

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

Carla Julliane Marques de Moura

**ANÁLISE DA EXTRAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE LAGO EM
ORTOFOTO E IMAGEM DE SATÉLITE UTILIZANDO TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DE IMAGENS: BINARIZAÇÃO E MORFOLOGIA
MATEMÁTICA**

Recife

2017

Carla Julliane Marques de Moura

**ANÁLISE DA EXTRAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE LAGO EM
ORTOFOTO E IMAGEM DE SATÉLITE UTILIZANDO TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DE IMAGENS: BINARIZAÇÃO E MORFOLOGIA
MATEMÁTICA**

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

Orientador: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

M929a Moura, Carla Julliane Marques de.

Análise da extração semiautomática de lago em ortofoto e imagem de satélite utilizando técnicas de processamento de imagens: binarização e morfologia matemática/ Carla Julliane Marques de Moura. – Recife, 2017.

98 f.: il., fig. tab.

Orientadora: Ana Lúcia Bezerra Candeias.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Produtos cartográficos. 3. Extração de feições. 4. Comportamento espectral da água. 5. Binarização de imagens. 6. Morfologia matemática. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Título.

Carla Julliane Marques de Moura

**ANÁLISE DA EXTRAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE LAGO EM
ORTOFOTO E IMAGEM DE SATÉLITE UTILIZANDO TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DE IMAGENS: BINARIZAÇÃO E MORFOLOGIA
MATEMÁTICA**

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

Aprovado em: ____ de ____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias
Universidade Federal de Pernambuco (Orientador)

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Junior
Universidade Federal de Pernambuco

Vó Zilma (*In Memorian*), Tia Gercê (*In Memorian*) e Vô Jó (*In Memorian*)

Mãezinha, minha fonte de força,
Meu pedacinho de Amor, Luquinhas,
Meu amor, Roberto.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus e à Santa Terezinha do Menino Jesus por estarem sempre ao meu lado, e ter me segurado em todos os momentos até este que é um dos mais importantes da minha trajetória acadêmica.

À minha querida orientadora Ana Lúcia Bezerra Candeias, por despertar em mim a paixão pela pesquisa, por ter me apoiado em muitos momentos, por sua confiança e carinho, Profa. Ana és muito especial para mim.

Aos meus queridos professores do departamento Engenharia Cartográfica que me auxiliaram e me deram a base necessária para minha vida profissional.

À Prefeitura da Cidade do Recife por ceder o recorte da ortofoto (articulação 80-49-05 do voo de 2013) que foi usada neste trabalho de graduação, em especial ao meu colega Aurélio por ter auxiliado na aquisição deste material.

Ao projeto FACEPE/INNOVATE por ceder os recortes das imagens IKONOS-2 utilizadas neste trabalho e por mais de três anos dando suporte as pesquisas nos projetos PIBIC na área de sensoriamento remoto e processamento de imagens no qual fiz parte juntamente com Professora Ana Lúcia.

À minha grande amiga Priscilla Heliênay por estar sempre ao meu lado e uma das que mais me ajudou neste trabalho, pois a nossa caminhada de PIBIC, me trouxe até o tema apresentado aqui.

Aos meus amigos de graduação, Débora (Querida), Laísy (Querida), Carla Barbosa (Chará), Mirelly, Leonardo, Júlio, que sempre estão me ajudando de alguma forma, e pela grande amizade ao longo destes anos.

À minha amiga Wedja (Muchacha) por estar sempre ao meu lado, me incentivando, me dando suporte na formatação deste trabalho e pela grande amizade desde o curso de Engenharia de Agrimensura na UFAL.

Aos meus enteados Matheus e Izabel por terem me apoiado, me ajudado dando atenção ao irmãozinho deles, para ser possível finalizar este trabalho no tempo previsto.

À minha mãe por ter me passado todo o amor e carinho que guardo comigo e me ensinou a nunca abaixar a cabeça para os momentos difíceis, mãezinha você é meu exemplo de vida!

Agradeço imensamente ao meu grande amor Roberto Quirino, que desde que nos conhecemos acreditou no meu potencial como profissional. Meu companheiro, que sempre me auxiliou em todos os momentos da minha vida, és minha grande referência, como pai do nosso filho, marido, amigo, profissional e ser humano, sem ele nunca teria chegado até este momento.

“Não é sobre chegar ao topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir
Que o caminho te fortaleceu”

Ana Vilela

RESUMO

Atualmente, há uma crescente busca por métodos que facilitem a extração de feições e as técnicas de binarização de imagens e Morfologia Matemática podem servir como alternativas de extração semiautomática, que auxiliem no gerenciamento dos recursos hídricos, planejamento urbano e monitoramento das mudanças que ocorrem na superfície terrestre. Neste trabalho foram utilizados recortes de imagens do satélite *IKONOS-2* e um recorte de ortofoto, ambas do ano de 2013, que abrange a área do Lago do Cavouco - UFPE para o estudo do comportamento espectral da água na interface água-solo e água-solo/vegetação e possível extração do objeto nas imagens. Fez-se necessário aplicar o processo de fusão na imagem *IKONOS-2* com a transformação IHS para obtenção de uma imagem com melhor resolução espacial. O método do paralelepípedo foi utilizado para a binarizar o lago na ortofoto e na imagem de satélite analisando diferentes intervalos de binarização. Filtros morfológicos foram aplicados nas imagens binárias das bandas da ortofoto para reduzir os ruídos presentes e detectar apenas o lago. As bordas externas e internas ao lago foram extraídas utilizando os operadores morfológicos erosão e dilatação. O software *SPRING 5.5.0* foi utilizado na fusão de imagens. Foram criados algoritmos no software Matlab R2015a para o processo de extração do lago. Utilizou-se o programa *ArcGIS 10.1* no processo de vetorização manual e automática do lago para cálculo de áreas e perímetros. Os resultados foram analisados e comparados onde verificou-se que o Lago do Cavouco não foi obtido por completo na ortofoto, devido à presença de sombras, vegetação conectada à sua borda dificultando a extração. Com os resultados da imagem *IKONOS-2* foi possível obter contornos do lago compatíveis com o vetorizado manualmente. Em termos de área a borda que mais se aproximou da obtida por vetorização manual foi a borda resultante da vetorização semiautomática oriunda da banda binária tendo uma diferença de área $6,805\text{m}^2$, seguida da borda obtida por vetorização automática com suavização $11,896\text{m}^2$. Os produtos obtidos podem servir como exemplo de atualização para bases cartográficas.

Palavras-chave: Produtos Cartográficos. Extração de feições. Comportamento espectral da água. Binarização de Imagens. Morfologia Matemática.

ABSTRACT

Currently, there is a growing search for methods that facilitate the extraction of features and the techniques of binarization of images and Mathematical Morphology can serve as alternatives for semiautomatic extraction, which assist in the management of water resources, urban planning and monitoring of changes occurring on the surface Terrestrial In this work, IKONOS-2 satellite images and an orthophoto cut-off, both from the year 2013, covering the Cavouco Lake (UFPE) were used to study the spectral behavior of the water at the water-soil area and water- Soil / vegetation and possible extraction of the object in the images. It was necessary to apply the fusion process in the IKONOS-2 image with the IHS transformation to obtain an image with better spatial resolution. The parallelepiped method was used to binarize the lake in the orthophoto and in the satellite image by analyzing different binarization intervals. Morphological filters were applied to the binary images of orthophoto bands to reduce the noise present and to detect only the lake. The outer and inner edges of the lake were extracted using morphological erosion and dilation operators. SPRING 5.5.0 software was used in image fusion. Algorithms were created in the software Matlab R2015a for the process of lake extraction. We used the ArcGIS 10.1 program in the process of manual and automatic vectorization of the lake for the calculation of areas and perimeters. The results were analyzed and compared where it was verified that the Cavouco Lake was not completely obtained in the orthophoto, due to the presence of shadows, vegetation connected to its edge making it difficult to extract. With the results of the IKONOS-2 image it was possible to obtain contours of the lake compatible with the vectorized ones manually. In terms of area the border that came closest to the one obtained by manual vectorization was the resulting border of the semiautomatic vectorization coming from the binary band having a difference of area $6,805\text{m}^2$, followed by the edge obtained by automatic vectorization with smoothing $11,896\text{m}^2$. The obtained products can serve as an example of updating for cartographic bases.

Keywords: Cartographic products. Feature extraction. Spectral behavior of water. Images Binarization. Mathematical Morphology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interação da energia incidente, absorvida e refletida.....	22
Figura 2 - Curvas de refletância espectral de alguns alvos.....	23
Figura 3 - Espaço RGB e Espaço IHS.....	25
Figura 4 - Processo de fusão de imagens.....	25
Figura 5 - Representação das dimensões dos paralelepípedos de classes selecionadas considerando um limiar de desvio padrão.	27
Figura 6 - Formato de alguns elementos estruturantes.	28
Figura 7 - Erosão de uma imagem binária à esquerda imagem original, à direita imagem erodida.	29
Figura 8 - Dilatação de uma imagem binária à esquerda imagem original, à direita imagem dilatada.	30
Figura 9 - (a) Dilatação de X por B ($\delta B(f)$), (b) Erosão de X por B ($\epsilon B(X)$).....	30
Figura 10 - (a) Imagem Original, (b) Imagem após aplicação do filtro de abertura.	31
Figura 11 - (a) Imagem binária original, (b) Imagem binária após aplicação do filtro de fechamento.....	32
Figura 12 - Localização da área com os recortes da imagem IKONOS-2 de 2013 (à esquerda) e ORTOFOTO 2013 (à direita) do Campus Joaquim Amazonas - UFPE.....	33
Figura 13 - Satélite IKONOS-2.....	35
Figura 14 - Estrutura da metodologia empregada no trabalho.	36
Figura 15 - Imagem IKONOS-2 banda pancromática com resolução espacial de 0,80m.....	37
Figura 16 - Composição colorida RGB. (a) IKONOS-2 321 com resolução espacial de 3,2m. (b) fusionada – 321 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80m.....	38
Figura 17 - Composição colorida RGB. (a) IKONOS-2 432 com resolução espacial de 3,2 metros (b) fusionada – 432 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80 metros.	38
Figura 18 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na ortofoto, (b) Espaço de atributos das amostras da ortofoto, (c) Histograma das amostras da ortofoto.....	40
Figura 19 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 321-RGB. (b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321- RGB. (c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321 – RGB.....	41

Figura 20 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 432-RGB. (b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432- RGB. (c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432 – RGB.	43
Figura 21 - (a) Ortofoto com reta vertical AB (b) Perfil vertical AB na ortofoto.	45
Figura 22 - (a) Imagem IKONOS- II RGB-321 com reta vertical AB, (b) Perfil vertical AB da imagem IKONOS-2 RGB-321.	45
Figura 23 - (a) Imagem IKONOS- II RGB-432 com reta vertical AB, (b) Perfil AB da imagem IKONOS-2 RGB-432.	46
Figura 24 - Fluxograma do processo de binarização pelo método do paralelepípedo.	48
Figura 25 - Processo para eliminação dos ruídos da imagem binária.	50
Figura 26 - Processo para Extração das Bordas.	51
Figura 27 - – Banda do infravermelho IKONOS – II com amostra selecionada (retângulo verde).	53
Figura 28 - Imagem binária IKONOS II, banda 4 com desvio padrão de (a) 1σ (b) 2σ (c) 3σ	54
Figura 29 - Banda do Vermelho da Ortofoto e retângulo (em verde) escolhido como amostra para o método do paralelepípedo.	55
Figura 30 - Imagens binárias com desvio padrão de 1σ (a) banda R, (b) banda B e (c) banda G.	55
Figura 31 - Imagens binárias com desvio padrão de 2σ (a) banda R, (b) banda B e (c) banda G.	56
Figura 32 - Imagens binárias com desvio padrão de 3σ (a) banda R, (b) banda G e (c) banda G.	57
Figura 33- Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 3x3 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.	59
Figura 34 - Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 5x5 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.	60
Figura 35 - Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 7x7 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.	62
Figura 36 - Imagem ORTOFOTO – Composição coloridas das Bordas Externa (em verde), Banda do Vermelho (em vermelho) e Borda interna (Azul) com elemento estruturante (a) 3x3 quadrado, (b) 5x5 quadrado, (c) 7x7 quadrado, (d) zoom da imagem (a), (e) zoom da imagem (b), (f) zoom da imagem (c).	63

Figura 37 - Imagem IKONOS-2 Bordas Externa (em verde), Banda do infravermelho próximo (em vermelho) e Borda interna (Azul) com elemento estruturante (a) 3x3 quadrado (b) 5x5 quadrado e (c) 7x7 quadrado.	66
Figura 38 - Em amarelo área A1 analisada da ortofoto.	68
Figura 39 - Ampliação do recorte da Área 1 (a) Imagem colorida, (b) Banda do Vermelho, (c) Imagem binária com 3σ	69
Figura 40 - Ampliação do recorte da área 1 - Imagens binárias com filtros morfológicos (a) 3x3 (b) 5x5 (c) 7x7.	69
Figura 41 - Ampliação do recorte da área 1 – Composições coloridas das Bordas externas (em verde) e internas (em azul) sobrepostas a banda do vermelho obtidas com elemento estruturante (a) 3x3, (b) 5x5, (c) 7x7, (d) zoom do retângulo amarelo em (a) 3x3, (e) zoom do retângulo amarelo em (b) 5x5, (f) zoom do retângulo amarelo em (c) 7x7.	70
Figura 42 - Perfil horizontal entre os pontos CD na área A1 da Figura 39(a).	71
Figura 43 - Em amarelo área A2 analisada na imagem IKONOS-2.	72
Figura 44 - Recorte da área A2 (a) na composição RGB-432 fusionada, (b) na composição RGB-321 fusionada e (c) banda do infravermelho fusionada.	72
Figura 45 - Recorte da área A2 das imagens binárias da IKONOS-2 com (a) 1σ (b) 2σ e (c) 3σ	73
Figura 46 - Ampliação do recorte da área 2 – Composições coloridas das Bordas externas (em verde) e internas (em azul) sobrepostas a banda do infravermelho vermelho obtidas com elemento estruturante (a) 3x3, (b) 5x5, (c) 7x7, (d) zoom do retângulo amarelo em (a)) 3x3, (e) zoom do retângulo amarelo em (b) 5x4, (f) zoom do retângulo amarelo em (c) 7x7 da imagem IKONOS-2.	73
Figura 47 - (a) Imagem IKONOS-2 do infravermelho sobreposto aos polígonos vetorizados de forma manual, automática com suavização e sem suavização de bordas (b) Em vermelho polígono obtido por vetorização automática (com suavização de bordas), em amarelo polígono obtido por vetorização automática (sem suavização de bordas), em azul polígono obtido por vetorização manual.	74
Figura 48 - Ampliação de uma área do lago do extraído por vetorização automática e manual. Em vermelho polígono obtido por vetorização automática (com suavização de bordas), em amarelo polígono obtido por vetorização automática (sem suavização de bordas), em azul polígono obtido por vetorização manual.	75
Figura 49 – (a) Lago do Cavouco (em azul) extraído por vetorização automática (com suavização) da imagem binária sobreposto a imagem IKONOS 321-RGB e à rede viária(em	

vermelho) da base cartográfica da prefeitura do Recife (Escala de visualização 1:8000), (b)	
Zoom do retângulo amarelo na Figura (a).	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representação do número de bits e o valor de nível de cinza.....	21
Tabela 2 - Principais parâmetros do IKONOS-2.....	35
Tabela 3 - Comparação dos limiares de binarização nas bandas da ortofoto e a banda do infravermelho da imagem IKONOS-2 com diferentes intervalos de binarização.....	67
Tabela 4 – Áreas e perímetros internos as bordas externas e internas da imagem binária com nível de confiança de 3σ com diferentes elementos estruturantes.....	75
Tabela 5 - Área e Perímetro do lago na imagem IKONOS-2 por vetorização manual e vetorização automática com suavização de polígonos e sem suavização de polígonos da imagem binária com nível de confiança de 3σ	76
Tabela 6 - Discrepâncias entre as áreas e perímetros obtidos por vetorização manual, vetorização automática da imagem binária com e sem suavização de bordas e pelas bordas externas e internas obtidas por Morfologia Matemática.	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	20
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO	20
2.2 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS	21
2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	23
2.3.1 Transformação IHS e Fusão de Imagens	24
2.3.2 Classificação supervisionada - Método do Paralelepípedo	26
2.3.3 Morfologia Matemática	27
2.3.3.1 Operadores morfológicos básicos	28
2.3.3.2 Filtros morfológicos	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 ÁREA DE ESTUDO	33
3.2 MATERIAIS	34
3.3 METODOLOGIA	36
3.3.1 Pré- Processamento	37
3.3.2 Estudo do comportamento espectral da água	39
3.3.3 Binarização de Imagens	47
3.3.4 Eliminação de ruídos das imagens por Morfologia Matemática	48
3.3.5 Detecção de Bordas - Morfologia Matemática	50
3.3.6 Extração por Vetorização Manual e Automática	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 RESULTADOS DA BINARIZAÇÃO COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONFIANÇA AMOSTRAL	53

4.1.1 IKONOS-2 – Banda 4.....	53
4.1.2 Ortofoto	54
4.2 RESULTADOS DA ELIMINAÇÃO DOS RUÍDOS COM FILTROS DE ABERTURA E FECHAMENTO COM ELEMENTOS ESTRUTURANTES 3X3, 5X5 E 7X7 QUADRADO.....	58
4.3 RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DAS BORDAS POR MORFOLOGIA MATEMÁTICA.....	63
4.3.1 Extração das bordas nas imagens binárias da ortofoto com filtro morfológico 7x7 quadrado, com elemento estruturante quadrado 3x3, 5x5 e 7x7	63
4.3.2 Extração de bordas nas imagens binárias IKONOS com elemento estruturante quadrado 3x3, 5x5, 7x7	65
4.4 ANÁLISE VISUAL E QUANTITATIVA DOS RESULTADOS.....	67
4.4.1 Imagem Ikonos-2 e Ortofoto	67
4.4.2 Problemas encontrados nas imagens binárias das ortofotos	67
4.4.3 Problemas encontrados nas imagens binárias da IKONOS-2	71
4.4.4 Área e Perímetro do lago da imagem binária IKONOS-2.....	74
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS.....	82
ANEXOS.....	85
APÊNDICE.....	95

1 INTRODUÇÃO

A extração de informações em imagens de satélite e imagens aéreas é um grande subsídio para elaboração de mapas temáticos, estudos sobre corpos hídricos, solos, vegetação dentre outros. As técnicas de extração automática ainda não são totalmente confiáveis, pois cada alvo responde de uma forma diferente para cada sensor, logo necessitando da interpretação do usuário para identificar os objetos presentes nas imagens.

O processo de extração manual requer tempo e muitas vezes o usuário necessita de informações de extensas áreas o que de certa forma faz com que o trabalho se torne longo e cansativo.

Farias (2015) afirma, que o processo de extrair feições de uma imagem é uma tarefa complexa, por problemas que aparecem nas imagens devido à sombra, relevo, ruídos, baixo contraste, nuvens, entre outros fatores; dificultando a implementação de ferramentas automáticas para a extração das informações. Estes problemas também serão identificados em corpos d'água.

Um dos problemas na extração da borda de corpos d'água são os diferentes resultados que a utilização de imagens de diferentes épocas pode provocar, pois de acordo com Guillou (2016), a diminuição do volume de água altera as bordas dos corpos d'água, necessitando de uma atualização de novos contornos, quando se é revelado terrenos antes submersos. As utilizações das bandas espectrais de imagens por diferentes plataformas podem obter respostas diferentes e no caso da água, dependendo da banda analisada esta pode se comportar de forma diferente. Em imagens aéreas a água pode apresentar várias tonalidades como azul, verde, marrom o que dependendo da época do ano e dos sedimentos ou matéria orgânica presentes. No entanto, em imagens de satélite os sensores orbitais possuem a banda do infravermelho e nesta a água limpa absorve mais energia apresentando-se na imagem com tons de cinza próximos à zero, destacando-se das outras feições na imagem, o que facilita sua detecção.

A motivação deste trabalho vem de estudos realizados pela autora por mais de três anos na área de processamento de imagens em projetos de iniciação científica, utilizando as técnicas de Morfologia Matemática aplicadas as imagens de satélite para extração de vários objetos, porém os estudos não haviam sido estendidos para imagens aéreas, investigar este problema pode ser enriquecedor para a área de Cartografia.

O objeto de estudo do presente trabalho, o Lago do Cavouco, localizado no Campus Joaquim Amazonas UFPE, sendo apenas uma amostra de feição que pode ser extraída a partir

das técnicas de binarização de imagens e Morfologia Matemática, visto que Candeias (1997), Candeias et. al (2013), Candeias et. al (2016), Statella (2005), Farias (2015), Ishikawa (2008) e Nascimento et. al. (2014) já utilizaram as ferramentas da Morfologia Matemática para estudos da extração de diversos objetos como edificações, corpos d'água, eixos de pista e tiveram bons resultados no processo de detecção destas feições.

Neste trabalho será abordado o estudo do comportamento espectral da água em imagens de satélite e em ortofotos, analisando cada banda que compõem as imagens utilizadas, a partir do espaço de atributos de amostras, perfis amostrais e histogramas, também será analisado como o método do paralelepípedo pode ser utilizado na binarização de imagens.

A Morfologia Matemática também será estudada sendo ela uma abordagem não linear que foi utilizada inicialmente para imagens binárias, posteriormente estendida para imagens em tons de cinza, A Morfologia Matemática é compreendida como uma técnica de processamento digital de imagens que se baseia na teoria dos conjuntos, nas integrais geométricas e na álgebra booleana, analisa a estrutura e a forma dos objetos, através de um modelo geométrico denominado elemento estruturante (CANDEIAS, 1997). Sendo possível aplicar transformações nas imagens para diminuir ou aumentar objetos, reduzir ruídos indesejados e obter contornos.

O resultado esperado é obter contornos de uma mesma feição, calcular áreas e perímetros e comparar os resultados para ortofoto e imagem de satélite, e por fim, verificar quais produtos podem servir para fins de atualização cartográfica.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na Cartografia tem-se a necessidade de automatizar a extração de feições e o processamento digital de imagens pode auxiliar nisso. Neste trabalho reúne-se conhecimento de sensoriamento remoto e processamento de imagens para extrair feições de forma semiautomática como exemplo corpos d'água em ortofotos e imagens de satélite de alta resolução espacial com o intuito de obter as informações que auxiliem a atualização de produtos cartográficos.

Dependendo da quantidade de informações que se deseja de uma área o processo de vetorização manual torna-se exaustivo e demorado, logo, quando se tem uma grande demanda de informações a serem extraídas de imagens, seja para estudos ambientais ou, para atualização de bases cartográficas, tornar este trabalho de extração de feições mais rápido resulta num custo-benefício importante na área da Cartografia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a extração de corpo d'água em ortofoto e imagens de satélite de alta resolução utilizando binarização, Morfologia Matemática, vetorização semiautomática e comparar os resultados obtidos visualmente e quantitativamente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o comportamento espectral de corpo d'água em ortofoto e imagens de satélite de alta resolução;
- Analisar a extração de corpo d'água em ortofoto e imagens de alta resolução utilizando binarização de imagens e Morfologia Matemática;
- Comparar os resultados da extração de corpo d'água com cálculos de área e perímetro, vetorização manual e automática;

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Nesta seção serão expostos os conceitos e as definições que fornecem o embasamento teórico do trabalho, como os conceitos básicos de sensoriamento remoto, processamento de imagens e Morfologia Matemática.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é compreendido como uma tecnologia de obter informações da superfície terrestre sem necessitar o contato direto com os objetos. Estas informações podem ser adquiridas por meio de plataformas tais como: satélites artificiais, aeronaves, balões, um barco, dentre outros.

Todos os sensores sejam eles, orbitais ou aerotransportados possuem características conhecidas como resoluções espacial, temporal, espectral e radiométrica.

A resolução espacial relaciona as dimensões físicas do objeto ou alvo às suas dimensões no terreno, basicamente é a relação do tamanho do pixel de uma imagem com o tamanho real do objeto no terreno.

A resolução temporal refere-se ao tempo de revisita ao mesmo local pelo sensor, digamos que temos duas imagens de diferentes épocas, a diferença de tempo entre as duas pode apresentar alterações ao longo do tempo. Isto pode ser visto por exemplo, com imagens de diferentes anos de cidades urbanas apresentando o aumento de edificações em determinadas áreas.

A resolução espectral compreende ao número de bandas na faixa espectro eletromagnético correspondente.

Por fim a resolução radiométrica refere-se aos valores de cada pixel de uma imagem, esta é expressa em termos de números digitais binários ou mais conhecidos como “bits” (NOVO, 2010, p. 279) sendo importante para representação de informações presentes na imagem. A quantidade de “bits” numa imagem define a quantidade de tons de cinza presentes, e esta variação possui uma influência importante na qualidade radiométrica do alvo imageado (NOVO, 2010, p. 281).

A Tabela 1 apresenta os níveis decimais em função do número de bits e a quantidade de tons de cinza que podem possuir as imagens.

Tabela 1 - Representação do número de bits e o valor de nível de cinza

Número de Bits	Representação	Número de Níveis (Tons de Cinza)
1	2^1	2
2	2^2	4
3	2^3	8
4	2^4	16
5	2^5	32
6	2^6	64
7	2^7	128
8	2^8	256
9	2^9	512
10	2^{10}	1024
11	2^{11}	2048
12	2^{12}	4096
13	2^{13}	8192
14	2^{14}	16384
15	2^{15}	32768
16	2^{16}	65536

Fonte: Adaptado de Novo, 2010.

É importante o conhecimento das características das imagens utilizadas em trabalhos pois isto pode influenciar não só apenas na interpretação das informações, mas na qualidade dos dados digitais, as resoluções das imagens determinam como as informações contidas nelas poderão ser processadas. Mais detalhes sobre as características dos sensores e imagens digitais pode ser consultado em Novo (2010).

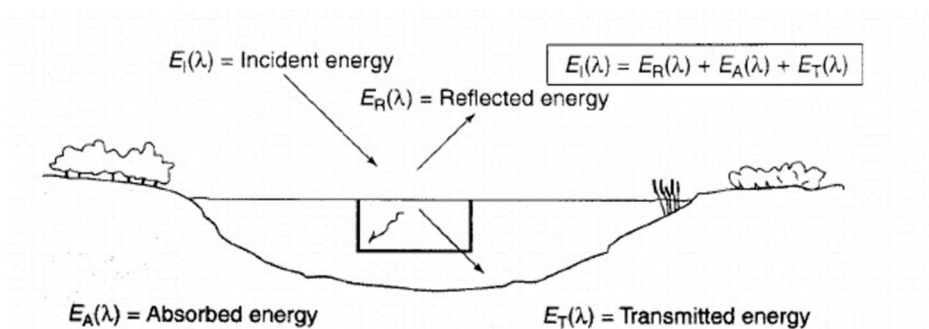
As imagens conhecidas como binárias tem sua representação com apenas dois níveis digitais, imagens multiespectrais mais usuais apresentam-se com 8 bits, 16 bits e dependendo da quantidade de bits, o arquivo da imagem digital irá ocupar um grande espaço de memória, dificultando o processamento das imagens, necessitando de computadores potentes para a utilização deste material.

2.2 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

O comportamento espectral refere-se à correlação entre o grau de reflectância e absortância que um determinado alvo assume e a faixa do espectro eletromagnético em que se encontra. Este comportamento varia decorrente à reflectância aparente em função da composição química do alvo, da temperatura, da dimensão e da localização do alvo. O comportamento radiométrico está associado à capacidade do sensor distinguir diferentes níveis

de energia incidente, que varia conforme o alvo e a atmosfera. A Figura 1 mostra a interação da energia incidente, absorvida e refletida

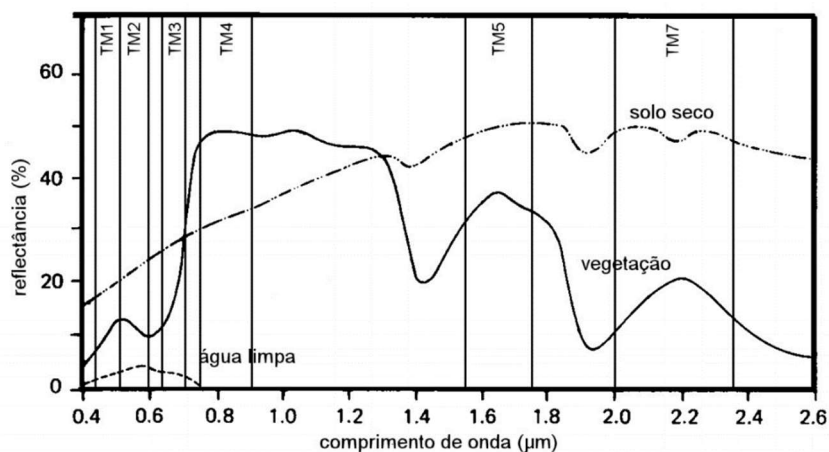
Figura 1 - Interação da energia incidente, absorvida e refletida.



Fonte: Lillesand e Kiefer, 1993.

A Figura 2 apresenta as assinaturas espectrais de alguns alvos e observa-se que a água limpa possui baixa reflectância ao longo do espectro eletromagnético. Para a faixa do visível (englobando as faixas TM1, TM2 e TM3 da Figura 2) tem-se a maior resposta para água. Já na faixa do infravermelho próximo, a resposta pode ser considerada praticamente nula. Nesse último caso, tem-se a facilidade de extração do contorno do alvo água limpa a partir da binarização, pois a água é representada na imagem com níveis de cinza praticamente zero. Para a imagem em combinação colorida na faixa do visível, tem-se os efeitos da resposta da água que dificultam a extração do seu contorno. Sensores orbitais de alta resolução possuem a faixa do infravermelho, já as ortofotos geradas a partir de fotografias aéreas possuem normalmente, apenas a faixa do visível. A falta da faixa do infravermelho irá dificultar a extração da água, com será visto na seção de resultados.

Figura 2 - Curvas de refletância espectral de alguns alvos.



Fonte: Adaptado de Lillesand e Kiefer, 1993.

No caso da água turva, com sedimentos, águas rasas, com vegetação submersa ou emersa, a resposta espectral da água é alterada e isso gerará uma maior dificuldade nessa segmentação da borda, mesmo usando sensores com infravermelho. A temperatura da água na faixa do infravermelho também pode influenciar no comportamento espectral. Isso também será visto nos resultados apresentados nesse trabalho. Maiores detalhes sobre resposta espectral dos alvos podem ser vistos em Lillesand e Kiefer (1993) e em Jensen (2009).

Além do problema da resposta espectral, nos sensores de alta resolução tem-se os problemas de sombra, reflexo na água (SILVA E CANDEIAS, 2009).

2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O processamento digital de imagens é um conjunto de técnicas de manipulação, suavização e contraste, de imagens digitais e possui uma grande vantagem em relação às imagens analógicas, pois com o processamento em ambiente digital podemos obter imagens realçadas, detalhando objetos de interesse e extraindo os mesmos. Também com o processamento digital de imagens é possível gerar composições coloridas, combinando diferentes tipos de bandas espectrais, imagens de diferentes épocas, diferentes sensores, (NOVO,2010) o que reflete na melhoria da aquisição de informações obtidas das imagens e geração de produtos para diversos fins.

2.3.1 Transformação IHS e Fusão de Imagens

As imagens de satélite coloridas e ortofotos geralmente apresentam-se na composição colorida no espaço *RGB*, este é o modelo mais utilizado no espaço de cores. O espaço *RGB* baseia-se em um sistema de coordenadas cartesianas, formando neste espaço um cubo onde seus vértices representam as cores primárias, outros três as cores secundárias, a origem do sistema representa a cor preto e o mais distante representa a cor branca (CROSTA, 1992).

O espaço de cores conhecido por IHS (*Hue, Saturation, Intensity*) é uma forma alternativa do espaço RGB de representação de cores (CROSTA, 1992). Neste espaço, há três componentes que são definidas como atributos e conhecidas como I – Intensidade (*Intensity* – I), Matiz (*Hue* – H) e Saturação (*Saturation* – S). Os atributos do sistema IHS podem ser manipulados individualmente, diferentemente do sistema RGB, onde eles estão intrinsicamente ligados (CROSTA, 1992). O sistema IHS é o que mais se aproxima do sistema visual humano na forma como se percebe as cores, por conta disso apresenta muitas vantagens ao espaço de cores RGB.

As três componentes do sistema *HSI* ou IHS foram definidas por autores anteriores a Crosta (1992) como:

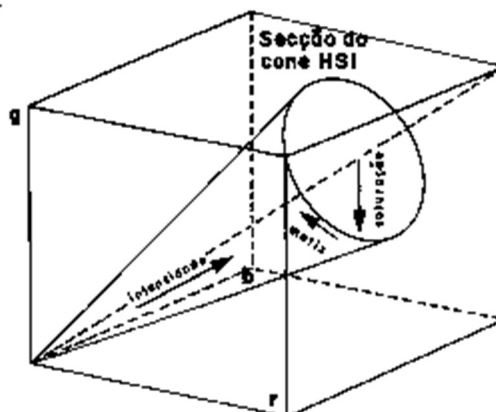
A Matiz (*Hue-H*) é a medida do comprimento de onda médio de luz que reflete ou emite, definindo assim, a cor do objeto.

A intensidade (*Intensity-I*) é a medida da energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo, portanto responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho.

A saturação (*Saturation-S*) pode ser definida como o intervalo do comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio onde a energia é refletida ou transmitida.

A Figura 3 apresenta o espaço IHS e o espaço RGB, nota-se que o cone que representa o espaço IHS contém sua origem comum à origem do espaço RGB.

Figura 3 - Espaço RGB e Espaço IHS.

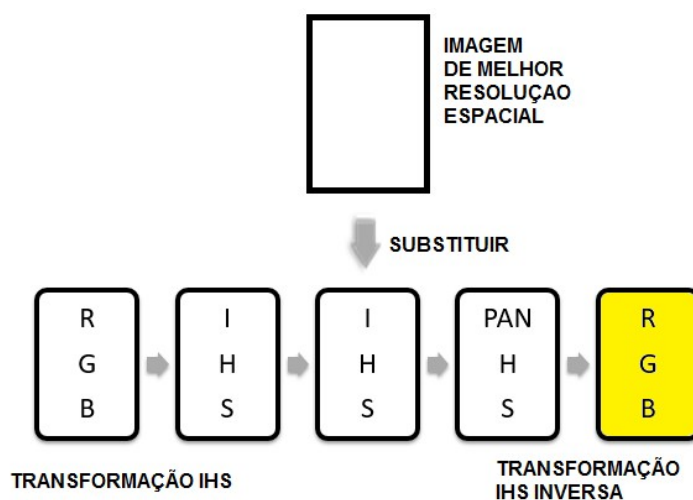


Fonte: Crósta, 1992.

A fusão de imagens consiste em gerar uma nova imagem com melhor resolução espacial e espectral a partir de uma imagem de melhor banda espacial e uma imagem multiespectral. Isto é possível, pois podemos combinar imagens de diferentes tipos, ou imagens de natureza diferente. Para isto, é necessário transformar o espaço formador da imagem.

Segundo Crosta (1992), a fusão de imagens consiste em calcular as componentes I, H e S a partir de três bandas no espaço RGB e ao aplicar o aumento de contraste nas componentes H e S pancromática ou de melhor resolução espacial, devemos substituir a componente I pela imagem pancromática e por fim aplicar a transformação inversa IHS – RGB. Desta forma será possível obter uma composição colorida com melhor resolução espacial, a Figura 4 mostra o esquema da transformação RGB – IHS – RGB.

Figura 4 - Processo de fusão de imagens.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

2.3.2 Classificação supervisionada - Método do Paralelepípedo

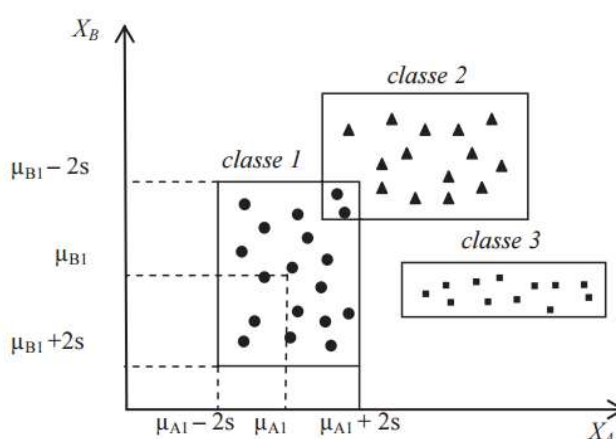
A classificação de imagens multiespectrais consiste em atribuir que cada pixel de uma imagem pertence a um grupo de classes, esta atribuição é realizada baseando-se no conhecimento do valor do pixel e na sua vizinhança (CROSTA, 1992). Um grande problema identificado na classificação é que ela tende a simplificar informações diante da complexidade do comportamento espectral dos objetos numa imagem. Isto se deve ao fato que muitas vezes as classes pré-definidas podem não coincidir fielmente com a realidade, trazendo informações incompletas a verdade terrestre. Classificar uma imagem, ou seja, atribuir classes com referidos temas de interesse, podem partir de várias técnicas. As técnicas de classificação primariamente podem ser divididas em classificação supervisionada e não-supervisionada, na primeira os alvos de interesses são interpretados pelo usuário, ou seja, necessita do conhecimento prévio dos objetos de interesse numa imagem a ser classificada. Já na classificação não-supervisionada os pixels das imagens são agrupados em classes sem a necessidade do conhecimento dos objetos de interesse, tornando-se uma classificação automática. Neste trabalho iremos descrever mais especificamente sobre a classificação supervisionada utilizando o método do paralelepípedo, mais detalhes sobre técnicas classificação de imagens podem ser consultados em Novo (2010) e Crosta (1992).

Como já foi dito na classificação supervisionada é necessário que o usuário conheça o alvo de interesse e selecione uma ou mais amostras dos objetos a serem classificados. Há vários métodos de classificação supervisionada sendo os mais conhecidos o Método do Paralelepípedo, Método da distância mínima, Método da Máxima Verossimilhança.

A área de treinamento é uma área da imagem que o usuário identifica para auxiliar na representação das classes, ela é definida pelo usuário traçando os limites sobre o objeto de interesse na imagem, na tela do computador utilizando um software de processamento (CROSTA,1992). Podem ser definidas, várias áreas de treinamento ou pode-se dizer várias amostras para uma mesma classe, para confiar que os pixels presentes naquela amostra são realmente da classe pretendida. Este trabalho vai se deter em abordar o método do paralelepípedo, mas a ideia de representação de amostras para classes é uma característica comum a todos os métodos de classificação supervisionada. O produto final após a seleção das amostras de treinamento e utilização dos métodos é uma imagem classificada, agrupada por classes para representação de um mapeamento temático. Geralmente, a análise das classes pretendidas baseia-se no estudo do espaço de atributos em duas ou três dimensões que facilita na compreensão do comportamento espectral dos objetos e definição das classes.

O método do paralelepípedo que considera um grupo de amostras ou uma amostra que pode ser estudada com o auxílio do espaço de atributos e a partir disto é tomada uma área em forma de paralelepípedo ou um retângulo definindo-se a média desta amostra (limiar), Figura 5 e o desvio padrão (CROSTA, 1992). O método do paralelepípedo possui a vantagem de ser rápido e simples, pois os valores dos pixels são comparados aos limites que permanecem constantes para cada banda. Geralmente é usado como uma primeira exploração de classificação (Meneses & Almeida, 2012).

Figura 5 - Representação das dimensões dos paralelepípedos de classes selecionadas considerando um limiar de desvio padrão.



Fonte: Meneses & Almeida, 2012.

2.3.3 Morfologia Matemática

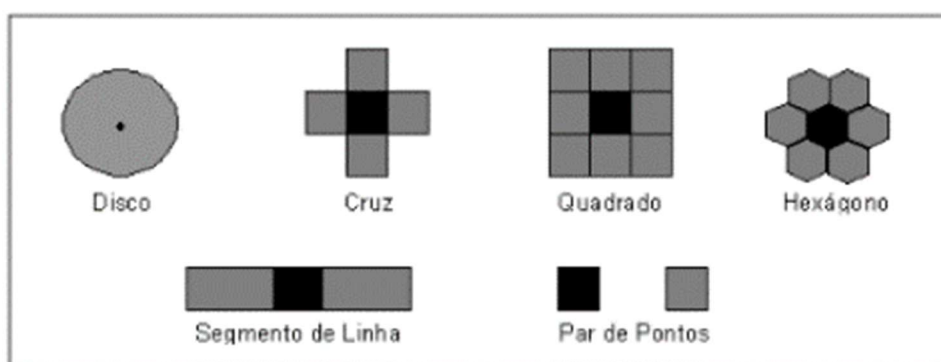
A Morfologia Matemática é definida por Soille (1999) com sendo uma teoria que busca analisar as estruturas espaciais, tendo o nome de Morfologia, pois analisa a forma e a estrutura dos objetos e tem-se o nome de Matemática por se basear na teoria dos conjuntos, álgebra booleana e integrais geométricas.

Segundo Fancon (2011), a base da Morfologia Matemática está em detectar informações referentes à geometria e à topologia de conjuntos não conhecidos de uma imagem a partir do elemento estruturante.

Gonzalez e Woods (2011) afirma, que a Morfologia Matemática tem como papel principal descrever estruturas geométricas de forma quantitativa sendo utilizada como uma técnica para elaboração de algoritmos no âmbito do processamento de imagens, através da utilização de ferramentas simples, como os detectores de contornos e filtros morfológicos.

A Morfologia Matemática busca a partir do elemento estruturante investigar como a imagem se ajusta à medida que ele é modificado. Segundo Fancon (2011) o elemento estruturante pode ser definido, como um conjunto conhecido no ambiente computacional por sua forma e tamanho, sendo comparado a partir de uma transformação, à conjuntos não conhecidos de uma imagem. A dimensão e a forma do elemento estruturante possibilitam testar e quantificar a maneira que o elemento estruturante se comporta na imagem, sendo possível desta forma avaliar os conjuntos da imagem resultante. Os elementos estruturantes podem ser conhecidos por diversos formatos como mostra a Figura 6 e dependendo da escolha é possível obter diferentes respostas do objeto na imagem, variando sua estrutura geométrica. É necessário estudar o objeto a ser extraído da imagem pois a escolha do elemento estruturante depende significativamente desta informação.

Figura 6 - Formato de alguns elementos estruturantes.



Fonte: Ishikawa, 2008.

2.3.3.1 Operadores morfológicos básicos

A extração de informações em imagens considerando a estrutura geométrica é obtida a partir de transformações utilizando operadores elementares. Os operadores morfológicos foram criados inicialmente para as imagens binárias e depois foram ampliadas para utilização em imagens de tons de cinza e imagens coloridas. A Morfologia Matemática possui dois operadores morfológicos básicos, que são a dilatação e a erosão, a partir destes podem ser encontrados outros, como filtros de abertura, fechamento, gradiente morfológico. Estas transformações resultam várias informações importantes na análise de imagens, tais como extração de contornos, fechamento de buracos, reconhecimento de padrões.

Segundo Fancon (2011), a erosão encolhe a imagem, sendo vista como uma transformação morfológica que combina dois conjuntos vetoriais subtraindo os mesmos.

De acordo com Soille (2004), a erosão de um conjunto X pelo elemento estruturante B é dada por:

$$\varepsilon B (x) = \{x \mid Bx \subseteq X\} \quad (1)$$

Onde:

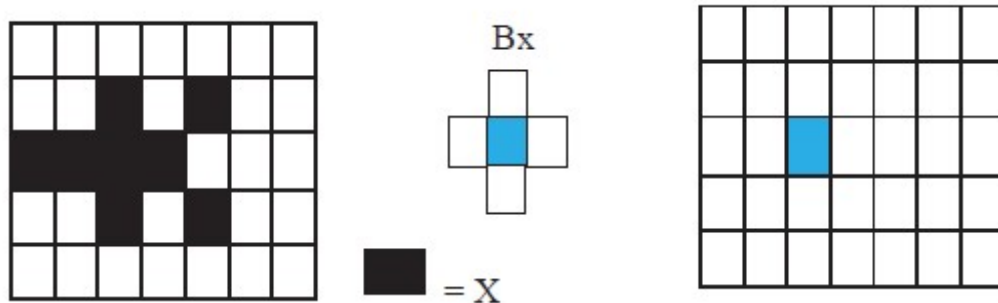
ε é o operador erosão;

B corresponde elemento estruturante;

Bx corresponde ao elemento estruturante centrado no pixel $x \in X$;

Aplicando a erosão numa imagem binária os pixels brancos tendem a diminuir fazendo com que regiões brancas diminuam e há um aumento dos pixels pretos aumentando regiões escuras nas imagens. A Figura 7 mostra o negativo de uma erosão binária onde Bx é o elemento estruturante com conectividade-4 e X é o objeto da imagem a ser binarizado, nota-se que o resultado da erosão é a redução dos pixels pretos que apresentam conectado aos pixels na imagem binária e o resultado é exclusão dos pixels vizinhos, restando apenas um pixel na imagem resultante.

Figura 7 - Erosão de uma imagem binária à esquerda imagem original, à direita imagem erodida.



Fonte: Meneses & Almeida, 2012.

A dilatação é uma transformação morfológica que combina dois conjuntos através de uma adição vetorial, o resultado da imagem dilatada é uma imagem ampliada.

De acordo com Soille (2004), a dilatação de um conjunto X pelo elemento estruturante B é dada por:

$$\delta B (X) = \{x \mid Bx \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

Onde:

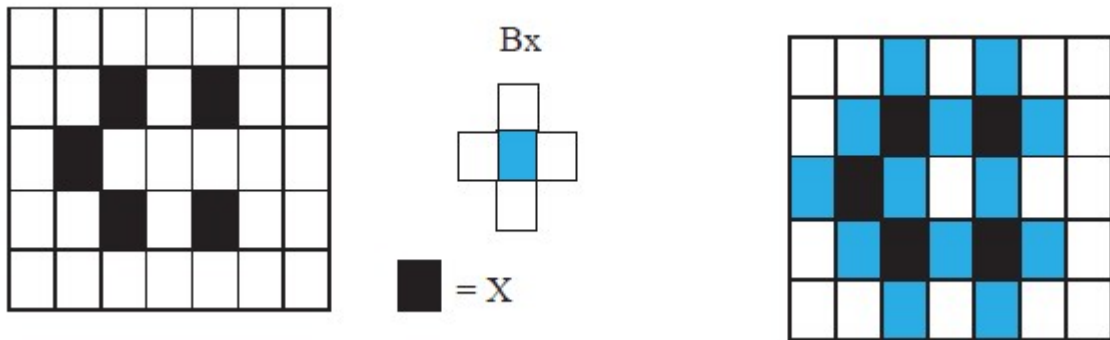
δ é o operador dilatação;

B corresponde ao elemento estruturante;

Bx corresponde ao elemento estruturante no pixel $x \in X$.

Ela tem um efeito de engordar os objetos, preencher pequenos buracos e conectar objetos próximos. A Figura 8 apresenta o negativo de uma imagem binária, à esquerda a imagem original, Bx o elemento estruturante com conectividade-4 e à direita a imagem dilatada, X os pixels a serão dilatados nota-se que houve um aumento dos pixels ao redor os pixels da imagem original, ou seja, a imagem teve seus pixels vizinhos aumentados.

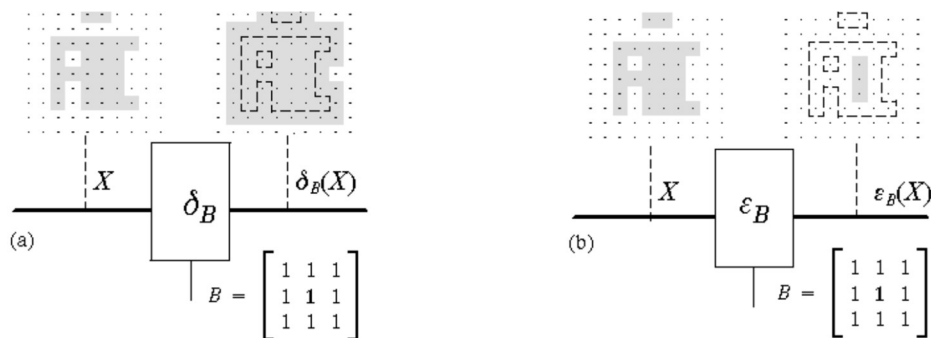
Figura 8 - Dilatação de uma imagem binária à esquerda imagem original, à direita imagem dilatada.



Fonte: Meneses & Almeida (2012).

A Figura 9 mostra o processo de dilatação e erosão por um elemento estruturante, nota-se na Figura 9(a) que há um aumento do objeto enquanto na Figura 9(b) há uma diminuição significativa do objeto erodido.

Figura 9 - (a) Dilatação de X por B ($\delta_B(X)$), (b) Erosão de X por B ($\varepsilon_B(X)$).



Fonte: Banon e Barrera, 1998.

2.3.3.2 Filtros morfológicos

Os filtros morfológicos são derivados dos operadores elementares dilatação e erosão, eles apareceram com o objetivo de diminuir os ruídos presentes nas imagens binárias e conectar ou separar regiões, visto que os operadores de dilatação e erosão não remove ou adiciona somente todas as estruturas que não contém o elemento estruturante, mas também “encolhe” ou “aumenta” as outras. Statella (2005) foi necessário procurar operadores capazes de a maioria das estruturas perdidas pela erosão o que fez nascer o filtro de abertura. O filtro de abertura nada mais é do que a combinação do filtro de erosão seguido do filtro de dilatação. A ideia deste filtro é dilatar a imagem erodida de maneira a resgatar o máximo a imagem original. Numa imagem binária ele tende a aumentar a quantidade de pixels pretos trazendo uma abertura nos objetos.

Sendo assim, o filtro de abertura é a aplicação de uma Erosão de A e B e a dilatação resultante em B

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

No MATLAB este operador morfológico está inserido como uma função denominada *imopen*. Com estas etapas no filtro de abertura há uma tendência de eliminar pequenos ruídos na imagem e abrir lacunas em regiões com pouca conectividade entre os objetos, no processo de erosão e após isso na dilatação tenta-se recuperar as dimensões originais dos objetos na imagem, após a dilatação os ruídos não retornam para a imagem. A Figura 10 mostra o antes e o depois do filtro de abertura, percebe-se que objetos que antes estavam conexos após a aplicação do filtro teve algumas partes que foram abertas (Figura 10(b)).

Figura 10 - (a) Imagem Original, (b) Imagem após aplicação do filtro de abertura.



Fonte: Bensebaa, 2016.

O filtro de fechamento é uma operação inversa do filtro de abertura, também tende a suavizar os objetos, mas também une partes, eliminando pequenos buracos, preenche ou fecha pequenos vazios, removendo ruídos. Consiste na aplicação da dilatação na imagem, seguida de uma erosão, esta sequência de operações tem o intuito de eliminar pequenas conexões entre os objetos da imagem.

Sendo assim, o processo de fechamento é a uma Dilatação de A e B e a erosão resultante em B

$$A \circ B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

No MATLAB este operador morfológico está inserido como uma função denominada *imclose*. A Figura 11, mostra a aplicação do filtro de fechamento numa imagem binária, na Figura 11(b) visto que após o filtro de fechamento alguns objetos se conectam.

Figura 11 - (a) Imagem binária original, (b) Imagem binária após aplicação do filtro de fechamento.



Fonte: Bensebaa, 2016.

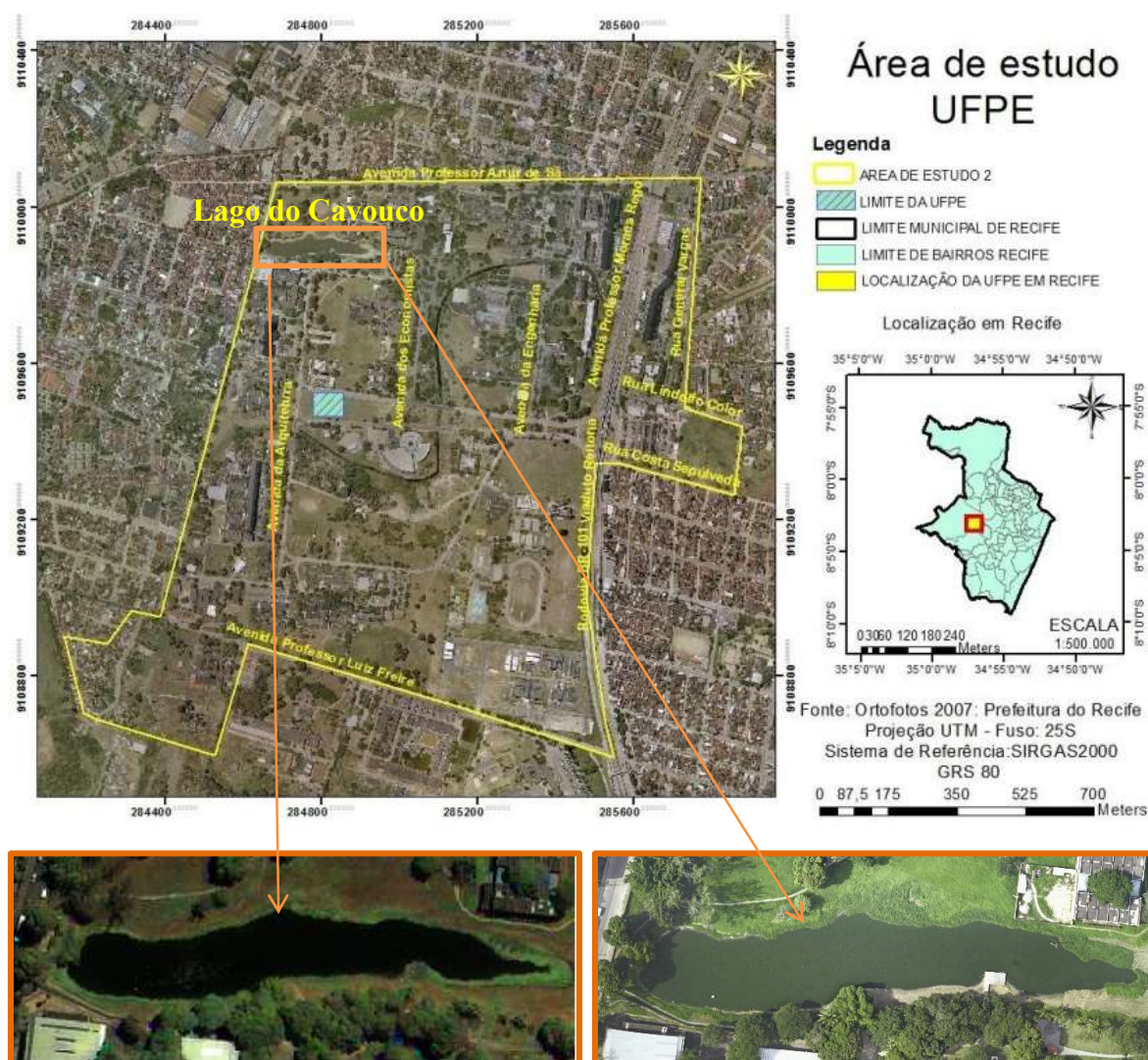
Mais detalhes sobre as propriedades e exemplos dos operadores erosão, dilatação, abertura, fechamento podem ser encontrados em Banon & Barrerra (1998), Candeias (1997), e Facon (1996) e Gonzales & Woods (2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange um lago mais conhecido como Lago do Cavouco contido no Campus Joaquim Amazonas pertencente à Universidade Federal de Pernambuco, na cidade do Recife. A Figura 12 mostra a localização da área de estudo. Foi feito um recorte que abrange o lago do Cavouco e seu entorno com área de aproximadamente 2,6773ha, com retângulo envolvente de coordenadas UTM no fuso 25S, sistema de Referência SIRGAS2000: ($E_1=284638,600m$; $N_1=9109948,280m$), ($E_2=284908,439m$; $N_2=9109948,280m$), ($E_3=284908,439m$; $N_3=9109849,000m$), ($E_4=284638,600m$; $N_4=9109849,000m$).

Figura 12 - Localização da área com os recortes da imagem IKONOS-2 de 2013 (à esquerda) e ORTOFOTO 2013 (à direita) do Campus Joaquim Amazonas - UFPE.



Fonte: Adaptado de Silva, 2014; Prefeitura do Recife, 2013.

A escolha desta área surgiu do interesse em extrair corpos d'água em Ortofotos, como este lago já foi escolhido como área teste em outros trabalhos sobre Morfologia Matemática em imagens de satélite, a curiosidade de se aplicar a mesma metodologia sobre Ortofoto pareceu bastante propício para verificar se a binarização de imagens pelo método do paralelepípedo e a extração do contorno por Morfologia Matemática traria bons resultados como para imagens de Satélite.

3.2 MATERIAIS

Para realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- Recorte da Ortofoto com 0,08 metros de resolução espacial da folha de articulação 80-49-05 no formato ECW. Produto resultante do voo realizado pela empresa Engefoto no ano de 2013 para a Prefeitura do Recife (cedidas cordialmente pela Prefeitura do Recife). Sistema de referência SIRGAS 2000, Sistema de Projeção UTM - FUSO 25S e resolução radiométrica de 16 bits (reamostrada para 8 bits);
- Recorte de imagens do Satélite de alta resolução IKONOS – II de 15.04.2013 12:46 GMT com resolução espacial de 3,2 metros para as bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo e 0,80 metros para banda pancromática (cedidas cordialmente pelo projeto FACEPE/INNOVATE), Sistema de referência SIRGAS 2000, Sistema de Projeção UTM - FUSO 25S, resolução radiométrica de 11 bits (reamostrada para 8 bits);
- Base cartográfica da prefeitura do Recife em formato **shp* (arquivo *Shapefile*) do ano de 2015, disponibilizada pela página web eSIG;
- *ArcGis* Versão 10.1 Licença Estudantil;
- *Spring* Versão 5.5.0 - Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas – desenvolvido pelo INPE. Trata-se de um software capaz de operar como um banco de dados geográficos para o tratamento de dados vetoriais e matriciais, integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas de informações geográficas.
- Matlab versão R2015a – “O Matlab é tanto um ambiente quanto uma “linguagem de programação” e um de seus aspectos mais poderosos é o fato de que a “linguagem Matlab” permite construir suas próprias funções e programas especiais para atender seus objetivos. Há também a possibilidade de agrupar tais funções em diretórios especiais, gerando assim caixas de ferramentas específicas” (STATELLA, 2005). Foi utilizado

para elaboração dos algoritmos para estudo do comportamento da água na Ortofoto e nas imagens IKONOS-2 e para extração das bordas do lago nas imagens.

A) Satélite IKONOS II

O satélite IKONOS foi o primeiro a gerar imagens de alta resolução (1m). Foi lançado no ano de 1999, estando ativo até os dias atuais.

Figura 13 - Satélite IKONOS-2.



Fonte: Engesat, 2017.

As principais características do satélite IKONOS-II estão listadas na tabela 2:

Tabela 2 - Principais parâmetros do IKONOS-2.

Parâmetro	Valor
Resolução espectral da banda pancromática (PAN) (μm)	0,45 – 0,90 μm
Resolução espectral das bandas multiespectrais (MS) (μm)	0,45 – 0,53 μm (azul) 0,52 – 0,61 μm (verde) 0,64 – 0,72 μm (vermelho) 0,76 – 0,86 μm (infravermelho próximo)
Resolução espacial	1 m PAN (0,80 m no nadir) 4 m MS (3,2 m no nadir)
Quantização do pixel	11 bits

Fonte: Adaptado de Candeias, et. al, 2016.

Os produtos cartográficos representados a partir das imagens do satélite IKONOS - 2 com a resolução espacial 3,2m nas faixas do visível e do infravermelho próximo, podem ser utilizados na escala nominal máxima 1:16.000. Para a banda pancromática com resolução espacial de 0,80m obtém-se na escala máxima 1:4.000, imagens fusionadas a partir da banda pancromática seguem a mesma escala da banda pancromática.

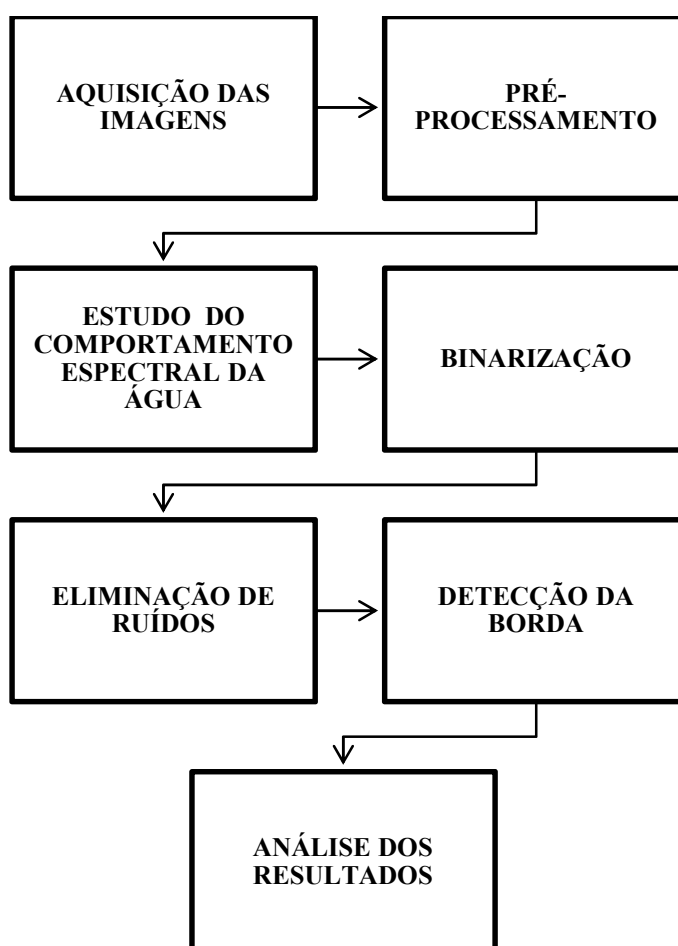
B) Ortofoto

Produto da Fotogrametria aérea onde a posição dos pixels é corrigida dos deslocamentos do relevo devido à projeção cônica da fotografia aérea, possui uma alta resolução espacial permitindo identificar feições com maior detalhamento. (RAFAELI NETO & BECEGATO, 2009). A Ortofoto com resolução espacial de 0,08m utilizada neste trabalho, atende a representação em produtos cartográficos com a escala nominal máxima de 1:400.

3.3 METODOLOGIA

A Figura 14 apresenta um fluxograma que mostra de forma sucinta os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.

Figura 14 - Estrutura da metodologia empregada no trabalho.



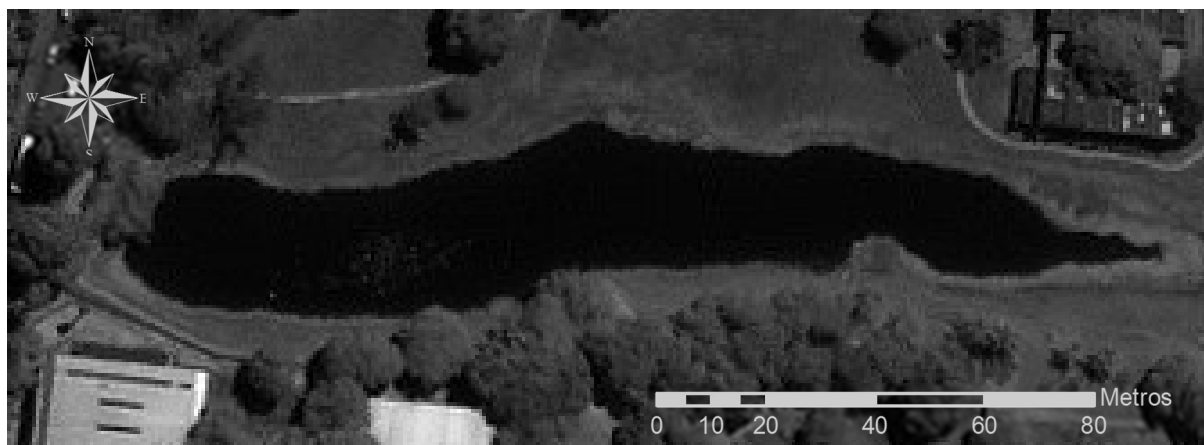
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.3.1 Pré- Processamento

A etapa de pré-processamento consiste em realizar alguns procedimentos para melhorar, ou realçar objetos de interesse das imagens.

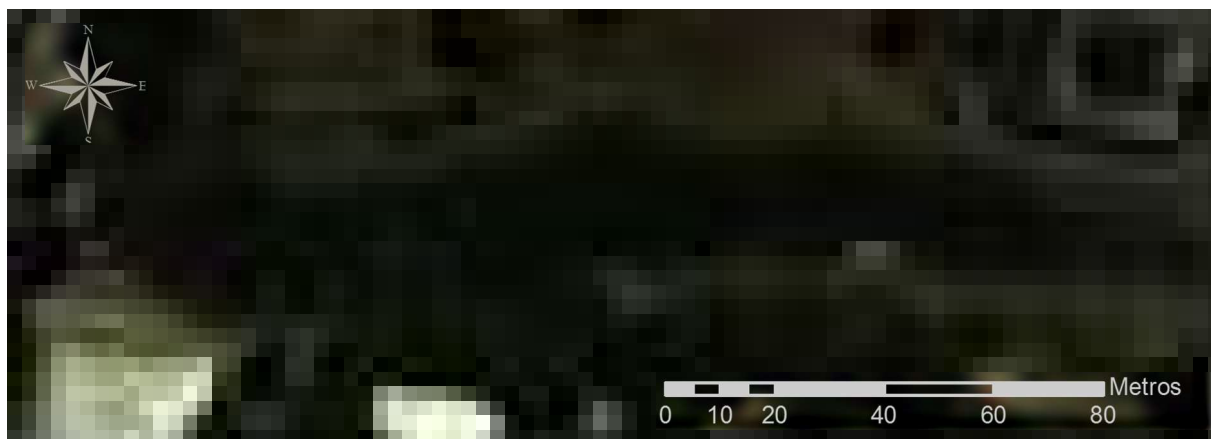
Para obter melhores resultados em termos de resolução espacial foi necessário fusionar as imagens IKONOS com resolução de 3,2m para termos 2 composições RGB de 0,80m. Esta etapa consistiu em transformar a composição RGB para o sistema de cores IHS e depois realizar o processo inverso substituindo a componente I pela banda pancromática (Figura 15), este método foi aplicado na composição 321(Figura 16(a)) e 432(Figura 17(a)) logo obtivemos novas imagens 321+pan(Figura 16(b)) e 432+pan(Figura 17(b)) com resolução espacial de 0,80m, nota-se que com a fusão de imagens temos mais detalhamento das feições principalmente do lago, sendo mais adequada para estudar o comportamento espectral da água. Todo procedimento foi realizado no *Software Spring*, utilizando a ferramenta “Transformação IHS<->RGB”.

Figura 15 - Imagem IKONOS-2 banda pancromática com resolução espacial de 0,80m.

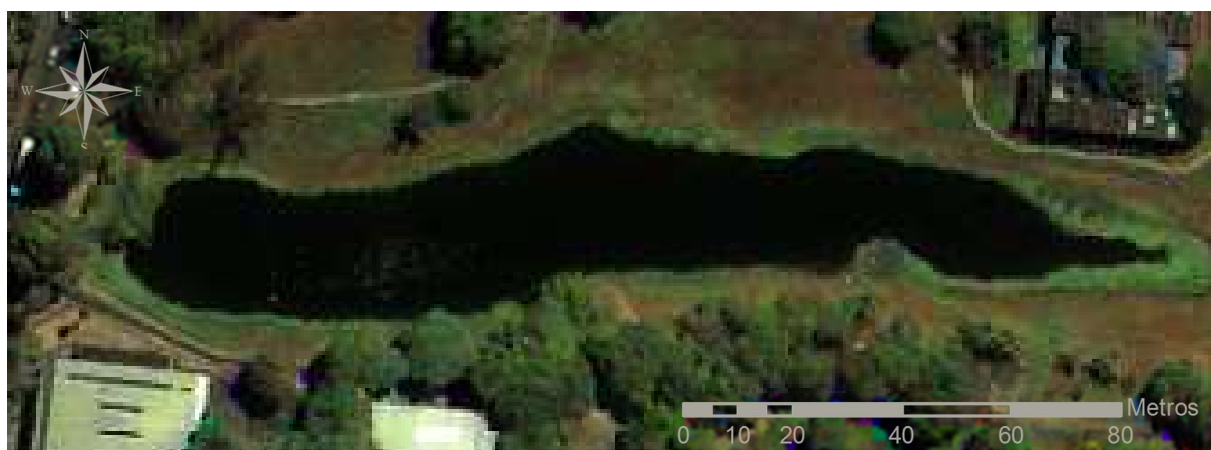


Fonte: Projeto FACEPE/INNOVATE.

Figura 16 - Composição colorida RGB. (a) IKONOS-2 321 com resolução espacial de 3,2m. (b) fusionada – 321 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80m.



(a) IKONOS-2 321 com resolução espacial de 3,2m.



(b) fusionada – 321 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80m.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 17 - Composição colorida RGB. (a) IKONOS-2 432 com resolução espacial de 3,2 metros (b) fusionada – 432 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80 metros.



(a) IKONOS-2 432 com resolução espacial de 3,2 metros



(b) fusionada – 432 da IKONOS-2 com resolução espacial de 0,80 metros.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.3.2 Estudo do comportamento espectral da água

Neste trabalho o estudo do comportamento espectral da água se deu através da criação de rotinas no software MATLAB, no intuito de reconhecer como se comporta o lago nas imagens, através do:

- Espaço de atributos e histograma das amostras.
- Criação do gráfico de perfil vertical.

O estudo do comportamento espectral é uma importante etapa no processo de detecção de objetos, principalmente quando eles se comportam de forma diferente dependendo do tipo de imagem. Sabemos que trabalhar com corpos d'água em ortofotos não seria uma tarefa fácil, pois estes possuem, por muitas vezes, matéria orgânica em suspensão ou sedimentos, e isso faz com que a resposta espectral da água varie, sendo muitas vezes a cor semelhante a da vegetação, ou do solo, apresentando-se como ruídos na imagem dificultando sua detecção. Além disso, quanto maior resolução espacial se tem em uma imagem, mais difícil é o processo de classificação de um alvo.

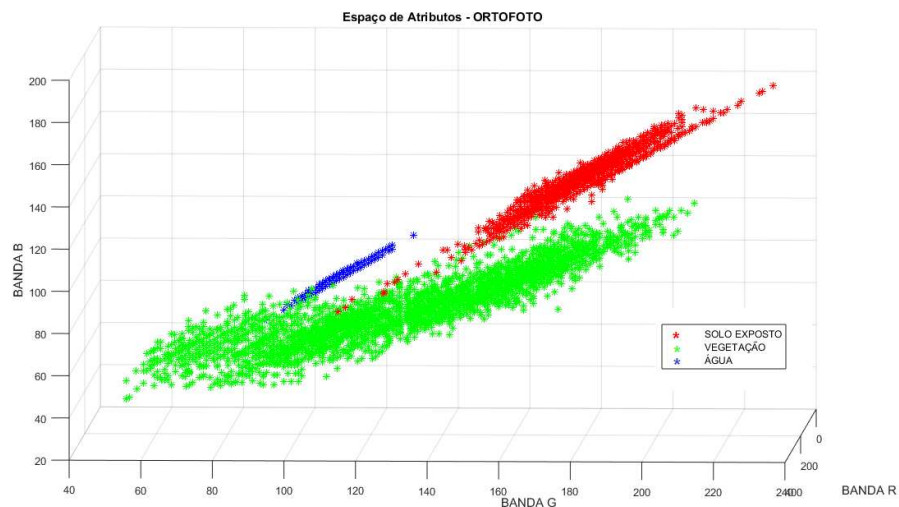
O estudo por espaço de atributos é importante para se conhecer o comportamento espectral dos alvos na imagem e este método auxilia na visualização dos objetos. Foi implementado um algoritmo no software MATLAB onde foi coletado com o comando *ginput* 2 pontos para gerar um retângulo que representasse as amostras de três alvos Figura 18(a), Figura 19(a), e Figura 20(a), uma amostra de solo, de água e vegetação com o intuito de visualiza-los num espaço tridimensional e vê como estes se comportam. Para isto, foi utilizado o método de regressão linear que auxilia no ajustamento bidimensional ou tridimensional das amostras, onde é possível através de um gráfico 3D visualizar o sistema RGB e os níveis de

cinza de cada amostra e estas estão mais próximas ou distantes. Também para este estudo foram extraídos os histogramas das amostras da água, solo e vegetação, com a utilização do comando *imhist*.

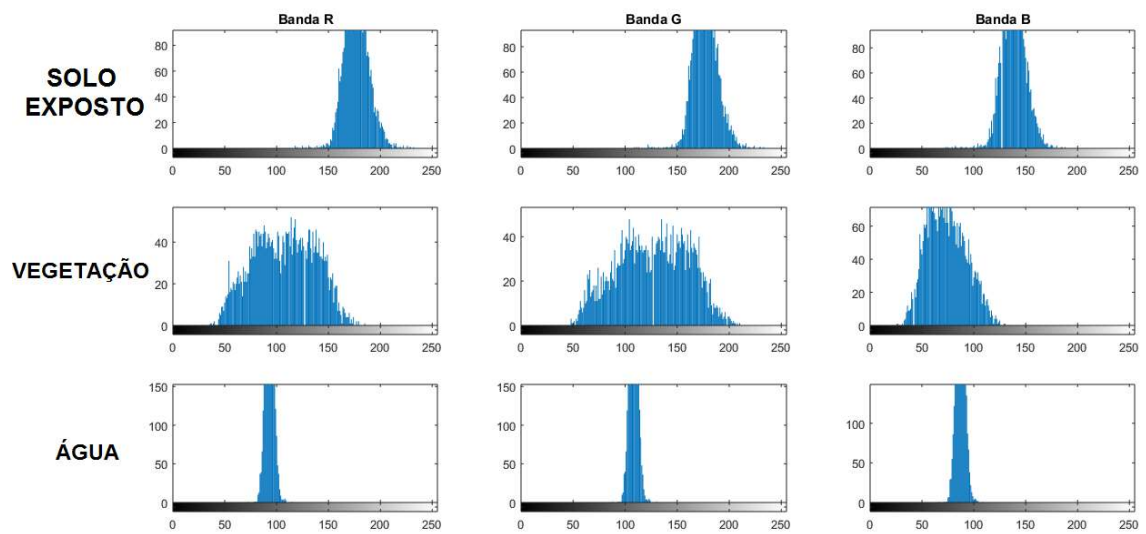
Figura 18 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na ortofoto, (b) Espaço de atributos das amostras da ortofoto, (c) Histograma das amostras da ortofoto.



(a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Ortofoto.



(b) Espaço de atributos das amostras da Ortofoto



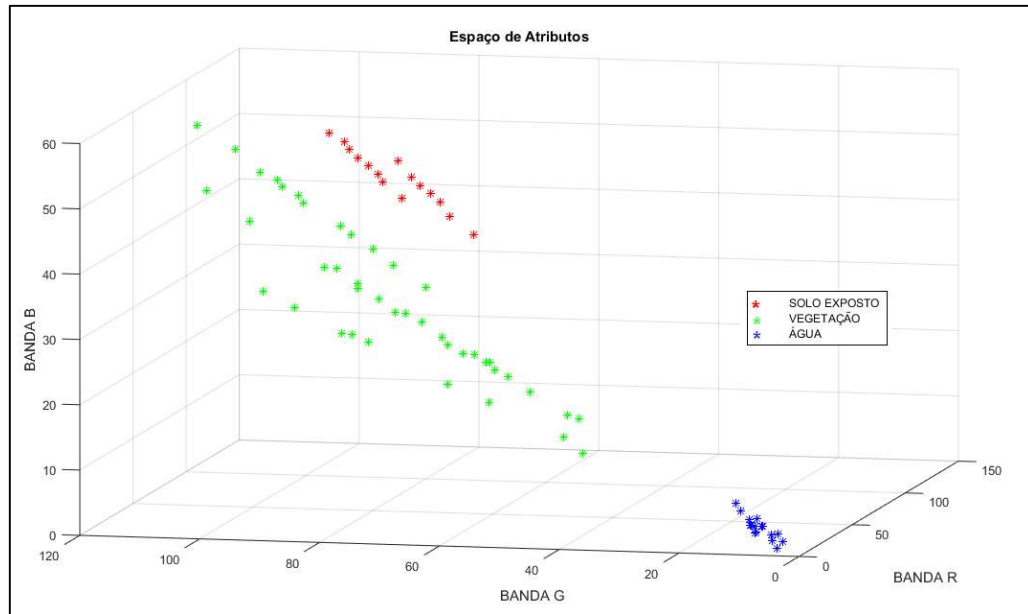
(c) Histograma das amostras da ortofoto.

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

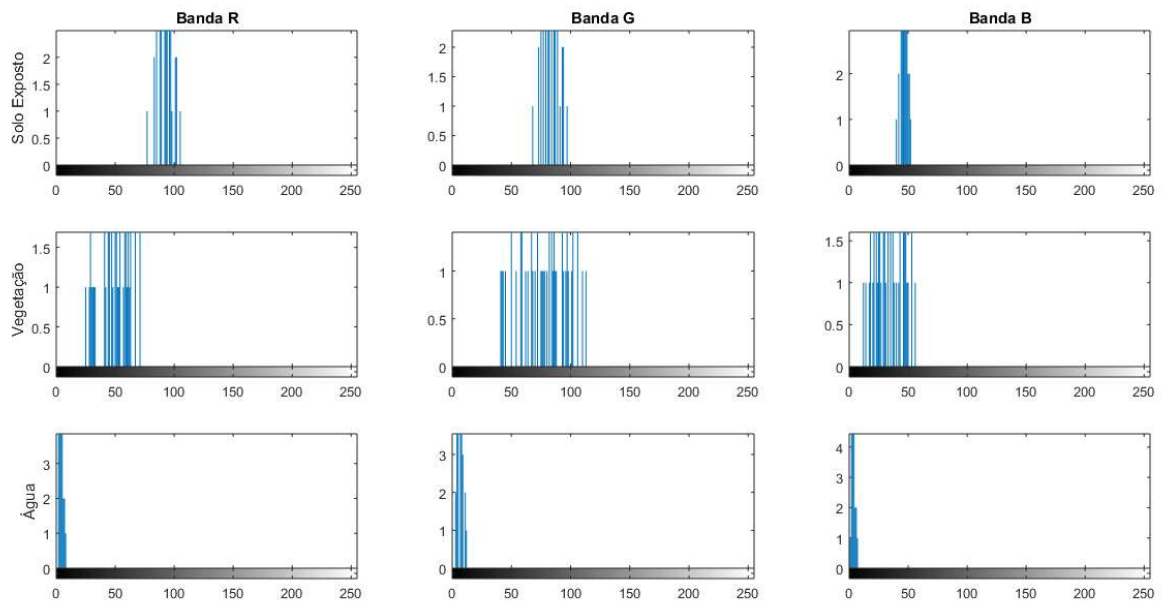
Figura 19 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 321-RGB. (b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321- RGB. (c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321 – RGB.



(a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 321-RGB



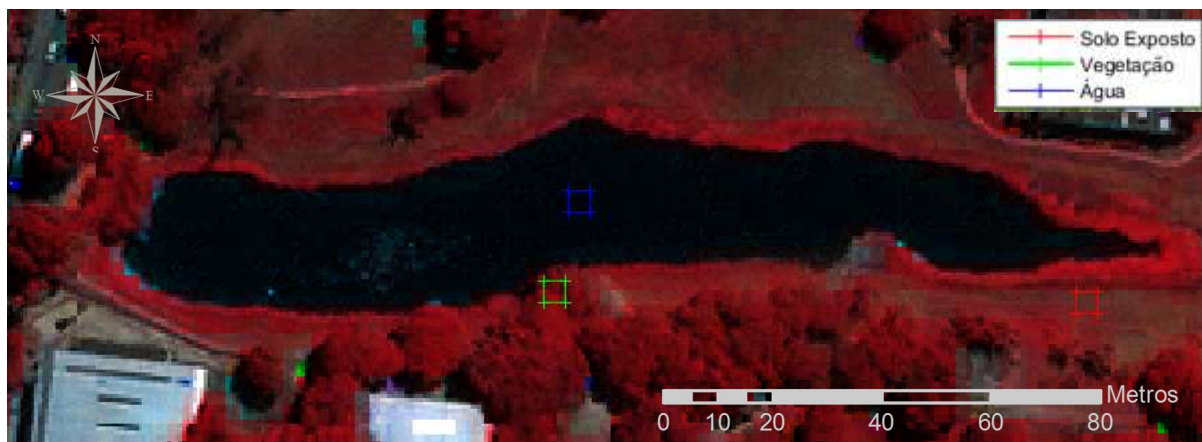
(b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321- RGB.



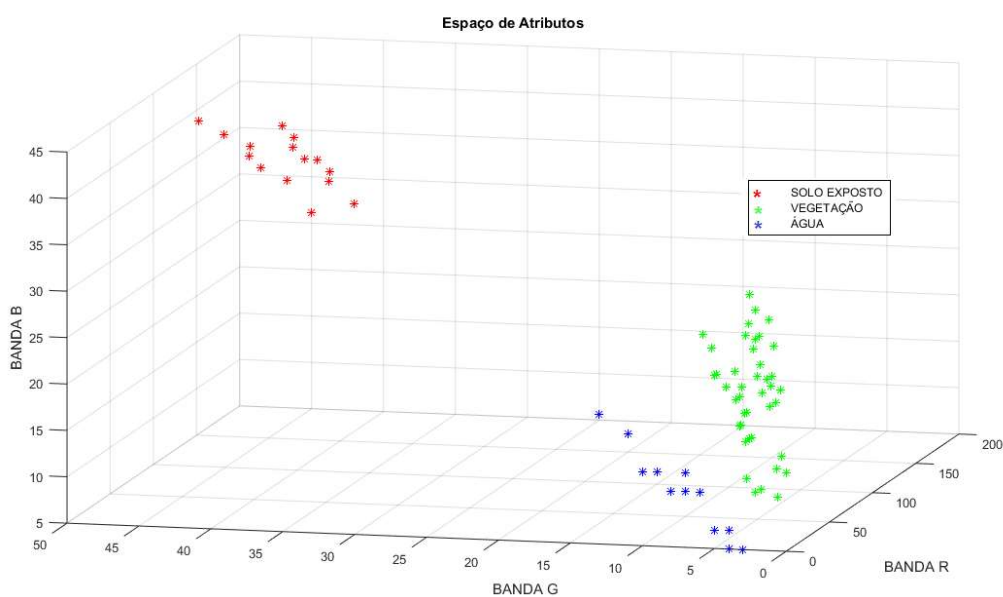
(c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 321 – RGB

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

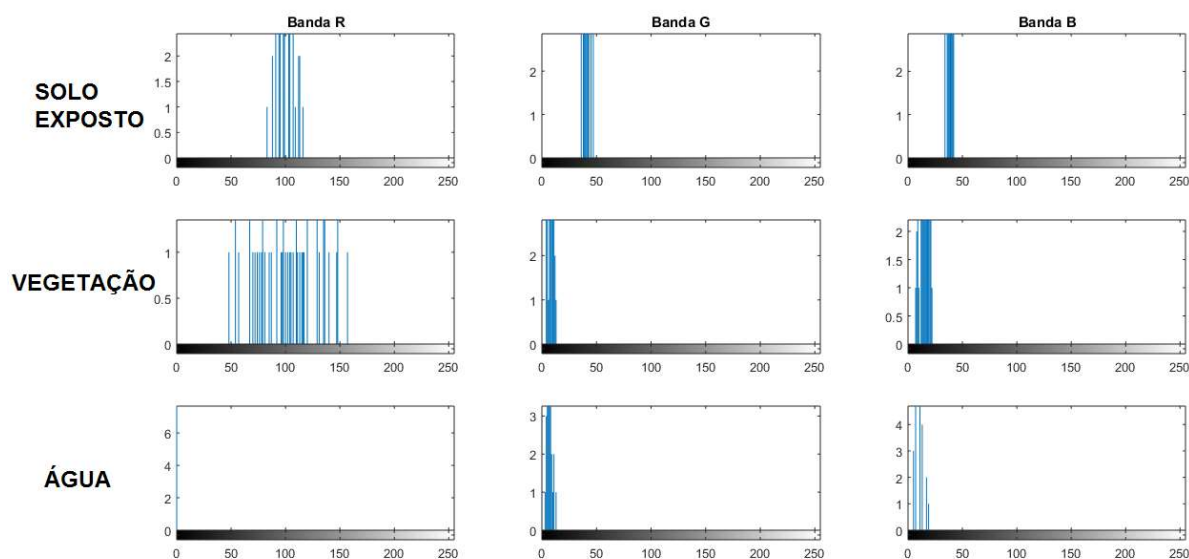
Figura 20 - (a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 432-RGB. (b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432- RGB. (c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432 – RGB.



(a) Retângulo envolvente das amostras de solo exposto (em vermelho), vegetação (verde) e água (azul) sobrepostas na Imagem IKONOS-2 fusionada 432-RGB.



(b) Espaço de atributos das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432- RGB



(c) Histogramas das amostras da Imagem IKONOS-2 fusionada 432 – RGB

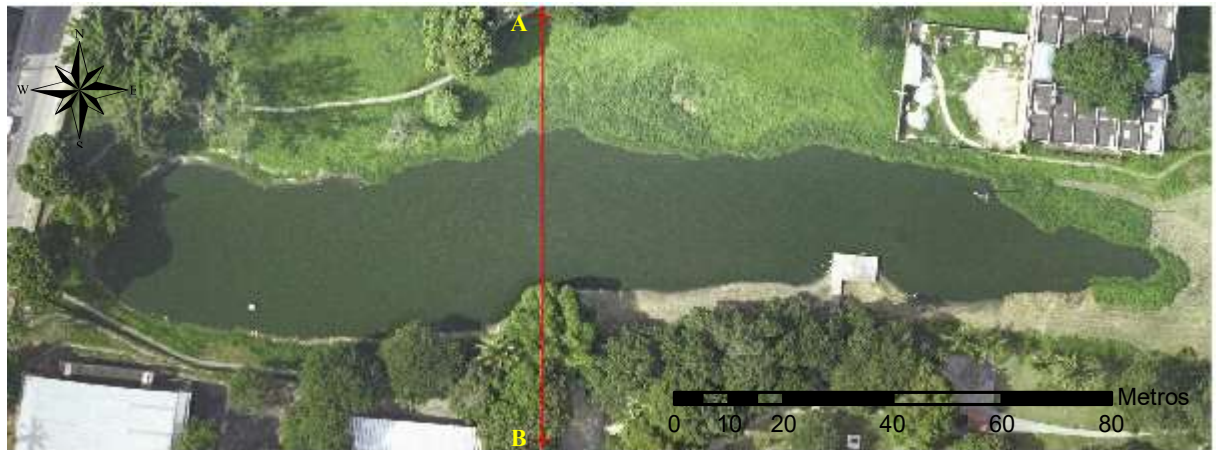
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Após o estudo do espaço de atributos, foi implementada uma rotina também no software MATLAB para analisar o perfil vertical das imagens e analisar como se comporta um trecho que contém lago e vegetação, isto auxiliou para identificar quais imagens seriam possíveis de serem utilizadas no processo de binarização de imagens e extração de bordas por MORFOLOGIA MATEMÁTICA. Este perfil foi extraído utilizando o comando *ginput* onde é possível selecionar dois pontos da imagem e traçar uma reta, após isso o programa traça o perfil vertical apresentando os pixels da reta escolhida. Foram criados 4 perfis verticais, tendo-se o cuidado de obter a mesmas linhas nas imagens Ortofoto, IKONOS II – RGB321 e RGB432.

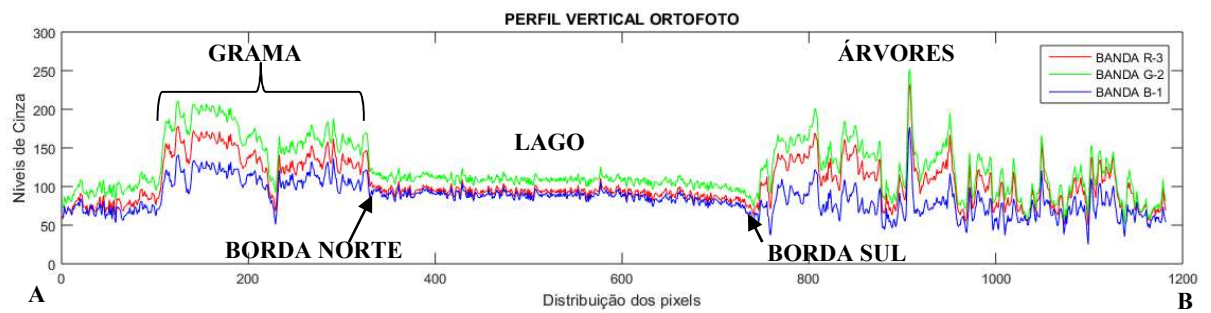
O gráfico de perfil é uma ferramenta muito útil no conhecimento dos objetos que queremos obter das imagens, ele auxilia na identificação os objetos e seu comportamento espectral em cada banda da imagem, prevendo qual banda é possível ter melhores resultados no processo de classificação dos objetos.

As Figuras 21(a) e 21(b) mostram respectivamente uma reta AB com distância entre o ponto A e B de 94,5m traçada na ortofoto e seu gráfico de perfil, representando os pixels em cada banda da ortofoto. A maioria dos objetos que passam pela reta AB nas três bandas da ortofoto possui seus níveis de cinza bem próximos. Entretanto na banda do vermelho e na banda do azul a água possui uma proximidade maior. Nota-se também que na interface água - vegetação não há tanta variação dos pixels da vegetação e da água, levando a perceber que ambos possuem um comportamento espectral semelhante, a grande diferença é que os pixels da água são mais constantes do que o da vegetação, variando entre os valores de 50 a 150.

Figura 21 - (a) Ortofoto com reta vertical AB (b) Perfil vertical AB na ortofoto.



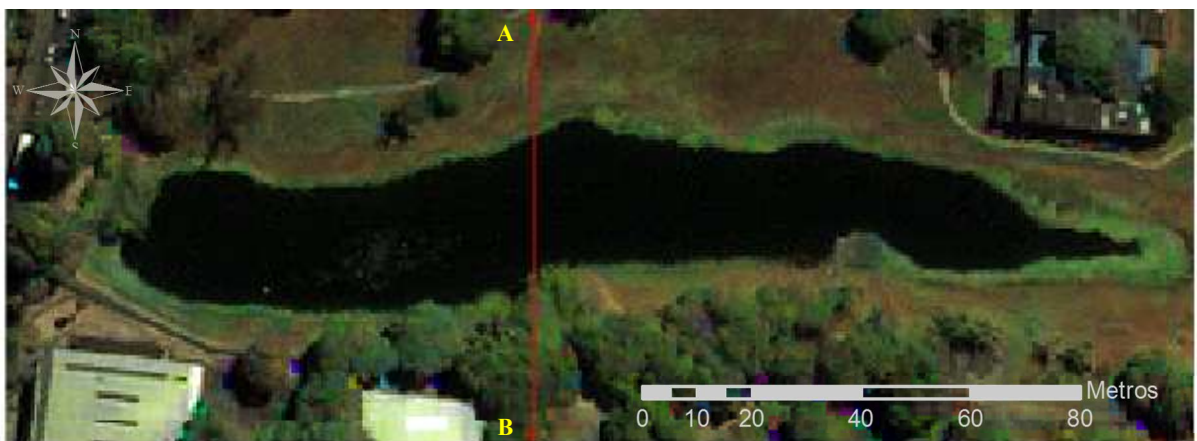
(a)



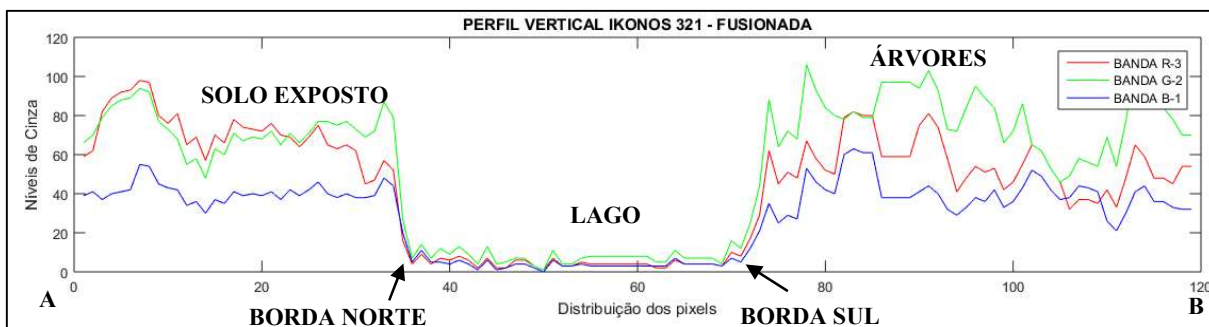
(b)

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 22 - (a) Imagem IKONOS- II RGB-321 com reta vertical AB, (b) Perfil vertical AB da imagem IKONOS-2 RGB-321.



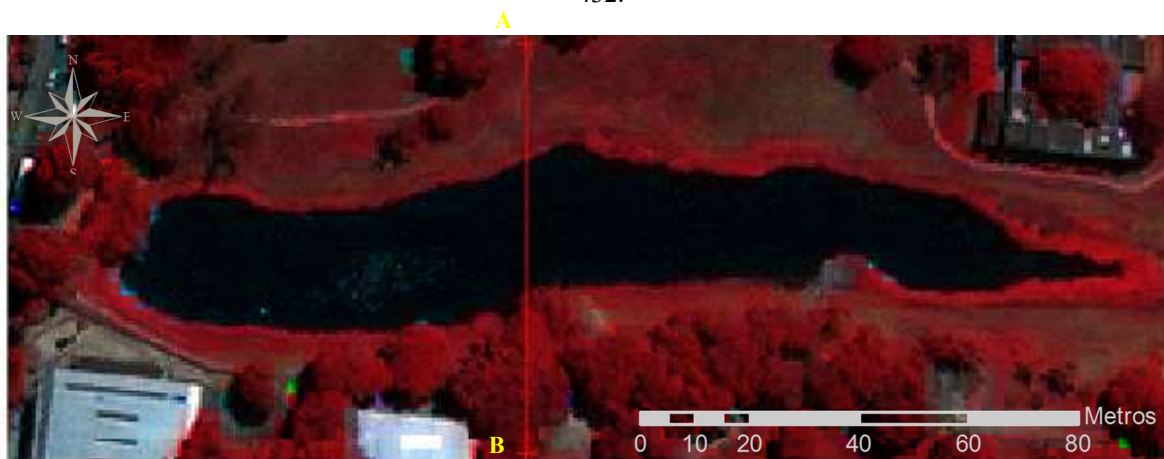
(a)



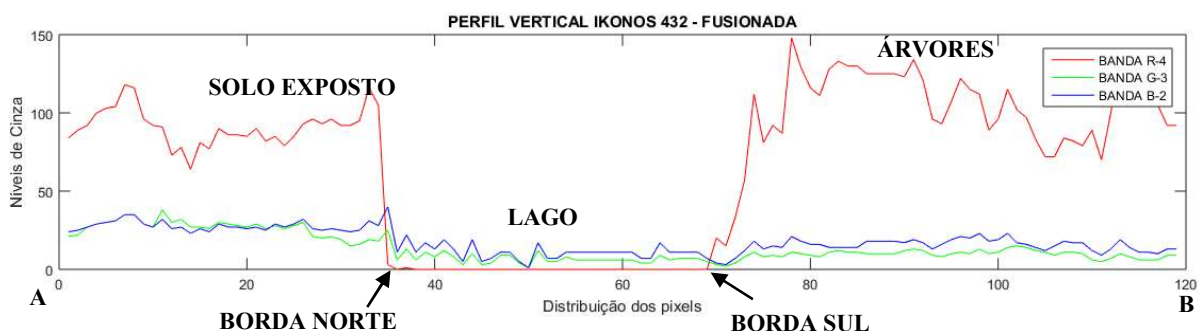
(b)

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 23 - (a) Imagem IKONOS- II RGB-432 com reta vertical AB, (b) Perfil AB da imagem IKONOS-2 RGB-432.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O gráfico do perfil vertical das bandas da ortofoto mostra que os alvos vegetação e água apresentam respostas espectrais semelhantes, não sendo possível diferenciar totalmente o lago da vegetação, sendo difícil ter um bom resultado na extração binária do lago.

É possível notar através do perfil vertical, histograma e espaço de atributos que ortofotos e imagens de satélite se comportam de forma totalmente diferentes para objetos diversos, isto

ocorre devido a diversidade de tons de cinza e a resposta que o sensor traz para o alvo. As Figuras 21(b) e 22(b) mostraram os gráficos de perfis verticais referentes a reta AB com distância de 94,5m para as imagens de satélite IKONOS-2 composição R-3 G-2 B-1 e R-4 G-3 B-2 respectivamente. É possível verificar que a banda 4(infravermelho próximo) da imagem IKONOS-2 (Figura 23(b)) é a que apresenta melhor distinção da água para os outros alvos, possibilitando através do gráfico visualizar o início (borda norte) e o final (borda sul) das bordas do Lago. Portanto, a banda do infravermelho próximo foi a escolhida para ser binarizada e detectar o contorno por Morfologia Matemática.

3.3.3 Binarização de Imagens

A binarização é um método que transforma uma imagem em níveis de cinza em uma imagem binária a partir de um limiar de binarização. O limiar é baseado no que se deseja representar nesta nova imagem, facilitando a extração do plano de informação com o objeto de interesse da imagem. Neste trabalho para elaborar o algoritmo de binarização utilizou-se o método de classificação do paralelepípedo onde toma-se uma pequena área na imagem em tons de cinza, do objeto que se deseja binarizar e extrai-se sua média (limiar) e o desvio padrão. Em seguida cada pixel da imagem é analisado levando em consideração o intervalo amostral, em seguida a imagem é convertida em binária. Supõe-se que μ seja a média e σ o desvio padrão da imagem em níveis de cinza e $I_1(x,y)$ é o valor da *posição* x, y da imagem binária. Para isto foi estudado o comportamento do desvio padrão baseado na utilização do nível de confiança α que varia de 1 a 3 para a mesma amostra.

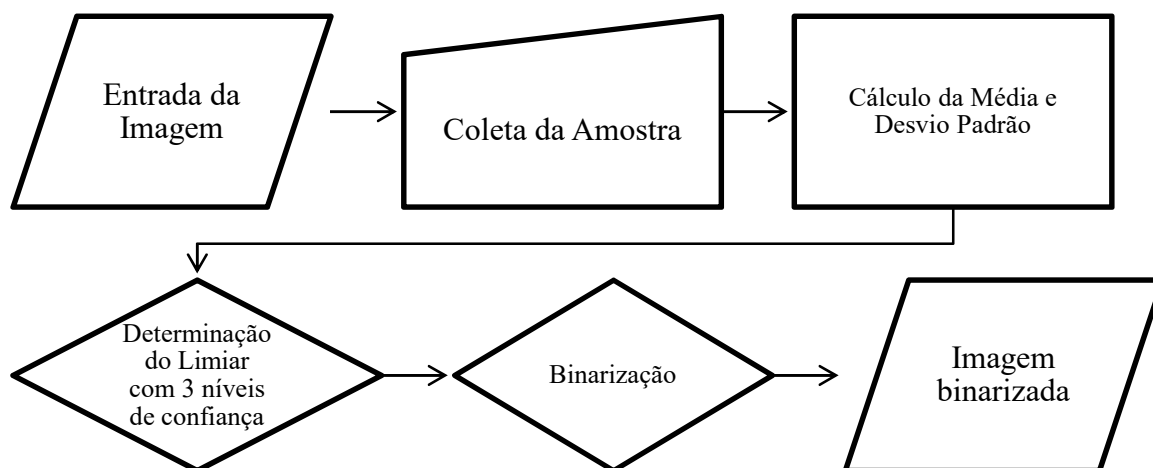
As equações (5), (6) e (7) foram utilizadas no processo de binarização pelo método do paralelepípedo estão apresentadas a seguir:

$$\mu = \sum \frac{I_1(x,y)}{n} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum I_1(x,y) - \mu}}{(n-1)} \quad (6)$$

$$f = \begin{cases} Se \left(\mu - (\alpha * \sigma) \leq I_1(x,y) \leq (\mu + (\alpha * \sigma)) \right) & , 255 \\ caso \text{ contrário} & , 0 \end{cases} \quad (7)$$

Figura 24 - Fluxograma do processo de binarização pelo método do paralelepípedo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O processo apresentado na Figura 24 foi aplicado nas três bandas da Ortofoto e na banda do Infravermelho da Imagem IKONOS-2 fusionada, considerando amostras iguais para as bandas da Ortofoto e uma amostra diferente para banda da imagem IKONOS-2.

Para selecionar a amostra foi utilizado o comando *ginput* onde selecionou dois pontos da imagem e a partir dele gerou-se o retângulo da amostra, depois disso, fez-se uso dos comandos *mean2* e *std2* para calcular a média e o desvio padrão de cada amostra e após isso programou – se a Equação (7) no *software*, para obtenção da imagem binária.

3.3.4 Eliminação de ruídos das imagens por Morfologia Matemática

Após a binarização verificamos nas imagens binárias que seria necessário eliminar alguns ruídos das imagens, como vegetação, solo exposto, edificações. Para isto, fizemos uso do comando *bwselect* que seleciona o objeto de interesse a partir de uma posição e da conectividade dos pixels binários, então foi selecionado na imagem um ponto com o comando *ginput* onde estava o lago. Após isso, como não foi possível obter apenas o lago com este comando, fizemos uso dos filtros morfológicos de abertura e fechamento, não necessariamente nesta ordem para tentar eliminar os objetos que não tínhamos interesse e deixar o lago o mais homogêneo possível. Esta tentativa de remoção só foi utilizada nas imagens binárias oriundas das Ortofotos, porém só foi utilizada nas imagens com o nível de confiança de 3σ pois,

analisando visualmente, verificamos que as imagens com o nível de confiança 1σ e 2σ não teriam bons resultados na detecção da borda com os filtros morfológicos.

Para isto, primeiramente foi aplicado o filtro de abertura com elemento estruturante (B) quadrado de dimensões 3x3 (B_3), 5x5 (B_5), 7x7 (B_7) nas imagens binárias oriundas da banda do vermelho, do verde e do azul da ortofoto. O filtro de abertura consiste na operação de dilatação da imagem seguida de uma erosão, no MATLAB este filtro é conhecido como *imopen*.

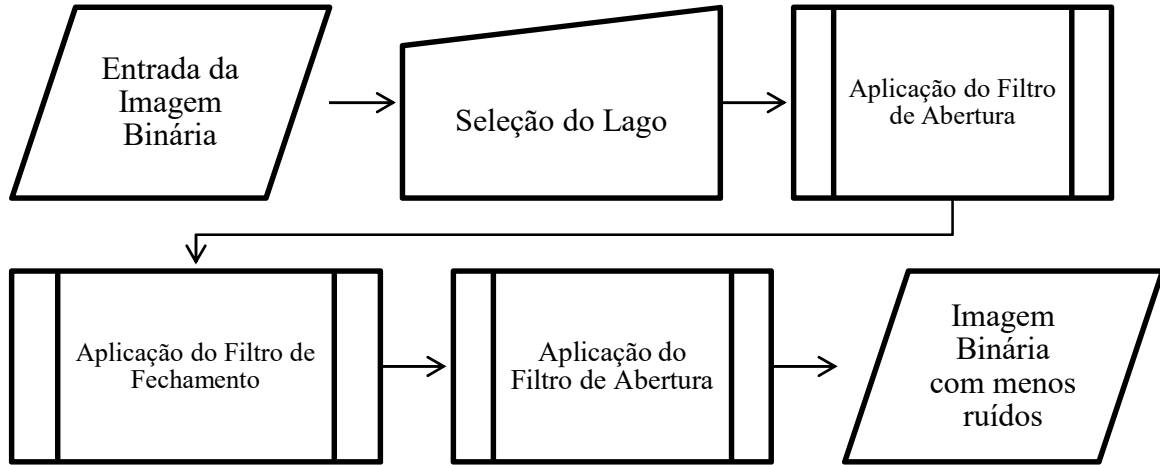
$$\begin{aligned}
 B_3(3 \times 3) &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & B_5(5 \times 5) &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 B_7(7 \times 7) &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

A Equação 8 mostra as matrizes do elemento estruturante quadrado, no MATLAB estão definidas na função *strel – square*.

Em seguida foi aplicado o filtro de fechamento nas imagens binárias com o filtro de abertura utilizando os mesmos elementos estruturantes e as mesmas dimensões. O filtro de fechamento consiste na operação de erosão da imagem seguida de uma dilatação, no MATLAB este filtro é conhecido como *imclose*.

Teve-se a necessidade de aplicar novamente o filtro de abertura nas imagens com o filtro de fechamento, pois não foi possível apenas com a aplicação destes filtros eliminar os ruídos da imagem e separar o lago da vegetação e de outros objetos. Logo, a aplicação do filtro de abertura deu-se da mesma forma de quando ele foi aplicado inicialmente. O fluxograma da Figura 25 mostra as etapas para eliminação dos ruídos.

Figura 25 - Processo para eliminação dos ruídos da imagem binária.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.3.5 Detecção de Bordas - Morfologia Matemática

A representação da borda no caso manual, é única. Já no caso digital, é necessário considerar: vizinhança-4 ou vizinhança-8. Para detecção da borda por Morfologia Matemática foram utilizados os operadores morfológicos erosão e dilatação e em seguida foram extraídas as bordas externa, interna e gradiente. Utilizou-se o elemento estruturante quadrado com as dimensões(d) 3x3, 5x5 e 7x7. As equações utilizadas para extração da borda externa, interna e gradiente são apresentadas a seguir. A borda externa (b_e) é resultado da subtração imagem dilatada ($\delta B_d(f)$) com a imagem binária original(f), a borda interna(b_i) é resultado da subtração da imagem binária original(f) com a imagem erodida $\varepsilon B_d(f)$, e a borda gradiente(b_g) é o resultado da subtração da imagem dilatada com a imagem erodida, ou a soma das bordas externas e internas.

$$b_e = \delta B_d(f) - f \quad (9)$$

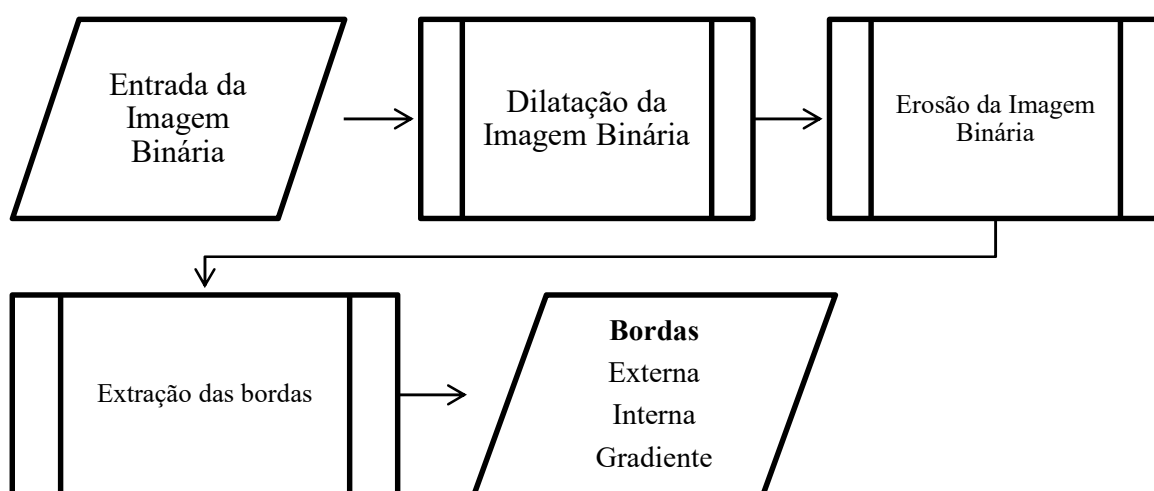
$$b_i = f - \varepsilon B_d(f) \quad (10)$$

$$b_g = \delta B_d(f) - \varepsilon B_d(f) \quad \text{ou} \quad b_g = b_e + b_i \quad (11)$$

A dilatação e a erosão estão presentes no MATLAB através dos comandos *imdilate* e *imerode*, o elemento estruturante é determinado com a função *strel - square* que representa

uma matriz como forma de quadrado com todos os valores igual 1 como mostra a equação 8 e a dimensão desta matriz é escolhida pelo usuário, neste caso foram escolhidas três dimensões, como já dito anteriormente. Este processo (Figura 26) foi aplicado nas imagens binárias da banda 4 IKONOS-II com nível de confiança de 3σ e na imagem binária resultante da eliminação de ruídos com elemento estruturante 7×7 oriunda da banda do vermelho.

Figura 26 - Processo para Extração das Bordas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.3.6 Extração por Vetorização Manual e Automática

No processo de vetorização manual o usuário extrai a informação a partir da sua interpretação sobre o que está sendo representado na imagem, sendo a assim a informação extraída dependerá apenas da acurácia visual do operador. Dependendo do que se deseja extrair o serviço torna-se um tanto oneroso.

O processo de vetorização automática é um recurso de muitos softwares de sistema de informações geográficas que transforma automaticamente, ou seja, sem a intervenção do usuário, imagens em arquivos vetoriais sob forma de pontos, linhas e/ou polígonos. Antes de realizar este procedimento foi necessário georreferenciar as imagens, logo a partir das coordenadas do retângulo envolvente das imagens binárias, o georreferenciamento foi realizado. Após isso, foi utilizada a ferramenta do *ArcGis* – ‘*Convert from Raster to Polygon*’, para transformação da imagem binária em polígonos com a criação de um arquivo *shapefile*.

Como foram gerados vários polígonos que não correspondiam ao objeto de interesse, estes foram excluídos manualmente e ficou apenas no arquivo o polígono do lago. Foram gerados dois polígonos automáticos um com suavização de contornos “*Simplify polygons*” e outro sem a suavização.

Após extraído os polígonos que correspondia ao Lago do Cavouco da vetorização automática em seguida foi calculado a área e o perímetro dos polígonos, obtidos com a ferramenta *Calculate Geometry* no software *ArcGis*. Para poder comparar as áreas obtidas por vetorização automática, foi feita a vetorização manual do lago na imagem ikonos-2 banda do infra-vermelho e depois calculado área e perímetro. Também foram calculados áreas e perímetros das bordas externas e internas obtidas por Morfologia Matemática. Este procedimento foi realizado no software Matlab, utilizando o comando *bwarea*, que calcula os pixels brancos na imagem binária, posteriormente esta área foi multiplicada pela resolução espacial do pixel ao quadrado, o cálculo do perímetro procedeu-se da mesma forma. Nas imagens binárias após o filtro de fechamento da banda do vermelho da ortofoto não foi possível extrair a borda do Lago do Cavouco por completo, devido as sombras das árvores e a conectividade da vegetação com o lago em alguns trechos, logo não foi extraído o polígono por vetorização automática do lago nestas imagens, e consequentemente não foram calculados área e perímetro, porque poderia dar falsos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

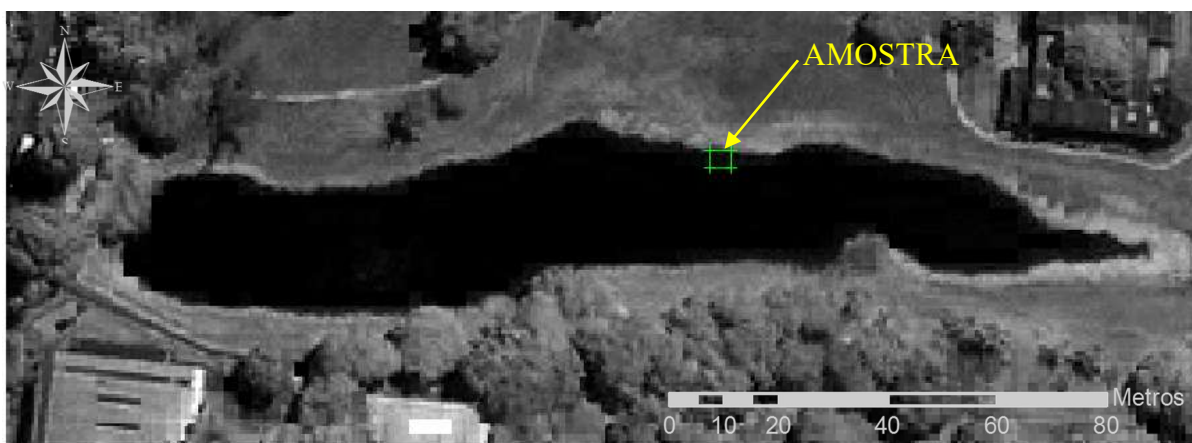
A seguir são apresentados os resultados da metodologia aplicada na Ortofoto e na Imagem de satélite, e as comparações visuais e quantitativas. Para melhor visualização dos objetos, todas as imagens binárias estão representadas com o seu negativo, onde os objetos e bordas estão em preto e o restante da imagem branco.

4.1 RESULTADOS DA BINARIZAÇÃO COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONFIANÇA AMOSTRAL

4.1.1 IKONOS-2 – Banda 4

A Figura 27 apresenta a banda do infravermelho próximo da imagem IKONOS-2 com a amostra selecionada para encontrar o limiar de binarização. Esta amostra foi escolhida após várias tentativas e observando o comportamento do limiar a medida que se modificava a amostra, para ter um contorno melhor da borda a amostra está numa área que compreende a interface água e solo/vegetação.

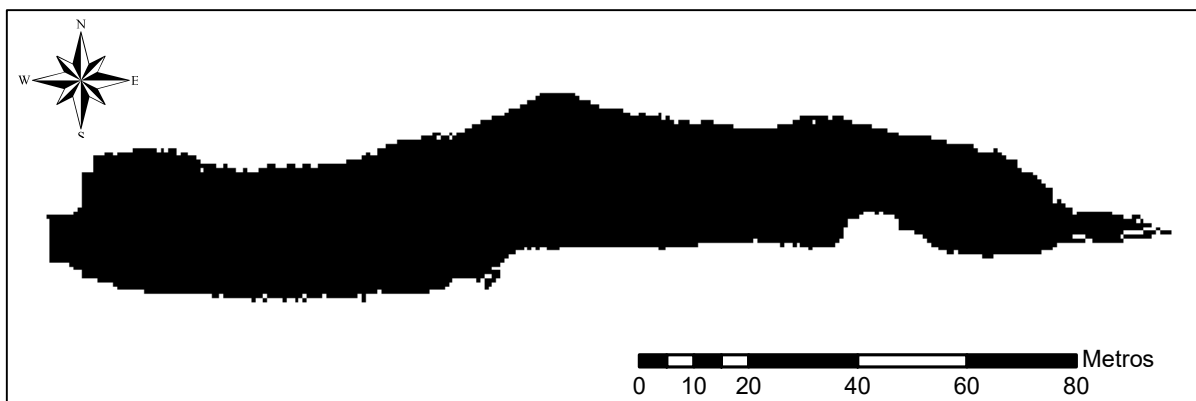
Figura 27 - – Banda do infravermelho IKONOS – II com amostra selecionada (retângulo verde).



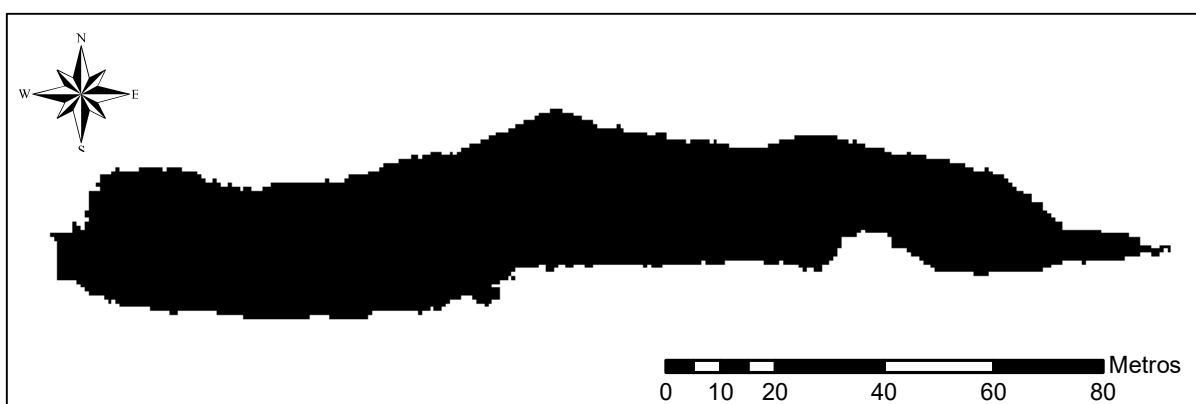
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Após o processo de binarização foram obtidas três imagens binárias do Lago, conservando o mesmo limiar de binarização porém variando o nível de confiança pelo desvio padrão. Na Figura 28(a) é apresentada a imagem binária com 1σ , a Figura 28(b) com 2σ e a Figura 28(c) com 3σ , nota-se que a Figura que melhor representou o lago foi a que teve um maior intervalo de binarização.

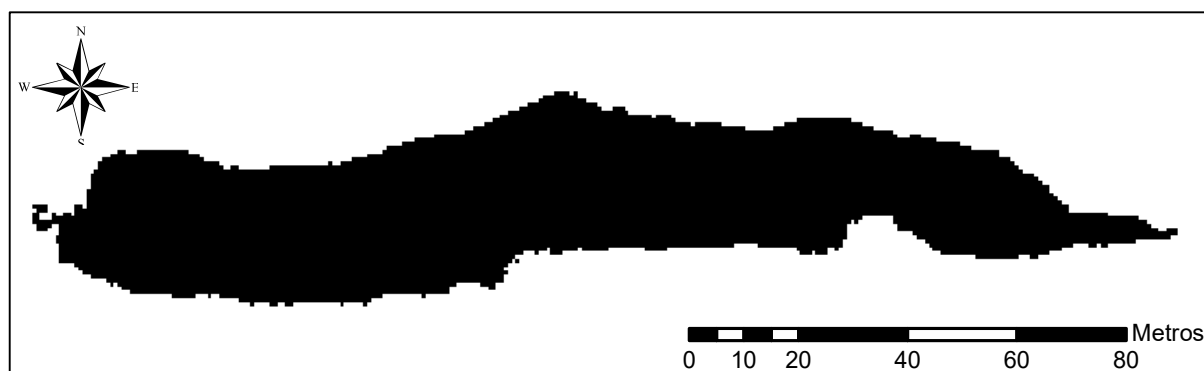
Figura 28 - Imagem binária IKONOS II, banda 4 com desvio padrão de (a) 1σ (b) 2σ (c) 3σ .



(a) 1σ



(b) 2σ



(c) 3σ

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.1.2 Ortofoto

Da mesma forma que ocorreu com a imagem IKONOS-2, após o estudo do comportamento do Lago do Cavouco na Ortofoto, foi feita a binarização coletando uma amostra para determinação de um limiar pelo método do paralelepípedo, a amostra (Figura 29) foi escolhida após várias tentativas acreditando-se que esta é a que apresentou uma melhor resposta para o método aplicado, porém como na área do Lago do Cavouco tem a presença de sombras

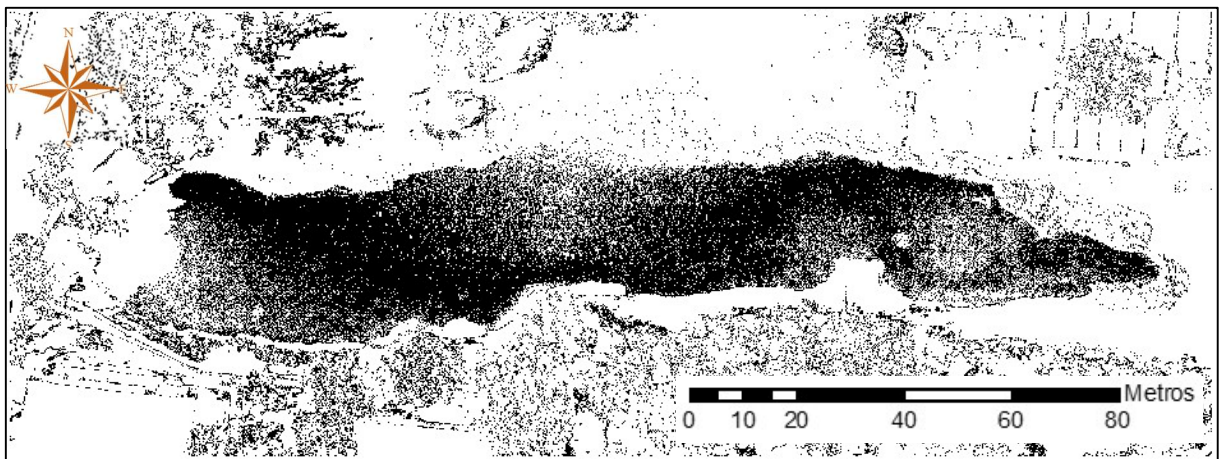
das árvores, só foi detectado o Lago do Cavouco sem a sombra, a Figura 30 mostra os resultados da binarização com desvio padrão de 1σ , a Figura 31 com desvio padrão de 2σ e a Figura 32 com desvio padrão de 3σ , para as três bandas da ortofoto. Diferente da imagem IKONOS-2 não foi possível selecionar apenas uma banda considerando o estudo feito do comportamento da água através do espaço de atributos, perfis e histogramas. Logo, fez-se necessário binarizar as três bandas da ortofoto considerando, três intervalos diferentes de binarização.

Figura 29 - Banda do Vermelho da Ortofoto e retângulo (em verde) escolhido como amostra para o método do paralelepípedo.

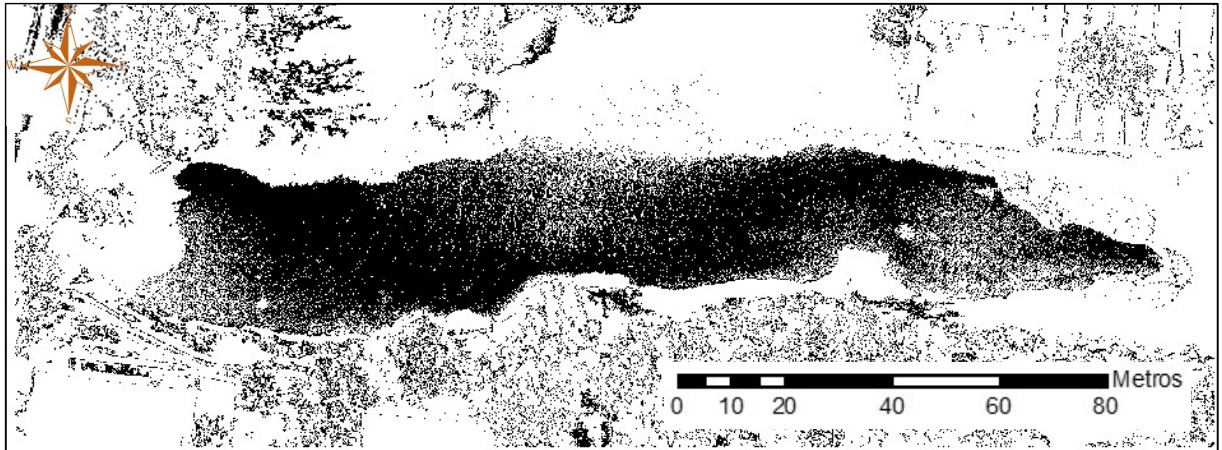
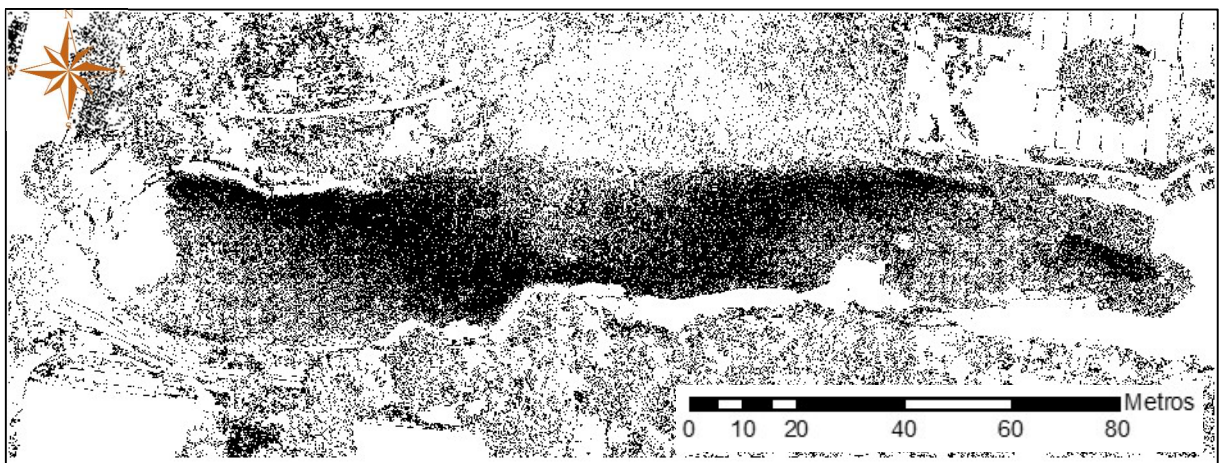


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 30 - Imagens binárias com desvio padrão de 1σ (a) banda R, (b) banda B e (c) banda G.

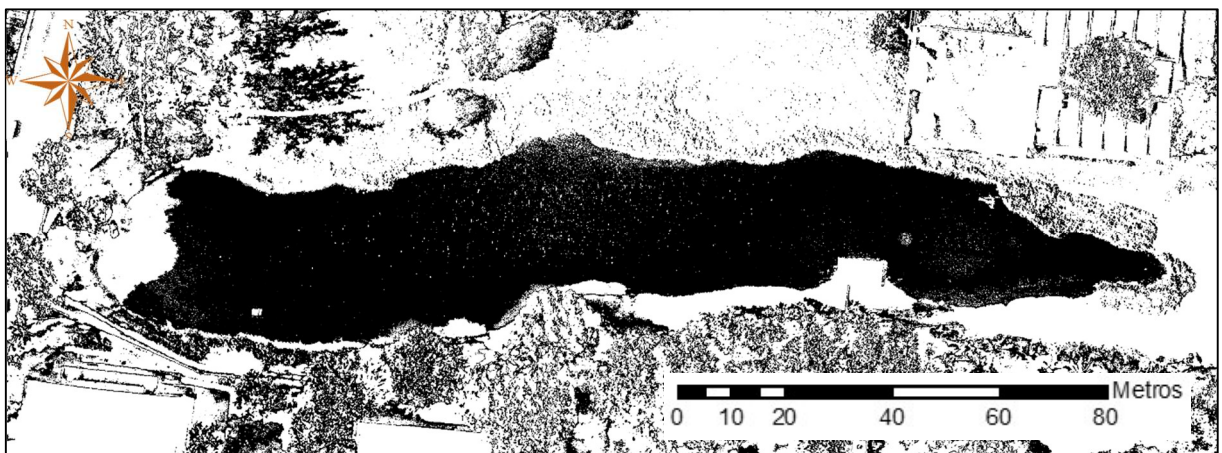


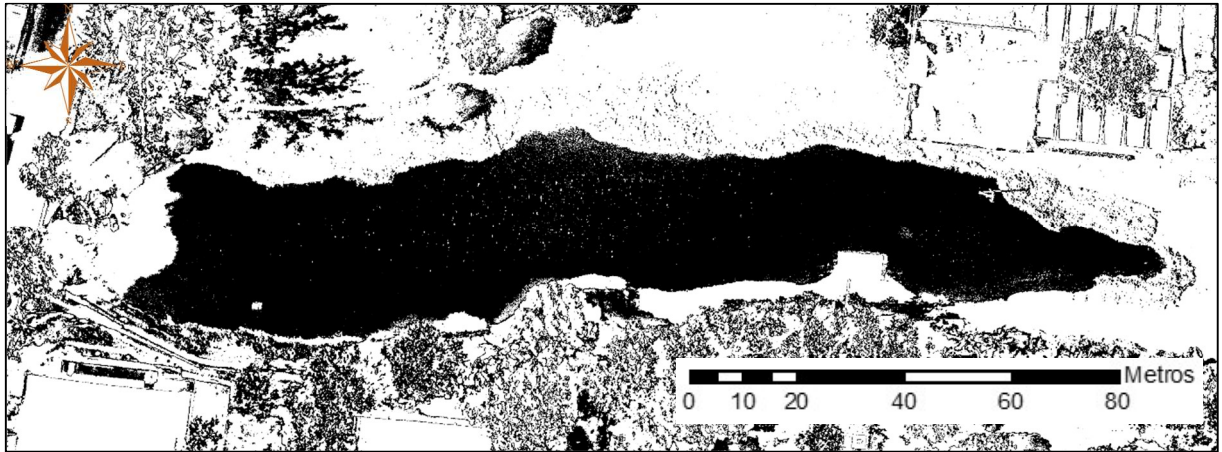
(a) Banda Vermelho 1σ

(b) Banda Verde 1σ (c) Banda Azul 1σ

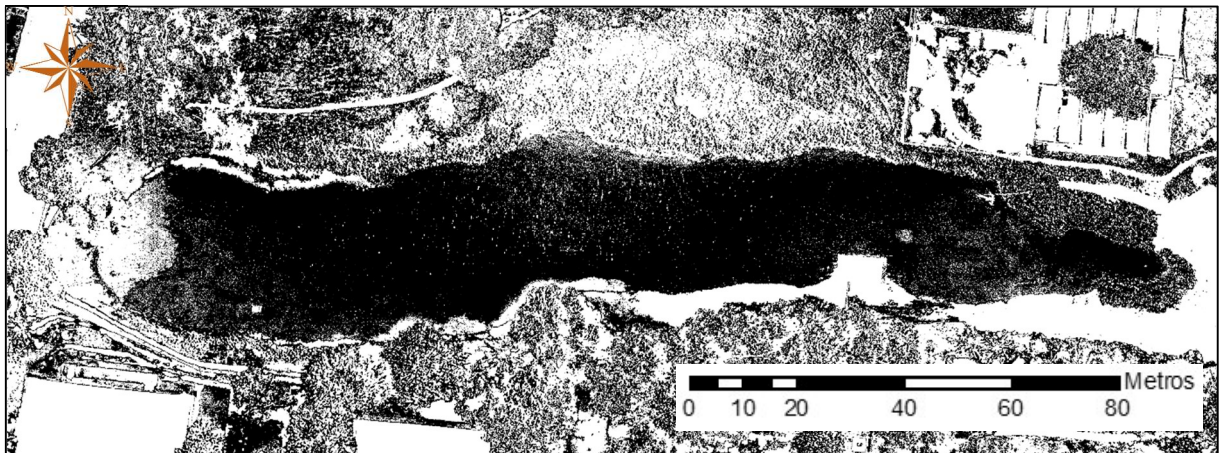
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 31 - Imagens binárias com desvio padrão de 2σ (a) banda R, (b) banda B e (c) banda G.

(a) Banda Vermelho 2σ



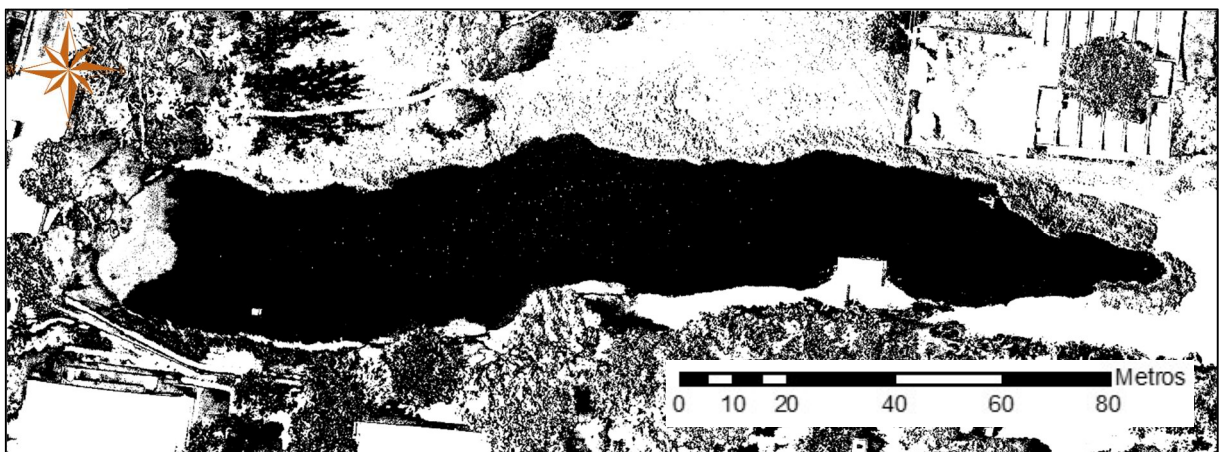
(b) Banda Verde 2σ



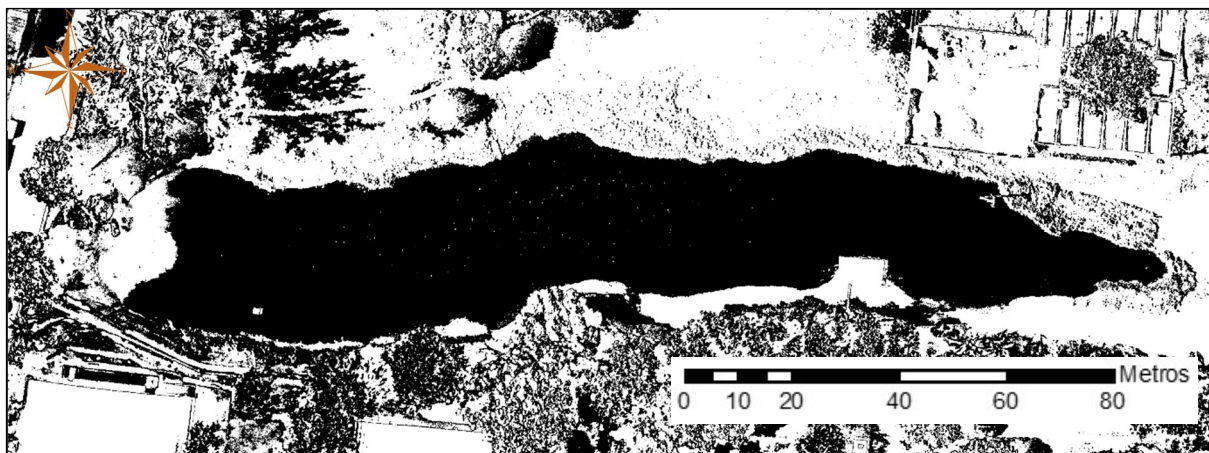
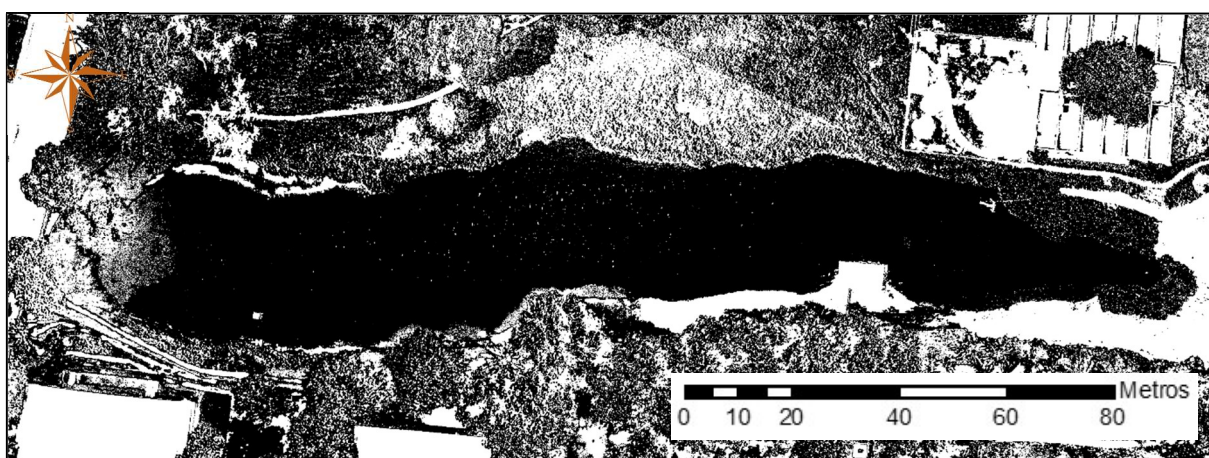
(c) Banda Azul 2σ

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 32 - Imagens binárias com desvio padrão de 3σ (a) banda R, (b) banda G e (c) banda G.



(a) Banda Vermelho 3σ

(b) Banda Verde 3σ (c) Banda Azul 3σ

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

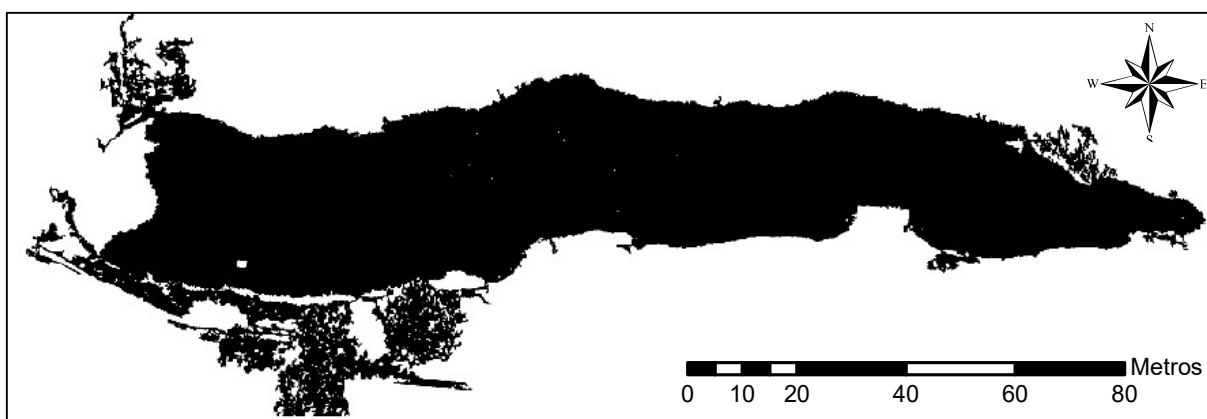
É possível observar que mesmo aumentando o intervalo de confiança não foi possível obter a borda do Lago do Cavouco de forma homogênea, as imagens binárias resultantes das bandas do verde e do azul foram as que tiveram os piores resultados, trazendo uma confusão muito grande entre os alvos. Porém, como tentativa de melhorar os resultados as imagens com intervalo de binarização de 3σ foram as melhores comparadas as de 1σ e 2σ , logo estas foram escolhidas numa tentativa de reduzir os ruídos e deixar o lago mais homogêneo possível.

4.2 RESULTADOS DA ELIMINAÇÃO DOS RUÍDOS COM FILTROS DE ABERTURA E FECHAMENTO COM ELEMENTOS ESTRUTURANTES 3X3, 5X5 E 7X7 QUADRADO

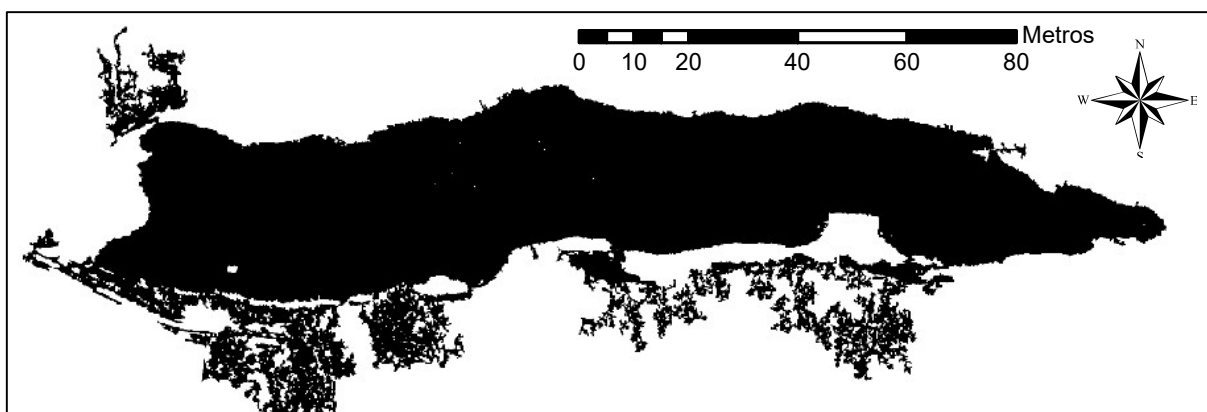
Os filtros de abertura e fechamento foram alternativas encontradas para tentar sanar o problema da não separação de água e vegetação, porém não foram suficientes para a exclusão total da vegetação do entorno do Lago do Cavouco. Todavia, à medida que a dimensão do elemento estruturante é aumentada, há uma melhor separação dos objetos, permitindo que o

contorno esteja melhor detalhado. Como apresentado anteriormente as imagens binárias que melhor representaram o lago foram as da Figura 32, sendo assim os filtros morfológicos para eliminação de ruídos foram aplicados nestas imagens. A Figura 33 apresenta os resultados da aplicação dos filtros morfológicos abertura, seguido do filtro de fechamento e do filtro abertura com elemento estruturante 3x3 quadrado, nota-se que a imagem que obteve melhor eliminação de ruídos foi a da Figura 33(a) que representa a banda do vermelho da ortofoto, porém apresentando alguns ruídos dentro do lago (pixels brancos), o pior resultado aparece na banda do azul (Figura 33(c)), com mais ruídos de vegetação fora do lado e também ruídos dentro do lago.

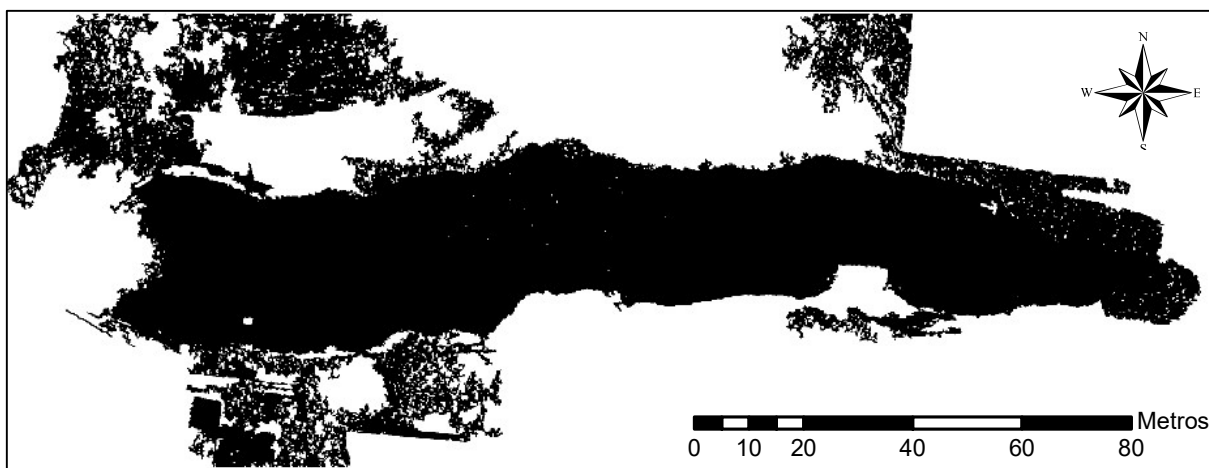
Figura 33- Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 3x3 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.



(a) Banda Vermelho - 3x3



(b) Banda Verde - 3x3

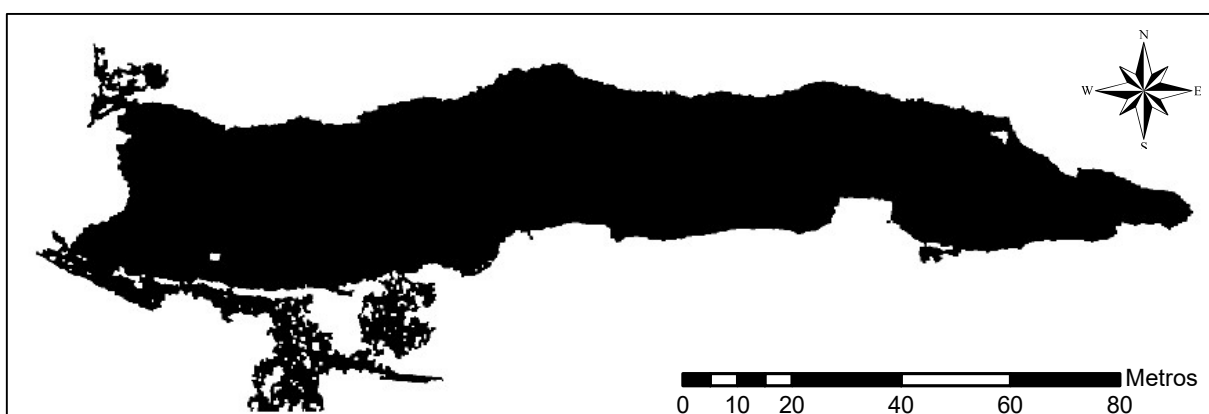


(c) Banda Azul - 3x3

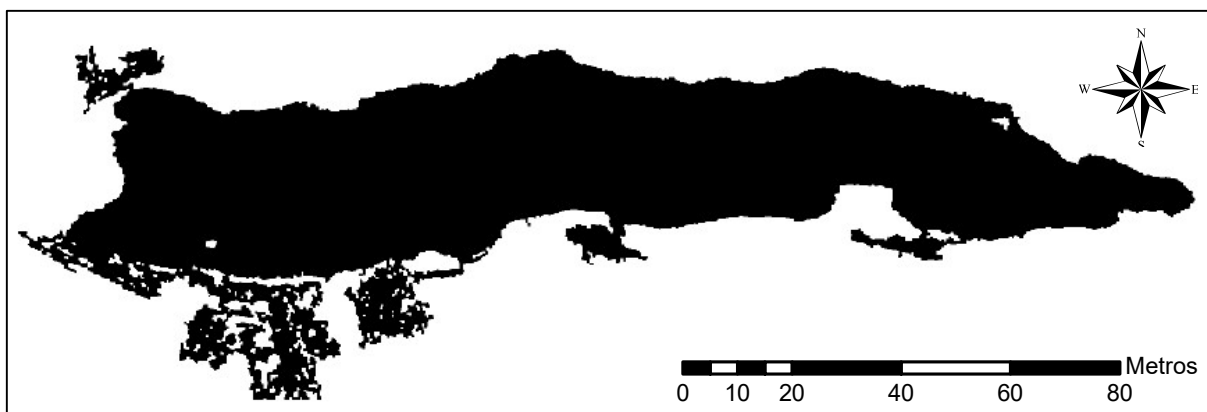
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Figura 34 apresenta os resultados obtidos após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 5x5 quadrado nas imagens da Figura 32. Nota-se que houve uma diminuição da vegetação comparada com as imagens da Figura 33 e os pixels brancos antes presentes no interior do lago não se encontram mais, exceto, nas áreas que tem um poste dentro do lago e um objeto não identificado, estes estavam fora do intervalo de binarização. Como nos resultados da Figura 33 o melhor resultado para a dimensão 5x5 do elemento estruturante está na Figura 34(a) e o pior resultado está na Figura 34(c).

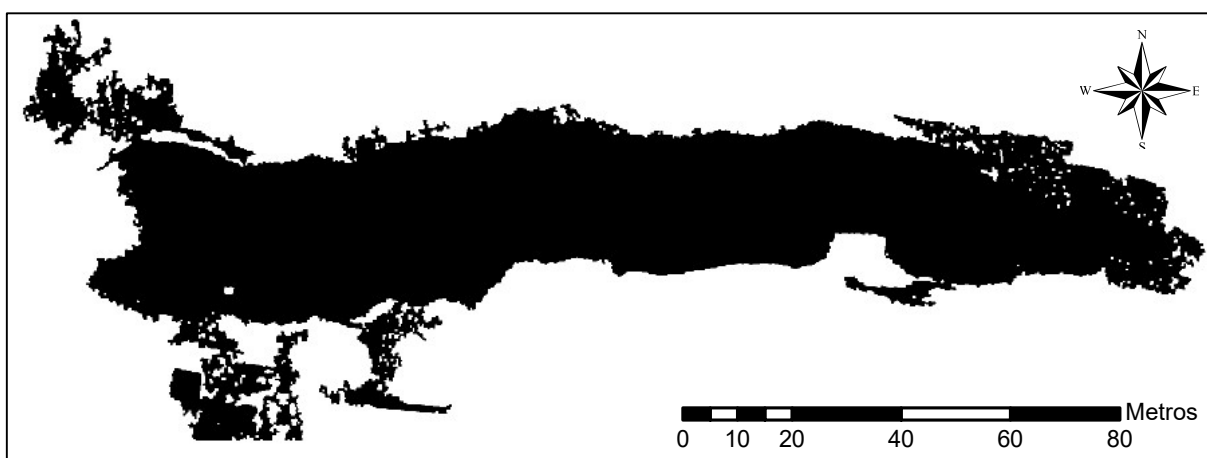
Figura 34 - Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 5x5 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.



(a) Banda Vermelho 5x5



(b) Banda Verde – 5x5

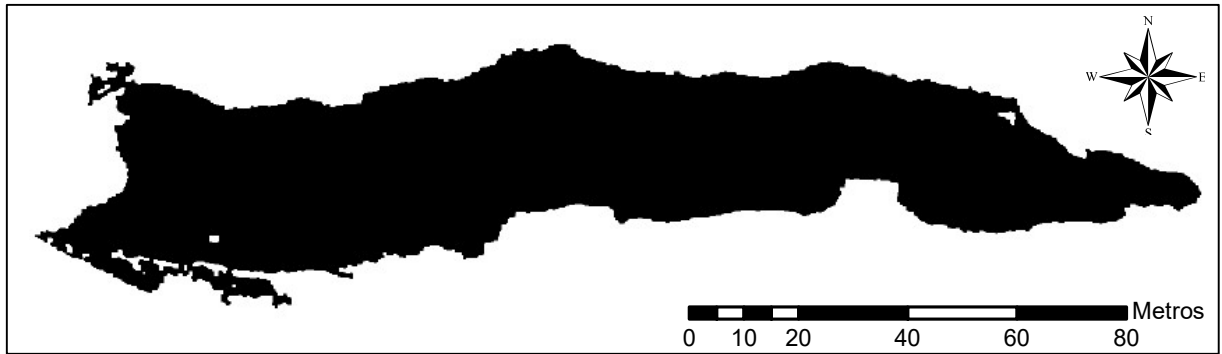


(c) Banda Azul - 5x5

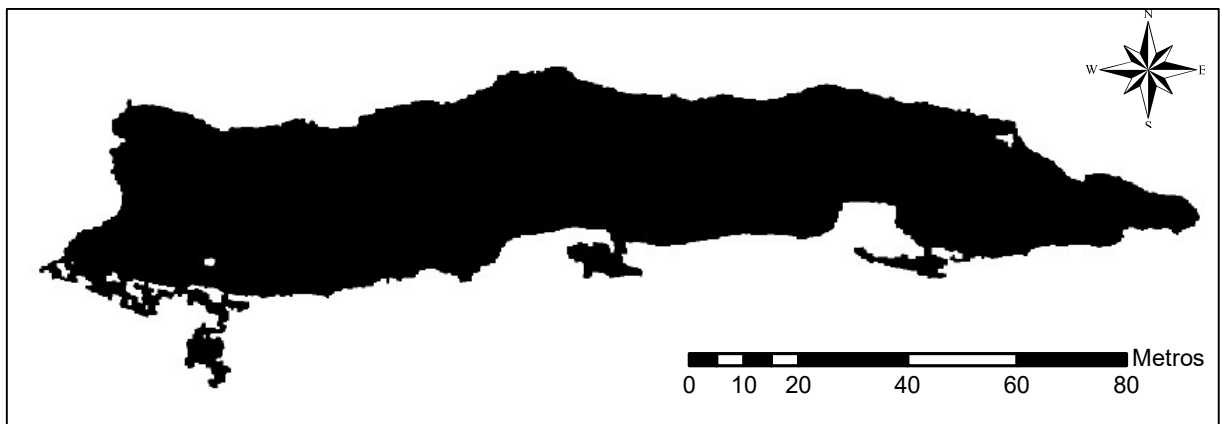
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Figura 35 apresenta os resultados das imagens binárias da Figura 32 após a aplicação dos filtros morfológicos abertura, fechamento e abertura com o elemento estruturante 7x7 quadrado, nota-se na Figura 35(a) que obtivemos quase todo o contorno do lago (sem a área de sombra), apresentando apenas pequenos pedaços de vegetação conectados, diferentemente da Figura 35(b) e 35(c) que teve mais regiões de vegetação conectadas a borda do lago. Sendo assim, o melhor resultado após a aplicação do filtro dentre todas as imagens vistas até aqui foi a imagem binária da Figura 35(a) que corresponde a banda do vermelho.

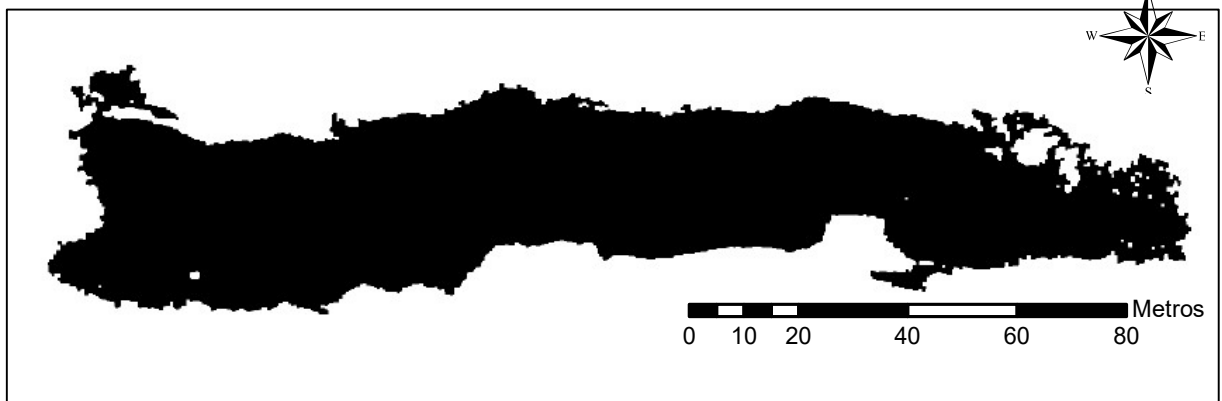
Figura 35 - Imagens binárias após a aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura com elemento estruturante 7x7 quadrado (a) R, (b) G, (c) B.



(a) Banda Vermelho – 7x7



(b) Banda Verde – 7x7



(c) Banda Azul – 7x7

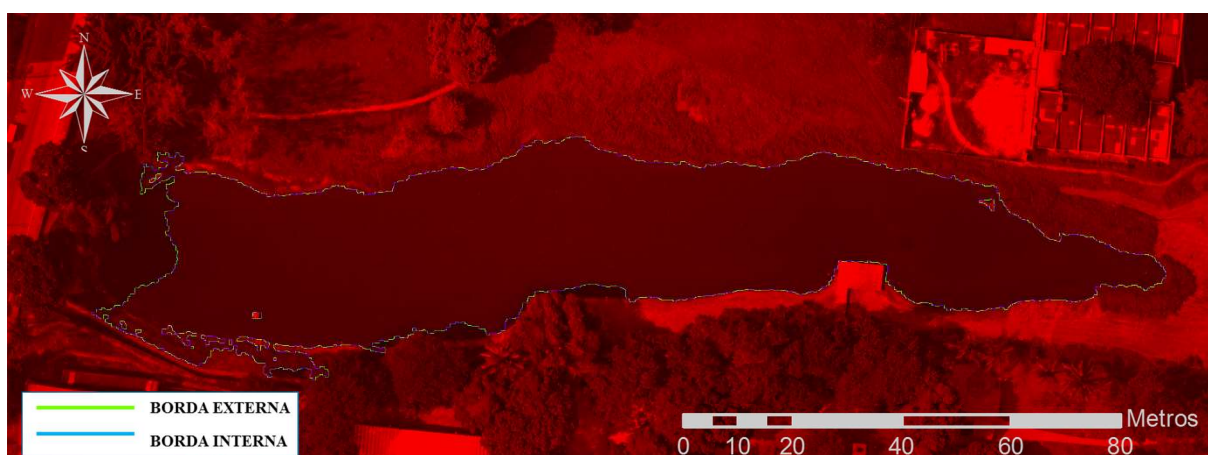
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.3 RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DAS BORDAS POR MORFOLOGIA MATEMÁTICA

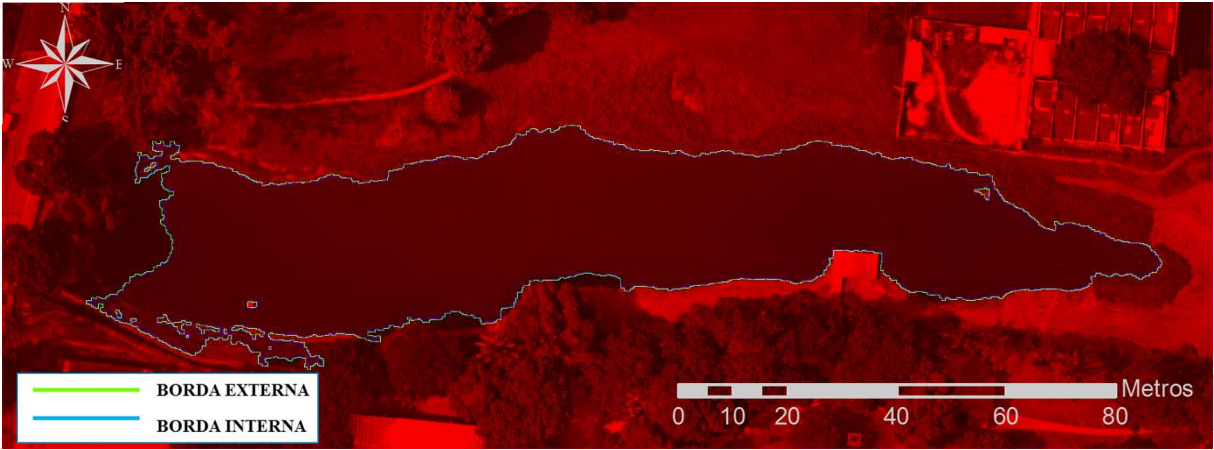
4.3.1 Extração das bordas nas imagens binárias da ortofoto com filtro morfológico 7x7 quadrado, com elemento estruturante quadrado 3x3, 5x5 e 7x7

Após a análise da aplicação dos filtros de abertura, fechamento e abertura nas três imagens binárias oriundas das bandas da ortofoto, vimos que os piores resultados estão nas imagens oriundas da banda do azul, seguido da banda do verde, e analisando os filtros morfológicos pelo tamanho do elemento estruturante o que conseguiu eliminar mais objetos indesejados da imagem foi aquele com dimensão 7x7 quadrado. Logo, serão apresentados os resultados das bordas binárias com elemento estruturante 3x3(Figura 36(a)), 5x5(Figura 36(b)) e 7x7(Figura 36(c)) oriundas da imagem binária com filtros morfológicos da banda do vermelho sobreposta a imagem em tons de cinza da banda do vermelho, pois foi nesta que conseguiu-se eliminar mais vegetação da borda do lago, mas para melhor visualização foram feitas composições coloridas no software Matlab, com a borda externa no canal do azul, a borda interna no canal do amarelo e a imagem tons de cinza da ortofoto da banda do vermelho foi colocada no canal vermelho. Não está sendo apresentado a borda gradiente, pois a mesma é a soma das bordas internas e externas, seria redundante apresentá-las nesta seção.

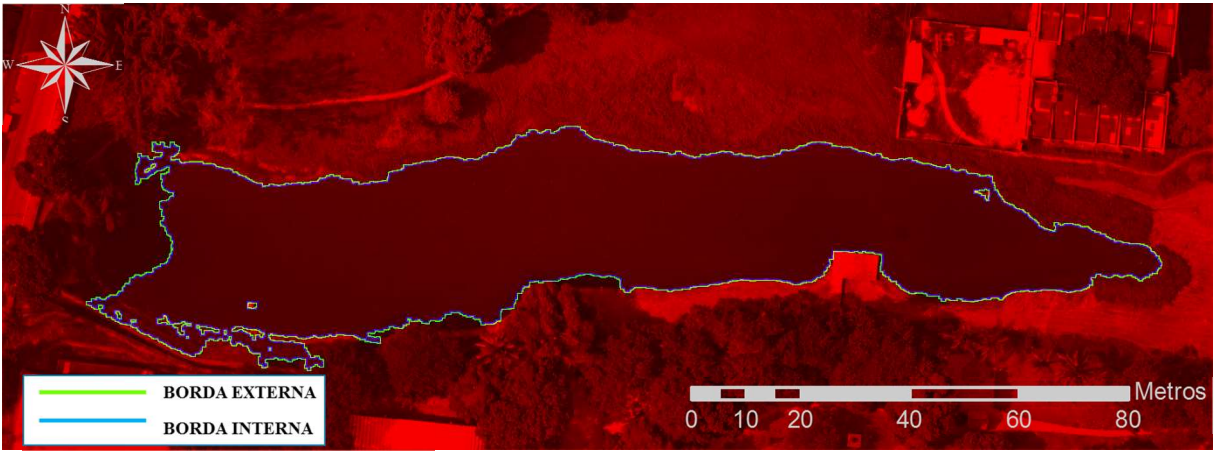
Figura 36 - Imagem ORTOFOTO – Composição coloridas das Bordas Externa (em verde), Banda do Vermelho (em vermelho) e Borda interna (Azul) com elemento estruturante (a)3x3 quadrado, (b) 5x5 quadrado, (c) 7x7 quadrado, (d) zoom da imagem (a), (e) zoom da imagem (b), (f) zoom da imagem (c).



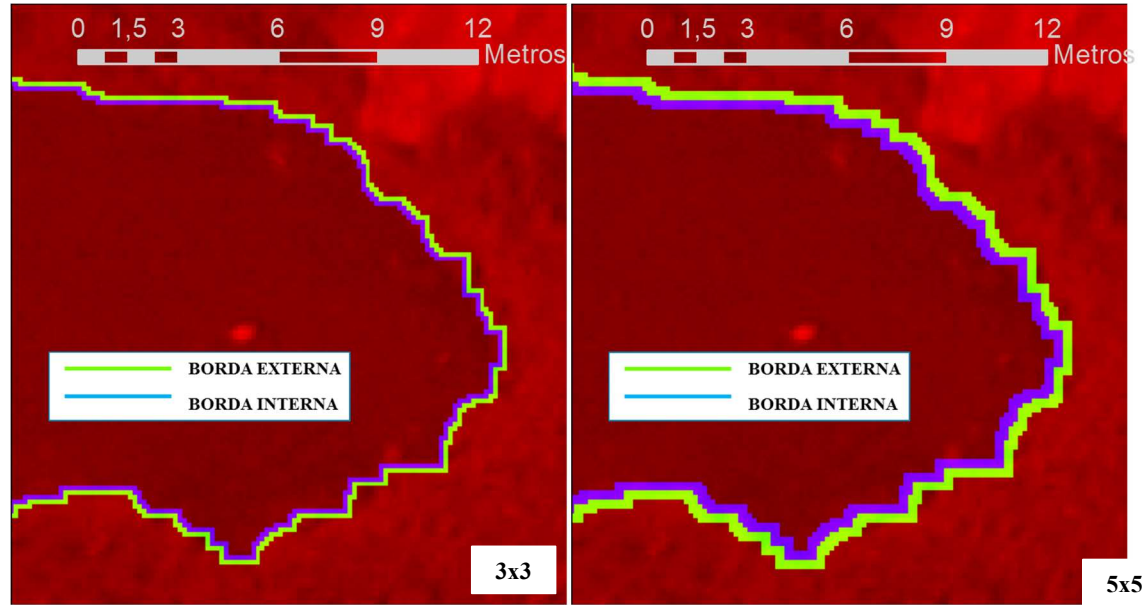
(a) 3x3 quadrado



(b) 5x5 quadrado

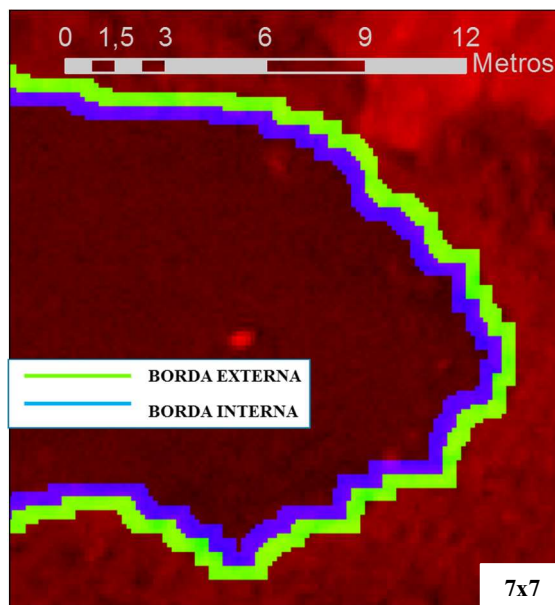


(c) 7x7 quadrado



(d) Zoom 3x3quadrado

(e) Zoom 5x5 quadrado



(f) Zoom 7x7 quadrado

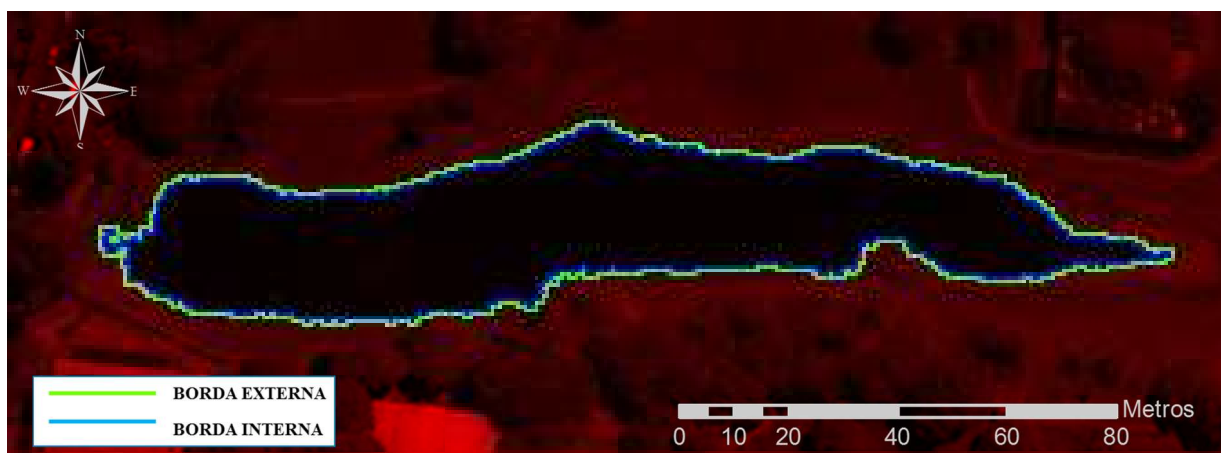
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

As imagens da Figura 36(d), 36(e) e 36(f) apresentam o recorte ampliado de uma área com os elementos estruturantes 3x3, 5x5 e 7x7 quadrado respectivamente, é possível observar que a medida que aumenta o elemento estruturante o contorno das bordas ficam melhor definidos sendo a borda 7x7 que melhor define o contorno do objeto extraído, porém dependendo da área a borda com esta dimensão pode conectar áreas próximas.

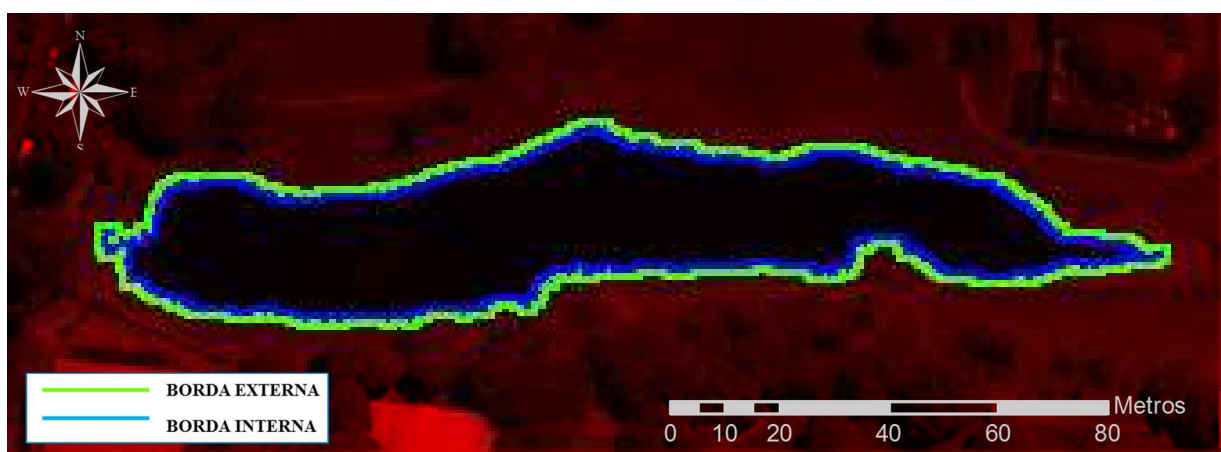
4.3.2 Extração de bordas nas imagens binárias IKONOS com elemento estruturante quadrado 3x3, 5x5, 7x7

Como foi visto, a imagem binária da banda 4 que mais delimitou o lago foi a com o nível de confiança de 3σ (Figura 28(c)), logo serão apresentadas as bordas internas e externas para três dimensões do elemento estruturante quadrado 3x3 (Figura 37(a)), 5x5 (Figura 37(b)), e 7x7 (Figura 37(c)). Da mesma forma como as bordas da ortofoto, foram geradas as composições coloridas com as bordas externa, interna e banda do vermelho para cada dimensão do elemento estruturante, escolheu-se a banda pancromática para esta representação, pois esta é a imagem binarizada.

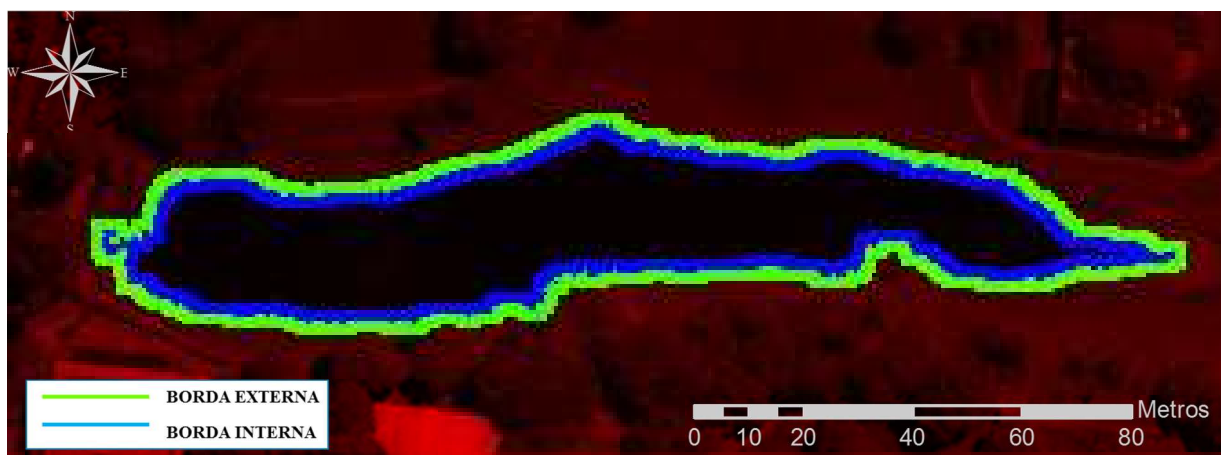
Figura 37 - Imagem IKONOS-2 Bordas Externa (em verde), Banda do infravermelho próximo (em vermelho) e Borda interna (Azul) com elemento estruturante (a) 3x3 quadrado (b) 5x5 quadrado e (c) 7x7 quadrado.



(a) 3x3 quadrado



(b) 5x5 quadrado



(c) 7x7 quadrado

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Podemos observar que a Figura 37(a) é a que apresenta melhor definição das bordas e a Figura 37(c) a pior definição das bordas, pois esta é mais espessa devido à dimensão do

elemento estruturante. Aparentemente a borda externa Figura 37(a) em azul é a melhor borda que representa o lago.

4.4 ANÁLISE VISUAL E QUANTITATIVA DOS RESULTADOS

4.4.1 Imagem Ikonos-2 e Ortofoto

Tabela 3 - Comparação dos limiares de binarização nas bandas da ortofoto e a banda do infravermelho da imagem IKONOS-2 com diferentes intervalos de binarização.

IMAGEM	BANDAS	LIMIAR(μ)	DESVIO PADRÃO(σ)	NÍVEL DE CONFIANÇA			INTERVALO DE BINARIZAÇÃO		
				1 σ	2 σ	3 σ	1 σ	2 σ	3 σ
ORTOFOTO	3	86	(+/-) 7	7	14	21	79-93	72-100	65-107
	2	101	(+/-) 8	8	16	24	93-109	85-117	77-125
	1	81	(+/-) 6	6	12	18	75-87	69-93	63-99
IKONOS II	4	13	(+/-) 13	13	26	39	0-26	0-39	0-52

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Vimos que as imagens binárias extraídas utilizando o aumento do nível de confiança pelo desvio padrão amostral aumentou significativamente o intervalo de binarização, sendo visto quantitativamente na Tabela 3, sendo muito importante, quando temos objetos não homogêneos, que variam seus tons de cinza numa imagem. No caso da Ortofoto (Figuras 30, 31 e 32) há uma certa melhora do objeto quando se aumenta o intervalo de binarização, garantindo que se tenha o objeto melhor detalhado. Vale ressaltar que para as ortofotos, o grande problema ocorre devido a tonalidade do Lago e da vegetação, e por haver muita vegetação no entorno do lago, dificultando a eficácia do método, além das áreas no Lago com sombra, mas a análise por filtros de textura pode resolver este problema.

4.4.2 Problemas encontrados nas imagens binárias das ortofotos

Vimos através dos resultados que não foi possível obter o contorno ideal para o lago nas ortofotos, logo para entender os problemas causados pela não extração do objeto em questão pelo método aplicado neste trabalho, foi escolhida uma área que apresentou muitos problemas na extração do contorno. A área A1 está presente à oeste e é uma região do lago que possui sombra das árvores e que as cores da vegetação são bastante semelhantes a cor do lago.

Isto pode ser visto mais adiante, num perfil horizontal obtido da área onde é possível ver a distribuição dos pixels no recorte da imagem.

Figura 38 - Em amarelo área A1 analisada da ortofoto.

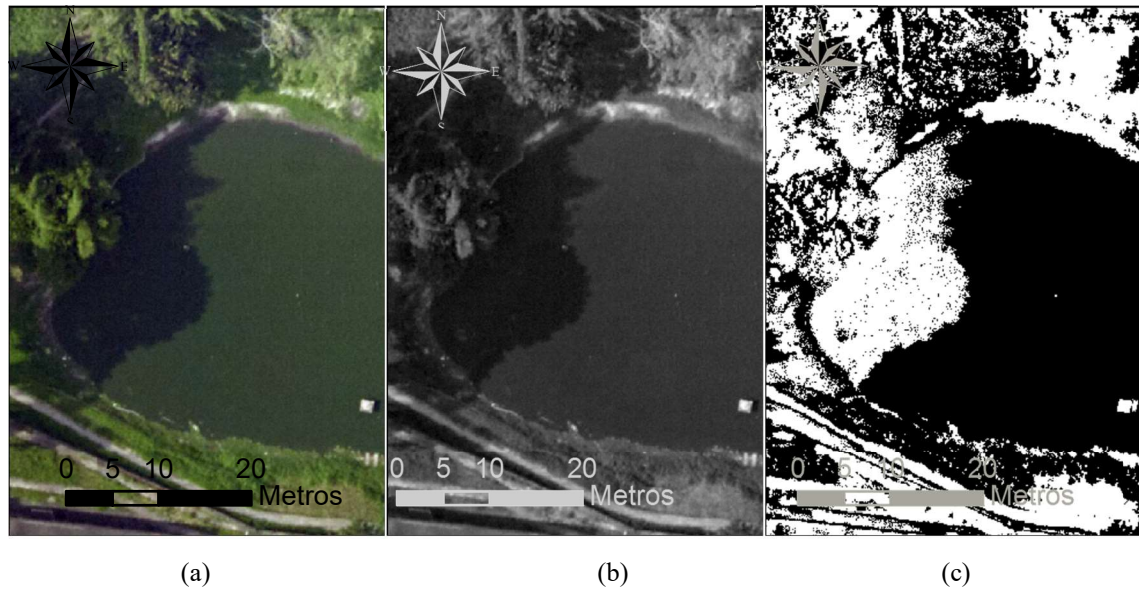


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A área A1 é mostrada na Figura abaixo desde sua imagem original até as bordas externas e internas do contorno do lago. A Figura 39(c) mostra o recorte da imagem binária com 3σ de desvio padrão, nota-se que a área do lago sombreada não foi binarizada, e esta situação ocorreu em todas as áreas do lago que continha sombra, a causa disto está no fato de que o intervalo de binarização utilização não abrangeu aos tons de cinza da área sombreada, por mais que a amostra coletada tenha uma parte da sombra.

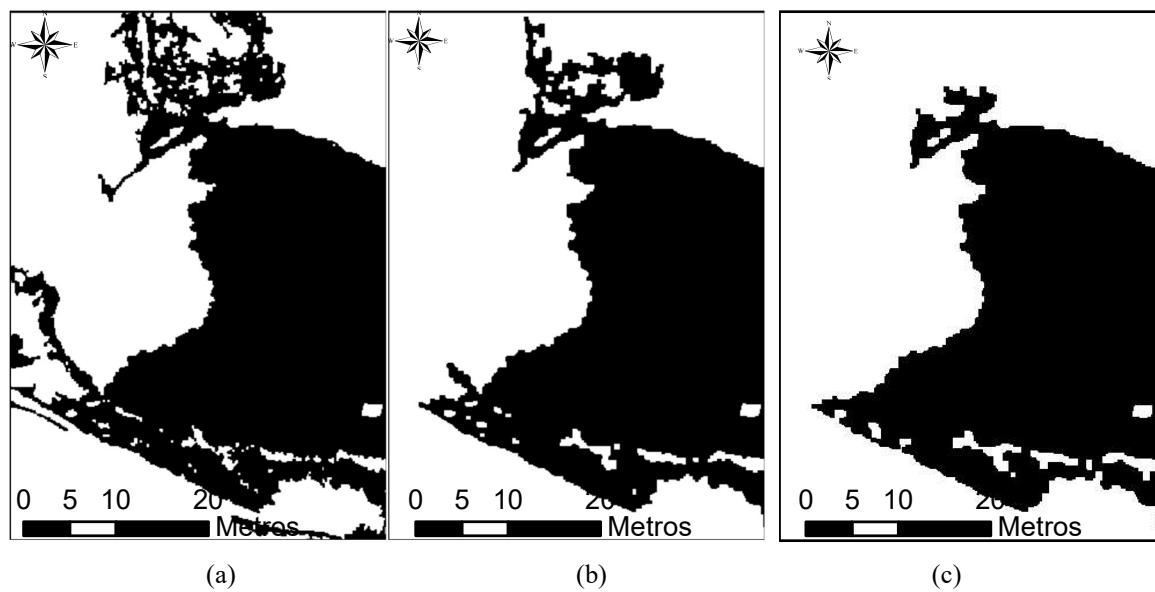
É visto na Figura 40 que os filtros morfológicos tentaram separar água de vegetação, tendo um melhor resultado na Figura 40(c), isto resultou diretamente na extração da borda onde temos contorno que excedeu os limites do lago e abrangeu uma parte da vegetação e excluiu a sombra do lago, ou seja, perdeu-se informação. Uma possível solução deste problema seria binarizar a sombra e posteriormente selecionar as sombras do lago e adicionar a imagem binária do lago após a filtragem, porém haveria muitas manipulações na imagem, o que tornaria o processo mais demorado.

Figura 39 - Ampliação do recorte da Área 1 (a) Imagem colorida, (b) Banda do Vermelho, (c) Imagem binária com 3σ .



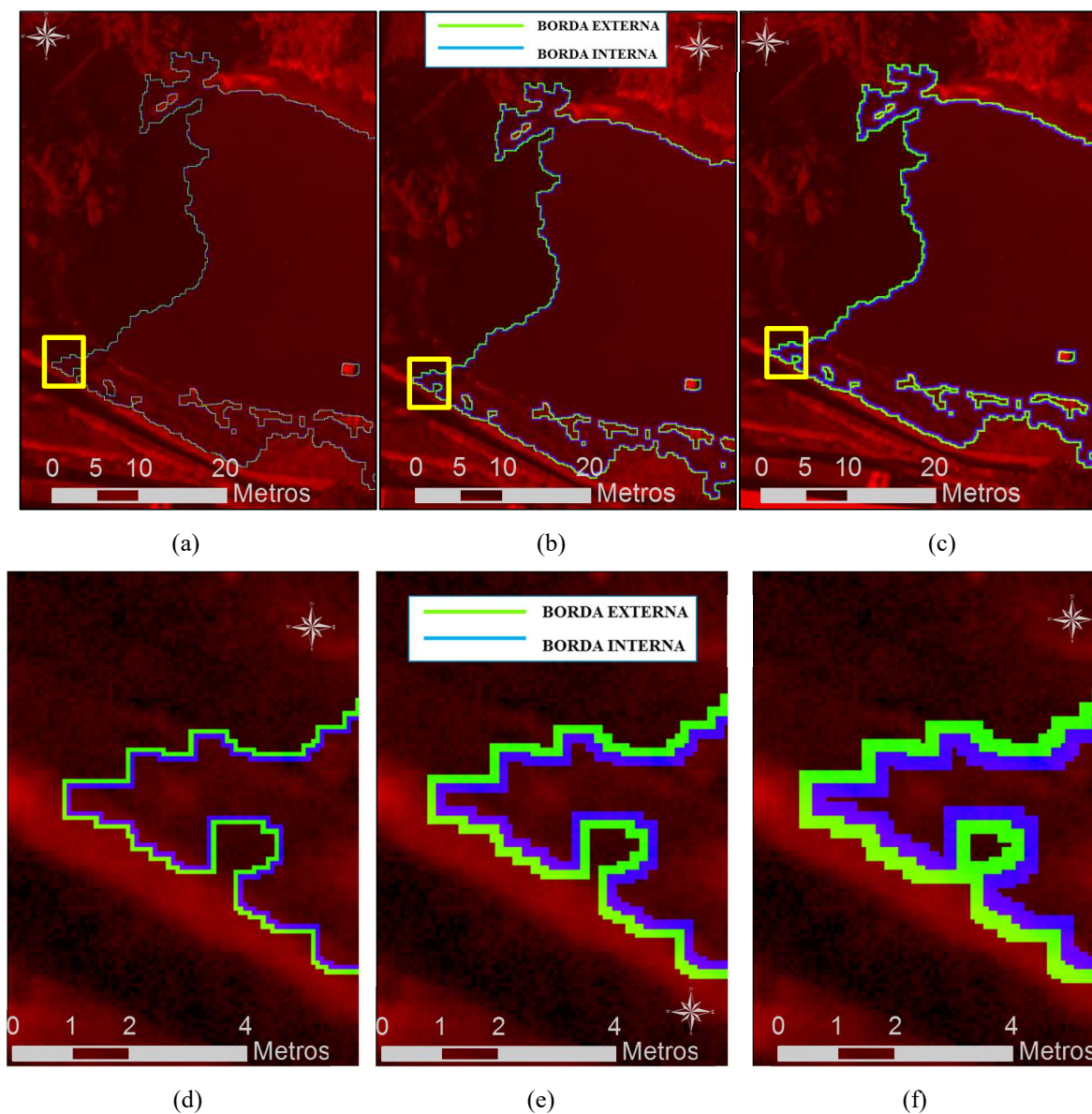
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 40 - Ampliação do recorte da área 1 - Imagens binárias com filtros morfológicos (a) 3x3 (b) 5x5 (c) 7x7.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Figura 41 - Ampliação do recorte da área 1 – Composições coloridas das Bordas externas (em verde) e internas (em azul) sobrepostas a banda do vermelho obtidas com elemento estruturante (a) 3x3, (b) 5x5, (c) 7x7, (d) zoom do retângulo amarelo em (a) 3x3, (e) zoom do retângulo amarelo em (b) 5x5, (f) zoom do retângulo amarelo em (c) 7x7.

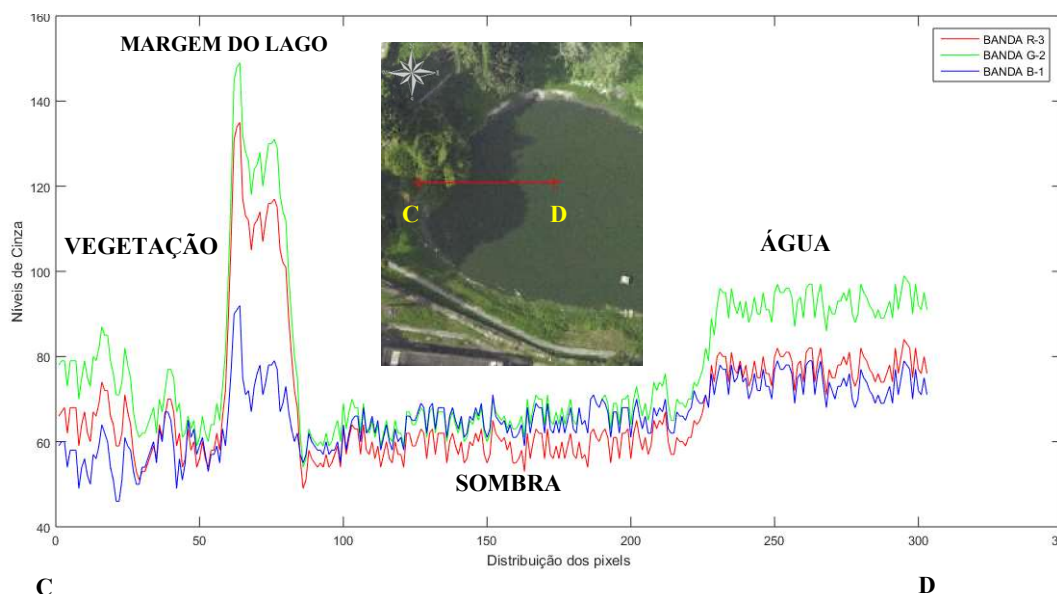


Fonte: Elaborado pela autora, 2017

A Figura 41 mostra que a medida que aumenta-se o elemento estruturante a borda torna-se mais detalhada, é possível ver mais suavização dos contornos, e a visualização melhora pois a borda torna-se mais espessa, para imagens com pixels muito pequenos o aumento do elemento estruturante melhora a visualização do contorno, porém pode haver regiões que se conectem como mostra a Figura 41(f), percebemos que isto ocorre por conta da dimensão do elemento estruturante.

O perfil horizontal entre os pontos C e D com distância de 24m (Figura 42) comprova a dificuldade de se extrair o lago com a sombra, vemos que em todas as bandas da ortofoto os tons de cinza da sombra são bem inferiores ao da água variando de 50 a 70, isto ocorre pois na ortofoto a sombra possui uma reflectância inferior à água que varia de 70 a 100 enquanto que a vegetação está variando seus tons de cinza de 60 a 80.

Figura 42 - Perfil horizontal entre os pontos CD na área A1 da Figura 39(a).



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.4.3 Problemas encontrados nas imagens binárias da IKONOS-2

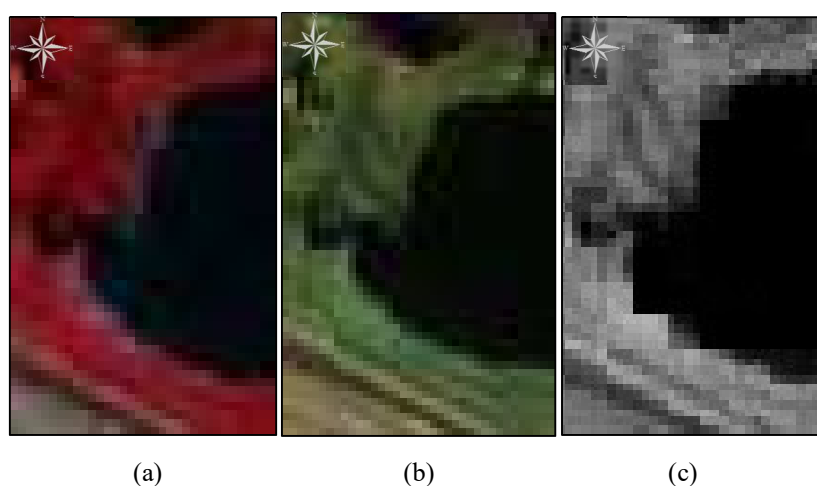
Apesar dos estudos do comportamento da água apontarem para a banda do infravermelho próximo como a melhor para extrair o Lago, verificamos que após o processo de fusão de imagens a banda do infravermelho próximo apresentou algumas falhas devido a problemas na fusão, isto influenciou diretamente nos resultados obtidos, isto é verificado no recorte da área A2 (Figura 44(a)) que mostra as falhas ocorridas na borda da imagem fusionada, principalmente na banda do infravermelho (Figura 44(c)) , é possível observar a confusão nas dimensões dos pixels ora apresentando-se maiores e outrora menores. Todavia, a água apresenta melhor absorvância na banda do infravermelho próximo por este foi o critério estabelecido para utilização desta banda para processo de extração do lago na imagem IKONOS-2. Vale salientar que a composição 321-fusionada (Figura 44(b)) da imagem IKONOS-2 também traria uma resposta satisfatória para a extração do lago, pois a componente pancromática mudou os tons de cinza do lago, tornando-os mais escuros após a fusão de imagens.

Figura 43 - Em amarelo área A2 analisada na imagem IKONOS-2.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

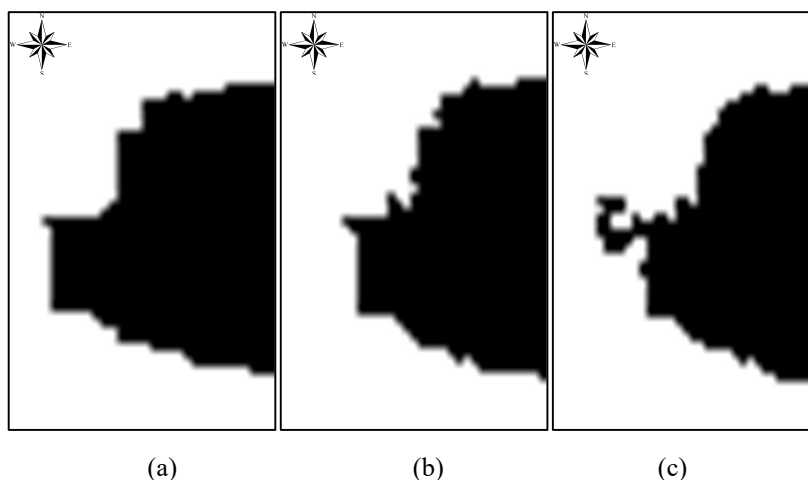
Figura 44 - Recorte da área A2 (a) na composição RGB-432 fusionada, (b) na composição RGB-321 fusionada e (c) banda do infravermelho fusionada.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A falha na fusão de imagens da banda do infravermelho trouxe problemas como mostra a Figura 45, que resultou na geometria do lago. O aumento do nível de confiança no processo de binarização de imagens tentou amenizar este problema, a Figura 45(c) representa o melhor resultado do recorte da área A2 na imagem binária com 3σ . Este problema pode incidir diretamente na área do objeto pois pode haver falsos resultados, aumentando ou diminuindo o contorno dos objetos, neste caso o lago.

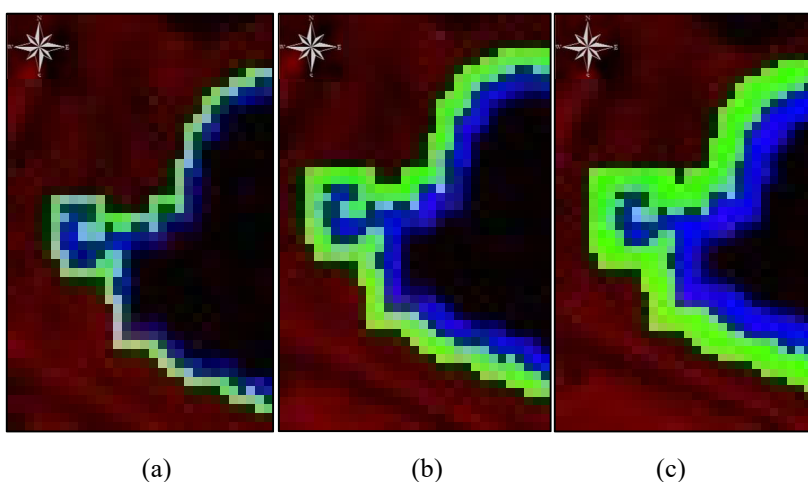
Figura 45 - Recorte da área A2 das imagens binárias da IKONOS-2 com (a) 1σ (b) 2σ e (c) 3σ .



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Figura 46 apresenta as bordas externas e internas da área A2 da imagem binária com 3σ utilizando os elementos estruturantes 3×3 (Figura 46(a)), 5×5 Figura (46(b)) e 7×7 Figura(46(c)), nota-se que a borda que melhor apresentou o contorno foi a borda externa da Figura 46(a), mesmo com o problema apresentado na fusão de imagens da banda do infravermelho.

Figura 46 - Ampliação do recorte da área 2 – Composições coloridas das Bordas externas (em verde) e internas (em azul) sobrepostas a banda do infravermelho vermelho obtidas com elemento estruturante (a) 3×3 , (b) 5×5 , (c) 7×7 , (d) zoom do retângulo amarelo em (a) 3×3 , (e) zoom do retângulo amarelo em (b) 5×5 , (f) zoom do retângulo amarelo em (c) 7×7 da imagem IKONOS-2.



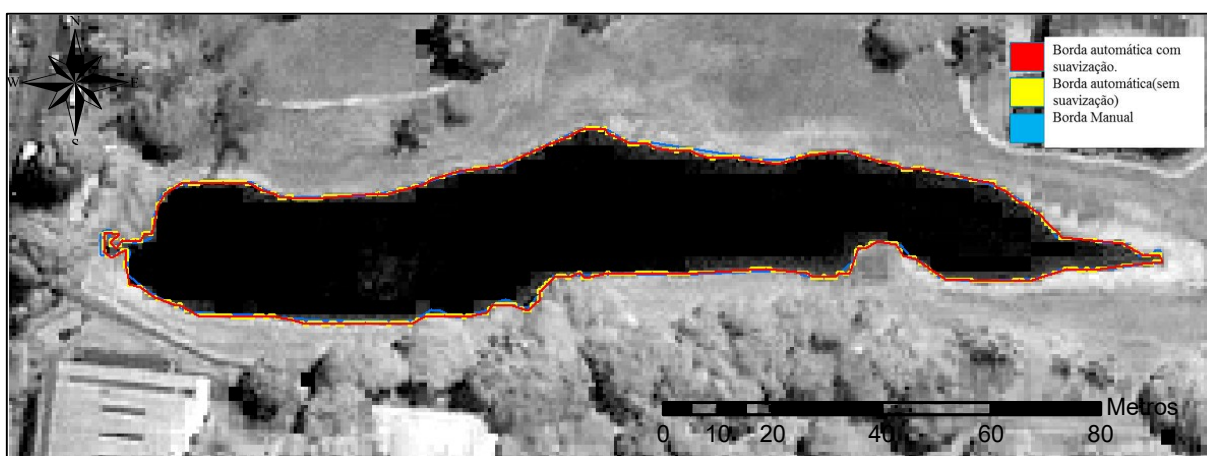
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

É possível afirmar após todas estas análises que mesmo havendo falhas na fusão de imagens o processo de binarização não foi totalmente prejudicado e isto será evidenciado através da análise de área e perímetro dos contornos obtidos.

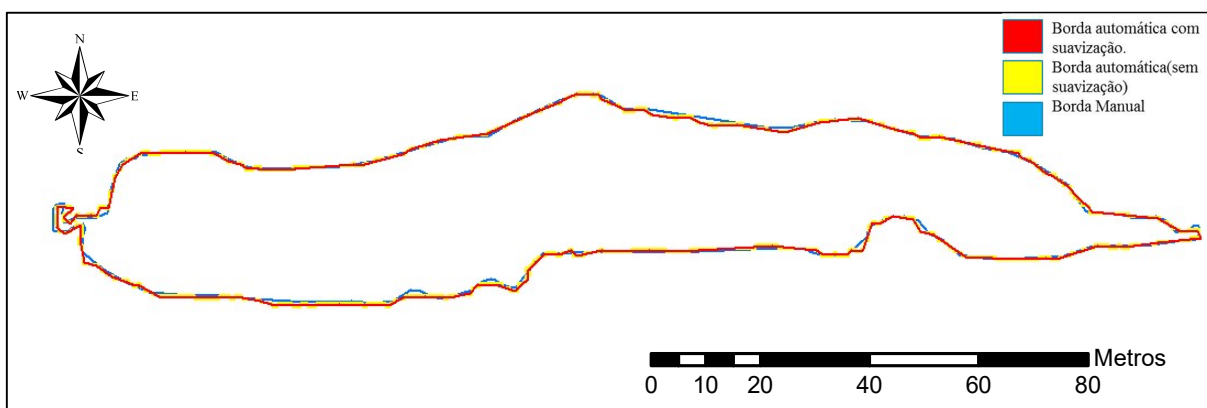
4.4.4 Área e Perímetro do lago da imagem binária IKONOS-2

A tabela 5 apresenta as áreas e perímetros dos polígonos obtidos de forma automática com e sem suavização da imagem binária oriunda da banda ikonos-2 com nível de confiança de 3σ e com a vetorização manual do lago. A Figura 47(a) mostra os polígonos sobrepostos à imagem colorida e a Figura 47(b) mostra os polígonos sobrepostos.

Figura 47 - (a) Imagem IKONOS-2 do infravermelho sobreposto aos polígonos vetorizados de forma manual, automática com suavização e sem suavização de bordas (b) Em vermelho polígono obtido por vetorização automática (com suavização de bordas), em amarelo polígono obtido por vetorização automática (sem suavização de bordas), em azul polígono obtido por vetorização manual.



(a)

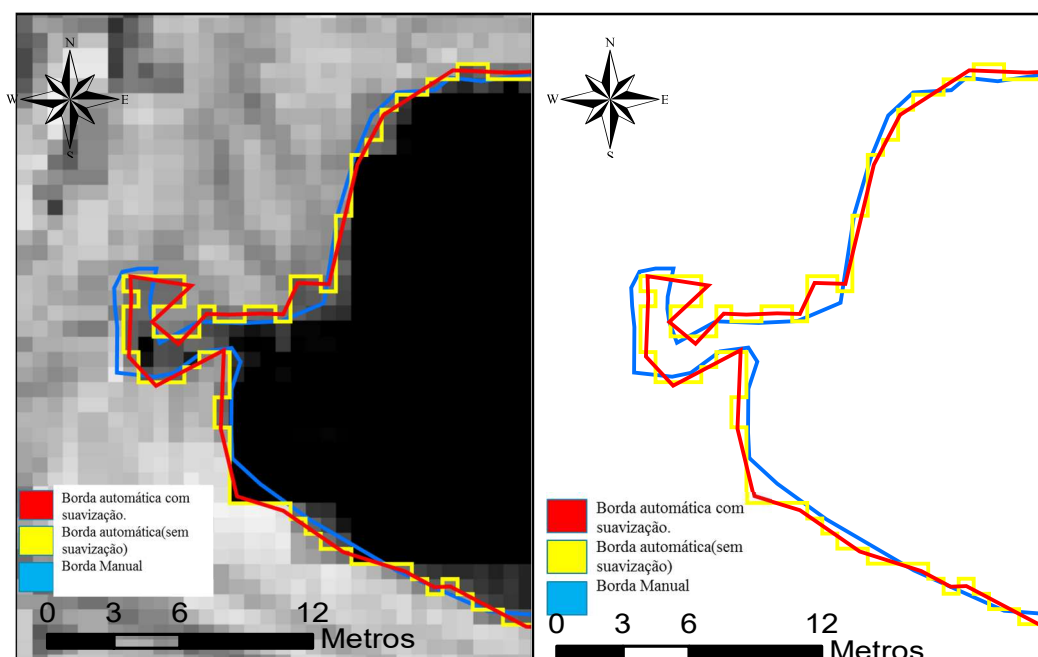


(b)

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

É possível verificar através da Figura 48 que apesar dos contornos não serem exatamente iguais, as regiões que apresentam descontinuidade podem ser desprezíveis. Tendo em vista que o processo automático é feito a partir das posições dos pixels e sua tonalidade sem necessitar da acurácia visual do operador o que acontece no caso da vetorização manual.

Figura 48 - Ampliação de uma área do lago do extraído por vetorização automática e manual. Em vermelho polígono obtido por vetorização automática (com suavização de bordas), em amarelo polígono obtido por vetorização automática (sem suavização de bordas), em azul polígono obtido por vetorização manual.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Tabela 4 – Áreas e perímetros internos as bordas externas e internas da imagem binária com nível de confiança de 3σ com diferentes elementos estruturantes.

ELEMENTO ESTRUTURANTE	BORDAS			
	Externa		Interna	
	Área (m ²)	Perímetro (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)
3x3	5531,600	553,280	5010,480	543,360
5x5	5531,600	1051,680	4548,400	1002,560
7x7	5531,600	1548,480	4103,760	1446,240

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Nota-se pela Tabela 4 que mesmo aumentando o elemento estruturante às áreas internas à borda externa permanecem constantes, porém ao aumentar o elemento estruturante o perímetro das bordas externas e internas também aumentam de uma forma linear. Também é possível notar que a medida que se aumenta o elemento estruturante as áreas internas à borda externa também diminuem.

A Tabela 5 apresenta os resultados das áreas obtidas na imagem binária com nível de confiança de 3σ . Como já foi dito, esta imagem foi transformada em um arquivo vetorial, onde foram extraídos os polígonos com suavização de bordas e sem suavização, nota-se que o

polígono que mais se aproxima do lago vetorizado manualmente é aquele obtido por vetorização automática sem suavização.

Tabela 5 - Área e Perímetro do lago na imagem IKONOS-2 por vetorização manual e vetorização automática com suavização de polígonos e sem suavização de polígonos da imagem binária com nível de confiança de 3σ .

Técnica	Área (m²)	Perímetro (m)
Vetorização Automática (com suavização)	5519,231	526,581
Vetorização Automática (sem suavização)	5514,140	663,916
Vetorização Manual	5507,335	525,339

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Na Tabela 6 são apresentados os valores e as discrepâncias entre as áreas e perímetros obtidos por vetorização manual, vetorização automática da imagem binária com e sem suavização de bordas e pelas bordas externas e internas obtidas por Morfologia Matemática. O sinal positivo nos valores de discrepâncias significa que houve um aumento de área e/ou perímetro com relação ao polígono obtido por vetorização manual, e o sinal negativo significa que houve uma diminuição da área e/ou perímetro.

Tabela 6 - Discrepâncias entre as áreas e perímetros obtidos por vetorização manual, vetorização automática da imagem binária com e sem suavização de bordas e pelas bordas externas e internas obtidas por Morfologia Matemática.

Borda	Área (m²)	Discrepâncias de Área	Perímetro (m)	Discrepâncias de Perímetro
Vetorização Manual	5507,335	Vetorização manual x bordas obtidas por MORFOLOGIA MATEMÁTICA e Vetorização automática em (m²)	525,339	Vetorização manual x bordas obtidas por MORFOLOGIA MATEMÁTICA e Vetorização automática
Borda Externa 3x3	5531,600	+24,265	553,280	+27,941
Borda Externa 5x5	5531,600	+24,265	1051,680	+526,341
Borda Externa 7x7	5531,600	+24,265	1548,480	+1023,141
Borda Interna 3x3	5010,480	-496,855	543,360	+18,021
Borda Interna 5x5	4548,400	-958,935	1002,560	+477,221
Borda Interna 7x7	4103,760	-1403,575	1446,240	+920,901
Vetorização Automática (com suavização)	5519,231	+11,896	526,581	+1,242
Vetorização Automática (sem suavização)	5514,140	+6,805	663,916	+138,577

Fonte: Elaborado pela autora, 2017

Em termos de área a borda que mais aproximou da obtida por vetorização manual foi a resultante da vetorização automática sem suavização oriunda da imagem binária com uma diferença de 6,805m², seguida da borda obtida por vetorização automática com suavização de bordas com 11,896m² tendo uma área maior que a obtida por vetorização manual. Os piores resultados foram das bordas internas obtidas por Morfologia Matemática, sendo a pior a borda interna com elemento estruturante 7x7 quadrado com uma diferença 1403,575 m² a menos que a borda manual, ocorrendo uma redução da área interna. As bordas externas com diferentes elementos estruturantes obtiveram uma diferença razoável comparada com o lago obtido por vetorização manual, tendo uma diferença de 24,265 m² para mais.

Os perímetros analisados tiveram uma variação significativa à medida que houve o aumento do elemento estruturante das bordas internas e externas, também houve uma variação

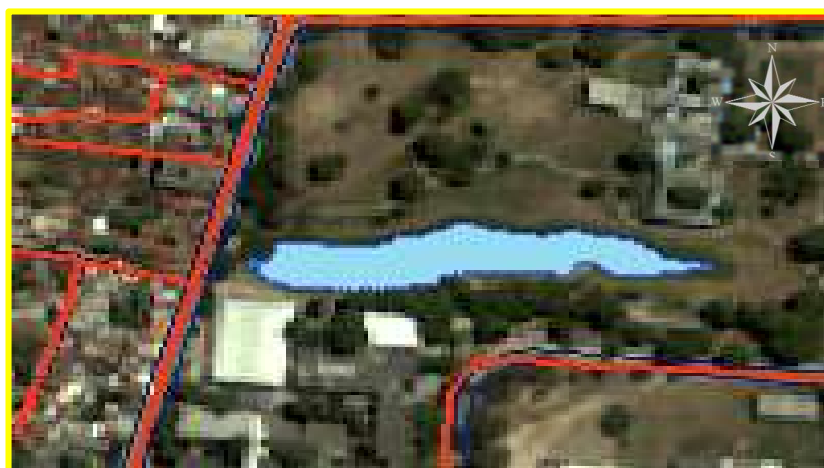
relativamente significativa com os perímetros obtidos por vetorização automática. O valor de perímetro que mais se aproximou ao obtido pela vetorização manual foi o resultante da vetorização automática com a suavização de bordas com a diferença de 1,242m, seguido do perímetro da borda externa obtida com elemento estruturante 3x3 quadrado no valor 18,021m, o pior perímetro apresentado foi o da borda externa com elemento estruturante 7x7, isto ocorreu, pois, a borda com elemento estruturante 7x7 é mais espessa do que a borda 3x3. Diante do exposto, temos como importantes resultados, a borda externa com elemento estruturante 3x3 quadrado e a borda obtida por vetorização automática com suavização de bordas pois ambas apresentaram resultados coerentes de área e perímetro comparados com a borda obtida por vetorização manual.

Para apresentar um resultado possível de atualização cartográfica a Figura 49 mostra o polígono que representa o lago do cavouco obtido pela vetorização automática com suavização de borda sobreposto à rede viária que pertence à base cartográfica da Prefeitura do Recife e à imagem IKONOS-2 composição RGB-321. Esta base cartográfica que é disponibilizada gratuitamente *on-line*, não possuía o Lago do Cavouco em seus arquivos vetoriais, logo este trabalho apresentou uma possível atualização de corpos d'água para bases cartográficas de municípios. Como já mostrado no presente trabalho, os resultados obtidos pelas Ortofotos não foram possíveis de obter um polígono fechado que representasse o Lago do Cavouco, sendo que para a imagem IKONOS-2 a aplicação do método empregado neste trabalho foi mais eficaz.

Figura 49 – (a) Lago do Cavouco (em azul) extraído por vetorização automática (com suavização) da imagem binária sobreposto a imagem IKONOS 321-RGB e à rede viária(em vermelho) da base cartográfica da prefeitura do Recife (Escala de visualização 1:8000), (b) Zoom do retângulo amarelo na Figura (a).



(a)



(b) Zoom do retângulo amarelo na Figura (a).

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado as técnicas de processamento de imagens aplicadas em imagens de satélite de alta resolução e em ortofotos, inicialmente as imagens de satélites passaram por um pré-processamento para serem obtidas imagens fusionadas com melhor resolução espacial, obtendo-se imagens de satélite que podem ter suas feições representadas na escala máxima de 1:4000. Após isso, fez-se necessário estudar o comportamento da água do lago para identificar quais bandas teriam melhores respostas no processo de binarização de imagens, através do estudo do comportamento da água, do solo e da vegetação. Trabalhou-se com o método do paralelepípedo para binarizar o lago analisando diferentes intervalos de confiança.

Observou-se que a banda do infravermelho próximo é a que melhor representa a água pois possui uma baixa reflectância, já na ortofoto não foi possível identificar com o estudo do comportamento espectral da água, qual banda da composição colorida melhor representaria o lago no processo de binarização, apenas com o auxílio da Morfologia Matemática foi possível identificar qual imagem binária teria melhor resposta, que neste caso foi a banda do vermelho.

Os filtros morfológicos são ferramentas muito úteis quando deseja-se retirar objetos não desejados de uma imagem e a escolha do elemento estruturante ideal, resulta em melhores resultados, como foi visto neste trabalho a utilização do elemento estruturante quadrado com dimensão 7x7 foi o que mais eliminou ruídos da borda do lago, porém não foi o suficiente.

O maior problema enfrentado na Ortofoto foi a presença das sombras das árvores na área do lago, não conseguindo extrair o contorno do lago por completo, além da vegetação que não foi totalmente extraída da imagem o que tornou inviável obter uma análise quantitativa dos contornos gerados. Uma forma de solucionar este problema é estudar o comportamento da sombra e binarizar apenas elas e após isso selecionar as sombras pertencentes ao lago e somar as imagens binárias do lago sem sombra com a imagem original. Outra alternativa para extrair as áreas do Lago com a presença da sombra das árvores, seria realizar análise de textura a partir da mistura de *pixels* entre os objetos da imagem, pois a análise somente por níveis de cinza muitas vezes não é suficiente para detecção de contornos. Outros classificadores também podem ser utilizados como o K-médias, máxima verossimilhança.

As imagens IKONOS-2 foram as que obtiveram melhores resultados sendo possível analisar a área e perímetro das bordas obtidas e compará-las, tendo como resultado final um produto passível de atualização cartográfica, que foi a borda do lago oriundo de uma imagem

binária, com uma discrepância de 11,896 m² com relação à borda obtida por vetorização manual. Os resultados deste trabalho revelam que a aplicação da Morfologia Matemática pode oferecer ferramentas importantes na extração de bordas de objetos, principalmente quando se conhece os elementos estruturantes ideais para cada objeto.

Com relação ao estudo do comportamento da água, a determinação de limiares de binarização a partir de amostras, permite conhecer as diferentes tonalidades de corpos d'água presentes em vários locais e aprofundar este estudo, auxilia em problemas de detecção de contorno em regiões onde há uma grande variação pluviométrica, podendo ser feita análises espaço-temporais para aplicações ambientais.

Portanto, o presente trabalho traz uma contribuição para área de cartografia, considerando que o processo de atualização de bases cartográficas, ainda é difícil e o processo de extração semiautomática de feições pode facilitar esta atualização, não apenas de corpos d'água como um lago, mas como rios, edificações, vias, vegetação, áreas desmatadas, áreas reflorestadas. Estas informações carecem de atualizações em bases cartográficas de diversos setores, porém, deve-se levar em consideração a escala máxima que uma imagem de satélite permite representar os objetos em produtos cartográficos.

REFERÊNCIAS

BANON, G. J. F.; BARRERA, J. **Bases da Morfologia Matemática para a análise de imagens binárias**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 1998.

BENSEBAA, K. **Processamento de Imagens – Aula 9**. Slideplayer.com.br, 2016. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/5642038/>>. Acessado em: 07/06/2017.

CANDEIAS, A. L. B. **Aplicação da Morfologia Matemática à análise de imagens de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Aplicadas, São José dos Campos, 1997. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/analucia/1996/10.14.12.27?mirror=sid.inpe.br/banon/2001/04.06.10.52.39&metadataarepository=sid.inpe.br/banon/2001/04.03.15.37.23>>. Acessado em: 30/05/2017.

CANDEIAS, A. L. B.; MOURA, C. J. M. DE; NASCIMENTO, P. H. O. DO; TAVARES JR., J. R. **Extração de borda: uma análise pela Morfologia Matemática**. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.cbcbg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/f014_cbcg13.pdf>. Acessado em: 15/05/2017.

CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JR., J. R. DO NASCIMENTO, P. H. O. MOURA, C. J. M. DE; DA SILVA, E. A. **Morfologia Matemática na extração de bordas de uma imagem IKONOS-2 RGB fusionada**. Rev. Bras. Geom., v.4, n. 1, p.22-31, jan/abr. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301540656_Morfologia_matematica_na_extracao_de_bordas_de_uma_imagem_IKONOS-2_RGB_fusionada>. Acessado em: 15/05/2017.

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

ENGESAT. **Satélite IKONOS-2**. Engesat.com, 2017. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/ikonos/>>. Acessado em: 26/04/2017.

EOPORTALDIRECTORY. **IKONOS-2**. 2014 Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/ikonos-2>>. Acessado em: 15/05/2017.

FACON, J. **Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos**. Curitiba: PUC, 1996.

FACON, J. A **Morfologia Matemática e suas Aplicações em Processamento de Imagens**. VII Workshop de Visão Computacional. Curitiba: PUC, 2011. Disponível em: <<https://www.ppgia.pucpr.br/~facon/Books/2011WVCMinicurso2Morfo.pdf>>. Acessado em: 07/06/2017.

FARIAS, R. D. **Espaço de cores, Morfologia Matemática e extração de feições**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2015.

GONZALEZ, R. F.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

GONZALEZ, R. F.; WOODS, R. E. **Digital image processing using MATLAB**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

GUILLOU, A. N. **Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2016.

ISHIKAWA, A. S. **Deteção de rodovias em imagens de alta resolução com o uso da teoria de Morfologia Matemática**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas. UNESP. Presidente Prudente, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86790/ishikawa_as_me_prud.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 10/06/2017.

JENSEN, J. R.; **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphany (coordenador)... [et AL.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. **Remote Sensing Image Interpretation**. John Wiley, New York, 1993.

MENESES, P.R., ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. CNPq, v. 1. 256p 1ª. ed. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acessado em: 07/06/2017

NASCIMENTO, P. H. O.; MOURA, C. J. M.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R.; SILVA, E. A. **Extracao de bordas por Morfologia Matemática e por canny: uma comparação**. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da

Geoinformação, Recife, 2014. Anais do V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. p. 1-7, Recife: UFPE, 2014.

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

RAFAELI NETO, S. L.; BECEGATO, V. A. **Aplicação de técnicas de classificação de imagem sobre ortofoto digital para identificação de reforestamentos em áreas com mata nativa densa**. In: 19 Seminário de Iniciação Científica - Ciências Agrárias, 2009, Lages. Resumos do XIX Seminário de Iniciação Científica. Lages: UDESC, 2009. v. 1. p. 136-136.

SILVA, D. C.; CANDEIAS, A. L. B. **Causas da iluminação não uniforme em fotografias aéreas coloridas**. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 62, p. 105-115, 2009.

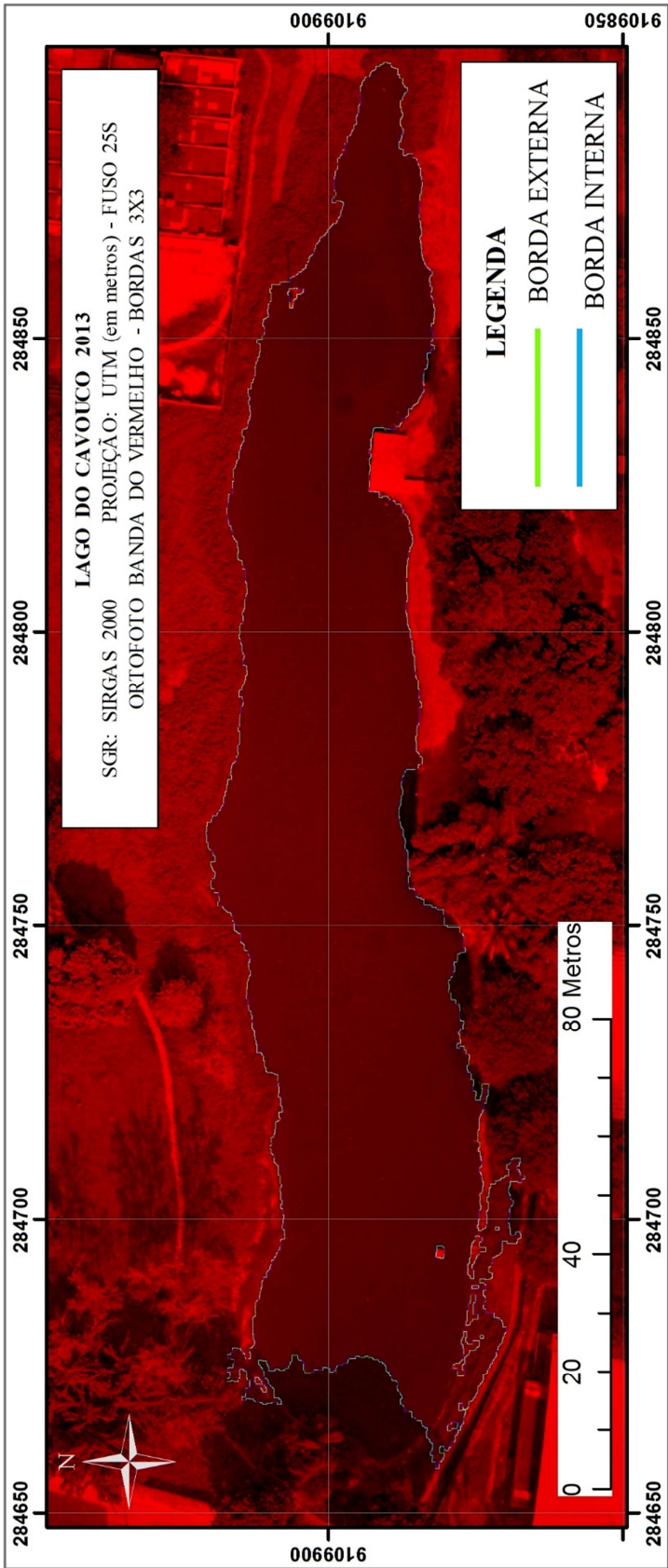
SILVA, G. P.da. **Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/10741/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Gleice%20Pereira%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 15/05/2017.

SOILLE, P. *Morphological Image Analysis: principles and applications*. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 316p.

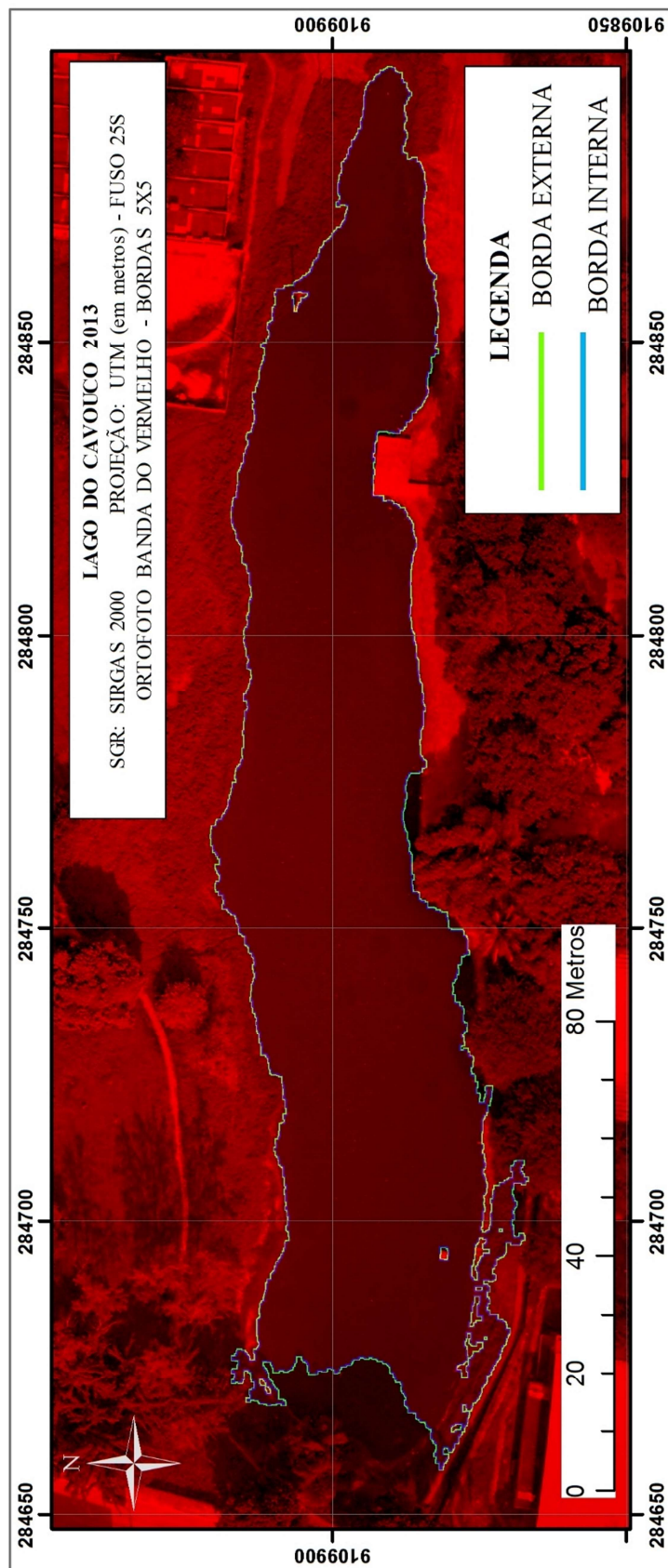
STATELLA, T. **Morfologia Matemática aplicada à cartografia**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas. UNESP. Presidente Prudente, 2005. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_statella_t.pdf>. Acessado em: 15/05/2017.

ANEXOS

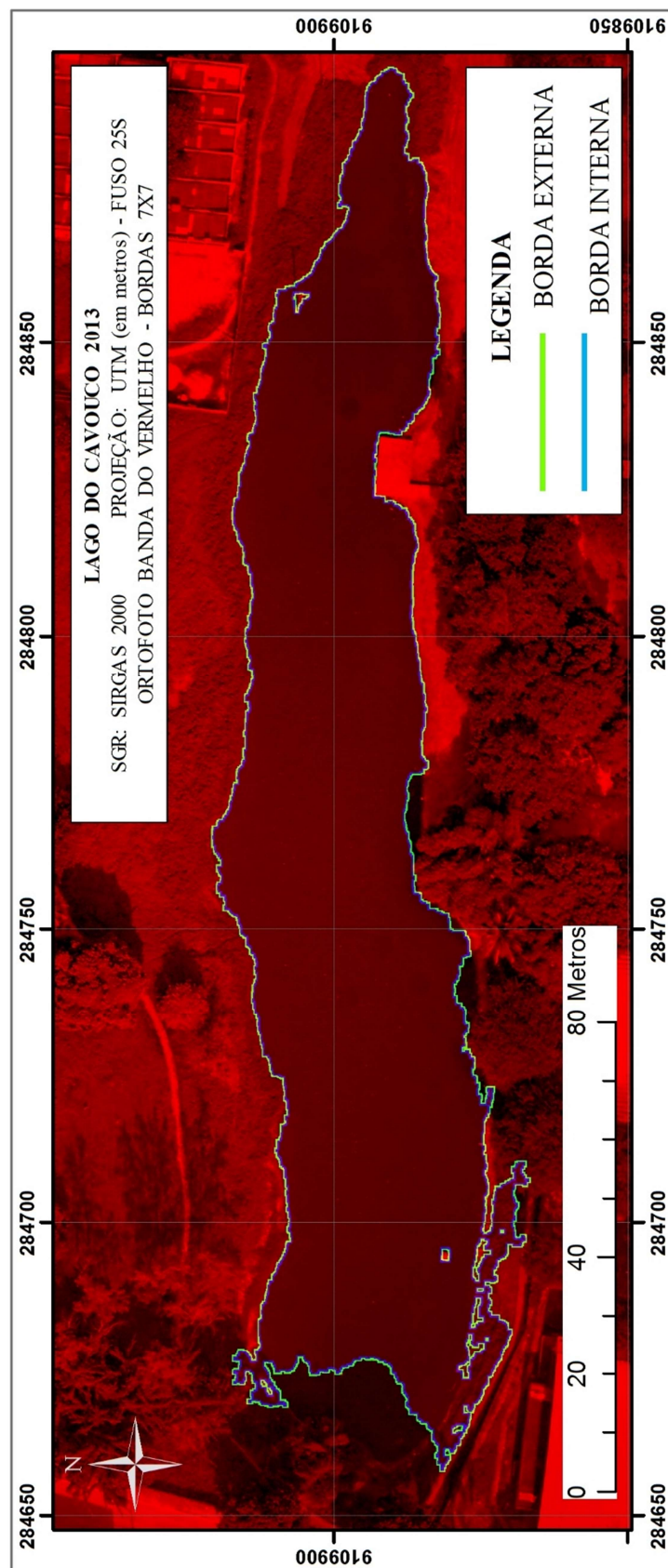
ANEXO A – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 3X3 – OR TOFOTO



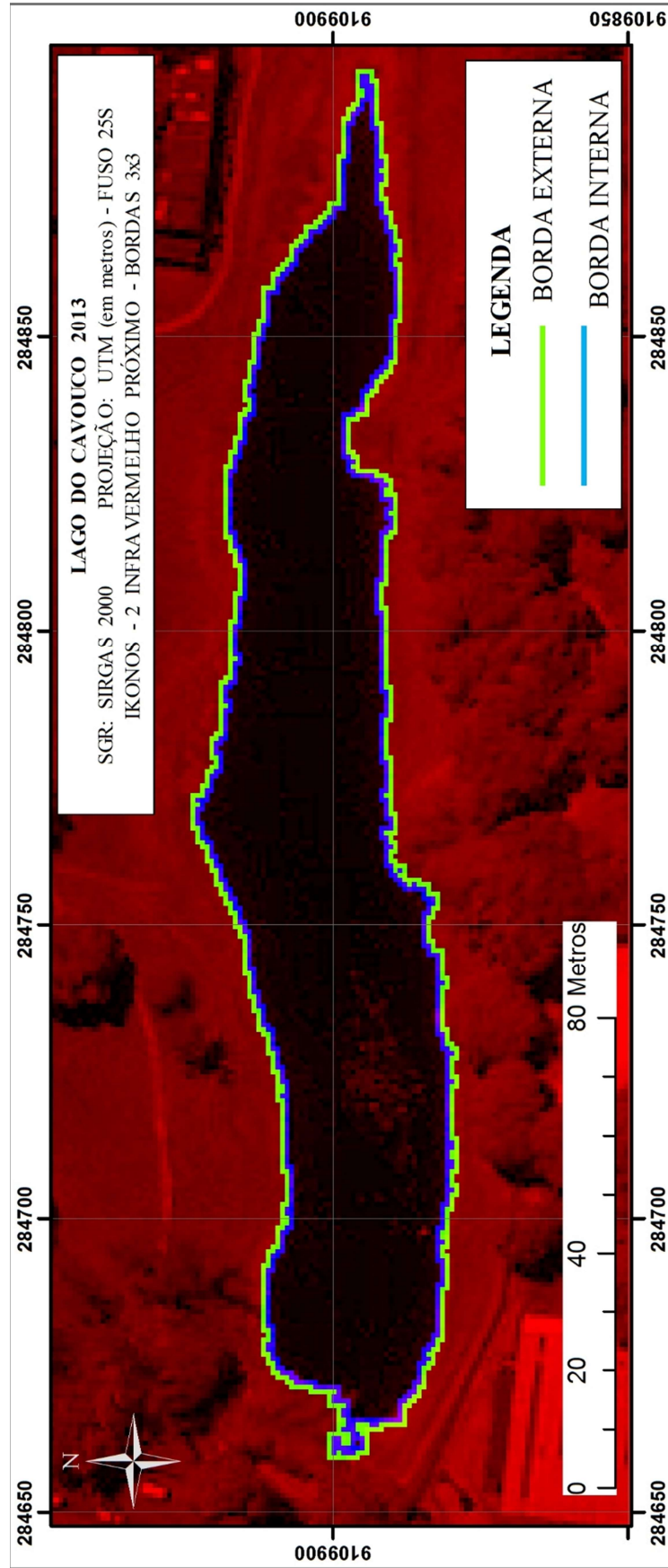
ANEXO B – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 5X5 – ORTOFOTO



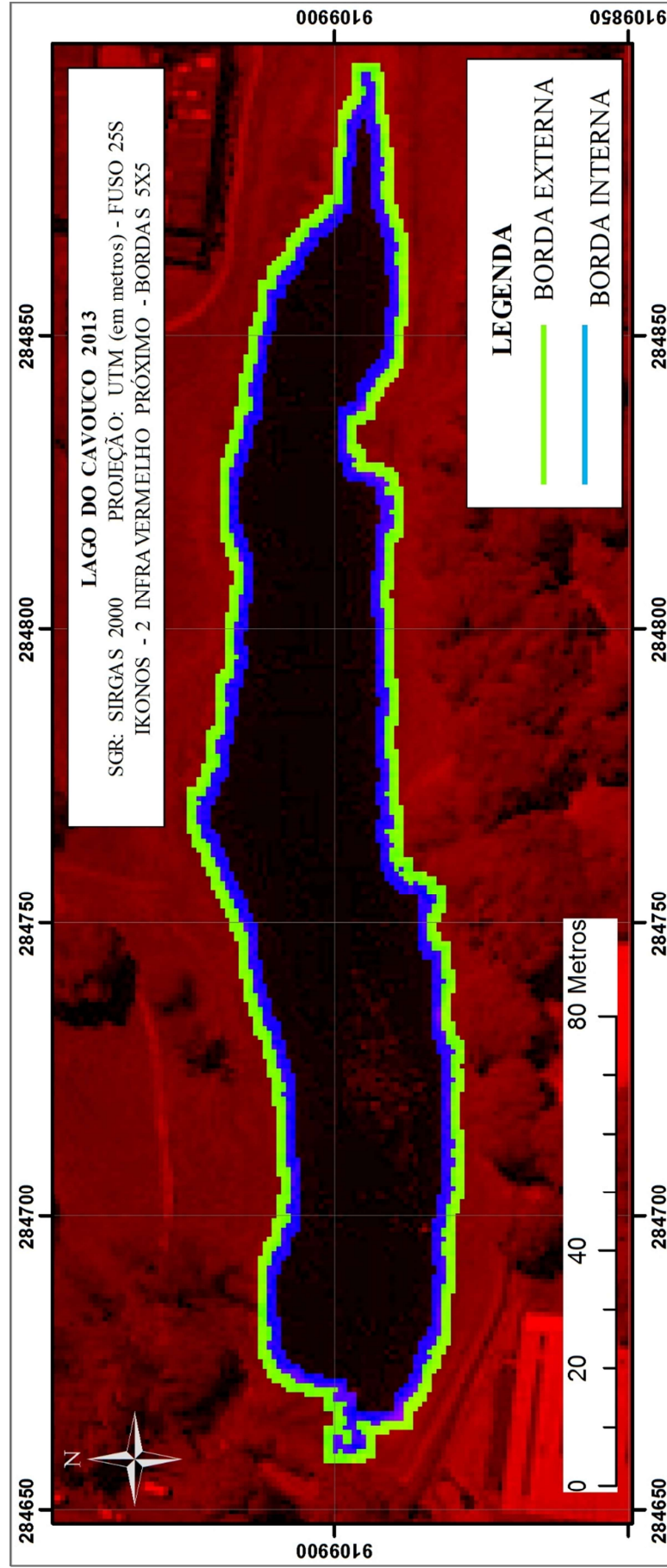
ANEXO C – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 7X7 – ORTOFOTO



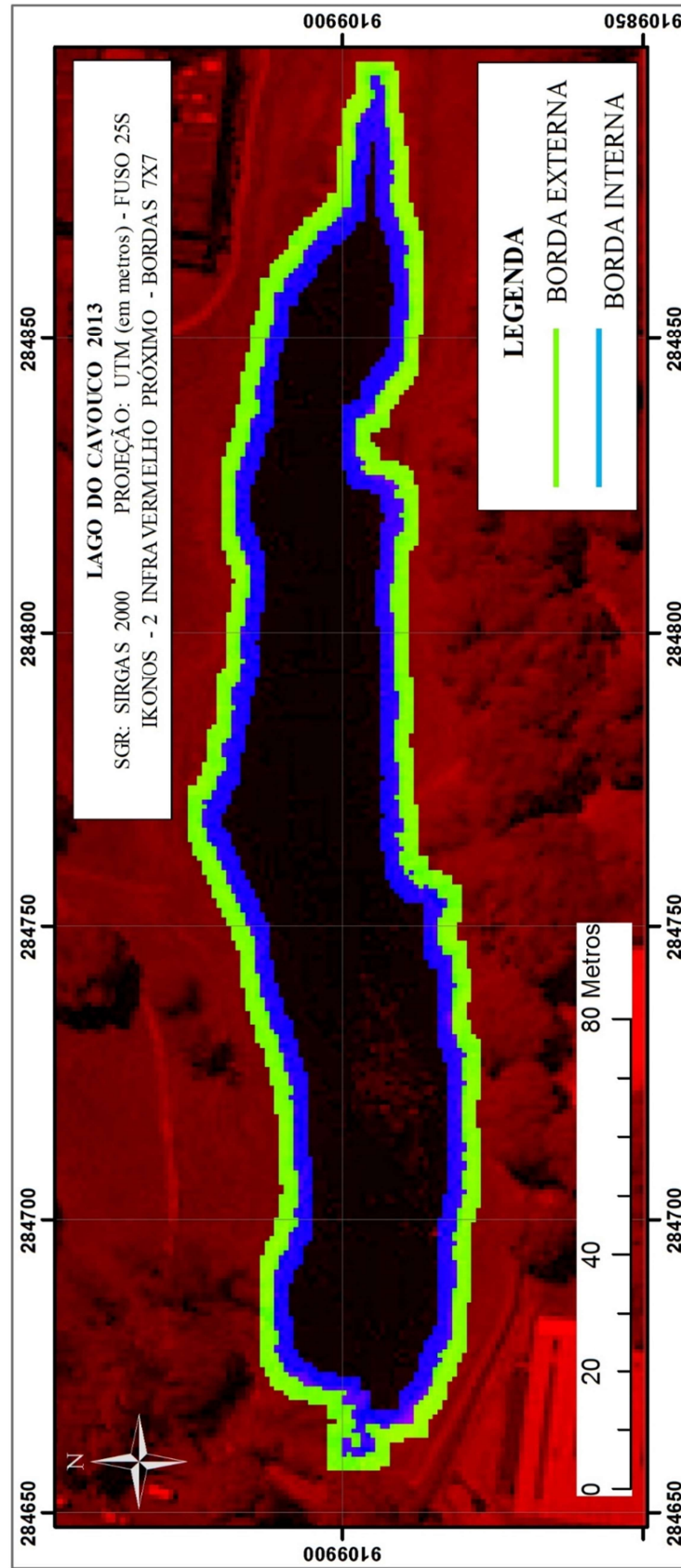
ANEXO D – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 3X3 – IKONOS-2 BANDA INFRAVERMELHO PRÓXIMO



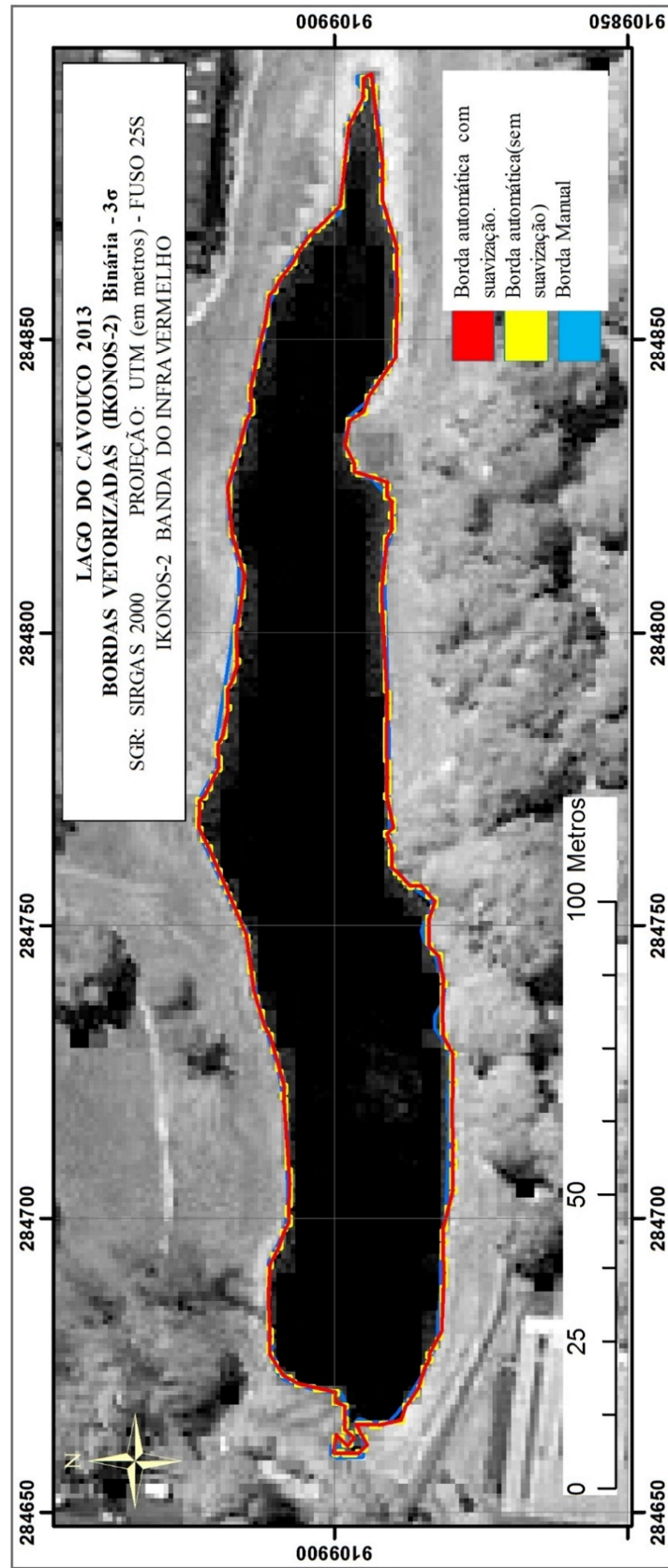
ANEXO E – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 5X5 – IKONOS-2 BANDA INFRATERMELHO PRÓXIMO



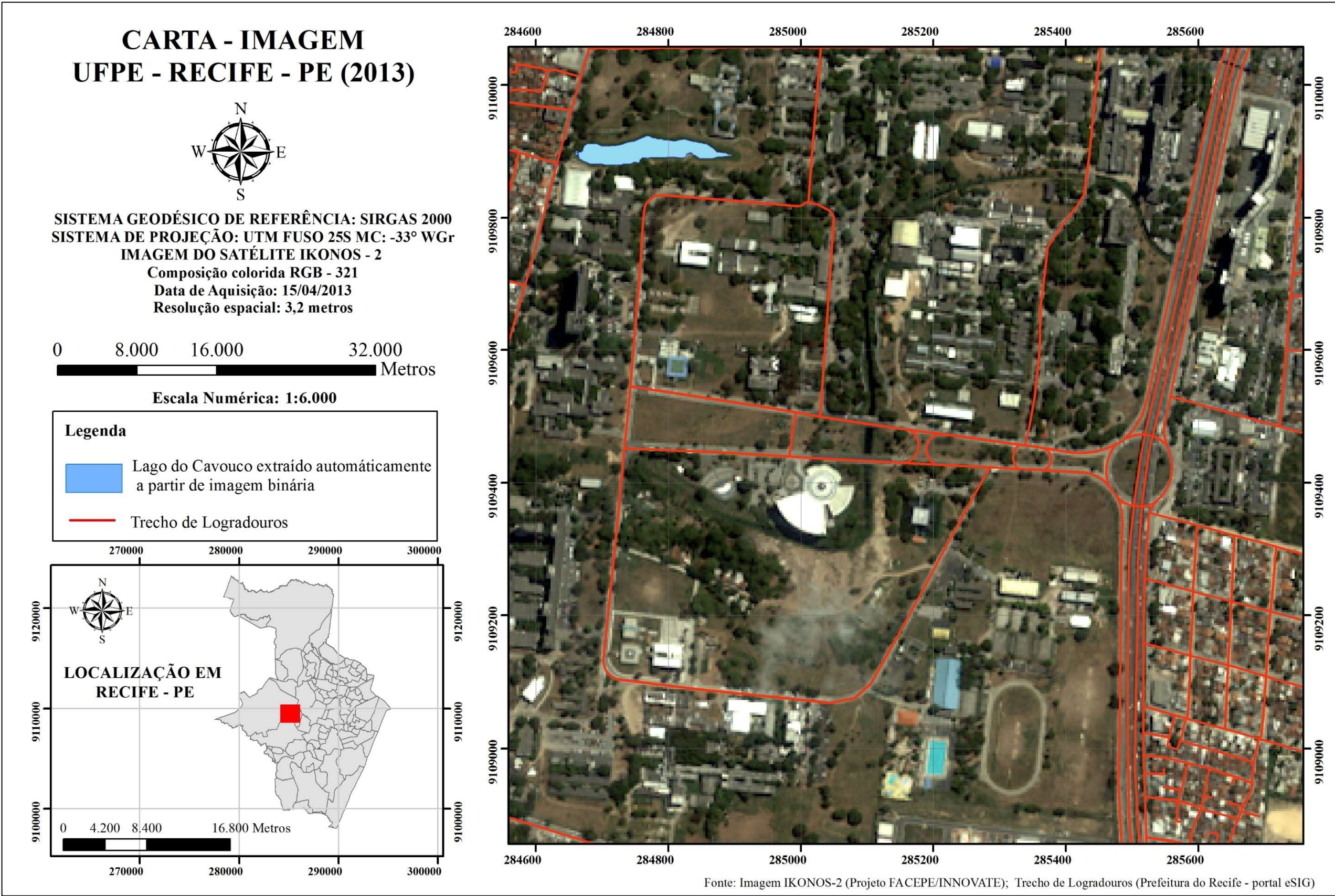
ANEXO F – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BORDAS EXTERNA (EM VERDE), BANDA DO VERMELHO (EM VERMELHO) E BORDA INTERNA (AZUL) COM ELEMENTO ESTRUTURANTE 7X7 – LAGO DO CAVOUCO IKONOS-2 BANDA INFRAVERMELHO PRÓXIMO



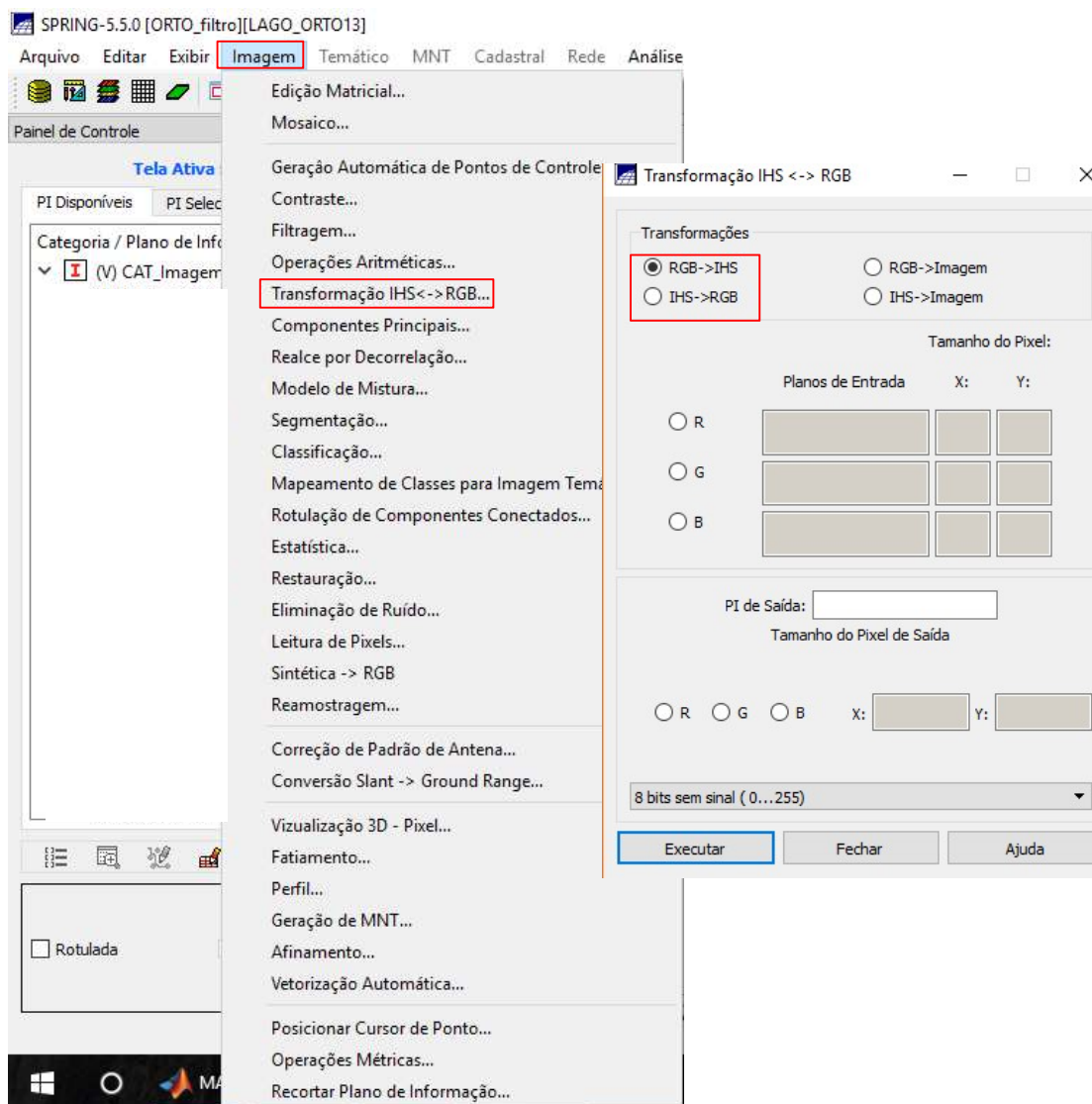
ANEXO G – BORDAS DO LAGO DO CAVOUÇO POR VETORIZAÇÃO MANUAL (AZUL), VETORIZAÇÃO AUTOMÁTICA (AMARELO), VETORIZAÇÃO AUTOMÁTICA COM SUAVIZAÇÃO (VERMELHO) E IMAGEM IKONOS – 2 BANDA DO INFRAVERMELHO



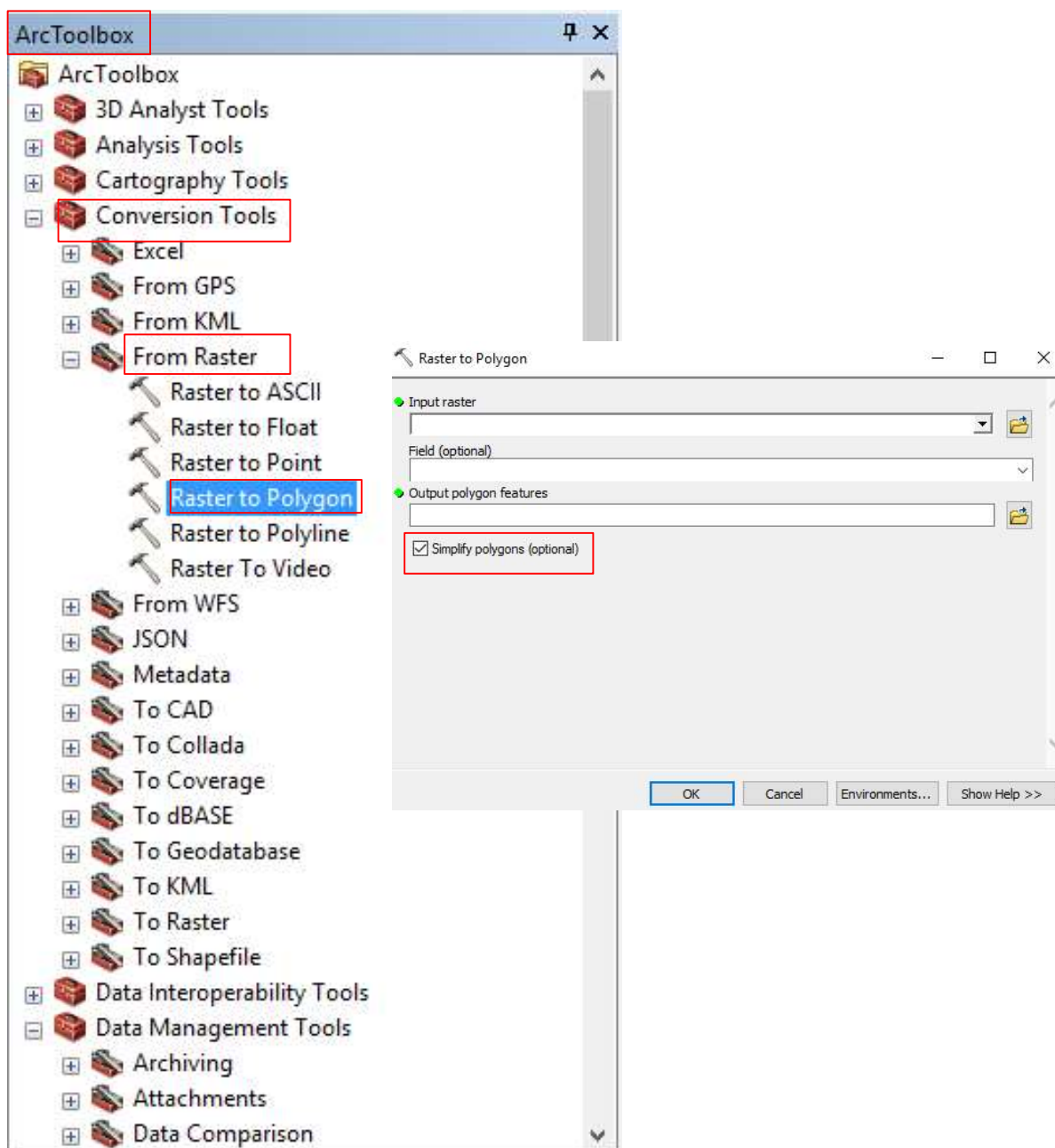
ANEXO H – LAGO DO CAVOUÇO SOBREPOSTO À BASE CARTOGRÁFICA DA PREFEITURA DO RECIFE E IMAGEM IKONOS – 2 RGB-321



ANEXO I – FERRAMENTA UTILIZADA PARA FUSÃO DE IMAGENS (RGB->IHS) E
(IHS->RGB) NO SOFTWARE SPRING VERSÃO 5.5.0



ANEXO J – FERRAMENTA UTILIZADA PARA VETORIZAÇÃO AUTOMÁTICA NO SOFTWARE ARCGIS



APÊNDICE

APÊNDICE A - ALGORITMO PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS IKONOS-2

%UFPE - DECAT

%TRABALHO DE GRADUAÇÃO

%ALUNA: CARLA JULLIANE MARQUES DE MOURA

%EXTRAÇÃO DE BORDA EXTERNA, INTERNA E GRADIENTE DE IMAGEM IKONOS-2 BANDA 4
% Amostra - BINARIZAÇÃO PELO MÉTODO DO PARALEPÍPEDO

[X4,Y4,A4,med4o,desv4o1,desv4o2,desv4o3,min1o,min2o,min3o,max1o,max2o,max3o
]= amostra_ikonos(b4,sigma1,sigma2,sigma3);

%binarização

[bin4o1]=binarizacao(b4,med4o,desv4o1);

[bin4o2]=binarizacao(b4,med4o,desv4o2);

[bin4o3]=binarizacao(b4,med4o,desv4o3);

% extração das bordas com 3x3 quadrado

% 1 desvio

[be4o13,bi4o13,bg4o13] = bordas(dil_bin_4o13,erode_bin_4o13,bin4o1);

% 2 desvio

[be4o23,bi4o23,bg4o23] = bordas(dil_bin_4o23,erode_bin_4o23,bin4o2);

% 3 desvio

[be4o33,bi4o33,bg4o33] = bordas(dil_bin_4o33,erode_bin_4o33,bin4o3);

% extração das bordas com 5x5 quadrado

% 1 desvio

[be4o15,bi4o15,bg4o15] = bordas(dil_bin_4o15,erode_bin_4o15,bin4o1);

% 2 desvio

[be4o25,bi4o25,bg4o25] = bordas(dil_bin_4o25,erode_bin_4o25,bin4o2);

% 3 desvio

[be4o35,bi4o35,bg4o35] = bordas(dil_bin_4o35,erode_bin_4o35,bin4o3);

% extração das bordas com 7x7 quadrado

% 1 desvio

[be4o17,bi4o17,bg4o17] = bordas(dil_bin_4o17,erode_bin_4o17,bin4o1);

```
% 2 desvio
```

```
[be4o27,bi4o27,bg4o27] = bordas(dil_bin_4o27,erode_bin_4o27,bin4o2);
```

```
% 3 desvio
```

```
[be4o37,bi4o37,bg4o37] = bordas(dil_bin_4o37,erode_bin_4o37,bin4o3);
```

APÊNDICE B - ALGORIMO PARA EXTRAÇÃO DE BORDAS ORTOFOTO

```

clc
clear all

%UFPE - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

%TRABALHO DE GRADUAÇÃO

%ALUNA: CARLA JULIANE MARQUES DE MOURA

%PROGRAMA PARA EXTRAÇÃO DE BORDA BANDA DO VERMELHO ORTOFOTO

%IMPORTAÇÃO DAS IMAGENS

%Ortofoto

% Amostra - BINARIZAÇÃO PELO MÉTODO DO PARALEPÍPEDO

[X3,Y3,A3,med3o,desv3o1,desv3o2,desv3o3,min1o,min2o,min3o,max1o,max2o,max3o
]= amostra_orto(b3,sigma1,sigma2,sigma3);

%binarização

[bin3o1]=binarizacao(b3,med3o,desv3o1);

[bin3o2]=binarizacao(b3,med3o,desv3o2);

[bin3o3]=binarizacao(b3,med3o,desv3o3);

%filtro de abertura sigma 3

%elementos estruturantes

%1a. Aplicação filtro de abertura

[abertura3o33]=abertura_square(bin3o3,dim3);abertura3o33=bwselect(abertura3
o33,c,r,26);

%Elemento 5x5 cruz

[abertura3o53]=abertura_square(bin3o3,dim5);abertura3o53=bwselect(abertura3
o53,c,r,26);

%Elemento 7x7 cruz

[abertura3o73]=abertura_square(bin3o3,dim7);abertura3o73=bwselect(abertura3
o73,c,r,26);

%filtro de fechamento
%Elemento 3x3 cruz

[fechamento3o33]=fechamento_square(abertura3o33,dim3);

%Elemento 5x5 cruz

```

```

[fechamento3o53]=fechamento_square(abertura3o53,dim5);

%Elemento 7x7 cruz

[fechamento3o73]=fechamento_square(abertura3o73,dim7);

%2a. Aplicação do filtro de abertura no filtro fechamento
%Elemento 3x3 cruz

[abertura3o332]=abertura_square(fechamento3o33,dim3);

%Elemento 5x5 cruz

[abertura3o532]=abertura_square(fechamento3o53,dim5);

%Elemento 7x7 cruz

[abertura3o732]=abertura_square(fechamento3o73,dim7);

% extração das bordas
% bordas com elemento estruturante 3x3 quadrado

[beofafa37,biofafa37,bgofafa37] =
bordas(dil_abertura3o37,erode_abertura3o37,abertura3o732);

% bordas com elemento estruturante 5x5 quadrado

[beofafa57,biofafa57,bgofafa57] =
bordas(dil_abertura3o57,erode_abertura3o57,abertura3o732);

% bordas com elemento estruturante 7x7 quadrado

[beofafa77,biofafa77,bgofafa77] =
bordas(dil_abertura3o77,erode_abertura3o77,abertura3o732);

```