 do sensor OLI.



## 5.2. Análise do comportamento espectral para o sensor LISS-3.

Para que pudesse ser feita uma análise comparativa, foram feitas leituras de pixels dos mesmos pontos aplicados ao sensor Landsat-8/OLI.

Água: Este alvo apresentou oscilações em nível de cinza entre 10,32 e 77,76, com os maiores valores aparecendo na Banda 2 e os menores na Banda 4.

Tabela 6 – Alvo Água do sensor LISS-3.

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Água	1	77,76	27,12	10,32	14,36
	2	77,6	26,8	10,32	12,52
	3	74,2	26,36	13,72	14,24
	<b>Média</b>	<b>76,52</b>	<b>26,76</b>	<b>11,45</b>	<b>13,71</b>

Leito do rio: este alvo mostrou oscilações em nível de cinza de 155,56 a 225,00, com os maiores valores aparecendo na Banda 5 e os menores na Banda 4.

Tabela 7 – Alvo Leito do rio do sensor LISS-3.

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Leito do rio	1	187,88	182,72	155,56	206,08
	2	225	196,12	162,72	208,6
	3	207,28	186,32	164,4	206,32
	<b>Média</b>	<b>206,72</b>	<b>188,39</b>	<b>160,89</b>	<b>207,00</b>

Solo exposto: este alvo mostrou oscilações em nível de cinza de 65,56 a 150,32, com os maiores valores aparecendo na Banda 5 e os menores na Banda 3.

Tabela 8 – Alvo Solo exposto do sensor LISS-3.

	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Solo exposto	1	86,96	69,68	65,56	138,28
	2	84,64	72,44	77,4	150,32
	3	79,76	65,64	71,52	133
	<b>Média</b>	<b>83,79</b>	<b>69,25</b>	<b>71,49</b>	<b>140,53</b>

Plantações: este alvo apresentou oscilações em nível de cinza de 62,08 a 129,04, com os maiores valores aparecendo na Banda 4 e os menores na Banda 2.

Tabela 9 – Alvo Plantações do sensor LISS-3.

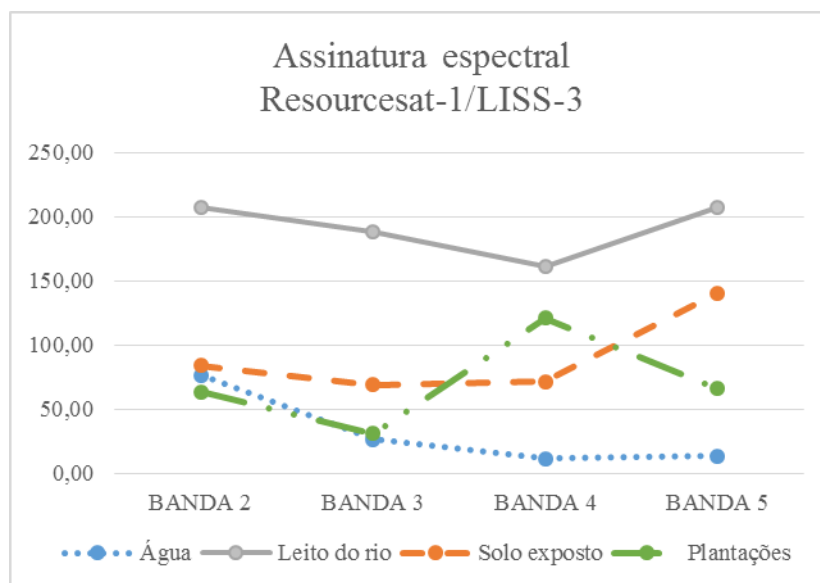
	AMOSTRA	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Plantações	1	62,08	27,92	129,04	64,16
	2	65,32	34,96	108,6	67,32
	3	63,1	30,25	125,32	66,07
	<b>Média</b>	<b>63,50</b>	<b>31,04</b>	<b>120,99</b>	<b>65,85</b>

Através das médias das amostras (Tabela 10) é possível gerar a assinatura espectral para o sensor LISS-3 (Figura 13) e analisar as discrepâncias encontradas, para assim definir a melhor banda a ser trabalhada no andamento do trabalho.

Tabela 10 – Média dos números digitais em todos alvos para o sensor LISS-3.

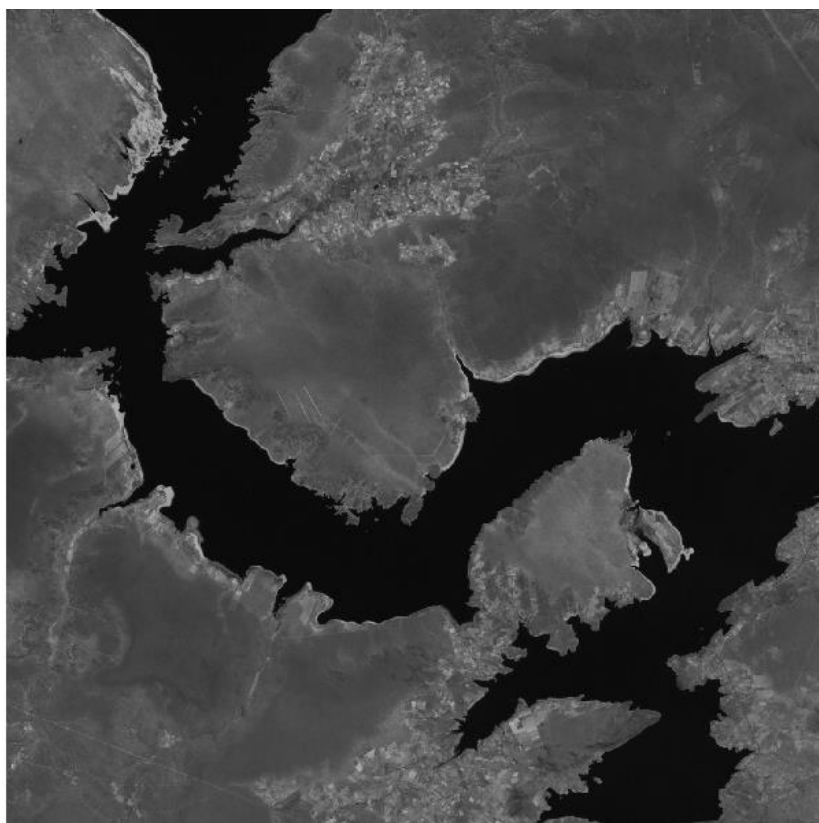
	ALVO	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
LISS-3	Água	76,52	26,76	11,45	13,71
	Leito do rio	206,72	188,39	160,89	207,00
	Solo exposto	83,79	69,25	71,49	140,53
	Plantações	63,50	31,04	120,99	65,85

Figura 13 – Assinatura espectral dos alvos para o sensor Resourcesat-1/LISS-3.



A partir da assinatura espectral (Figura 13), nota-se que existe uma grande discrepância entre os alvos Plantações e Água na banda 4 e existe uma discrepância grande entre os alvos Leito do Rio/Solo Exposto e água na banda 5. Devido à grande quantidade de plantações encontradas na região, a banda que melhor representa a borda d'água é a banda 4 para este sensor.

Figura 14 – Banda 4 do sensor LISS-3.



### 5.3. Análise Espacial

Após as análises dos comportamentos espectrais para escolhas das melhores bandas a serem trabalhadas, além dos resultados das fusões IHS aplicadas ao sensor OLI, utilizando a banda 8 (pancromática) do mesmo sensor e a única faixa espectral na câmera HRC do CBERS-2B e a imagem do sensor PALSAR, temos, para a continuação do trabalho, seis imagens como dados de entrada a serem realizadas as comparações. São elas: 1) Banda 5 do sensor OLI; 2) Banda 4 do sensor LISS-3; 3) Fusão OLI; 4) Fusão OLI/HRC; 5) Polarização HH do sensor PALSAR; 6) Polarização HV do sensor PALSAR.

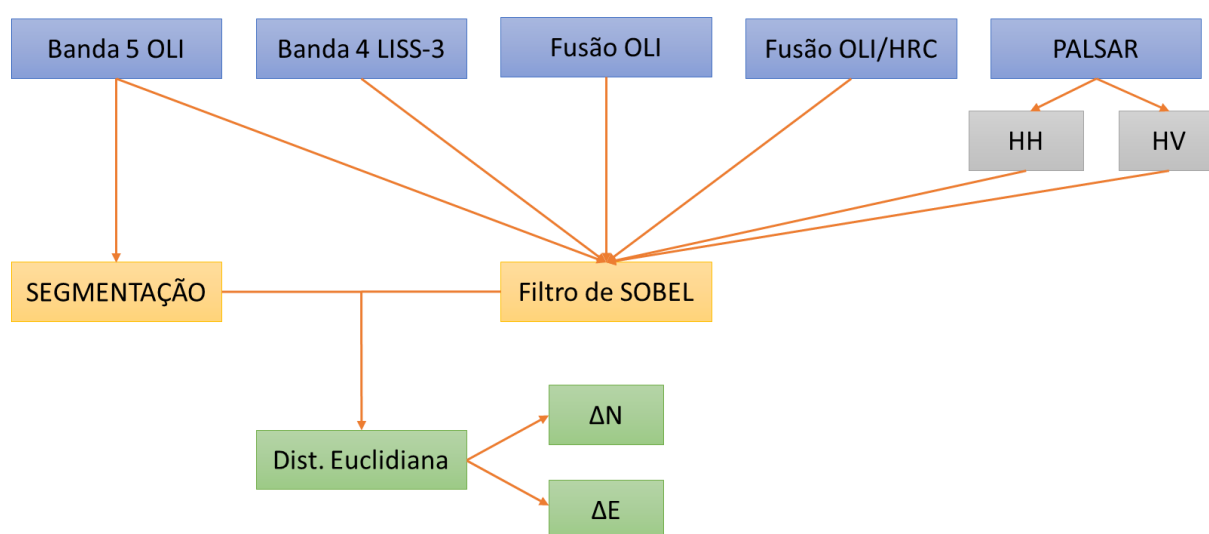
A primeira etapa da análise espacial consiste na definição de bordas. Para isto foi aplicada a técnica da segmentação por crescimento de regiões para a Banda 5 do OLI, onde esta foi utilizada como referência. Para todas as imagens foi aplicado o filtro de Sobel, onde foram gerados seis resultados distintos, que puderam ser comparados com a borda segmentada.



A segunda etapa consiste no cálculo da distância Euclidiana. Onde utilizando a borda segmentação da banda 5 do sensor OLI como referência, pode-se calcular as discrepâncias em Norte e Este com as bordas geradas das aplicações dos filtros.

Este processo é possível ser melhor compreendido na representação do organograma (Figura 15) abaixo. Onde os blocos em azul e cinza representam os dados de entrada, os blocos amarelos representação os processamentos de detecção de bordas utilizados e os blocos verdes representam o cálculo da distância euclidiana e as discrepâncias encontradas.

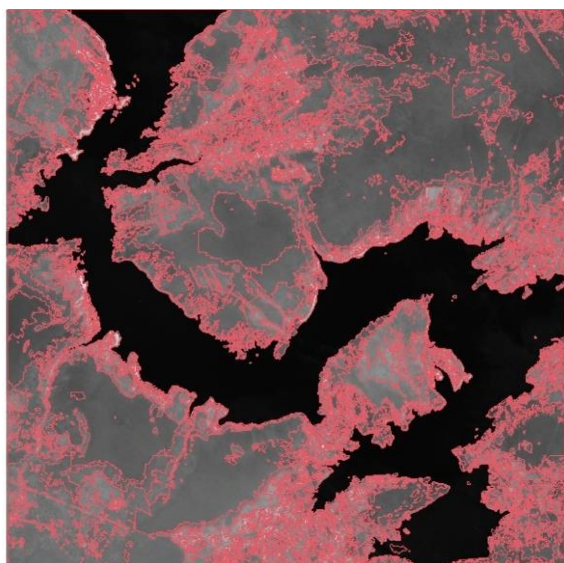
Figura 15 - Organograma da análise espacial.



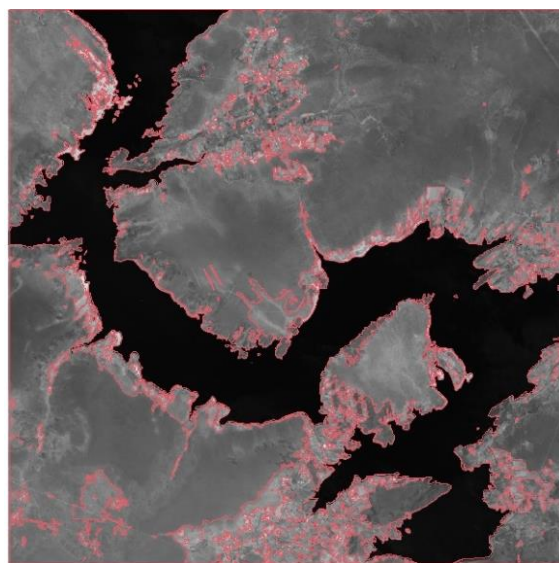
### 5.3.1. Segmentação

A segmentação foi realizada no software SPIRNG 5.2.7 a partir da banda 5 do sensor OLI através da ferramenta “Segmentação > método: Crescimento de Regiões”. Para obter os resultados é necessário assumir um valor para similaridade e área. Nos testes é possível perceber que quanto maior a similaridade e a área, menor a quantidade de bordas geradas. Visando o interesse do trabalho em apenas representar a borda do contorno do reservatório, foram analisados os seguintes testes:

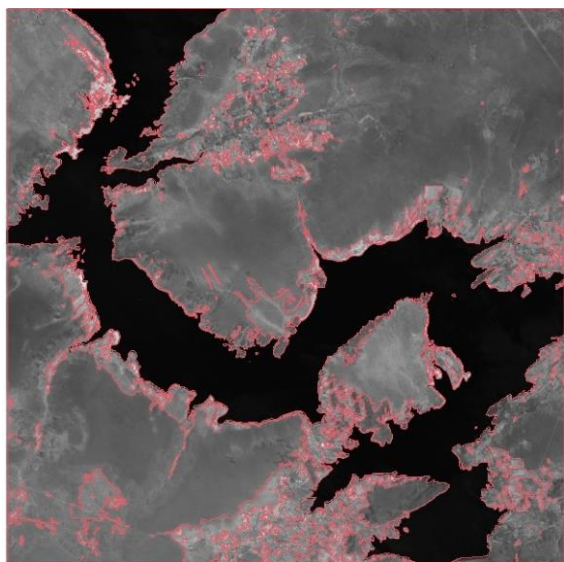
Figura 16 – Testes de segmentação.



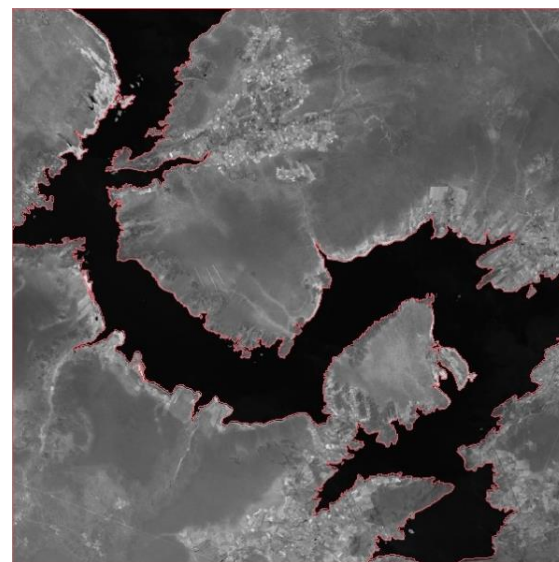
a) Sim = 1000, Área = 3



b) Sim = 2500, Área = 9

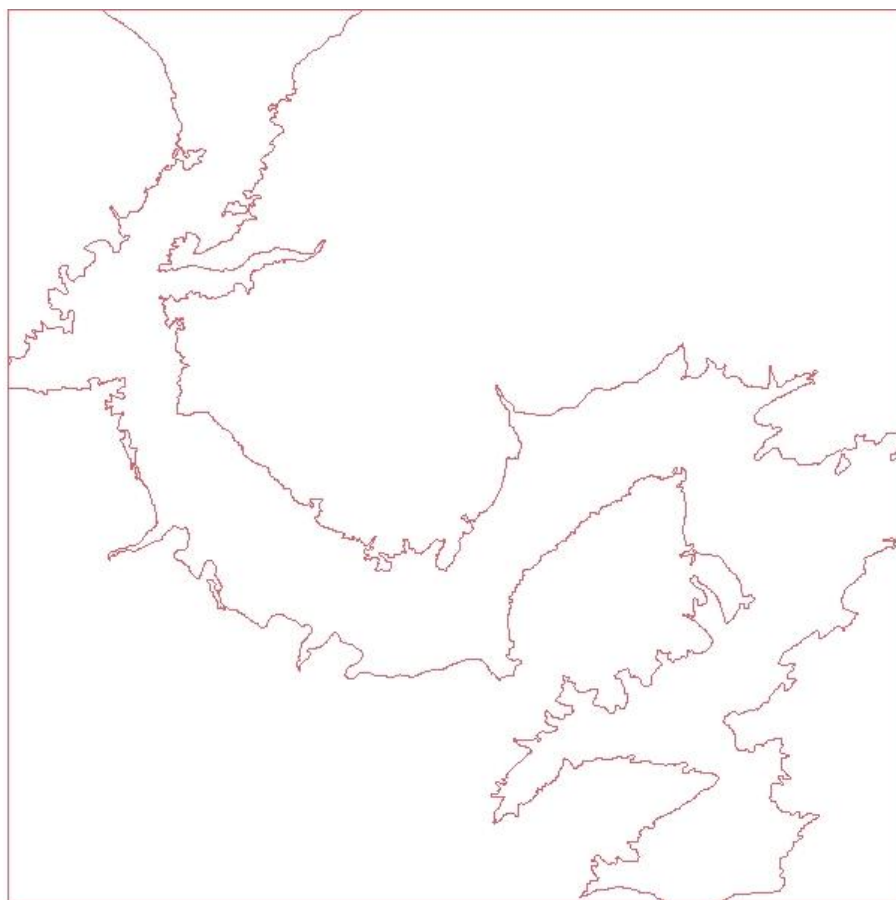


c) Sim = 5000, Área = 30



d) Sim = 9000, Área = 100

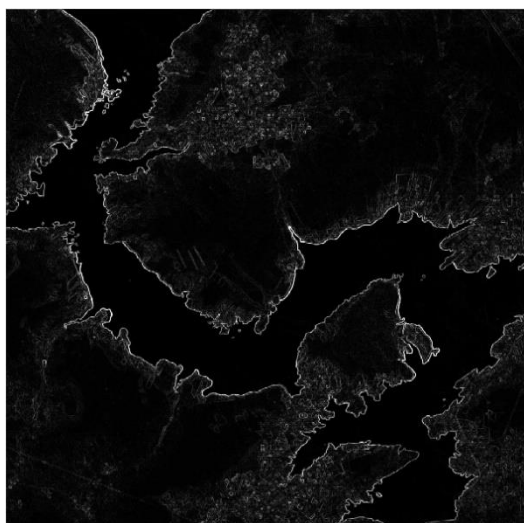
Figura 17 – Segmentação com Sim = 9000 e Área = 100.



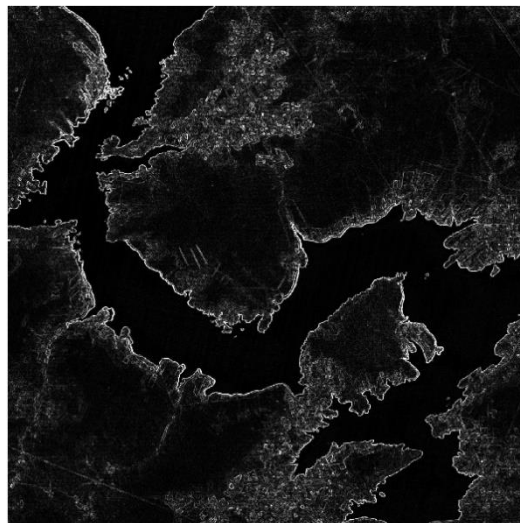
### 5.3.2. Aplicação do filtro de Sobel

A aplicação do filtro de Sobel foi realizada no software SPRING 5.2.7 através da ferramenta “Filtragem > tipos: Não Linear > Detecção de bordas > Sobel”. Este experimento realizado para todas as seis imagens de dados de entrada e gerado os seguintes resultados:

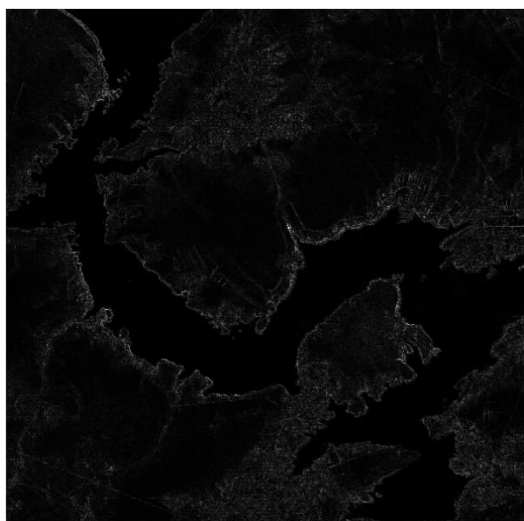
Figura 18 – Aplicação do filtro de Sobel.



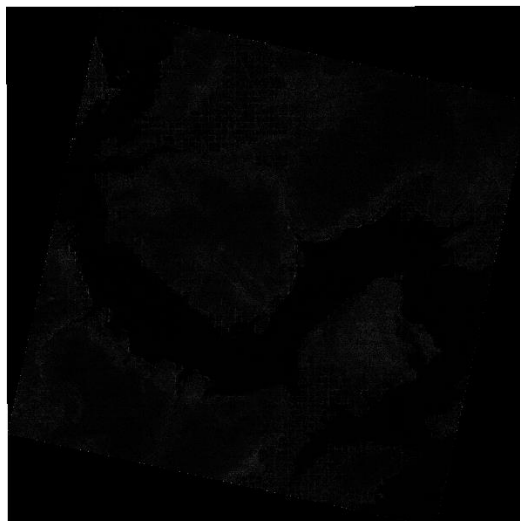
a) Banda 5 do sensor OLI.



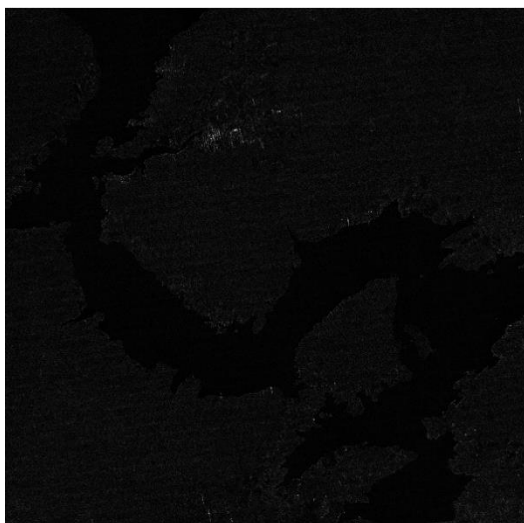
b) Banda 4 do sensor LISS-3.



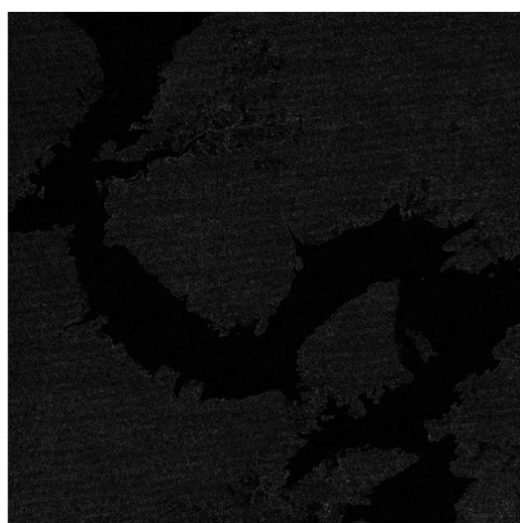
c) Fusão OLI.



d) Fusão OLI/HRC.



e) Polarização HH do PALSAR.



f) Polarização HV do PALSAR.

### 5.3.3. Cálculo da distância Euclidiana

Para o cálculo da distância Euclidiana, foi utilizado o software SPRING 5.2.7 a partir da ferramenta “Operações Métricas > opção: Distância Euclidiana”. Foram realizadas seis comparações no total, todas entre a segmentação gerada a partir da banda 5 do sensor OLI e os resultados das aplicações do filtro de Sobel. Para cada comparação foram retiradas três amostras do entorno do reservatório e calculadas as discrepâncias em Norte e Este para cada amostra.

A seguir é possível visualizar nas ilustrações, onde a linha branca representa a borda gerada pela aplicação do filtro de detecção de borda, a linha vermelha representa a borda gerada pela segmentação por crescimento de regiões, o “X” em vermelho representa o ponto que foi coletado e o traço em vermelho representa a distância Euclidiana entre os dois pontos.

#### ❖ Análise da Banda 5 do sensor OLI.

A banda 5 do sensor OLI foi utilizada nesse experimento tanto para a borda gerada a partir da segmentação quanto para a borda gerada na aplicação do filtro de Sobel. Como o objetivo é analisar a distância Euclidiana, nesse caso, serve para constatar se a referência utilizada é correspondente.

Figura 19 – Ponto 1 (Banda 5 OLI).

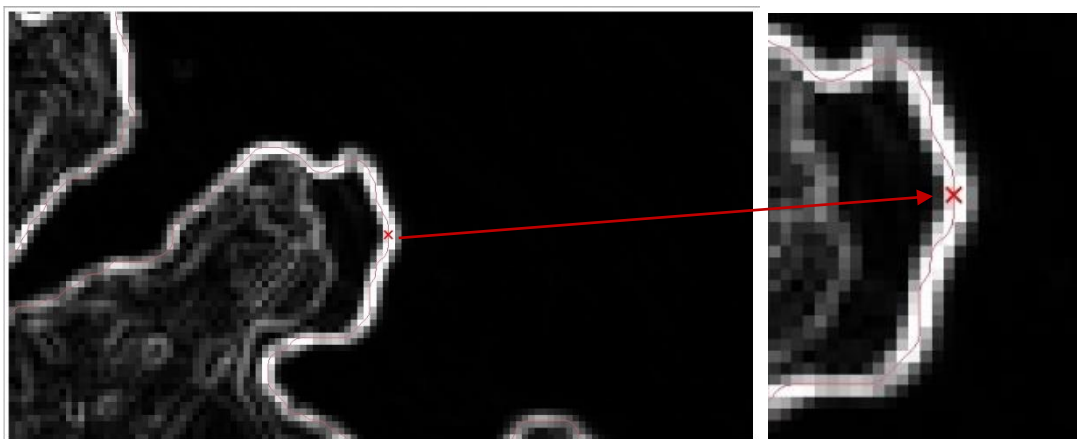




Figura 20 – Ponto 2 (Banda 5 OLI).

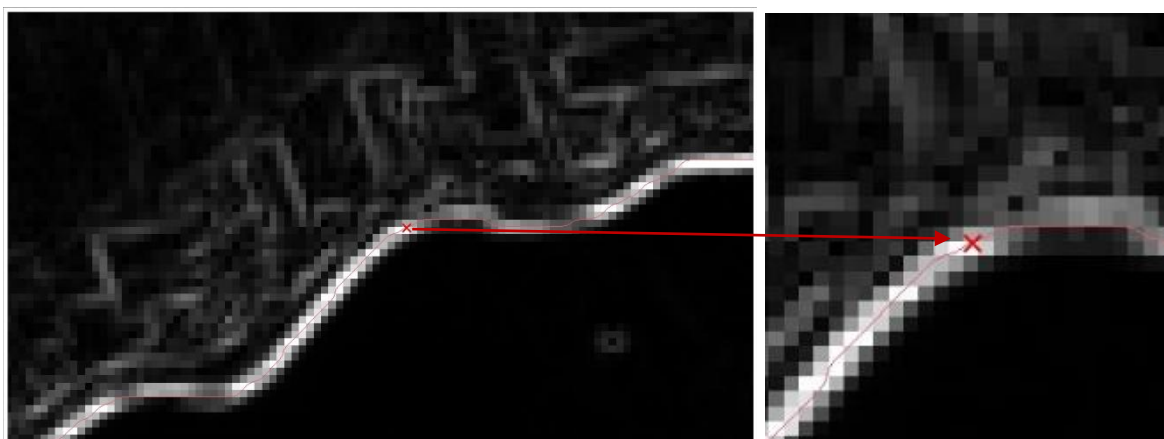
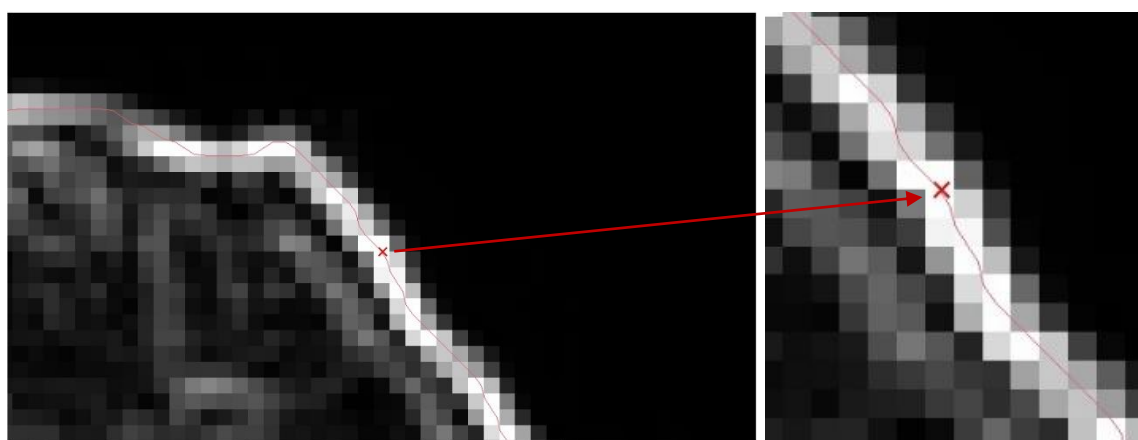


Figura 21 – Ponto 3 (Banda 5 OLI).



É possível perceber, que em todos os pontos coletados, a linha da borda gerada pela aplicação do filtro coincidiu com a borda da segmentação. Isso ocorreu pois ambas utilizaram como dado de entrada, a imagem original da banda 5 do sensor OLI. Portanto, esse resultado é interessante para conferir que a borda adotada como referência realmente pode ser adotada como ponto de partida para os outros resultados. Nesse caso, não houveram discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  e a distância Euclidiana foi zero, como é possível perceber nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Coordenadas dos pontos da Banda 5 OLI.

PONTOS	Banda 5 OLI			
	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da Banda 5 OLI	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555898,3750	9002894,0000
2	571069,8750	9008440,0000	571069,8750	9008440,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575958,0000	9002016,0000

Tabela 12 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Banda 5 OLI.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000

## ❖ Análise da Banda 4 do sensor LISS-3.

A banda 4 do sensor LISS-3 é a que mais se assemelha da utilizada na referência. Por se tratar de um sensor passivo e possuir uma resolução espacial próxima do sensor OLI, o objetivo é saber se vai existir um comportamento semelhante ao anterior.

Figura 22 – Ponto 1 (Banda 4 LISS-3).

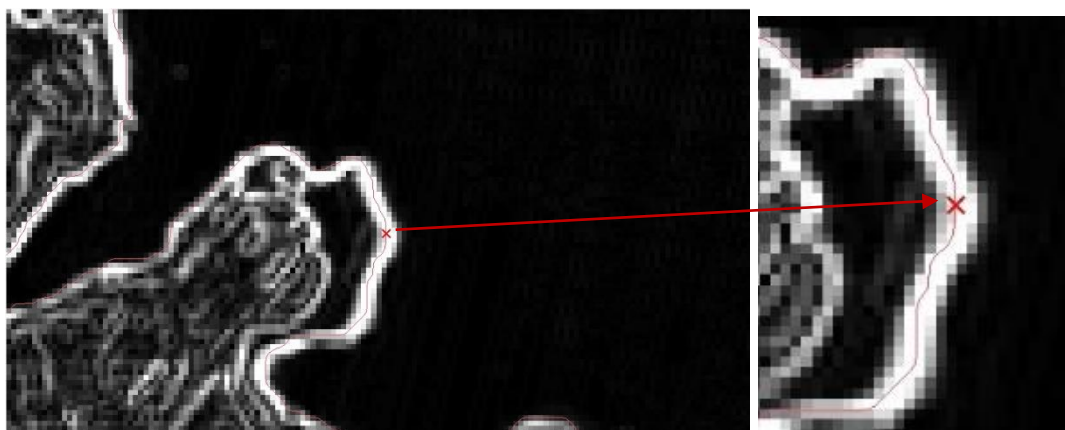


Figura 23 – Ponto 2 (Banda 4 LISS-3).

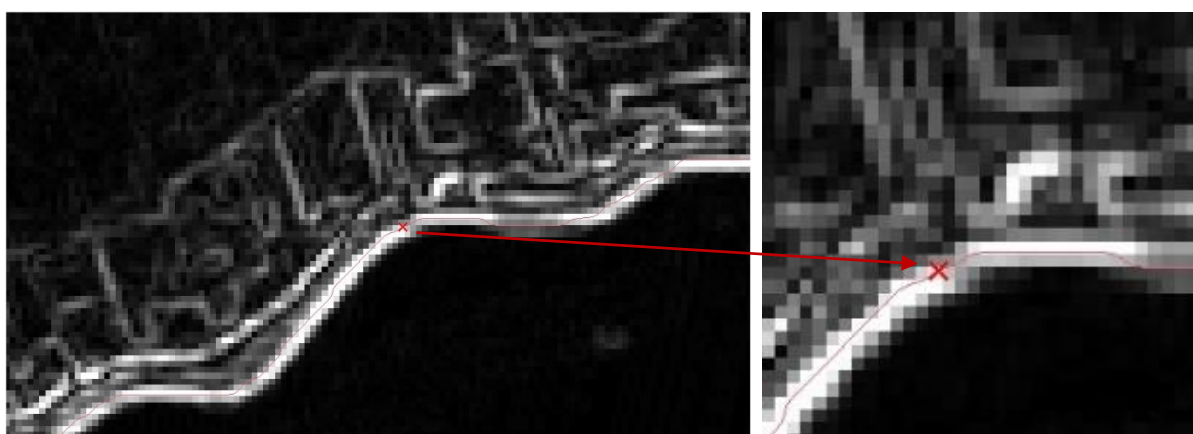
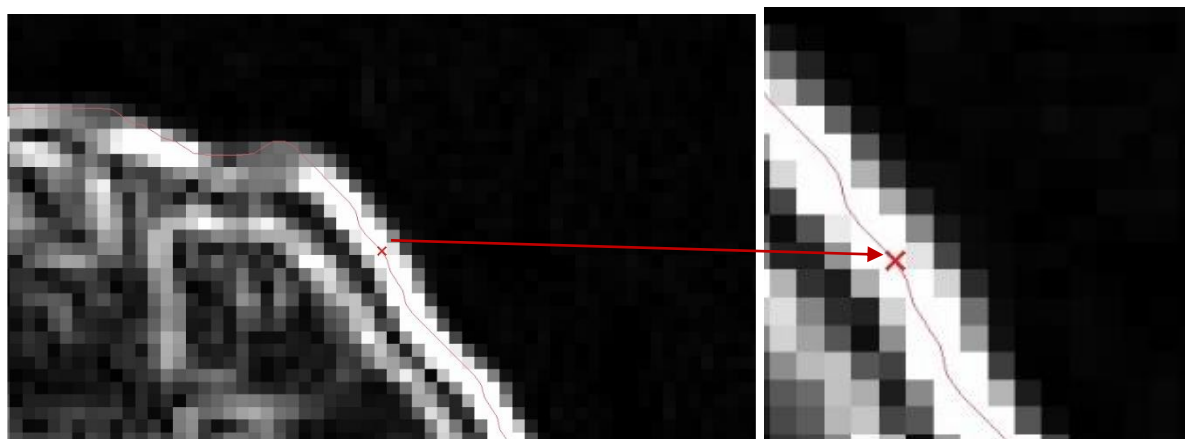


Figura 24 – Ponto 3 (Banda 4 LISS-3).



Analisando visualmente, é possível perceber que a aplicação do filtro de Sobel se assemelhou bastante do utilizando no sensor OLI. A borda do reservatório na aplicação desse filtro, nesse caso, também coincidiu com a borda da segmentação. Dessa forma, essa borda também pode ser utilizada como referência nesta análise. Diante o exposto, através das Tabelas 13 e 14 vemos que os valores se repetem, sendo nula as discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  e na distância Euclidiana.

Tabela 13 – Coordenadas dos pontos da Banda 4 LISS-3.

Banda 4 LISS-3				
PONTOS	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da Banda 4 LISS-3	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555898,3750	9002894,0000
2	571069,8750	9008440,0000	571069,8750	9008440,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575958,0000	9002016,0000

Tabela 14 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Banda 4 LISS-3.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000

#### ❖ Análise da Fusão OLI.

A Fusão OLI foi gerada a partir da composição RGB 6-5-4 do sensor OLI com a banda 8 (pancromática) de 15 m de resolução espacial. O objetivo é que com a aplicação do filtro de Sobel, fosse gerada uma borda mais fina e com maior



detalhamento. Portanto, esta análise serve para conferir se a borda da segmentação continua a coincidir a borda do filtro ou se neste caso houveram discrepâncias.

Figura 25 – Ponto 1 (Fusão OLI).

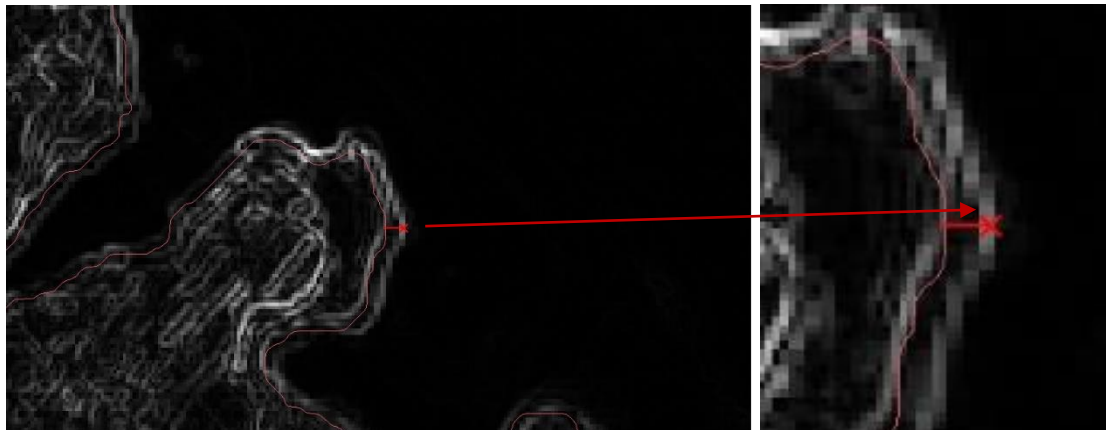


Figura 26 – Ponto 2 (Fusão OLI).

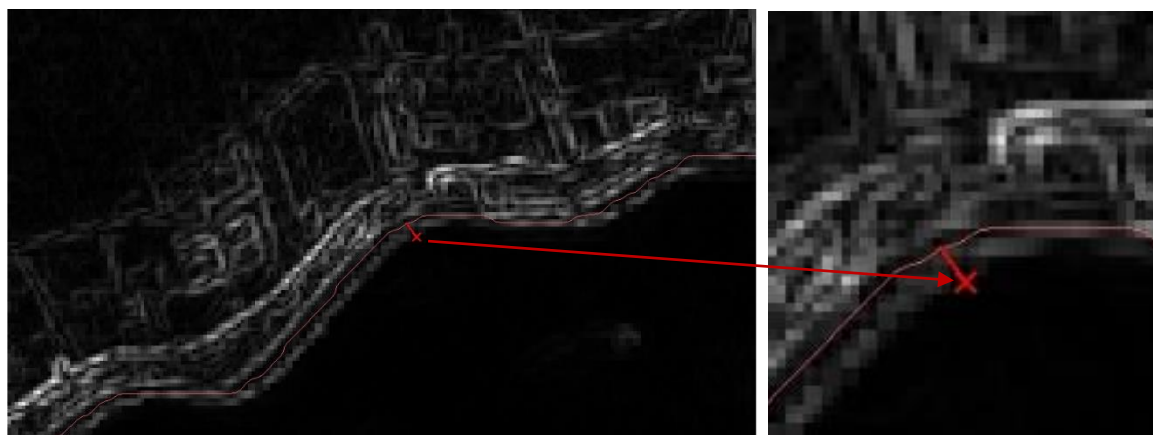
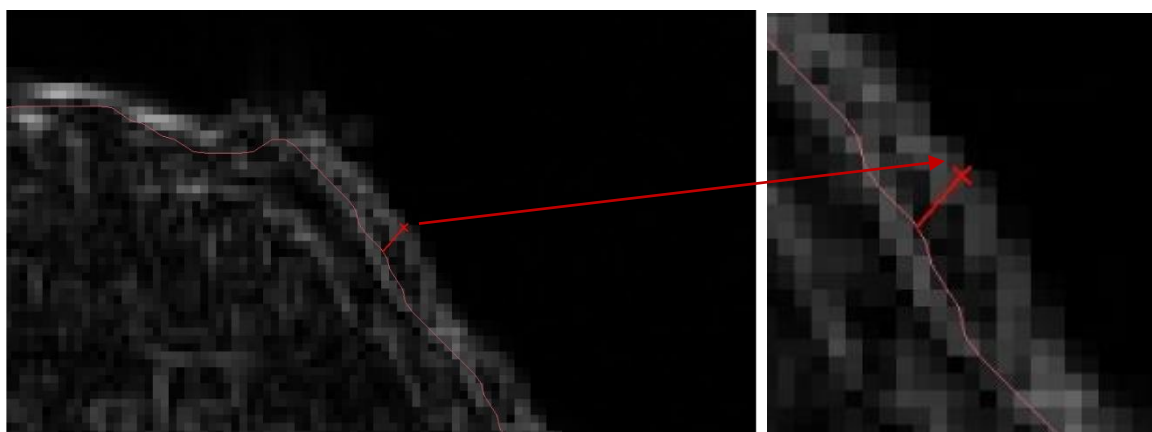


Figura 27 – Ponto 3 (Fusão OLI).



Como foi mencionado acima, a Fusão OLI representa uma resolução espacial de 15 m. Desta forma, visualmente é perceptível que ela apresenta mais detalhes.

Todavia, apresentou um pequeno deslocamento da borda segmentada de referência. Nesse caso, houveram discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  e a distância Euclidiana variou entre 60,35 m e 84,73 m, como é exposto nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Coordenadas dos pontos da Fusão OLI.

Fusão OLI				
PONTOS	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da Fusão OLI	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555983,0625	9002894,0000
2	571069,8750	9008440,0000	571104,8750	9008382,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575999,2500	9002059,0000

Tabela 16 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Fusão OLI.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
-84,6875	0,0000	84,7336
-35,0000	58,0000	68,7819
-41,2500	-43,0000	60,3558

#### ❖ Análise da Fusão OLI/HRC

O sensor HRC do CBERS-2B, é o que apresenta melhor resolução espacial dentre todos os analisados neste trabalho (2,7 m). Sendo assim, espera-se que a borda gerada pela aplicação do filtro de Sobel apresente ainda mais detalhes que a Fusão OLI.

Figura 28 – Ponto 1 (Fusão OLI/HRC).

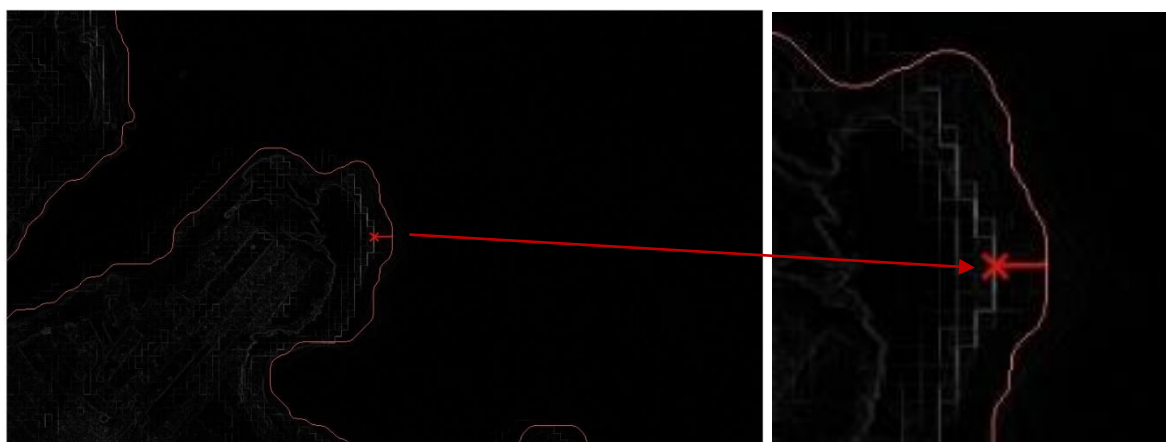


Figura 29 – Ponto 2 (Fusão OLI/HRC).

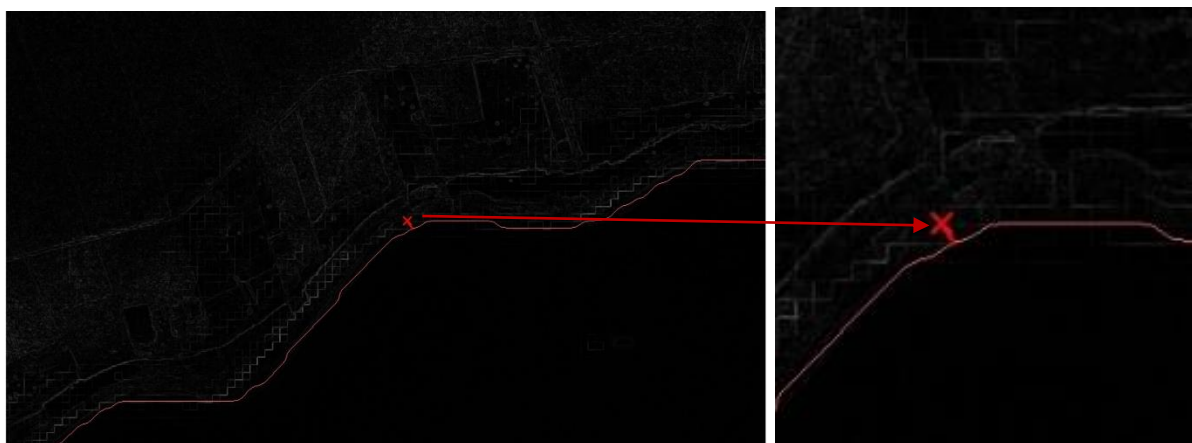


Figura 30 – Ponto 3 (Fusão OLI/HRC).



A aplicação do filtro de detecção de bordas na Fusão OLI/HRC apresentou resultados excelentes. Nele é possível visualizar nitidamente a borda do reservatório de forma bem detalhada. Em tal caso, houveram discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  e a distância Euclidiana variou entre 28,33 m e 81,41 m, o que é bastante aceitável, levando em consideração a grande diferença entre as resoluções espaciais.

Tabela 17 – Coordenadas dos pontos da Fusão OLI/HRC.

Fusão OLI/HRC				
PONTOS	Coordenadas da segmentação		Coordenadas da Fusão OLI/HRC	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555813,6250	9002898,0000
2	571069,8750	9008440,0000	571049,4375	9008466,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575980,0000	9002033,0000

Tabela 18 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Fusão OLI/HRC.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
84,7500	-4,0000	81,4146
20,4375	-26,0000	35,5732
-22,0000	-17,0000	28,3308

## ❖ Análise da Polarização HH do PALSAR.

O sensor PALSAR do satélite ALOS possui parâmetros de imageamento diferentes por se tratar de um sensor ativo, conforme foi mencionado no item 2.1.4. A polarização HH significa que ele transmite e recebe polarização horizontal (H).

Figura 31 – Ponto 1 (PALSAR HH).

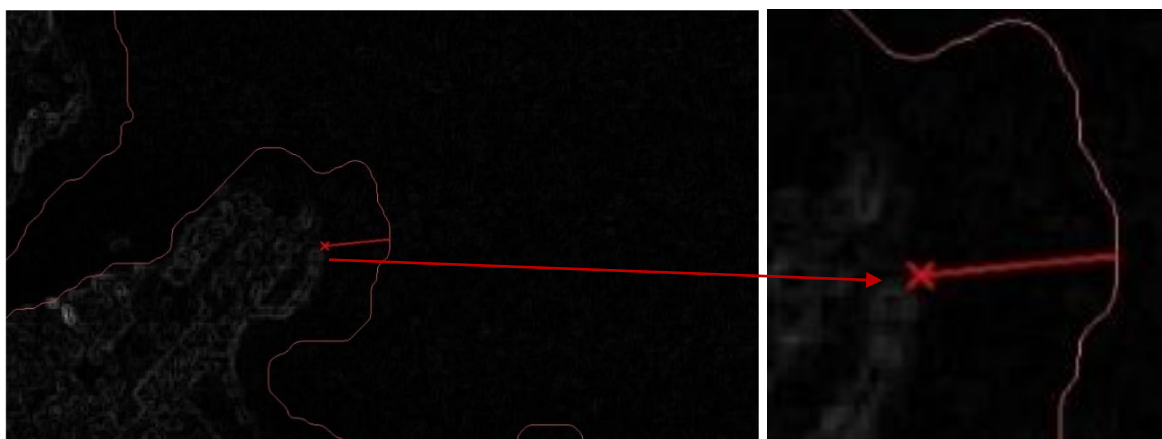


Figura 32 – Ponto 2 (PALSAR HH).

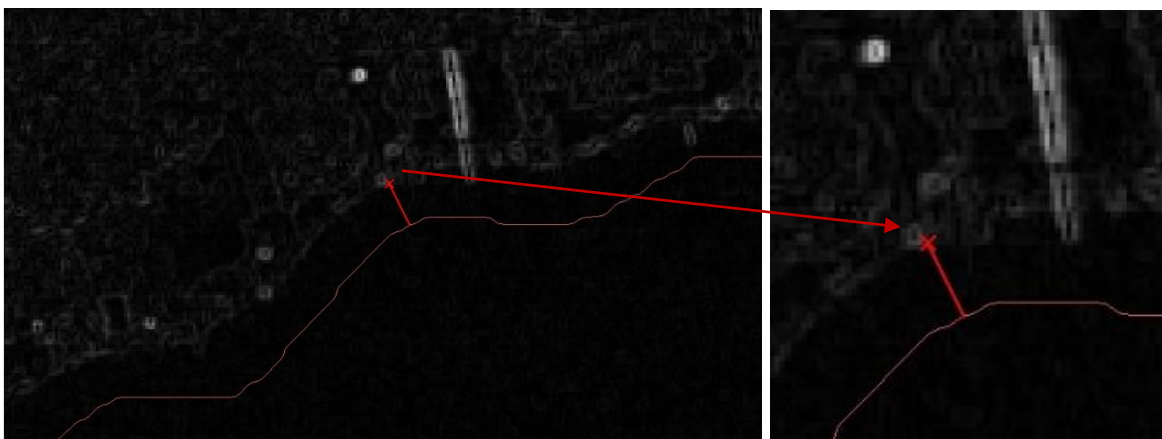
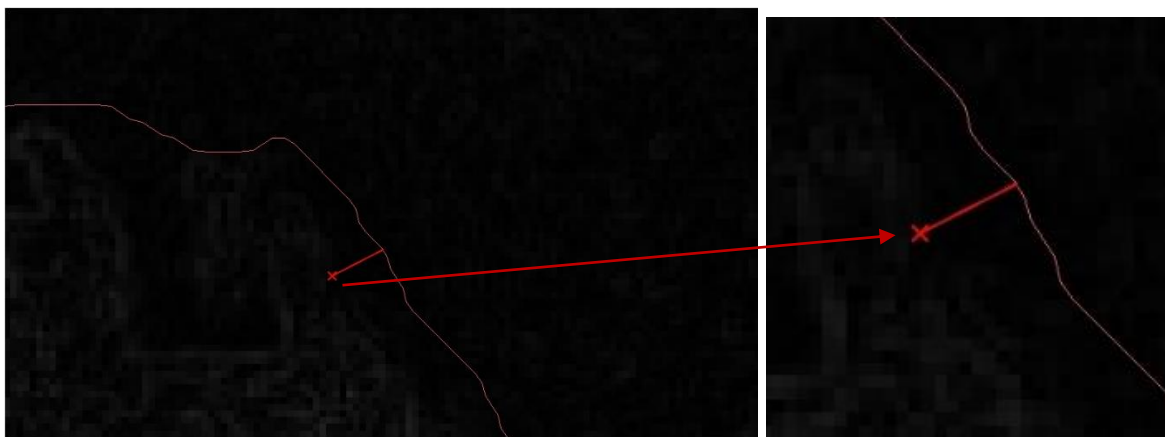


Figura 33 – Ponto 3 (PALSAR HH).



A aplicação filtro de Sobel na polarização HH do PALSAR não apresentou um bom resultado visual. Percebe-se que há muitas falhas na definição da borda, o que dificulta a sua identificação. Levando em conta também a sua forma de aquisição da imagem que é diferente dos sensores passivos, verifica-se na Tabela 19 e 20, que houveram grandes discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$ , com a distância Euclidiana variando entre 108,20 m e 306,55 m.

Tabela 19 – Coordenadas dos pontos da Polarização HH do PALSAR.

PONTOS	PALSAR HH			
	Coordenadas da segmentação		Coordenadas do PALSAR HH	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555593,3125	9002854,0000
2	571069,8750	9008440,0000	570985,2500	9008597,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575861,6875	9001966,0000

Tabela 20 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Polarização HH do PALSAR.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
305,0625	40,0000	306,5571
84,6250	-157,0000	178,5958
96,3125	50,0000	108,2087

#### ❖ Análise da Polarização HV do PALSAR.

A Polarização HV do PALSAR, trata-se da mesma imagem que mencionada no tópico anterior. A diferença está na dupla polarização linear, onde, neste caso, é transmitido uma polarização horizontal (H) e recebido vertical (V).

Figura 34 – Ponto 1 (PALSAR HV).

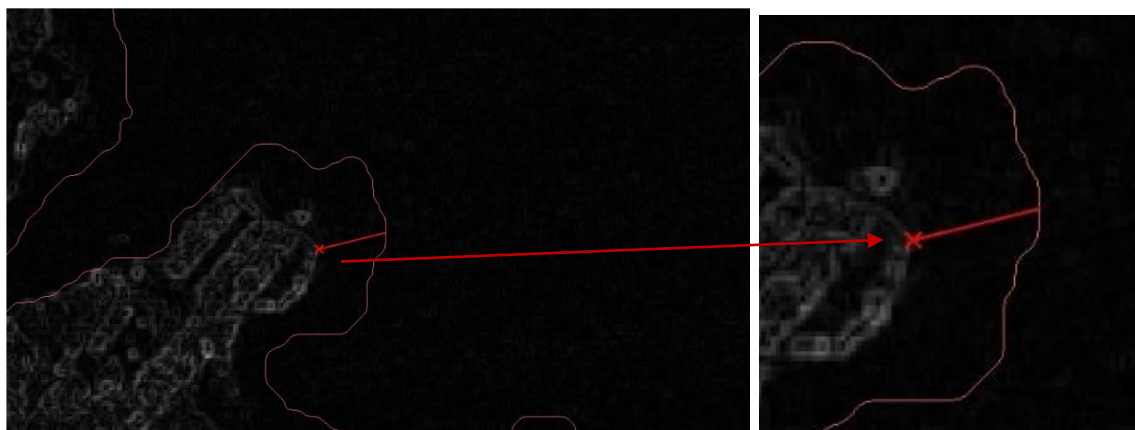


Figura 35 – Ponto 2 (PALSAR HV).

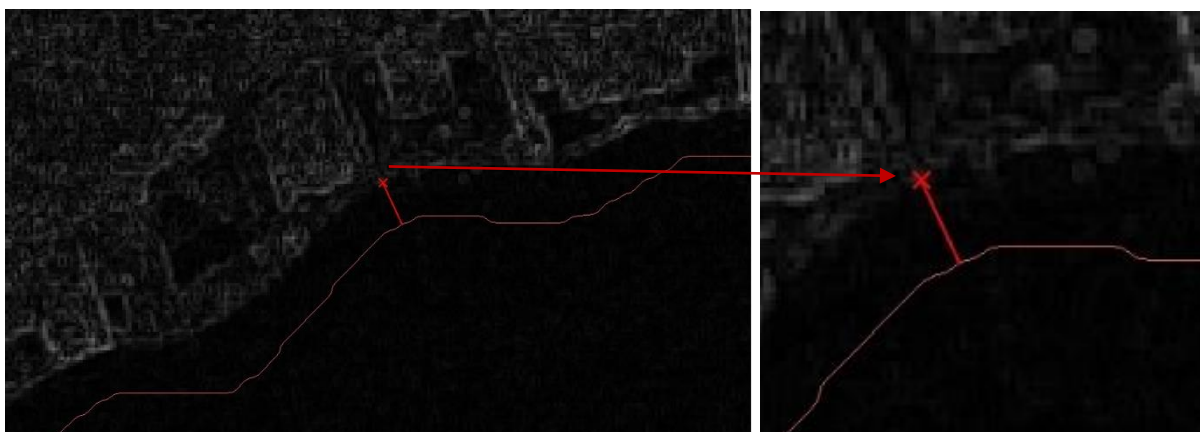
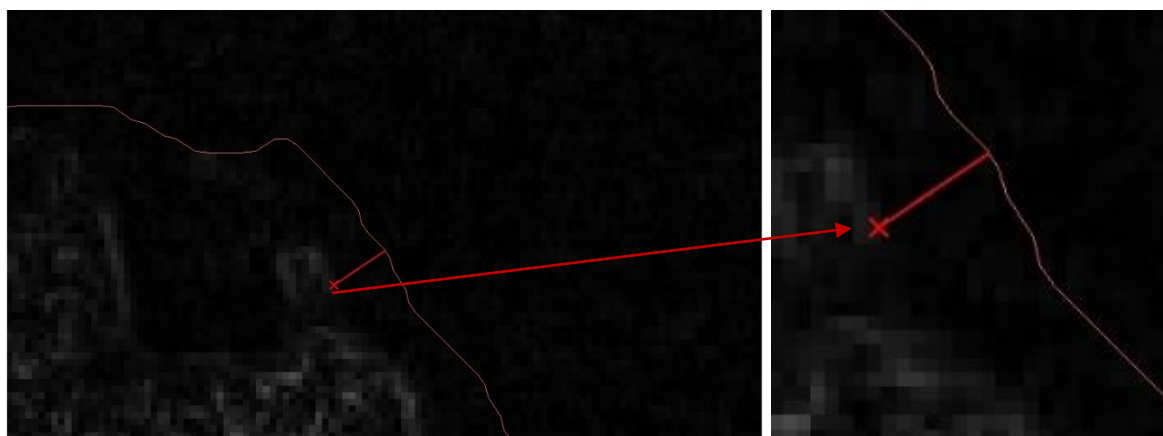


Figura 36 – Ponto 3 (PALSAR HV).



A aplicação filtro de Sobel na polarização HV do PALSAR não apresentou um bom resultado visual. É possível perceber, assim como o anterior, que houveram muitas falhas na definição da borda. Todavia, em comparação com a Polarização HH, as linhas de borda apresentam tons mais claros e com mais fácil percepção. Isso

provavelmente ocorre devido ao fenômeno de “*corner reflector*”, onde a transmissão horizontal e o recebimento vertical do sinal radar, destacam os alvos verticais presentes na imagem. Portanto, verifica-se na Tabela 21 e 22, que houveram grandes discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$ , com a distância Euclidiana variando entre 115,88 m e 324,67 m.

Tabela 21 – Coordenadas dos pontos da Polarização HV do PALSAR.

PALSAR HV				
PONTOS	Coordenadas da segmentação		Coordenadas do PALSAR HV	
	E	N	E	N
1	555898,3750	9002894,0000	555583,1250	9002813,0000
2	571069,8750	9008440,0000	570985,2500	9008600,0000
3	575958,0000	9002016,0000	575860,3125	9001951,0000

Tabela 22 – Discrepâncias e distância Euclidiana da Polarização HV do PALSAR.

$\Delta E$	$\Delta N$	Dist. Euclidiana
315,2500	81,0000	324,6732
84,6250	-160,0000	179,8838
97,6875	65,0000	115,8869

A partir dos resultados das tabelas 16, 18, 20 e 22 obteve-se os gráficos que sintetizam as amostragens nos pontos 1, 2 e 3. A fusão OLI/HRC é a que obteve um melhor comportamento em termos de discrepâncias para os três pontos, tendo valores menores que os demais resultados.



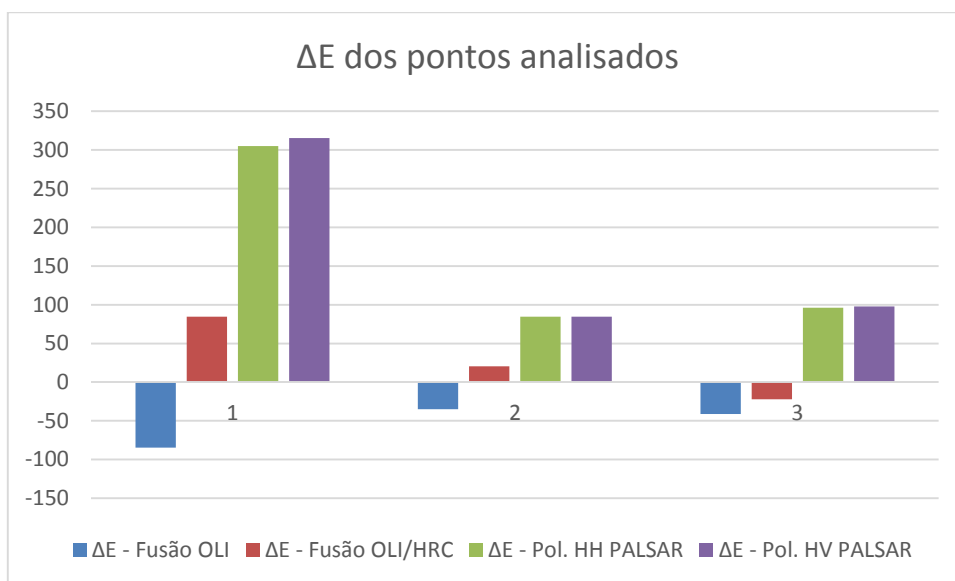
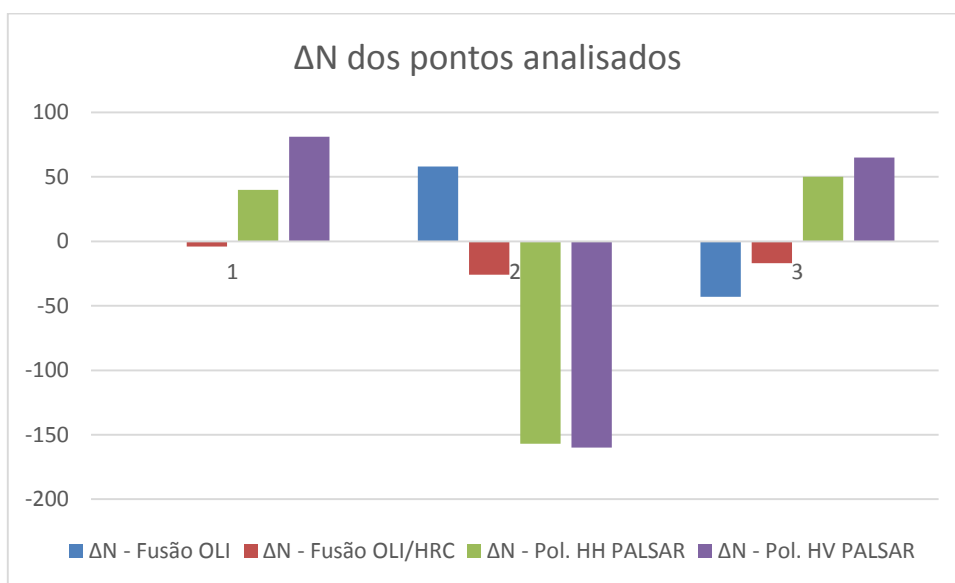
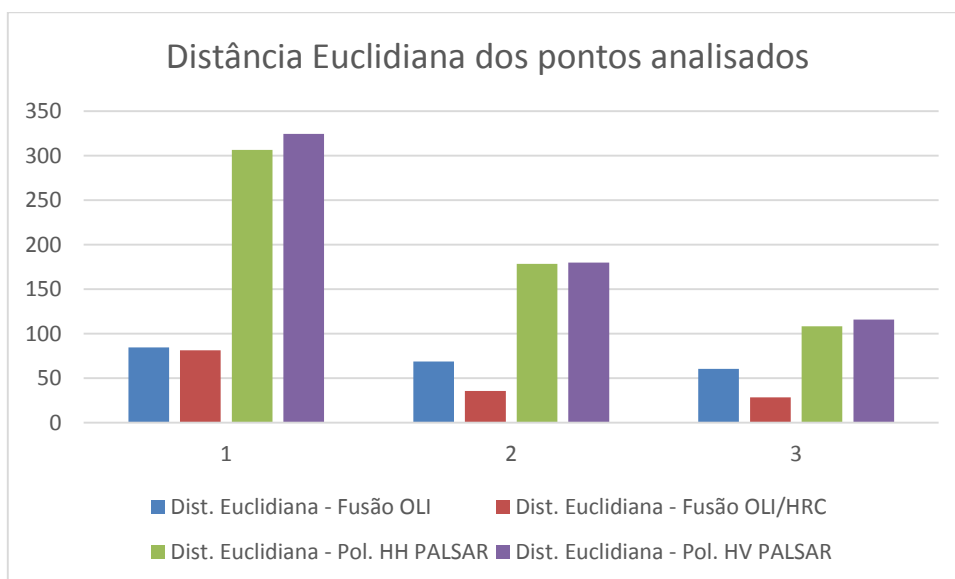
Figura 37 – Gráfico de  $\Delta E$ .Figura 38 – Gráfico de  $\Delta N$ .



Figura 39 – Gráfico de Distância Euclidiana.



## 6. CONCLUSÕES

A detecção de borda de reservatório mostrou ser extremamente importante porque ele é a separação entre os alvos água e terra. Esta conclusão é muito importante para o mapeamento de borda utilizando imagens de sensoriamento remoto, porque chama a atenção para a qualidade de dados espectrais e espaciais.

A metodologia utilizada para os resultados da análise do comportamento espectral mostrou-se eficiente na escolha da melhor banda a ser trabalhada, essa metodologia pode ser utilizada para várias aplicações em processamento de imagens.

A análise espacial, a partir do cálculo da distância Euclidiana, comparou a Segmentação da Banda 5 do sensor OLI com a aplicação do filtro de Sobel para duas imagens de sensores passivos, duas imagens com aplicação de fusão e duas imagens de sensor ativo. Portanto, a experiência foi satisfatória, visto que o interesse no trabalho era a comparação entre tipos de sensores diferentes.

As comparações realizadas entre os sensores passivos, não apresentaram discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$ ; as imagens a partir da aplicação das fusões mostraram mais detalhamento da borda com as distâncias Euclidianas de poucos metros; as imagens do sensor ativo mostraram grande discrepância com a borda segmentada, e foi visto que isso acontece devido as diferentes parâmetros e formas de aquisição entre os sensores. Observou-se que a fusão OLI/HRC apresenta discrepâncias em  $\Delta E$  e  $\Delta N$  menores que os demais resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª ed. 236 p. Brasília: Aneel, 2008.

CHESF. Descrição do aproveitamento de Luiz Gonzaga. Disponível em <  
[http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf\\_portal/paginas/sistema\\_chesf/sistema\\_chesf\\_geracao/container\\_geracao?p\\_name=8A2EEABD3BE1D002E0430A803301D002](http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/container_geracao?p_name=8A2EEABD3BE1D002E0430A803301D002)> Acesso em 19 de Agosto de 2014.

DO VALE, G. M.; DAL POZ, A. P. Processo de detecção de bordas de Canny. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 8, no 2, p.67-78, 2002.

GALVANIN, E. A. S.; SILVA, E. A. Detecção de bordas em imagens digitais através de um processo de difusão anisotrópica não linear. RECIE, Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 73-78, jan.-dez. 2006.

GONZALEZ, R. F.; WOODS, R. E. Processamento de Imagens digitais. 3ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GUILLOU, A. N.; TAVARES JÚNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B. Filtros para extração de bordas: um estudo preliminar para o reservatório de Itaparica. In: VII Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE. Aracaju, 2014.

GUILLOU, A. N.; TAVARES JÚNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B. Análise da contribuição de fusão para a detecção de bordas aplicada às imagens Landsat-8/OLI. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. João Pessoa: INPE, 2015.

MARQUES FILHO, O; VIEIRA NETO, H. Processamento Digital de Imagens, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MELO, G. L. Estudo da qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado na bacia do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em

Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil. Recife: UFPE, 2007.

NASA. Landsat 8: *Mission Details*. 2014. Disponível em: < [http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page\\_id=4091](http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4091) > Acesso em 14 de Outubro de 2014.

NOVO, E. M. L. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.4.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2010.

PAES, R. F. de C.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. do C. Sistemas de Informações Geográficas para Subsidiar a Tomada de Decisão na Gestão Ambiental de Reservatórios. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2010.

SANTOS, J. G. Investigação metodológica de detecção de bordas de reservatório. Estudo de caso: Reservatório de Sobradinho – BA. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação. Recife: UFPE, 2012.

SILVA, C. B.; PONZONI, F. G.; SANTOS, S. B. Comparação entre dados dos sensores LISS-III/Resourcesat-1 e ETM+/Landsat 7. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

ZHANG, Y. *Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat-7 images and initial solutions*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Ottawa. Part 4: GeoSpatial Theory, Processing and Applications, vol. 34, 2002.

ZIOU, D.; TABBONE, S. *Edge Deteccion Techniques – An Overview*. Patter Recognition and Image Analysis, v. 8, 1998.