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

ARIELY MAYARA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA

MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO NAS ESCALAS 1:100000 E 1:250000 DO
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO A PARTIR DE IMAGEM DE SENSORIAMENTO
REMOTO: RESERVATÓRIO DE ITAPARICA



Recife
2016

ARIELY MAYARA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA

**MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO NAS ESCALAS 1:100000 E 1:250000 DO
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO A PARTIR DE IMAGEM DE SENSORIAMENTO
REMOTO: RESERVATÓRIO DE ITAPARICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Recife

2016

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

T266m Teixeira, Ariely Mayara de Albuquerque.
Método de atualização nas escalas 1:100000 e 1:250000 do mapeamento sistemático a partir de imagem de sensoriamento remoto: reservatório de Itaparica / Ariely Mayara de Albuquerque Teixeira. – 2016.
80 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2016.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Sensoriamento remoto. 3. Corpos d'água. 4. Atualização cartográfica. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-311

ARIELY MAYARA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA

**MÉTODO DE ATUALIZAÇÃO NAS ESCALAS 1:100000 E 1: 250000 DO
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO A PARTIR DE IMAGEM DE
SENSORIAMENTO REMOTO: RESERVATÓRIO DE ITAPARICA.**

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

Aprovado em: 29 / 08 / 2016

BANCA EXAMINADORA

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

Profa. Dra. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa (Examinadora externa)
Instituto Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus pais.
Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar, me dar forças e mostrar-me o caminho.

Aos meus pais, que me ensinaram os grandes valores da vida e por terem me dado a melhor educação, sempre! Por sempre me incentivarem a seguir em frente e ir em busca dos meus objetivos, por acreditarem na minha capacidade e me encorajarem a sempre fazer o meu melhor.

Aos meus irmãos, pela amizade, carinho, apoio e confiança!

Ao meu grande amigo, parceiro e namorado, Guilherme, por todo o companheirismo, amizade, alegria, paciência e incentivo para a conclusão de mais esta etapa acadêmica.

A todos os meus familiares que me apoiaram e acolheram nesta caminhada. Que vibraram comigo a cada etapa vencida.

A Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia, minha orientadora, pela dedicação, competência, auxílio, confiança, pelo saber que transmitiu, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado e pelo encorajamento no decorrer deste mestrado.

Aos professores do programa de Pós-Graduação pelos conhecimentos repassados no decorrer das aulas, bem como aos funcionários que integram o PPGCGTG.

Aos professores, Ioná Rameh e João Rodrigues, que aceitaram compor a banca da defesa, por todas as sugestões e análises realizadas na minha pesquisa.

Aos colegas de mestrado, pelos conhecimentos compartilhados e pelos momentos de descontração e “zueira”, especialmente para Talita Stael, Elaine Cristina, Raul Cumbe, Alexandre Normande, Nicolas Gama, Thomas Martins e Renan Dozzo.

As minhas amigas e colegas que estiveram ao meu lado durante esta fase, pela força e apoio. Em especial a Maíra Souza, colega da graduação, parceira de trabalho, amiga que está sempre pronta para apoiar e incentivar nos momentos fáceis e difíceis.

As Marias que tanto incentivaram para a conclusão desta dissertação, Germana Maria, Aline Maria, Louise Maria, Aline Maria e Patrícia Maria.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização desta dissertação e divido a alegria desta experiência.

Obrigada!

*“Não deixe que a saudade sufoque,
que a rotina acomode,
que o medo impeça de tentar.
Desconfie do destino e acredite em você...”*
Luís Fernando Veríssimo

RESUMO

Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, é indispensável a utilização de novas tecnologias que auxiliem no mapeamento, no monitoramento e na atualização do seu território. Quando se tem uma cartografia desatualizada, aplicações para diversos fins ficam prejudicadas, pois não se tem a fidelidade espacial desejada. A partir da necessidade de trabalhar com um corpo d'água, o reservatório de Itaparica, localizado entre os estados de Pernambuco e Bahia, surgiu a proposta dessa pesquisa que teve como objetivo analisar a atualização cartográfica de corpos d'água usando processamento de imagem de sensoriamento remoto. A informação vetorial do contorno era necessária e para extraí-la foi analisada a carta topográfica, Folha Airi, SC.24-X-A-V, MI 1443 (1:100000) e a carta imagem de RADAR, Belém do São Francisco, SC.24-X-A (1:250000). Ao analisar os produtos cartográficos, observou-se a falta de informações nas cartas e com isso as bases cartográficas não estavam em conformidade com o que era necessário para o projeto. Neste caso, procurou-se automatizar a obtenção desses corpos d'água através de técnicas de processamento digital de imagens, como a fusão de imagens IHS e classificação não supervisionada k-médias, para tornar mais geral a obtenção, segmentação das bordas e posterior vetorização. O contorno do reservatório foi extraído utilizando imagens dos sensores remotos, OLI/Landsat 8 e dos sensores MUX, PAN e IRS, a bordo do CBERS-4. A resolução temporal e espacial dos sensores bem como a sua disponibilidade de aquisição de maneira gratuita, foram os principais motivos que levaram a escolha desses imageadores. Após realizadas diversas extrações do contorno do corpo d'água, através da fusão de imagens e da classificação não supervisionada, todos os resultados obtidos foram consistentes e adequados a realidade do reservatório. A utilização de imagens de sensoriamento remoto para a atualização cartográfica torna esta atividade mais rápida e econômica, devido a grande disponibilidade de sensores acessíveis gratuitamente. Através dos procedimentos realizados foi possível identificar novos geo-objetos que devem ser incorporados às cartas e outros que já não existem mais, e devem ser removidos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Corpos D'Água. Atualização Cartográfica.

ABSTRACT

For countries with large territorial extension, as Brazil is essential the use of new technologies to assist in the mapping, monitoring and territorial update. When you have an outdated cartographic basis, applications for various purposes are affected, because does not have the desired spatial fidelity. From the need to work with a body of water, the Itaparica reservoir, located between in Pernambuco and Bahia states, proposed this research was to analyze the cartographic updating of water bodies using remote sensing image processing. The contour information was needed and to extract it was analyzed the topographic map, Airi Leaf, SC.24-XAV, MI in 1443 (1:100000) and the letter image of RADAR, Belém de São Francisco, SC.24-XA (1: 250000). By analyzed the cartographic products, there lack of information was observed on the cards and were not in conformity with what was required for the project. In this case, we to automate these water bodies through digital image processing techniques such as fusion IHS images and unsupervised classification from k-means, to automatic obtained, boundary segmentation and after vector. The outline of the reservoir was extracted using images from remote sensors, OLI/Landsat 8 and MUX, PAN and IRS sensors aboard the CBERS-4. The temporal and spatial resolution of the sensors and the availability of free, were the main reasons that led to the choice of these imagers. After many body contouring extraction, by the fusion of images and unsupervised classification k-means, all results were consistent and appropriate the reality of the reservoir. The application of remote sensing image processing to cartographic updating makes this activity quickly and economical just because the several availability of free accesses sensors. Through the procedures carried out it was possible to identify new geo-objects that should be added to the letters and others that no longer exist, and must be removed.

Keywords: Remote Sensing. Water Bordeis. Cartographic Updating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos	22
Figura 2 - Coeficiente de absorção da água pura sob as faixas espectrais	23
Figura 3 - Espectro de absorção da matéria orgânica dissolvida na água	24
Figura 4 - Esquema da fusão de imagens IHS.....	30
Figura 5 - Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo e folhas	31
Figura 6 - Representação esquemática do desdobramento das cartas	31
Figura 7 - Desafio do mapeamento sistemático no país.	32
Figura 8 - Situação do mapeamento sistemático no Brasil.....	32
Figura 9 - Mapa índice com as atualizações previstas para a escala de 1:250000 em 2013	33
Figura 10 - Mapa índice com as atualizações previstas para a escala de 1:100000 em 2013 ..	33
Figura 11 - Categoria de informação hidrografia da ET-EDGV (Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais)	35
Figura 12 - Localização do Reservatório de Itaparica.....	38
Figura 13 - Fluxograma dos métodos aplicados para obtenção dos mapas finais.....	39
Figura 14 - Esquema metodológico.....	40
Figura 15 - Comprimento de onda das bandas utilizadas.....	41
Figura 16 - Recorte do reservatório de Itaparica	42
Figura 17 - Transformação RGB para IHS para o sensor PAN.....	44
Figura 18 - Imagem fusionada do sensor PAN / CBERS com as bandas 4321	45
Figura 19 - Imagem fusionada do sensor OLI / Landsat 8 com as bandas 8543.....	46
Figura 20 - Classificação das bandas NIR dos sensores (a) MUX e (b) OLI.....	47
Figura 21 - Histograma das bandas NIR do sensor MUX (a) e OLI (b)	48
Figura 22 - Classificação das bandas/sensor do grupo 2; (a) NIR/MUX, (b) PAN/PAN, (c) PAN/IRS e (d) NIR/PAN	49
Figura 23 - Histograma das bandas utilizadas dos sensores; (a) MUX, (b) PAN 5m, (c) IRS e (d) PAN	50
Figura 24 - Classificação das imagens resultantes da fusão IHS; (a) OLI, (b) PAN.....	51
Figura 25 - Sombra de nuvem sensor MUX do dia 09/04/16. (a) Imagem RGB falsa cor 432, (b) Arquivo vetorial.	52
Figura 26 - Limite do reservatório para o grupo 1 de imagens; (a) MUX e (b) OLI	53
Figura 27 - Limite do reservatório para o grupo 2 de imagens; (a) NIR/MUX, (b) PAN/PAN, (c) PAN/IRS e (d) NIR/PAN.....	54

Figura 28 - Limite do reservatório para as imagens fusionadas; (a) OLI RGB 432, (b) PAN.	56
Figura 29 - Comparação entre os limites extraídos para os sensores MUX e OLI (grupo 1) através da classificação com 5 temas	57
Figura 30 - Classificação da banda pancromática a bordo da câmera PAN/CBERS-4.....	59
Figura 31 - Comparação entre os limites extraídos para o sensor MUX para os dias 05.11.2015 e 09.04.2016	60
Figura 32 - Comparação entre os limites extraídos pelos sensores PAN e IRS para o dia 05.11.2015	61
Figura 33 - Comparação entre os limites extraídos pelas imagens fusionadas, sensores OLI e PAN	62
Figura 34 - Diferença entre os contornos extraídos pelas imagens fusionadas	63
Figura 35 - Georreferenciamento da carta topográfica 1:250.000 com base na imagem OLI .	65
Figura 36 - Atualização da carta topográfica dos corpos d'água 1:250000	65
Figura 37 - Detalhe da atualização da carta topográfica dos corpos d'água 1:250000	66
Figura 38 - Atualização cartográfica dos corpos d'água na carta 1:250000	67
Figura 39 - Ausência do reservatório na carta topográfica 1:100000.....	68
Figura 40 - Atualização cartográfica do canal da transposição do rio São Francisco na carta de 1:250000	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos sistemas imageadores do satélite CBERS 4.....	25
Quadro 2 - Características das bandas dos sensores do CBERS 4.....	26
Quadro 3 - Características do satélite Landsat 8	27
Quadro 4 - Comprimento de onda das bandas espectrais do sensor OLI.....	27
Quadro 5 - Escala máxima de representação para produtos cartográficos com as imagens	28
Quadro 6 - Grupos de imagens obtidas.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas obtidas através da classificação para o grupo 1	53
Tabela 2 - Áreas obtidas através da classificação para o grupo 2.	55
Tabela 3 - Áreas obtidas através da classificação para as imagens fusionadas	56
Tabela 4 - Dados referente ao georreferenciamento da carta topográfica 1:250000.....	64

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BMBF	Ministério Alemão de Educação e Pesquisa
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico do Exército
ERTS	Satélite de Tecnologia de Recursos da Terra
ET-EDGV	Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHS	<i>intensity-hue-saturation</i>
INNOVATE	<i>INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRS	Imageador Multiespectral e Termal
IVP	Infravermelho Próximo
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LDCM	Missão de Continuidade de Dados Landsat
MCT	Ministério da Ciência e da Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MUX	Câmera Multiespectral Regular
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
PAN	Imageador de Alta Resolução
PDC	Programa Especial de Dinamização da Cartografia Terrestre
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging</i>
REM	Radiação Eletromagnética
RMS	<i>Root Mean Square</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TM	Mapeador Temático
UHE	Usina Hidrelétrica
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator

OLI	<i>Operational Land Imager</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
WFI	Câmera de Campo Largo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVO.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1	SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.....	21
3.1.1	Sensoriamento remoto	21
3.1.1.1	Comportamento espectral dos alvos.....	21
3.1.1.2	Sistemas sensores	24
3.1.1.2.1	<i>Sensores CBERS-4.....</i>	<i>24</i>
3.1.1.2.2	<i>Sensores Landsat 8.....</i>	<i>26</i>
3.1.1.2.3	<i>Relação entre resolução espacial e erro gráfico.....</i>	<i>28</i>
3.1.1.3	Processamento de imagem para reconhecimento de corpos d'água.....	29
3.1.1.4	Classificação não supervisionada por k-médias	29
3.1.1.5	Fusão de imagens usando IHS.....	30
3.2	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO E INDE	30
4	ÁREA DE ESTUDO	37
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	39
5.1	MATERIAIS.....	39
5.2	MÉTODOS	40
6	RESULTADOS	44
6.1	FUSÃO DE IMAGENS	44
6.2	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA.....	47
6.3	CONVERSÃO DOS DADOS	51
6.4	ANÁLISE DOS CONTORNOS GERADOS	57
6.5	ATUALIZAÇÃO CARTOGRAFICA.....	64
7	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXOS.....	78
	ANEXO A.....	79
	ANEXO B	80

1 INTRODUÇÃO

Em várias regiões do Brasil tem-se um potencial hídrico favorável à construção de reservatórios (PRADO, 2004). Por outro lado, devido as suas dimensões continentais, existe divergência na distribuição e utilização desses recursos entre as regiões brasileiras. Enquanto na Amazônia temos os maiores mananciais de água do mundo, no Nordeste a população sofre com a escassez deste bem, principalmente na região do semiárido (BRITO et al., 2007).

Os reservatórios são criados com o objetivo de armazenamento de água visando o abastecimento de cidades, a geração de energia, entre outros. Um dos principais problemas na construção de reservatórios é a necessidade de uma gestão integrada dos seus usos e dos impactos causados. Campagnoli e Diniz (2012) destacaram que os reservatórios possuem a vantagem da geração de energia elétrica de forma limpa, o acesso ao abastecimento de água para a população e para as atividades agrícolas, além de realizar o controle de enchentes e secas.

Porém, observa-se de forma mais intensa, a partir do início do século XXI, que o planeta Terra está enfrentando a crise da água, e isto pode estar relacionada com a falta de gestão dos recursos hídricos e a má utilização deste bem (UNESCO, 2003). O gerenciamento de um reservatório é um desafio para a sociedade atual e de grande importância, principalmente para o Brasil, que é uma grande matriz energética. É importante ressaltar que é necessário levar em consideração os diversos fatores envolvidos na gestão dos recursos hídricos, como os seus usos múltiplos, o uso e ocupação do solo, as fontes de poluição pontuais e difusas, as licenças e condicionantes ambientais, as áreas protegidas por lei, entre outros.

A primeira medida para buscar disciplinar o uso dos recursos hídricos no Brasil foi através do Decreto nº 24.643 em 1934, conhecido como o Código das Águas (BRASIL, 1934). Em 1988, com a Constituição Brasileira, deu-se início ao processo de gestão das águas, intensificado a partir da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, onde é instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e aborda a elaboração do Plano Nacional dos Recursos Hídricos como um instrumento de gestão (BRASIL, 1988; BRASIL, 1997). Em 2012 o antigo Código Florestal foi revogado pela Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012, que foi instituída, de acordo com Nery et al. (2013), para dinamizar a atividade florestal e preservar o meio ambiente. Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, é indispensável a utilização de novas tecnologias que auxiliem no mapeamento das áreas de interesse e apoiem no monitoramento das mesmas.

Por outro lado, as mudanças climáticas estão influenciando diretamente o regime das chuvas e isto reflete na espacialização de um corpo d'água, como por exemplo, um reservatório.

Por conta disso, além da representação espacial, é necessário conhecer também a informação da data de aquisição do contorno, pois seu volume não é fixo, podendo variar em um intervalo de tempo e com isso, seu contorno também. Por essa razão, pode-se obter diferentes representações do contorno de um mesmo reservatório não apenas devido a escala de representação dada pela resolução espacial do sensor, mas também por causa do volume desse corpo d'água na data da aquisição da imagem com o mesmo sensor, ou sensores distintos com mesma resolução espacial e espectral. Isto deve ser levado em consideração quando se extrai contorno de reservatório a partir de uma imagem de satélite ou até mesmo quando se obtém esse contorno no campo ou em fotografias aéreas.

O Sensoriamento Remoto, devido a periodicidade dos dados se insere como uma das fontes de informação a ser integrada com as demais tecnologias existentes. Esta ciência é bastante eficaz para a análise de grandes áreas e muito utilizada na gestão ambiental (IMPAGLIAZZO, 2009), no monitoramento do uso e ocupação do solo (MOREIRA, et al. 2014), na meteorologia (QUIRINO, et al. 2015), entre outros. Devido as suas resoluções temporais, espaciais, espectrais e radiométricas, as imagens de Sensoriamento Remoto podem auxiliar na atualização do Mapeamento Cartográfico Brasileiro. Quando se tem uma base cartográfica desatualizada, aplicações para diversos fins ficam prejudicadas pois não se tem a fidelidade espacial desejada.

A importância do Sensoriamento Remoto para a Cartografia é incontestável, além do baixo custo, da facilidade de aquisição e da possibilidade de se trabalhar com grandes áreas, a utilização de imagens de satélites na atualização cartográfica vem ganhando cada vez mais qualidade com o advento de novas tecnologias. Usando as imagens de sensores orbitais é possível identificar novos alvos que devem ser acrescentados às cartas e outros que já não existem mais, e devem ser removidos. Por essas imagens possuírem uma maior resolução temporal e espectral, além de fornecerem uma ampla visão da região de estudo, apresentam-se como uma importante fonte de informação. Com a utilização das geotecnologias é possível além de integrar os dados e produzir informações para a tomada de decisão, monitorar e atualizar as informações a partir do surgimento de novos dados, ou da necessidade.

Apesar do avanço na tecnologia, o Brasil ainda enfrenta o problema da falta de qualidade nos produtos cartográficos existentes. As mudanças no espaço geográfico são constantes, seja pela ação do homem ou pela própria natureza, a produção dos documentos cartográficos é sempre mais lenta que estas modificações e por isso, é necessário o estudo de metodologias que auxiliem na otimização destes produtos, realizando as atualizações de forma rápida, econômica e constante (SILVA e CANDEIAS, 2004). As imagens de Sensoriamento

Remoto apresentam-se como uma importante fonte de informação para fins cartográficos, por serem mais econômicas, quando comparadas as fotografias aéreas, possuírem uma maior resolução espectral e temporal e ainda fornecerem uma visão geral da área de estudo (MATSUOKO, 2006).

A partir da necessidade de integrar estas diversas tecnologias, surgiu a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), que tem o propósito de padronizar as estruturas de dados para o seu compartilhamento, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados geoespaciais e informação cartográfica. A partir da INDE tem-se uma representação dos alvos obtidos por processamento de imagem e que são denotados como geo-objetos. No caso, procura-se automatizar a obtenção desses corpos d'água por classificação não supervisionada e fusão IHS, a fim de tornar mais geral a obtenção, segmentação das bordas e posterior vetorização. Dentro do aspecto dos geo-campos é importante inserir todas as informações recomendadas pela INDE.

A região do Submédio do Rio São Francisco corresponde a cerca de 17% de toda a bacia do São Francisco. Com uma área de aproximadamente 110.000 km², a região integra 83 municípios nos estados da Bahia e Pernambuco (MMA, 2006). Inserido na região do Submédio, tem-se o reservatório de Itaparica. A Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga, comumente conhecida como Itaparica, possui uma grande importância econômica na região, pois de acordo com Paes et al., (2010) diversas atividades são desenvolvidas na área, como: agricultura irrigada e de sequeiro, pesca, aquicultura, lazer, turismo e outros. Desde 2003, através da Lei nº 12.427, de 25 de setembro de 2003, a região do reservatório passou a representar uma das doze Regiões de Desenvolvimento do Estado de Pernambuco, a Região de Desenvolvimento Sertão de Itaparica.

Pela importância que o reservatório de Itaparica, assim como essa região representa para o país, é de fundamental necessidade que estudos de atualização cartográfica sejam desenvolvidos para subsidiar a gestão dos recursos hídricos da região. A área escolhida para este estudo vem apresentando grandes modificações desde a construção da Usina Hidrelétrica de Itaparica, até os dias atuais com o Projeto de Integração do Rio São Francisco, o que demonstra o quanto é necessária a atualização cartográfica. Entretanto, pelo simples fato da carta representar um determinado instante, e o espaço geográfico ser dinâmico e estar em constante modificação já justifica a necessidade de um processo contínuo de atualização de todo o mapeamento sistemático existente.

A ideia dessa dissertação surgiu da necessidade de trabalhar com um corpo d'água, o reservatório de Itaparica, localizado entre os estados de Pernambuco e Bahia. A informação

vetorial do contorno era necessária e para extraí-la foi analisada a carta topográfica, Folha Airi, SC.24-X-A-V, MI 1443 (1:100000) e a carta imagem de RADAR, Belém do São Francisco, SC.24-X-A (1:250000). Observou-se que na carta topográfica não existia a representação do reservatório e na carta de RADAR não existia informação de como se havia obtido o contorno e nem tampouco a data da sua obtenção. Portanto, como essas bases cartográficas não estavam em conformidade com o que era necessário para o projeto INNOVATE, decidiu-se analisar como atualizar essas bases. Os resultados obtidos nessa dissertação foram usados no projeto INNOVATE (*INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems* - <http://www.innovate.tu-berlin.de/>) aprovado pelo MCT e pelo Ministério Alemão de Educação e Pesquisa (BMBF) e sob a coordenação de Maria do Carmo Martins Sobral (período 2012 – 2016) e tendo a Prof^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias como participante.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a atualização cartográfica de corpos d'água utilizando processamento de imagem de sensoriamento remoto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analisar a extração do limite do reservatório de Itaparica-PE/BA a partir de processamento de imagem;
2. Comparar com a carta topográfica na escala 1:250000;
3. Comparar com a carta topográfica na escala 1:100000;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os conceitos teóricos abordados nesta pesquisa são tratados nesse capítulo com o objetivo de dar subsídios ao entendimento dos procedimentos e técnicas para a atualização do mapeamento sistemático (contorno de corpos hídricos) a partir de imagens de sensoriamento remoto.

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

3.1.1 Sensoriamento remoto

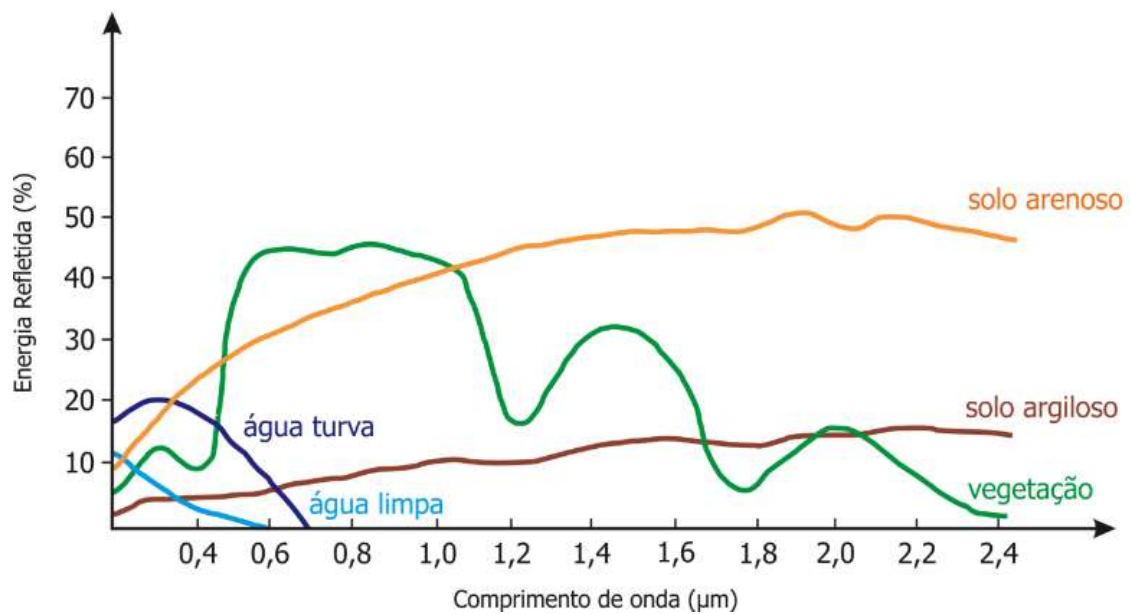
É importante conhecer as vantagens e as desvantagens de se trabalhar com os dados do sensoriamento remoto. As imagens advindas desta técnica, por recobrirem sucessivas vezes a superfície, podem ser utilizadas para o monitoramento de recursos e fenômenos naturais, pois consiste em uma forma rápida de obter informações sobre uma região. Além do difícil acesso a determinados locais, e do elevado custo financeiro para a realização do monitoramento, o sensoriamento apresenta uma grande acessibilidade aos trabalhos de monitoramento, gestão e planejamento ambiental.

3.1.1.1 Comportamento espectral dos alvos

O conhecimento da resposta espectral dos alvos é de grande relevância para a extração das informações de interesse, no caso dos corpos d'água, por isso mostra-se nesta pesquisa algumas definições sobre o comportamento espectral da água e sua relação com as imagens usadas nessa dissertação. O reconhecimento de padrões em imagens de satélite pode auxiliar na obtenção dos geo-objetos que irão estar diretamente ligados na atualização cartográfica.

Os dados advindos dos sensores remotos podem ser empregados no estudo de diversos alvos, entre eles: vegetação, solo, rochas, agricultura e a água. A Figura 1 representa curvas espectrais de alguns alvos com relação a energia por eles refletida.

Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos



Fonte: Adaptado de Venturieri (2007)

A quantidade da energia que é refletida ou absorvida pela água depende das suas características, porém essas características podem ser alteradas caso o corpo hídrico receba a influência de algum fator externo, como o excesso de nutrientes.

Em trabalhos relacionados com a qualidade da água, é evidente que as amostras de campo apresentam resultados mais satisfatórios, porém, com o uso do Sensoriamento Remoto pode-se observar locais mais ou menos degradados a partir de estudos realizados com as informações que podem ser obtidas através das imagens (VILELA, 2010).

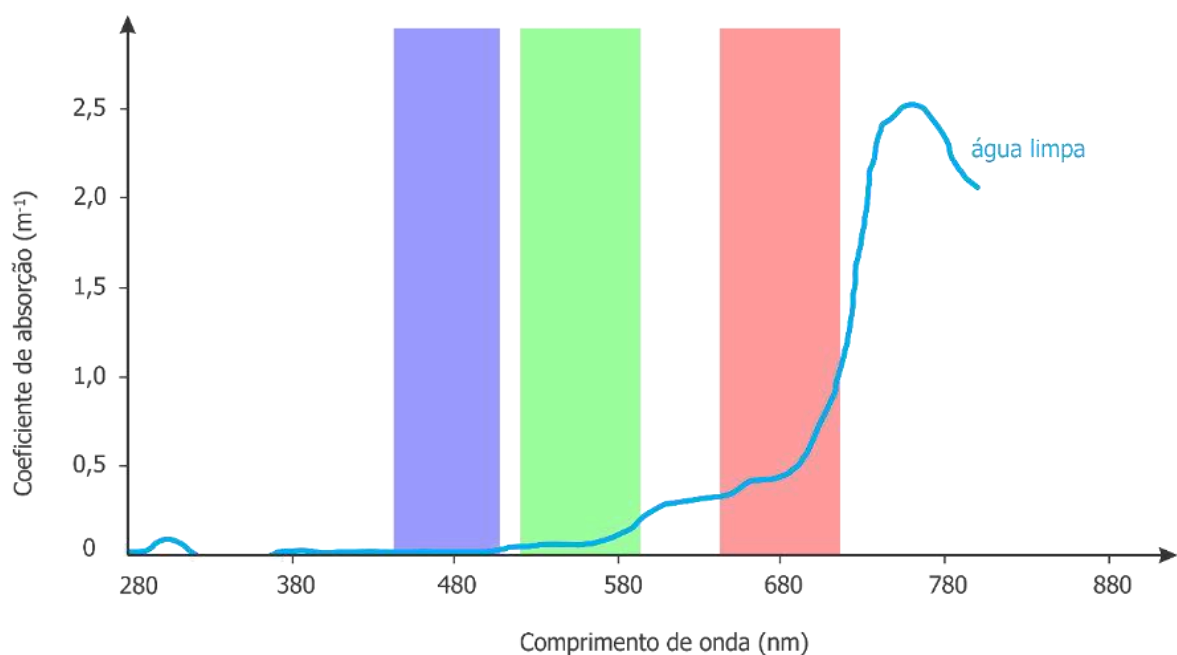
De acordo com Hellweger et al. (2004) existem três vantagens de se observar a qualidade da água a partir de dados de Sensoriamento Remoto: a cobertura contínua de grandes áreas, a cobertura global por meio dos satélites que permite estimar a qualidade da água em locais de difícil acesso e por fim os registros históricos. Porém, o uso das imagens de satélites é limitado.

Toda a radiação eletromagnética (REM) que atinge a superfície da água é absorvida, espalhada e refletida, onde estes fenômenos estão relacionados com as substâncias presentes no corpo d'água (VILELA, 2010). Nas imagens de sensores orbitais, a água apresenta um tom bastante escuro, com valores de níveis de cinza próximos a zero, pois ela absorve quase que totalmente a radiação.

Para Vilela (2010), o espalhamento no meio aquático “deve-se às características do meio e pode ser seletivo ou não seletivo, sendo provocado pela própria água e pelas partículas em suspensão”.

Na água pura, a absorção da radiação se inicia na faixa do verde (Figura 2), enquanto o seu espalhamento ocorre nos menores comprimentos de onda. A energia refletida varia de acordo com a superfície da água. Para o caso da água pura, a reflectância é baixa, e para a água com presença de materiais em suspensão ou dissolvidos, a reflectância é alta.

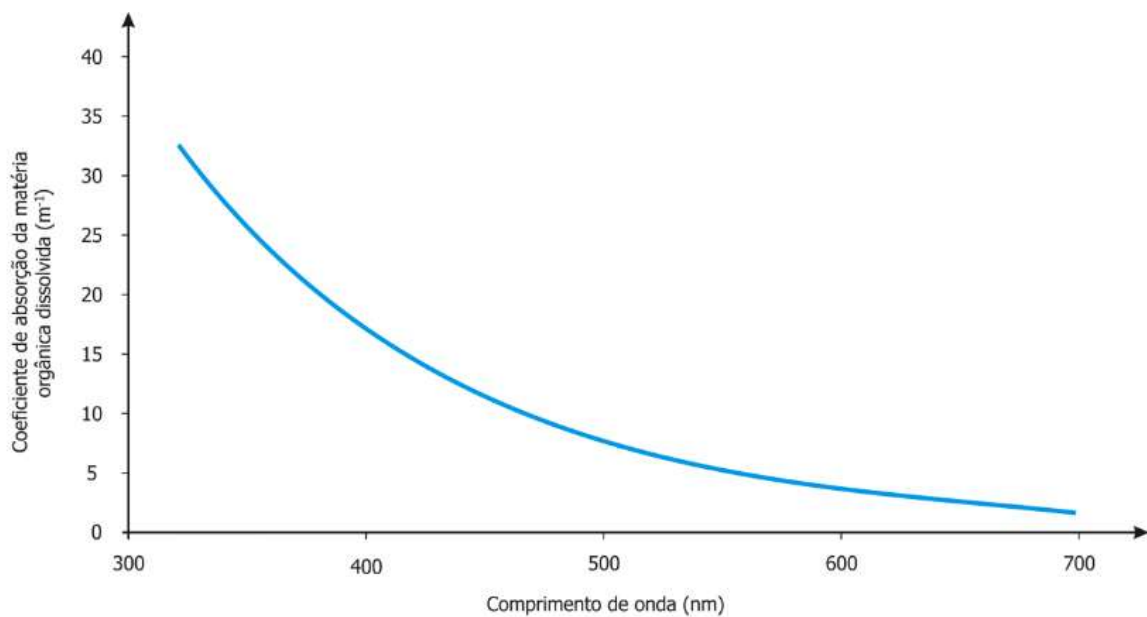
Figura 2 - Coeficiente de absorção da água pura sob as faixas espectrais



Fonte: Adaptado de Kirk (1995) apud Vilela (2010)

Os materiais em suspensão ou dissolvidos alteram as características da resposta espectral da água e a sua coloração, onde o tamanho das partículas presentes influencia no espalhamento da REM. Para estes materiais, os índices de absorção são elevados na faixa do infravermelho, diminuindo com o aumento do comprimento de onda. A Figura 3 apresenta o coeficiente de absorção dos sólidos na água.

Figura 3 - Espectro de absorção da matéria orgânica dissolvida na água



Fonte: Adaptado de Kirk (1995) apud Vilela (2010)

3.1.1.2 Sistemas sensores

Dentre os diversos sensores disponíveis, os escolhidos para realizar a presente pesquisa foram os alocados na série de satélites Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) e CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). A série Landsat possui um grande acervo de imagens que são distribuídas gratuitamente, o CBERS nasceu de uma parceria entre o Brasil e a China.

Os avanços na tecnologia são de extrema importância para os estudos em Sensoriamento Remoto, pois contribuem para o aprimoramento das pesquisas sobre a superfície terrestre. É importante ressaltar a riqueza de informações que podem ser extraídas a partir dos produtos dos sistemas sensores. Maiores detalhes podem ser vistos em Candeias et al. (2009).

3.1.1.2.1 Sensores CBERS-4

Os sensores MUX, PAN, IRS e WFI estão a bordo do satélite CBERS-4 que foi lançado em 7 de dezembro de 2014. Com lançamento previsto para dezembro de 2015, ele foi antecipado por conta da falha no lançamento do seu antecessor.

O CBERS-4 opera numa altitude de 778 km e em órbita sol-síncrona o que assegura a uniformidade da iluminação durante o imageamento. Este satélite é composto por quatro

sistemas imageadores, sendo eles: MUX, WFI, IRS e PAN. As principais características dos sensores estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características dos sistemas imageadores do satélite CBERS 4

Satélite	PAN	MUX	IRS	WFI
Responsável	China	Brasil	China	Brasil
Bandas Espectrais	4 bandas	4 bandas	4 bandas	4 bandas
Largura da Faixa Imageada	60 <i>km</i>	120 <i>km</i>	120 <i>km</i>	866 <i>km</i>
Resolução Espacial	5 <i>m</i> (Banda 1) 10 <i>m</i> (Bandas 2 - 4)	20 <i>m</i>	40 <i>m</i> (Bandas 1 - 3) 80 <i>m</i> (Banda 4)	64 <i>m</i>
Resolução Temporal Real	52 dias	26 dias	26 dias	5 dias
Resolução Radiométrica	8 bits	8 bits	8 bits	10 bits

Fonte: Adaptado de INPE (2016).

A câmera PAN apresenta a melhor resolução espacial entre os sensores a bordo do CBERS-4, com 5 metros na banda pancromática e 10 *m* nas multiespectrais. A MUX possui a função de manter a continuidade do imageamento com uma resolução temporal de 26 dias, a mesma resolução do sensor IRS (Imageador Multiespectral e Termal). A Câmera de Campo Largo (WFI) tem a função de realizar rápida revisita, geralmente em menos de 5 dias. No Quadro 2, estão descritas as características das bandas presentes no CBERS-4.

Quadro 2 - Características das bandas dos sensores do CBERS 4

Câmeras	Bandas	Comprimento de Onda	Banda Espectral
PAN	Banda 1	0,51 - 0,85 μm	PAN
	Banda 2	0,52 - 0,59 μm	G
	Banda 3	0,63 - 0,69 μm	R
	Banda 4	0,77 - 0,89 μm	NIR
MUX	Banda 5	0,45 - 0,52 μm	B
	Banda 6	0,52 - 0,59 μm	G
	Banda 7	0,63 - 0,69 μm	R
	Banda 8	0,77 - 0,89 μm	NIR
IRS	Banda 9	0,50 - 0,90 μm	PAN
	Banda 10	1,55 - 1,75 μm	SWIR
	Banda 11	2,08 - 2,35 μm	SWIR
	Banda 12	10,40 - 12,50 μm	TH
WFI	Banda 13	0,45 - 0,52 μm	B
	Banda 14	0,52 - 0,59 μm	G
	Banda 15	0,63 - 0,69 μm	R
	Banda 16	0,77 - 0,89 μm	NIR

Fonte: Adaptado de INPE (2016).

3.1.1.2.2 Sensores Landsat 8

O programa Landsat foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e captura imagens da superfície terrestre desde 1972, criando assim um acervo incomparável de milhões de cenas. O primeiro satélite da série chamava-se *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-A), posteriormente renomeado para Landsat 1. Entre os satélites da série, dois ainda estão em atividade: o Landsat 7 e o Landsat 8, lançados respectivamente em 1999 e 2013.

O landsat-8 é o mais recente lançamento da série, batizado originalmente de *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), mais tarde rebatizado de Landsat 8, foi lançado em fevereiro de 2013, operando com os sensores OLI e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O grande diferencial do sucessor da série Landsat não está apenas na inclusão de novas bandas, mas também na sua resolução radiométrica de 16 bits. O Quadro 3 apresenta as características do sistema satélite Landsat 8.

Quadro 3 - Características do satélite Landsat 8

Satélite	Landsat 8
Data Lançamento	11/02/2013
Instrumentos Sensores	OLI e TIRS
Bandas Espectrais	11 bandas (9 bandas OLI e 2 bandas TIRS)
Resolução Temporal	16 dias
Resolução Espacial	30 m (Bandas 1 - 7 e 9) 15 m (Banda 8) 100 m (Bandas 10 e 11)

Fonte: Adaptado de USGS (2016).

Os produtos digitais dos sensores acoplados aos satélites estão disponíveis por bandas. Cada banda representa a resposta do alvo em certa faixa do espectro eletromagnético. No Quadro 4 é possível observar as faixas espectrais das bandas disponíveis no sensor OLI.

Quadro 4 - Comprimento de onda das bandas espectrais do sensor OLI

Banda	Comprimento de Onda	Banda Espectral
Banda 1	0,43 – 0,45 μm	Coastal aerossol
Banda 2	0,45 – 0,51 μm	B
Banda 3	0,53 – 0,59 μm	G
Banda 4	0,64 – 0,67 μm	R
Banda 5	0,85 – 0,88 μm	NIR
Banda 6	1,57 – 1,65 μm	SWIR 1
Banda 7	2,11 – 2,29 μm	SWIR 2
Banda 8	0,50 – 0,68 μm	PAN
Banda 9	1,36 – 1,38 μm	Cirrus

Fonte: Adaptado de USGS (2016).

O satélite Landsat 8 apresenta diversas inovações, além da resolução radiométrica de 16 bits, foram adicionadas duas bandas espectrais: a Banda 1 (*Coastal aerossol*), projetada para estudos costeiros e aerossol; e a banda 9, um novo canal de infravermelho para a detecção

de nuvens. Além disso, há também o acréscimo da banda QA, que apresenta informações sobre a presença de nuvens, água e neve (USGS, 2016).

3.1.1.2.3 Relação entre resolução espacial e erro gráfico

Segundo Egels e Kasser (2002) não é possível, em uma imagem digital, distinguir detalhes menores que o tamanho do pixel. Por outro lado, Sabins (1997) menciona que a resolução espacial é a mínima separação entre dois objetos que são distintamente representados e separados. Supõe-se que o erro gráfico (Eg) seja o tamanho do pixel e dado por:

$$Eg = 0,0002 \times Fe \quad (3.1)$$

Onde Fe = Fator de escala.

Com isso é possível obter a escala máxima de representação para produtos cartográficos com as imagens do CBERS 4 e Landsat 8 (Quadro 5).

Quadro 5 - Escala máxima de representação para produtos cartográficos com as imagens

Satélite	Sensor	Resolução Espacial (Re)	Fator de Escala ($Fe = 0,5 \times Re \times 10^4$)	Escala Máxima
CBERS 4	PAN	5 m (Banda 1)	25000	1:25000
		10 m (Bandas 2 - 4)	50000	1:50000
	MUX	20 m (Bandas 2 - 4)	100000	1:100000
	IRS	40 m (Bandas 1 - 3)	200000	1:200000
		80 m (Banda 4)	400000	1:400000
	WFI	64 m (Banda 4)	320000	1:320000
Landsat 8	OLI	30 m (Bandas 1 - 7 e 9)	150000	1:150000
		15 m (Banda 8)	75000	1:75000
	TIRS	100 m (Bandas 10 e 11)	500000	1:500000

Fonte: o Autor (2016).

3.1.1.3 Processamento de imagem para reconhecimento de corpos d'água

O processo de classificação associa cada pixel presente na imagem a uma classe, gerando assim um mapa temático. Este processo pode ser dividido em supervisionado e não supervisionado (MORAES, 1999).

De acordo com Meneses et al. (2012), esta técnica deve ser vista como um método estatístico e probabilístico de se adequar o mapa digital à realidade. Na classificação supervisionada, o analista detém um conhecimento parcial da área a ser estudada e o classificador precisa ser “treinado” para reconhecer as feições. Enquanto que a classificação não supervisionada requer pouca participação do analista no processo.

Os algoritmos de classificação não supervisionada realizam o agrupamento dos pixels com base nas características espectrais, formando os *clusters*. O resultado deste método é uma imagem sem rótulos, pois não se conhece as classes identificadas (MORAES, 1999). O processamento de imagem escolhido para o reconhecimento dos corpos d'água a partir da classificação não supervisionada foi o algoritmo k-médias.

3.1.1.4 Classificação não supervisionada por k-médias

O método de k-médias, desenvolvido por MacQueen em 1967, baseia-se em uma classificação não supervisionada que gera centroides de k regiões (classes) homogêneas em n iterações. Jain (2010) mostra matematicamente o processo da classificação k-médias e os passos iterativos.

O classificador k-médias utiliza um algoritmo que agrupa um conjunto de elementos em um número determinado de classes da forma mais simples possível, utilizando o método dos mínimos quadrados e o ajustamento das médias durante os processos de interações (OHATA e QUINTANILHA, 2005). O algoritmo pode ser dado pela Equação 5.1.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{n \in S_j} \|x_n - c_j\|^2 \quad (3.2)$$

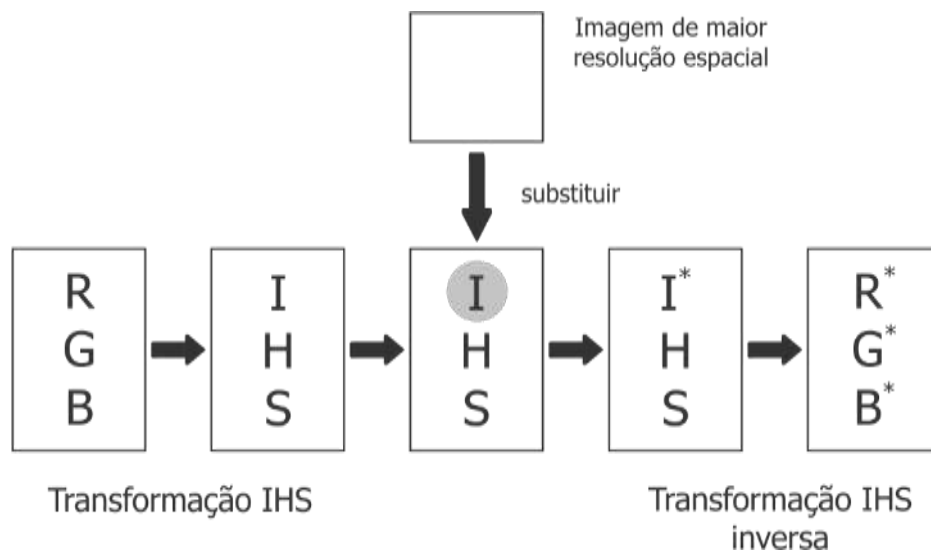
Onde k é o número predefinido de grupos ou *clusters*, c é o centroide e x é o vetor de dimensão n .

3.1.1.5 Fusão de imagens usando IHS

A fusão de imagens é uma técnica de processamento de imagem já bem difundida e utilizada com sensores de média e alta resolução espacial. O objetivo é reunir as características espectrais e espaciais de imagens em uma nova imagem (produto sintético). Os sensores OLI, IKONOS, CBERS-4, entre outros, possuem uma banda pancromática com melhor resolução espacial que as outras bandas multiespectrais e essa técnica de fusão de imagens pode ser utilizada. Maiores detalhes desta técnica podem ser encontrados em Schowengerdt (2007) e Fonseca et al. (2011).

O conceito básico da fusão de imagens IHS é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Esquema da fusão de imagens IHS

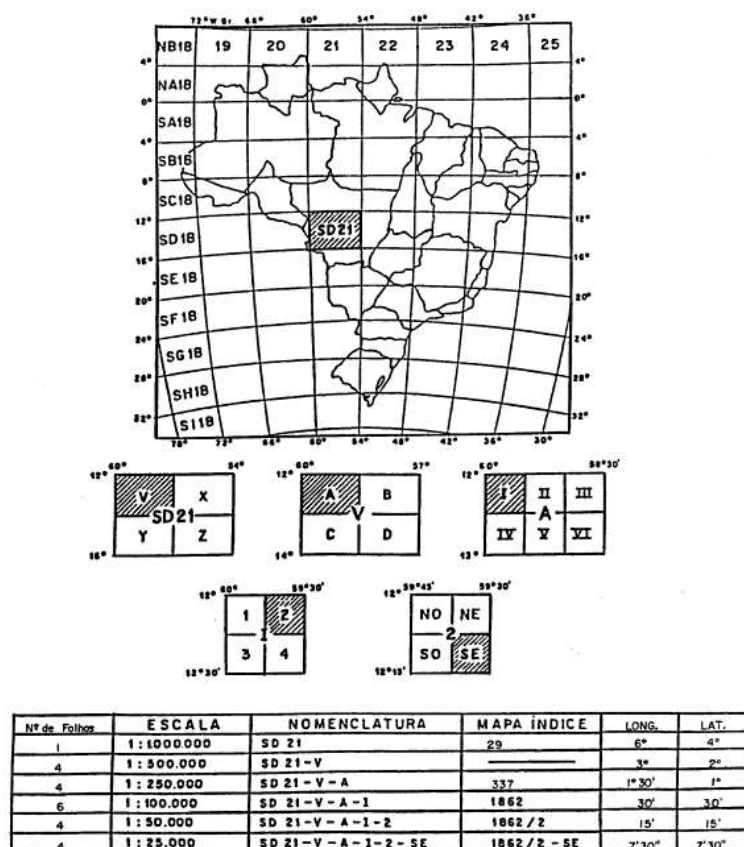


Fonte: Adaptado de Zhang (2002)

3.2 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO E INDE

A base do mapeamento sistemático está ancorada na Carta Internacional ao Milionésimo, na escala de 1:1000000. Esta carta apresenta detalhes planimétricos e altimétricos de forma generalizada e com uma precisão de acordo com a escala publicada (Figura 5). Ela é responsável pelo fornecimento de subsídios para execução de estudos e análises de aspectos gerais e estratégicos, a nível mundial (IBGE, 1993).

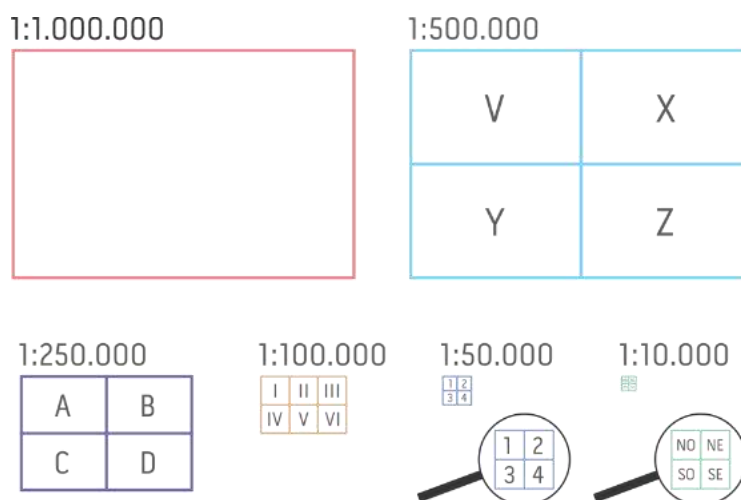
Figura 5 - Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo e folhas



Fonte: IBGE, 1998

O mapeamento sistemático é um desdobramento da carta ao milionésimo e a Figura 6 apresenta esquematicamente essa subdivisão. Um detalhamento disso pode ser visto em IBGE (1993); IBGE (1998); Melo, Candeias e Mendes (2003); Camboim et al. (2008).

Figura 6 - Representação esquemática do desdobramento das cartas



Fonte: Adaptado de Melo, Candeias e Mendes (2003)

O propósito inicial consistia em mapear em sua totalidade toda a extensão territorial do país em cada um dos desdobramentos da carta ao milionésimo, porém isto não se viabilizou na prática. O último grande investimento do Governo Federal no mapeamento sistemático ocorreu entre 1978 e 1985, através do Programa Especial de Dinamização da Cartografia Terrestre (PDC), que tinha como objetivo o complemento na elaboração de folhas topográficas nas escalas de 1:100000 e 1:50000 (CORREIA, et al., 2004).

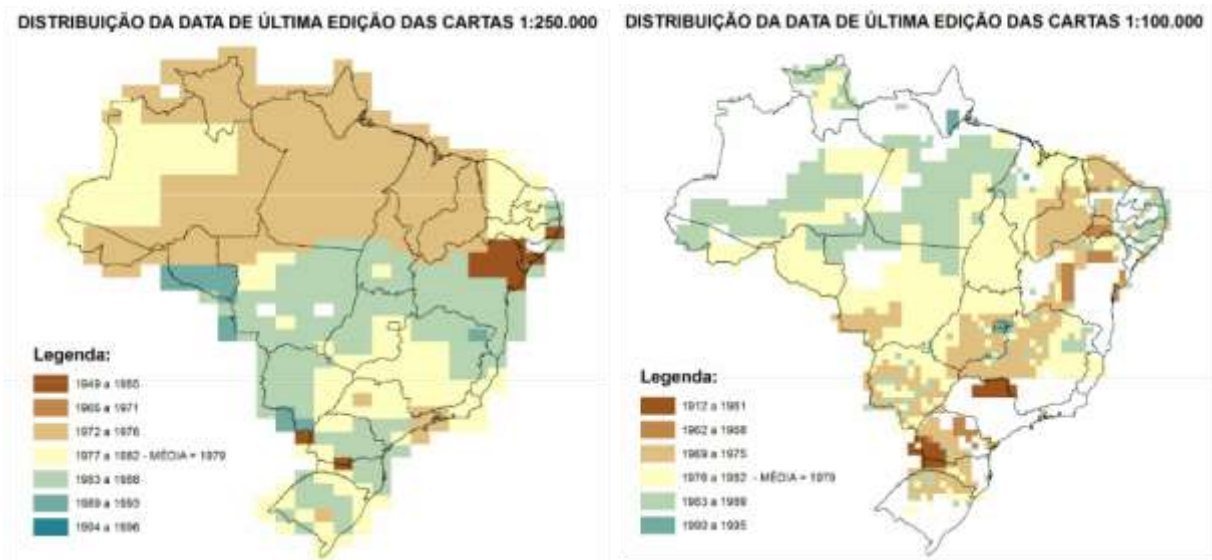
A atualização cartográfica no Brasil não é trivial devido as suas dimensões continentais e aos fatores climáticos. A situação do mapeamento pode ser vista nas Figuras 7 e 8 onde se tem uma visualização geral dos produtos cartográficos do mapeamento sistemático e o desafio de buscar alternativas automatizadas para geração desses produtos. Para escalas maiores, tem-se ainda mais dificuldade de uma representação atualizada.

Figura 7 - Desafio do mapeamento sistemático no país.



Fonte: DSG (2013)

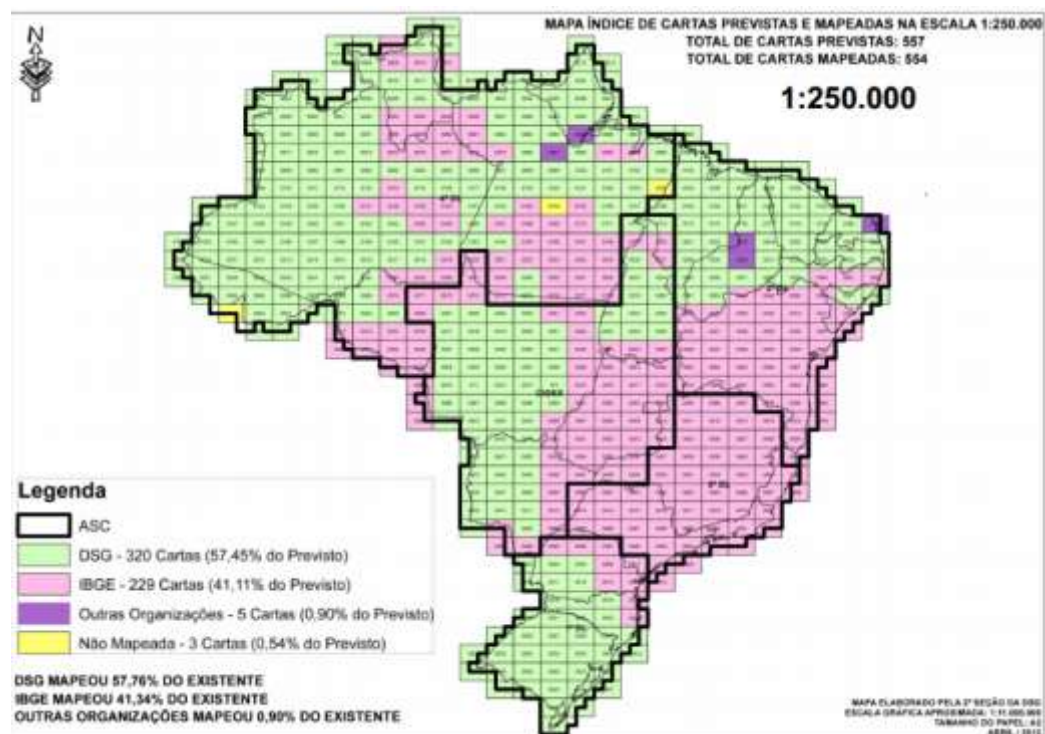
Figura 8 - Situação do mapeamento sistemático no Brasil



Fonte: Adaptada de Camboim (2008)

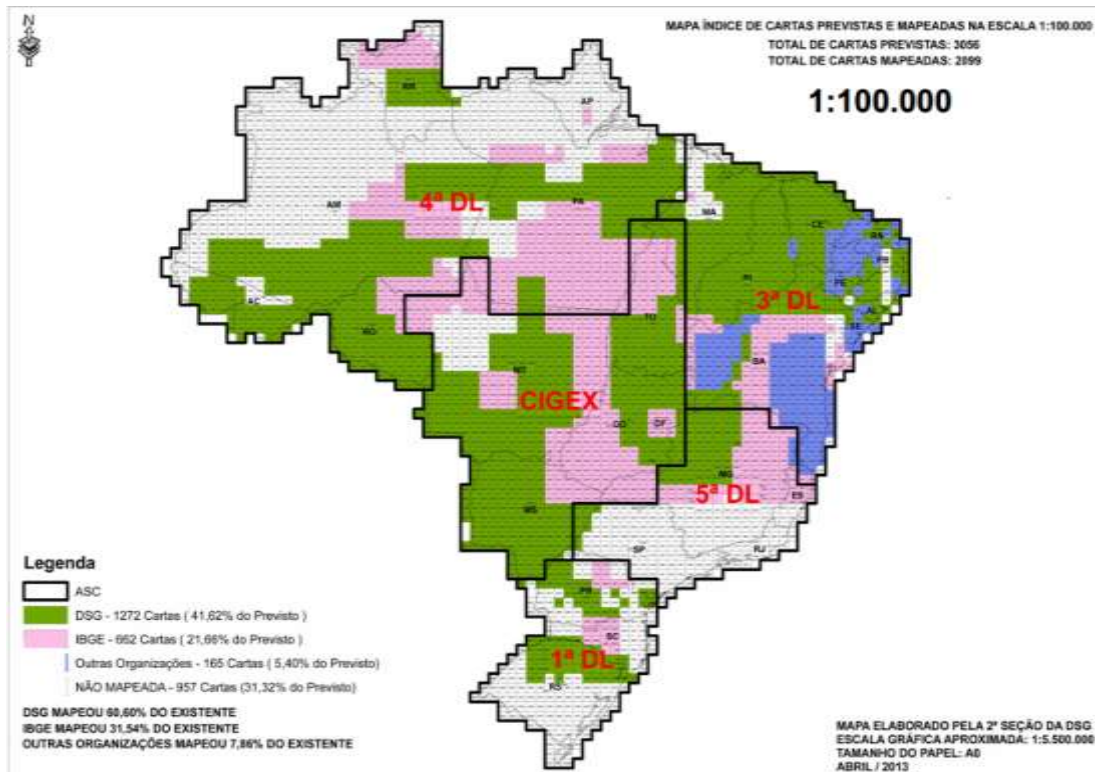
Um esforço para a atualização do mapeamento cartográfico pode ser visto nas Figuras 9 e 10. Nessas figuras é possível observar os órgãos que estão responsáveis pelo mapeamento e a situação para o ano de 2013.

Figura 9 - Mapa índice com as atualizações previstas para a escala de 1:250000 em 2013



Fonte: DSG (2013)

Figura 10 - Mapa índice com as atualizações previstas para a escala de 1:100000 em 2013



Fonte: DSG (2013)

Por mais que possa parecer que a escala de 1:100000 contenha pouco detalhamento, este mapeamento é bastante utilizado principalmente para as atividades por parte dos órgãos do governo. Na França, por exemplo, o governo adotou este mapeamento para disseminar as informações turísticas do país, produto este que é amplamente comercializado (CORREIA, et al., 2004).

Camboim et al. (2008) afirma que não é possível construir uma INDE sem cartografia sistemática, que seja atualizada; normatizada e com investimentos contínuos além de políticas públicas para distribuição desses dados. Autores como Neto, et al. (2011); Lunardi, et al. (2012); Dornelles e Iescheck (2013) e Bravo et al. (2015) apresentam caminhos na construção da INDE. Quanto a documentação oficial em sites, tem-se o Decreto nº 6666, de 27 de novembro de 2008 que institui a INDE (BRASIL, 2008), a Legislação Cartográfica (CONCAR, 2010) e o Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais (CONCAR, 2009), além do site da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2016).

Outrora Correia et al. (2004), Gouveia et al. (2015) e Vergara, Cintra, J. D'Alge (2002) apresentam imagens de sensoriamento remoto como alternativa a atualização do mapeamento temático. Ramme e Santos (2013) apresentam o desenvolvimento de um banco de dados geográficos para a categoria de informação hidrografia da ET-EDGV (Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais) em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). A Figura 11

campos correspondem a grandezas como o tipo do solo, a topografia e o teor de minerais (BORGES, 2002).

4 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio São Francisco abrange 521 municípios em seis unidades da federação: Alagoas, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Pernambuco e Sergipe, além do Distrito Federal, com uma área de aproximadamente 638.000 km^2 , cerca de 7,5% do território nacional. O Rio São Francisco nasce no município de Minas Gerais e percorre 2.700 km até chegar à sua foz, na divisa entre os municípios de Alagoas e Sergipe (ANA, 2013).

De acordo com dados de 2010 do IBGE a população da bacia é de aproximadamente 14,3 milhões, onde 77% está localizada em área urbana e 23 % na zona rural. A bacia apresenta um grande contraste socioeconômico, com áreas de riqueza elevada e áreas de pobreza extrema. Segundo a ANA, apenas 93 municípios dos que possuem a sua sede na bacia, tratam seus esgotos.

Com o desenvolvimento industrial no nordeste brasileiro, a partir da década de 80, a demanda por energia elétrica aumentou significativamente, o que determinou com urgência a construção de usinas para o aproveitamento do potencial hídrico do rio São Francisco (CODEVASF, 2010).

O potencial hidrelétrico da bacia é distribuído nas usinas de Três Marias, Queimado, Sobradinho, Itaparica, o Complexo de Paulo Afonso, Moxotó e Xingó. Por conta da sua extensão, a bacia é dividida em 4 regiões: o Alto, o Médio, o Submédio e o Baixo São Francisco.

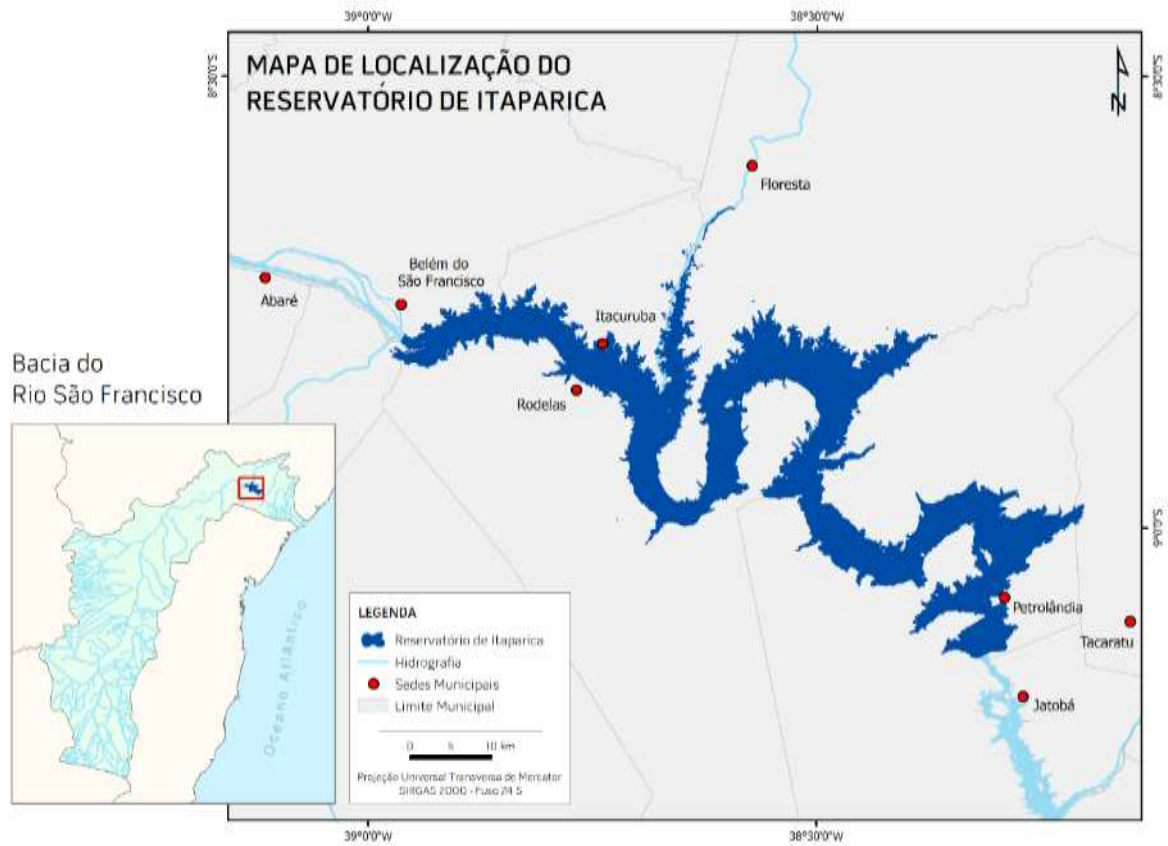
Dados do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) apontam que aproximadamente 2.800 ha dos solos da bacia do Rio São Francisco estão salinizados ou apresentam tendência a salinização. Os solos predominantes no submédio São Francisco com aptidão para a agricultura irrigada são os latossolos e argissolos, cujos solos requerem o uso de adubos e da correção da sua acidez. Além dos solos citados, também ocorre na região os cambissolos e os neossolos quartzarênicos (ANA, 2004).

Entre as hidrelétricas instaladas no Rio São Francisco quatro usinas estão localizadas na região do Submédio do São Francisco, sendo elas, Sobradinho, Itaparica, o Complexo de Paulo Afonso e Xingó. Entre elas, a Usina Hidrelétrica (UHE) de Itaparica começou a ser construída nos anos 80, mas entrou em operação com sua capacidade total apenas em 1990, gerando 1500 MW em suas seis turbinas. O reservatório tem a capacidade de armazenar cerca de $34 \times 10^9 \text{ m}^3$.

O reservatório de Itaparica (Figura 12), objeto de estudo desta pesquisa, é utilizado para a geração de energia e também para o abastecimento humano, industrial, para a irrigação dos perímetros e o lazer da população. Detalhes sobre a área do reservatório podem ser

encontrados no Diagnóstico Socioambiental da Área de Influência Direta do Reservatório da UHE de Itaparica.

Figura 12 - Localização do Reservatório de Itaparica



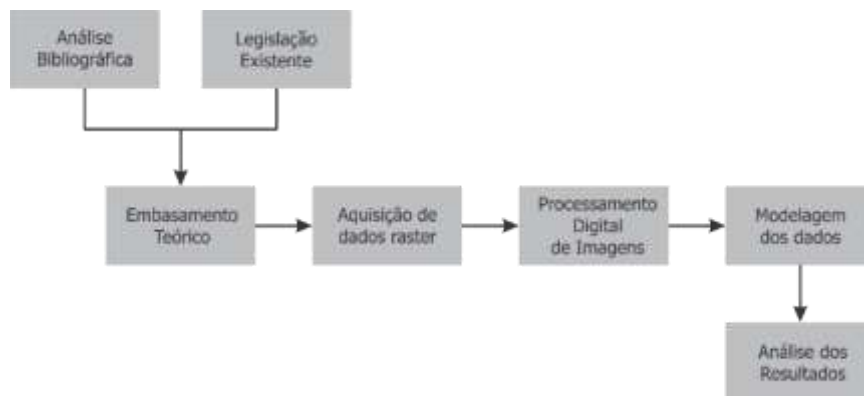
Fonte: o Autor (2016).

Com a inundação da área ocupada pelo lago de Itaparica, para as famílias afetadas foram construídas as cidades de Rodelas, Barra do Tarrachil e Glória no estado da Bahia e do lado Pernambucano, as cidades de Petrolândia e Itacuruba. Para atender toda a população foram implantados ainda nove perímetros de irrigação, seis em Pernambuco e três na Bahia, abrangendo um total de aproximadamente 4.900 famílias.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção serão apresentados os materiais que foram utilizados na pesquisa e os métodos para atingir os objetivos propostos. De forma geral, os procedimentos metodológicos desta pesquisa consistem no levantamento bibliográfico, aquisição e análise dos dados das imagens de satélite, modelagem dos dados, geração da informação e pôr fim a análise dos resultados. No fluxograma apresentado na Figura 13 têm-se os procedimentos da pesquisa.

Figura 13 - Fluxograma dos métodos aplicados para obtenção dos mapas finais



No levantamento bibliográfico identificou-se os materiais e métodos adequados para a utilização do Sensoriamento Remoto na atualização cartográfica de corpos d'água, além de todo o arcabouço legal da INDE, os sistemas sensores e as técnicas de processamento de imagem que poderiam ser utilizadas.

5.1 MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa foram utilizadas imagens orbitais advindas dos sensores a bordo dos satélites artificiais CBERS-4 e Landsat-8, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a *United States Geological Survey* (USGS), respectivamente, além de cartas topográficas SC.24-X-A e SC.24-X-A-V. Para os processamentos foram utilizados os softwares SPRING, ENVI e ArcGIS 10.2.

Os sensores utilizados na pesquisa foram: o sensor OLI, a bordo do Landsat 8 e os sensores MUX, PAN e IRS, todos alocados no satélite artificial CBERS-4. A resolução temporal e espacial dos sensores bem como a sua disponibilidade de aquisição de maneira gratuita, foram os principais motivos que levaram a escolha desses imageadores.

As imagens do CBERS-4 foram obtidas junto ao INPE, para os sensores MUX, PAN e IRS. As cenas foram obtidas no dia 09/04/2016 para todos os sensores citados e dia 05/11/2015 apenas para o sensor MUX.

Para o satélite Landsat-8 foi obtida apenas a imagem do dia 05/11/2015 do sensor OLI, adquirida gratuitamente através do sítio da *United States Geological Survey* (USGS), a escolha desta imagem deve-se ao fato de coincidir com a data de passagem do sensor MUX, a bordo do CBERS-4. As bandas 4, 3 e 2 foram consideradas para compor a imagem em cor natural e a banda 5 para obter o limite do reservatório, além da banda 8 utilizada na fusão IHS.

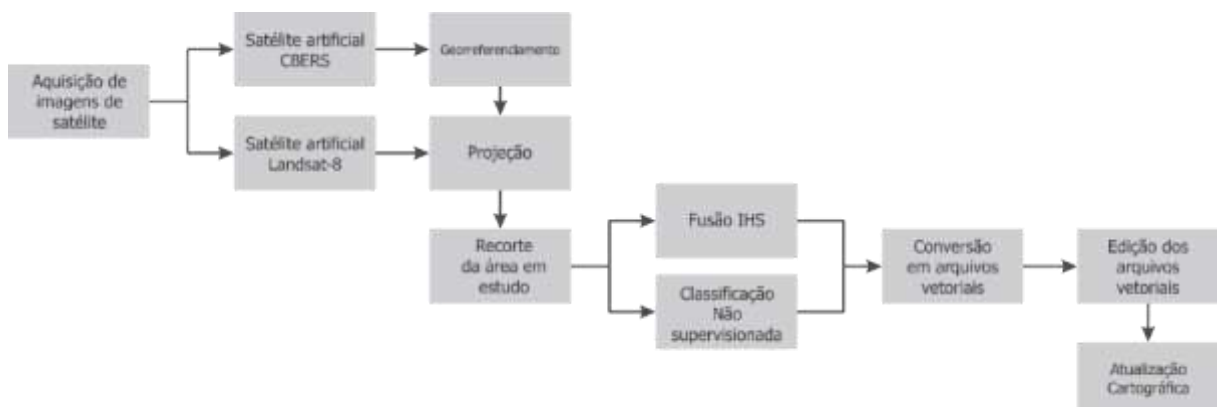
Para todos os sensores utilizados, tanto do satélite CBERS-4 como do Landsat-8, foi verificada a escala máxima de representação, a partir da análise do erro gráfico de cada imagem, como foi apresentado anteriormente no Quadro 5.

Para a presente pesquisa foi utilizada a Carta Topográfica SC.24-X-A referente à folha Belém do São Francisco, na escala 1:250000 (DSG, 1980). Ela foi obtida a partir de dados do projeto RADAM (imagens de RADAR de 1975). Também foi utilizada a carta topográfica, Folha Airi, SC.24-X-A-V, MI 1443, na escala 1:100000. As cartas estão presentes nos anexos A e B desta dissertação.

5.2 MÉTODOS

A partir das cenas adquiridas foram aplicadas as devidas técnicas de processamento para que fossem obtidas as informações desejadas. O esquema metodológico utilizado é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Esquema metodológico



Inicialmente, as cenas foram divididas em dois grupos com base na data de aquisição das imagens pelos satélites artificiais. Em seguida, foram identificadas as bandas

utilizadas na pesquisa. O Quadro 6 apresenta os grupos de imagens e as bandas utilizadas em cada sensor.

Quadro 6 - Grupos de imagens obtidas.

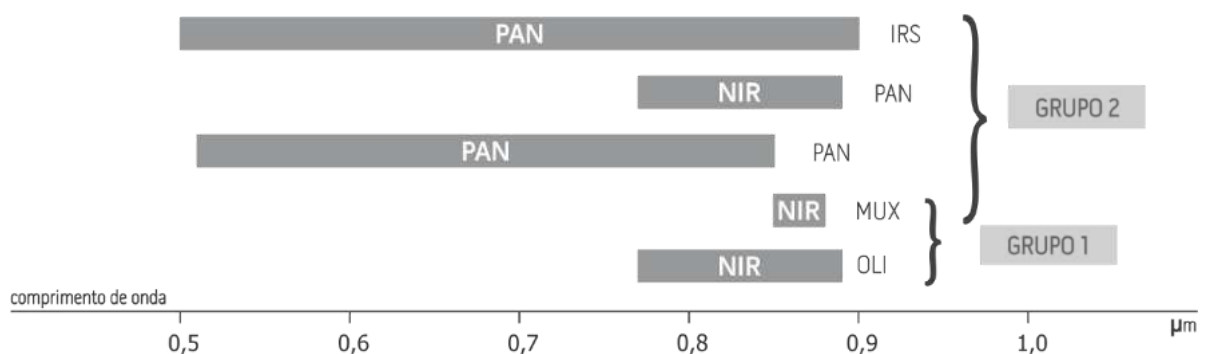
Grupo	Data da Imagem	Sensor	Banda	Comprimento de Onda	Resolução Espacial
1	05/11/2015	MUX	Banda 8 - NIR*	0,77 - 0,89 μm	20 m
		OLI	Banda 5 - NIR*	0,85 - 0,88 μm	30 m
2	09/04/2016	MUX	Banda 8 - NIR*	0,77 - 0,89 μm	20 m
		PAN	Banda 1 - PAN**	0,51 - 0,85 μm	5 m
		PAN	Banda 4 - NIR*	0,77 - 0,89 μm	10 m
		IRS	Banda 9 - PAN**	0,50 - 0,90 μm	40 m

Fonte: o Autor (2016).

*NIR – Near InfraRed **PAN – Panchromatic

Foram escolhidas para a extração das bordas do reservatório as bandas do infravermelho próximo para os sensores OLI, MUX e PAN; e a pancromática dos sensores PAN e IRS. Na banda do infravermelho próximo (IVP), os corpos d'água são facilmente identificados, porque a água possui uma baixa reflectância neste comprimento de onda, realçando a distinção entre os alvos terra e água (POLIDORO, et al., 2004). Enquanto que o intervalo do comprimento de onda na banda PAN é maior que no IVP, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Comprimento de onda das bandas utilizadas

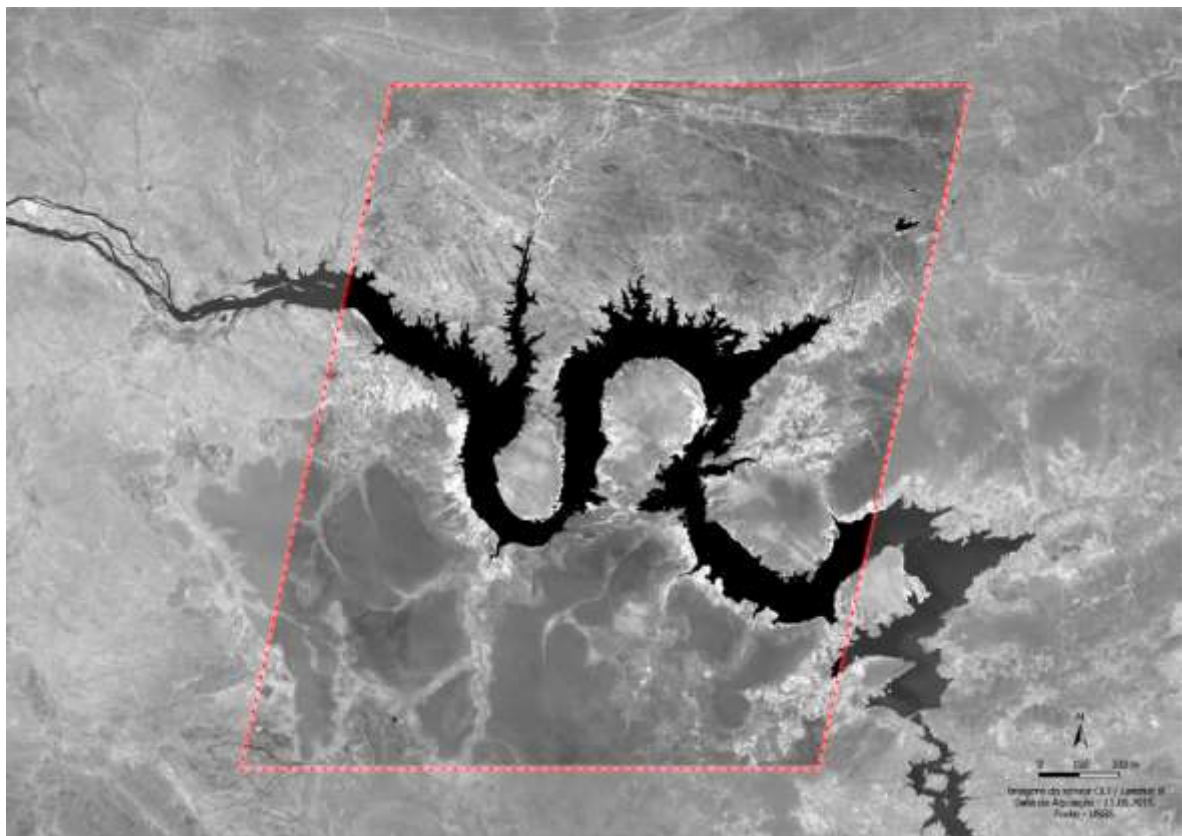


As imagens do CBERS-4 foram georreferenciadas no ArcGIS 10.2, tendo como base a imagem do sensor OLI do dia 05/11/2015. Todas as cenas do satélite Landsat 8 são ortorretificadas, pois a NASA e a USGS realizam os procedimentos que dispensam o trabalho

de correção geométrica pelo usuário. Após o georreferenciamento todas as bandas foram reprojetaadas para a projeção *Universal Transverse de Mercator* (UTM) - Zona 24S, Sistema Geodésico de Referência - SIRGAS 2000.

As cenas foram recortadas, por meio da ferramenta *Extract by Mask* do ArcGIS, a fim de se trabalhar a mesma área em todos os sensores. O recorte foi necessário porque cada sensor possui a sua faixa de imageamento, sendo a do Landsat, por exemplo, de 170 *km* norte-sul por 185 *km* leste-oeste. A Figura 16 apresenta o recorte da área de estudo.

Figura 16 - Recorte do reservatório de Itaparica



Fonte: o Autor (2016).

Após o recorte, as bandas foram importadas para o SPRING 5.3, onde foram realizados os processos de fusão de imagens IHS e classificação não supervisionada k-médias. A fusão combinou imagens de diferentes características espectral e espacial a fim de sintetizá-las em uma nova imagem com uma melhor resolução espacial. O processo de classificação foi utilizado para identificar a área ocupada pelo reservatório de Itaparica no recorte definido. A classificação digital de imagens utilizada foi unidimensional, pois apenas um canal espectral foi utilizado, e não supervisionada, através do algoritmo k-médias.

No processo de classificação realizado no SPRING foi fornecido apenas o número de temas desejados e de iterações, que corresponde ao número de vezes que o algoritmo pode rearranjar os dados. Foram realizadas 3 classificações para cada banda utilizada na pesquisa, com 3, 4 e 5 temas, todos com 10 iterações.

Posteriormente, foi realizado o mapeamento dos temas de todas as imagens classificadas, criando assim uma imagem temática. O objetivo da classificação é a extração do limite do reservatório em cada uma das bandas, por isso no mapeamento foram criadas apenas duas classes: água e outros, onde cada um dos temas classificados foi agregado em uma dessas classes.

Após o mapeamento das classes, as imagens foram exportadas para serem trabalhadas no ArcGIS onde as cenas foram importadas e convertidas em um arquivo vetorial por meio da ferramenta *Raster to Polygon* presente no *ArcToolbox*. Esta ferramenta converte um arquivo matricial em um arquivo vetorial.

Após a conversão de todas as imagens, as mesmas foram editadas a fim de se obter no *shapefile* apenas o limite do reservatório de Itaparica na área do recorte. Posteriormente, as áreas do reservatório em todas as cenas foram quantificadas e então foi realizada uma análise para verificar os resultados da classificação e a resolução espacial adequada entre os sensores utilizados, para se identificar o objeto de estudo.

Segundo Meneses et al. (2012), as imagens com uma pequena resolução espacial, como o Landsat e o CBERS servirão para estudos em escalas mais regionais, enquanto as imagens com resoluções espaciais grandes como o Ikonos, tem uma grande importância nos estudos locais.

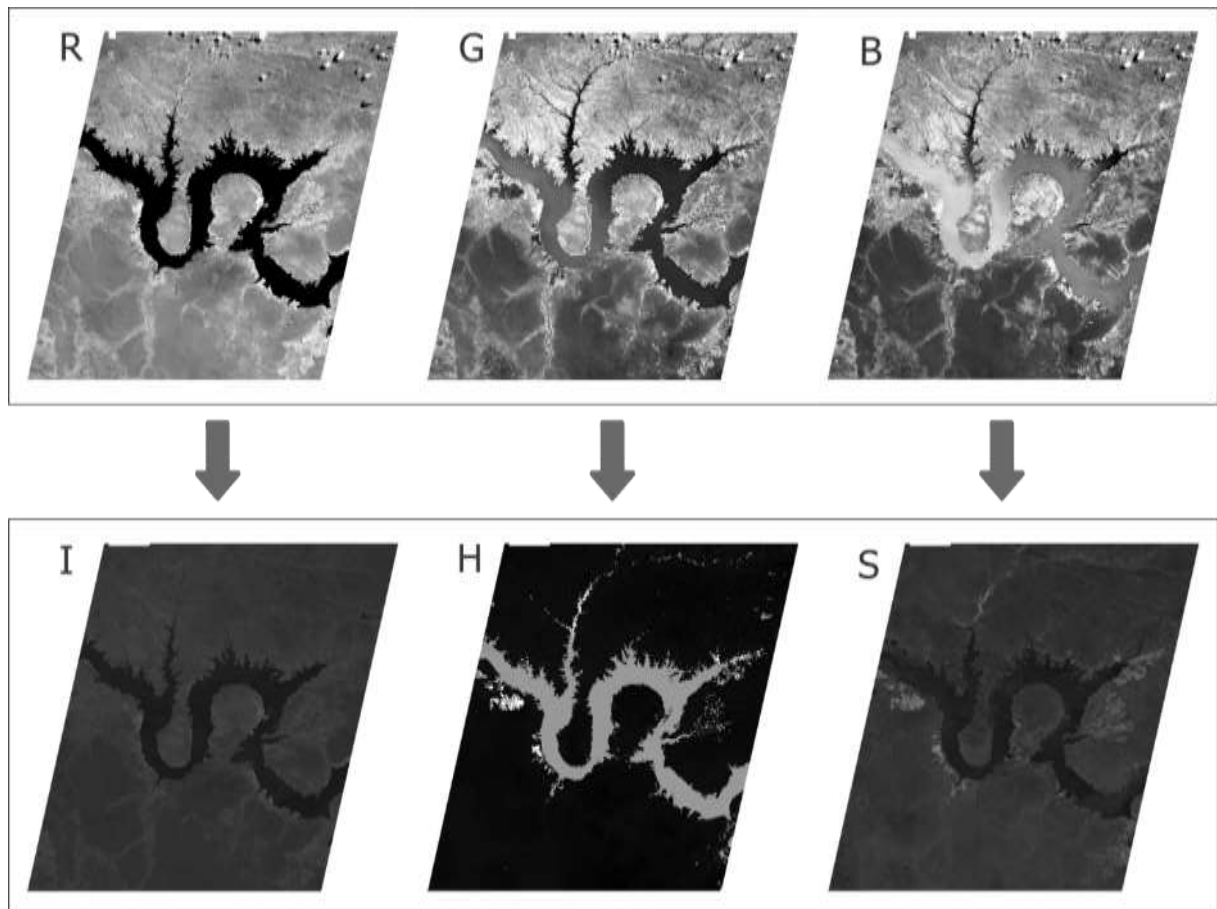
Logo após a realização das análises, foram geradas as atualizações cartográficas.

6 RESULTADOS

6.1 FUSÃO DE IMAGENS

O primeiro passo para a fusão de imagens IHS foi a transformação de cores RGB para IHS, utilizando o SPRING. Neste caso, as cores passaram a ser representadas por meio das componentes: I (intensidade), H (matiz) e S (saturação), como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Transformação RGB para IHS para o sensor PAN



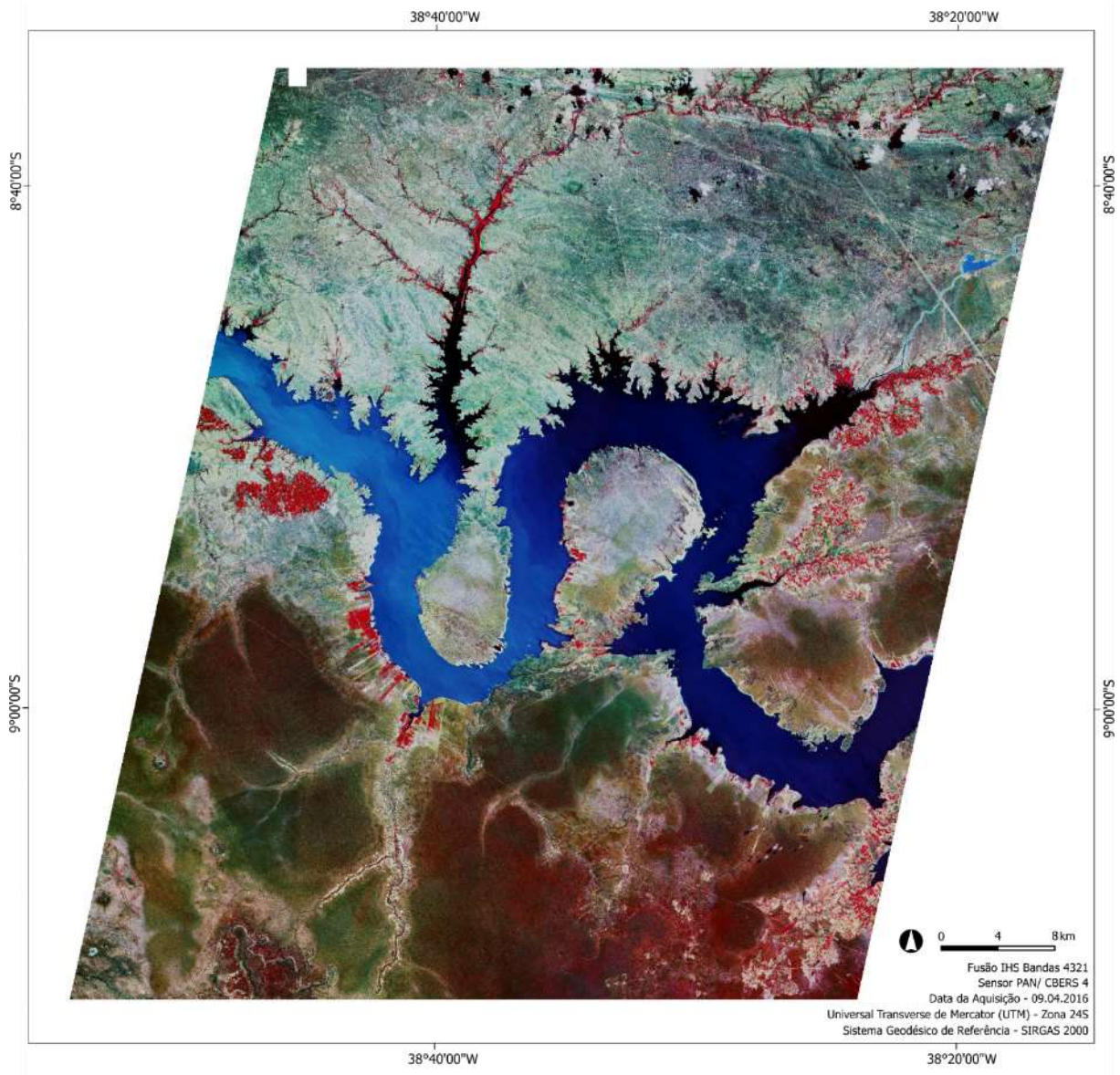
Fonte: o Autor (2016).

Para a fusão de imagens IHS do sensor PAN/CBERS-4 foram utilizadas as bandas 4, 3, 2 e 1, respectivamente infravermelho próximo, vermelho, verde e pancromática. Para o sensor OLI/Landsat 8, foram empregadas as bandas 8, 5, 4 e 3, correspondendo as bandas pancromática, infravermelho próximo, vermelho e verde.

Após a conversão do sistema RGB para IHS, a componente intensidade, responsável pela medida do brilho de uma determinada cor, foi substituída pela imagem

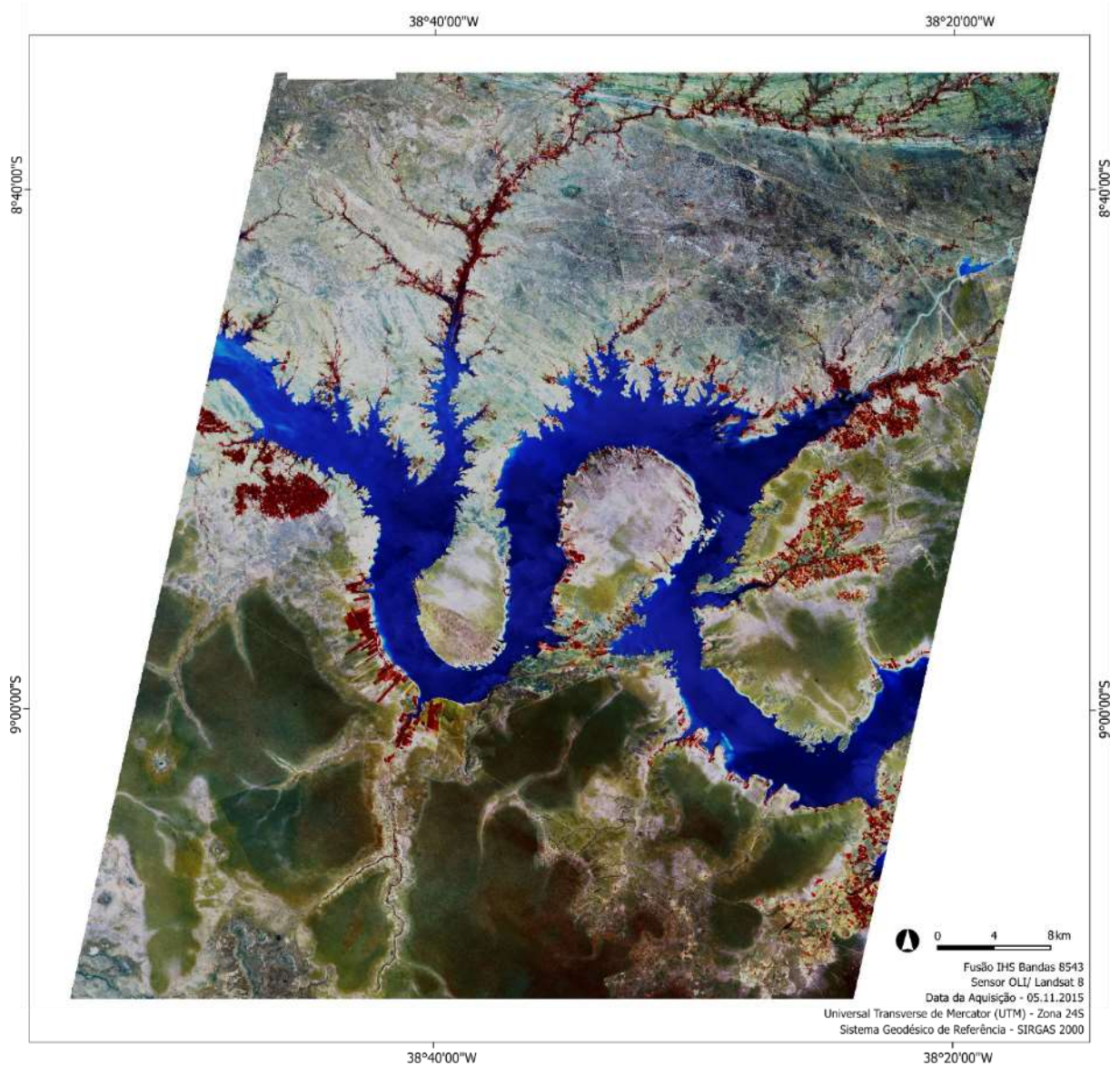
pancromática e, em seguida foi realizada a transformação IHS - RGB. Os resultados das imagens fusionadas são apresentados nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Imagem fusionada do sensor PAN / CBERS com as bandas 4321



Fonte: o Autor (2016).

Figura 19 - Imagem fusionada do sensor OLI / Landsat 8 com as bandas 8543



Fonte: o Autor (2016).

Para este processo foram utilizados apenas os sensores PAN do dia 09/04/2016, apresentado na Figura 18, e o OLI do dia 05/11/2015 (Figura 19), pois estes instrumentos possuem uma banda com melhor resolução espacial, podendo assim sintetizar uma nova imagem multiespectral com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original.

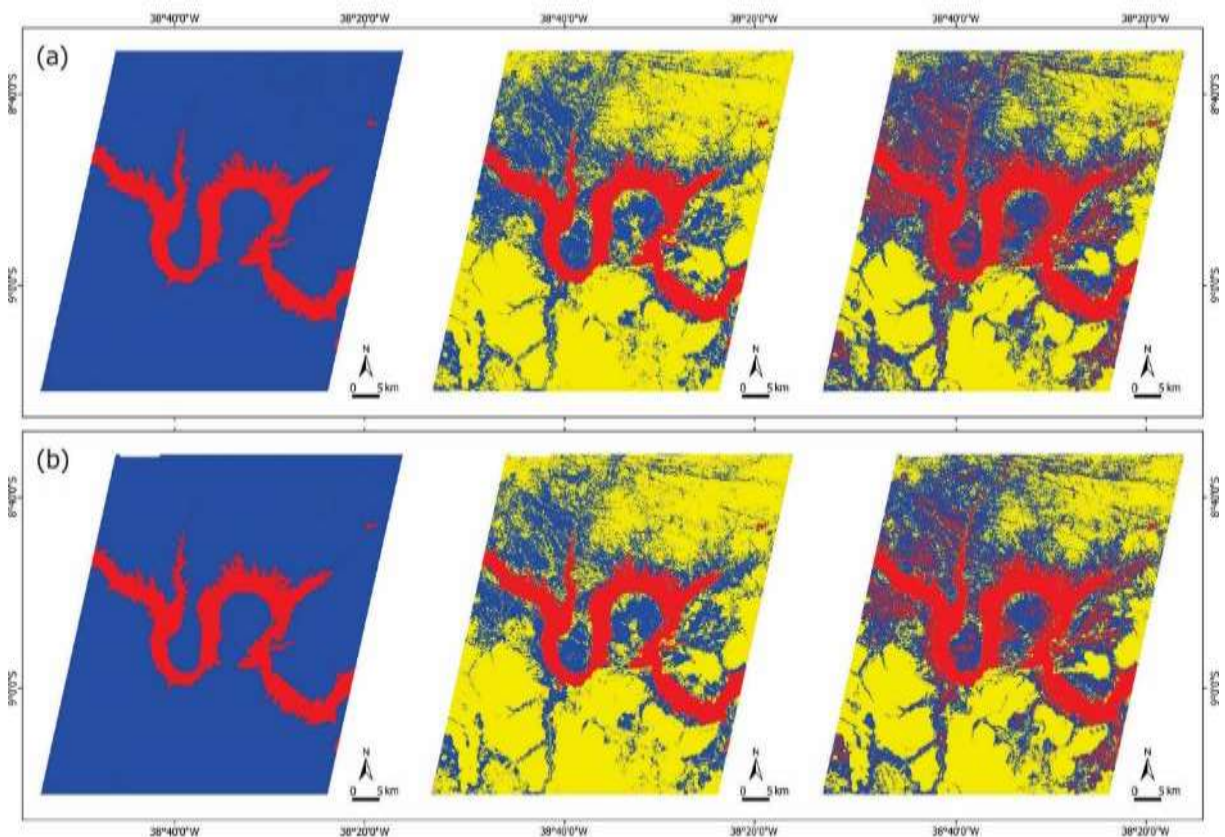
Por meio de uma análise visual entre as imagens antes e após as fusões, nota-se que as imagens funcionadas apresentaram uma melhor identificação dos detalhes, onde os mesmos aparecem realçados após a fusão.

É importante ressaltar que a transformação IHS também pode ser usada para combinar imagens de diferentes sensores com diferentes resoluções espaciais.

6.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

No processo de classificação realizado no SPRING, foram geradas 3 imagens temáticas para cada sensor com a finalidade de verificar o número de classes adequado para a extração da área ocupada pelo reservatório. Na Figura 20, é possível observar o resultado da classificação para o grupo 1 de sensores utilizados.

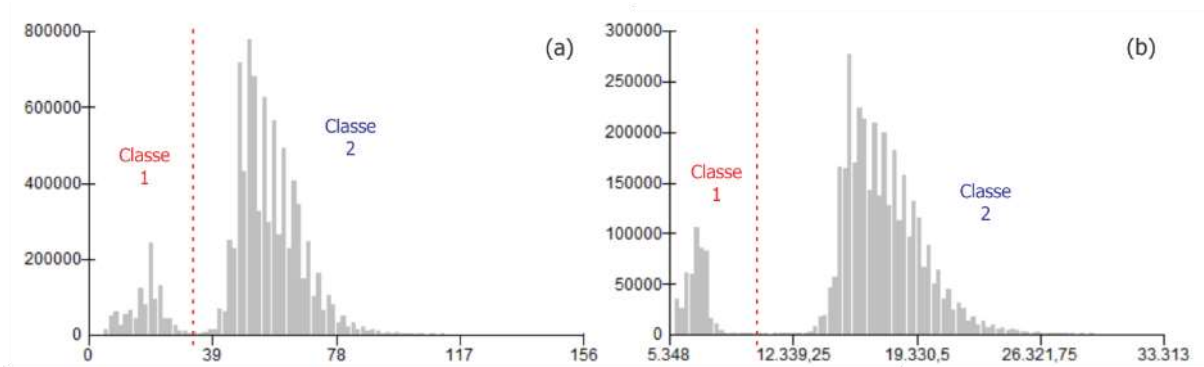
Figura 20 - Classificação das bandas NIR dos sensores (a) MUX e (b) OLI



Fonte: o Autor (2016).

É possível observar a olho nu que a diferença entre os resultados para as bandas NIR dos sensores MUX e OLI do dia 11/05/2015 não é perceptível. Temos na Figura 21 os histogramas para as bandas utilizadas. O histograma de uma imagem mostra o número de pixels naquela imagem que apresentam um determinado valor de nível de cinza.

Figura 21 - Histograma das bandas NIR do sensor MUX (a) e OLI (b)



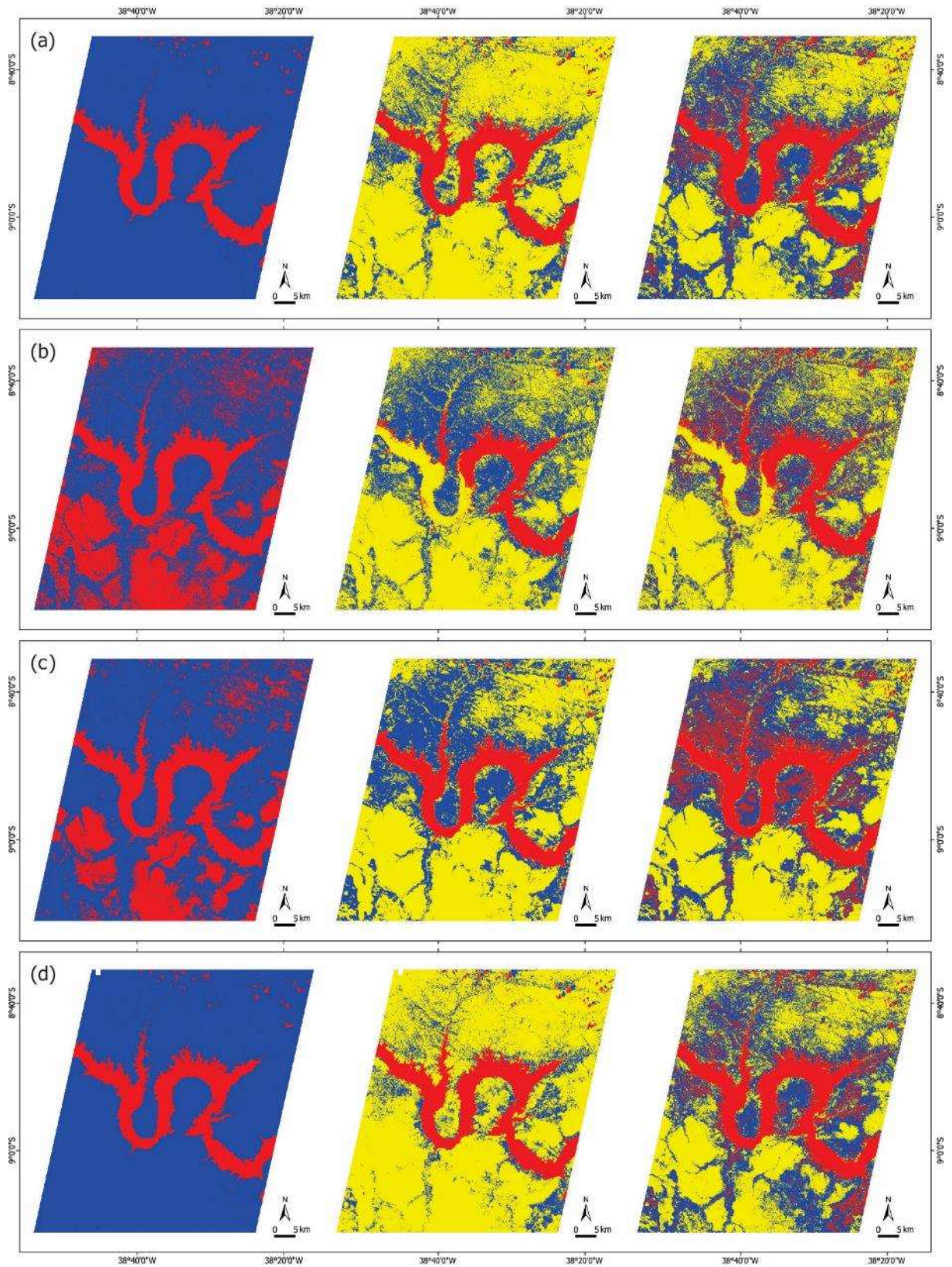
Fonte: o Autor (2016).

Analisando o histograma das bandas utilizadas no grupo 1 apresentado na Figura 21, é possível perceber que é fácil discriminar a água neste intervalo espectral, pois os níveis de cinza que representam a água são próximos a zero, enquanto os demais alvos, como solo e vegetação possuem valores altos de níveis de cinza. Com isso, temos duas classes bem definidas, o que facilita na classificação dos corpos d'água.

No intervalo de onda do infravermelho próximo a água tem a característica de refletir uma parcela muito pequena da energia incidida, pois a maior parte desta energia é transmitida, absorvida ou dispersada pelo alvo.

Na Figura 22 temos o resultado da classificação para os sensores a bordo do CBERS-4, cuja data de passagem é 09/04/2016.

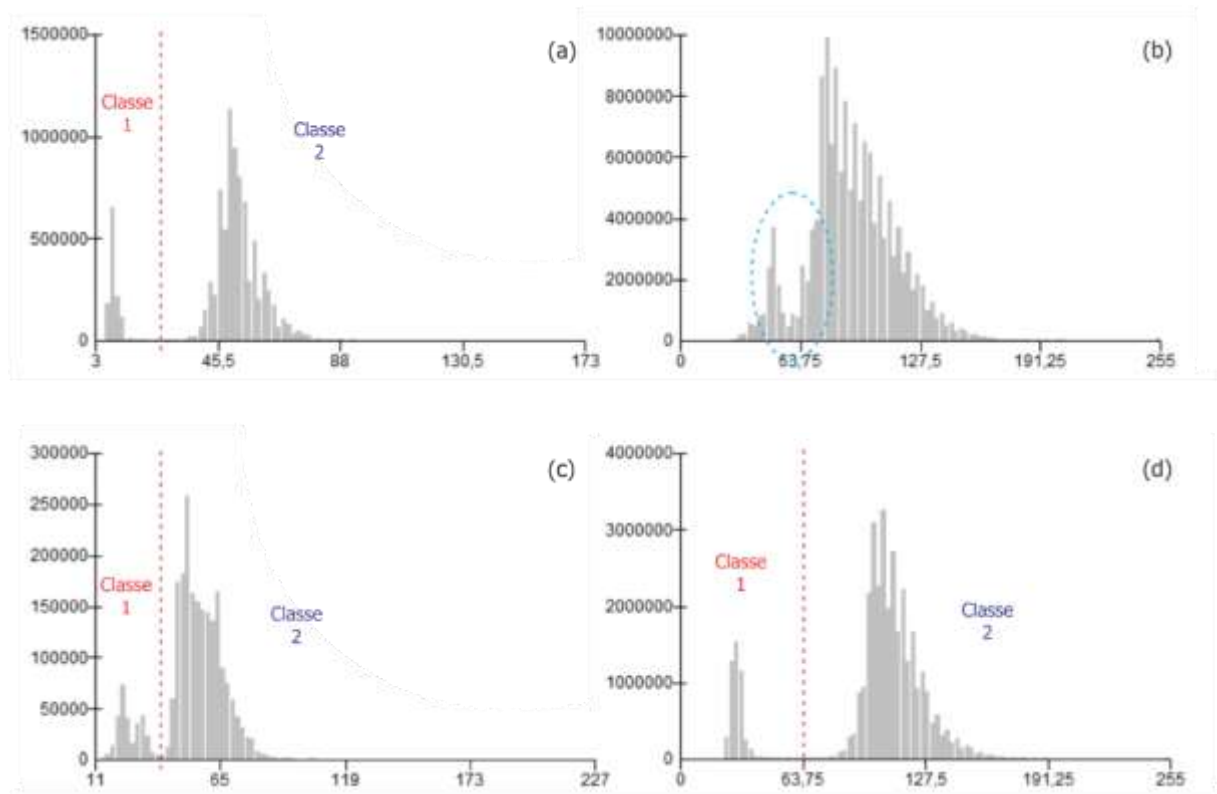
Figura 22 - Classificação das bandas/sensor do grupo 2; (a) NIR/MUX, (b) PAN/PAN, (c) PAN/IRS e (d) NIR/PAN



Fonte: o Autor (2016).

Visualizando o histograma das imagens obtém-se uma indicação da qualidade do contraste e do brilho médio. A Figura 23 apresenta os histogramas para o grupo 2 de imagens.

Figura 23 - Histograma das bandas utilizadas dos sensores; (a) MUX, (b) PAN 5m, (c) IRS e (d) PAN



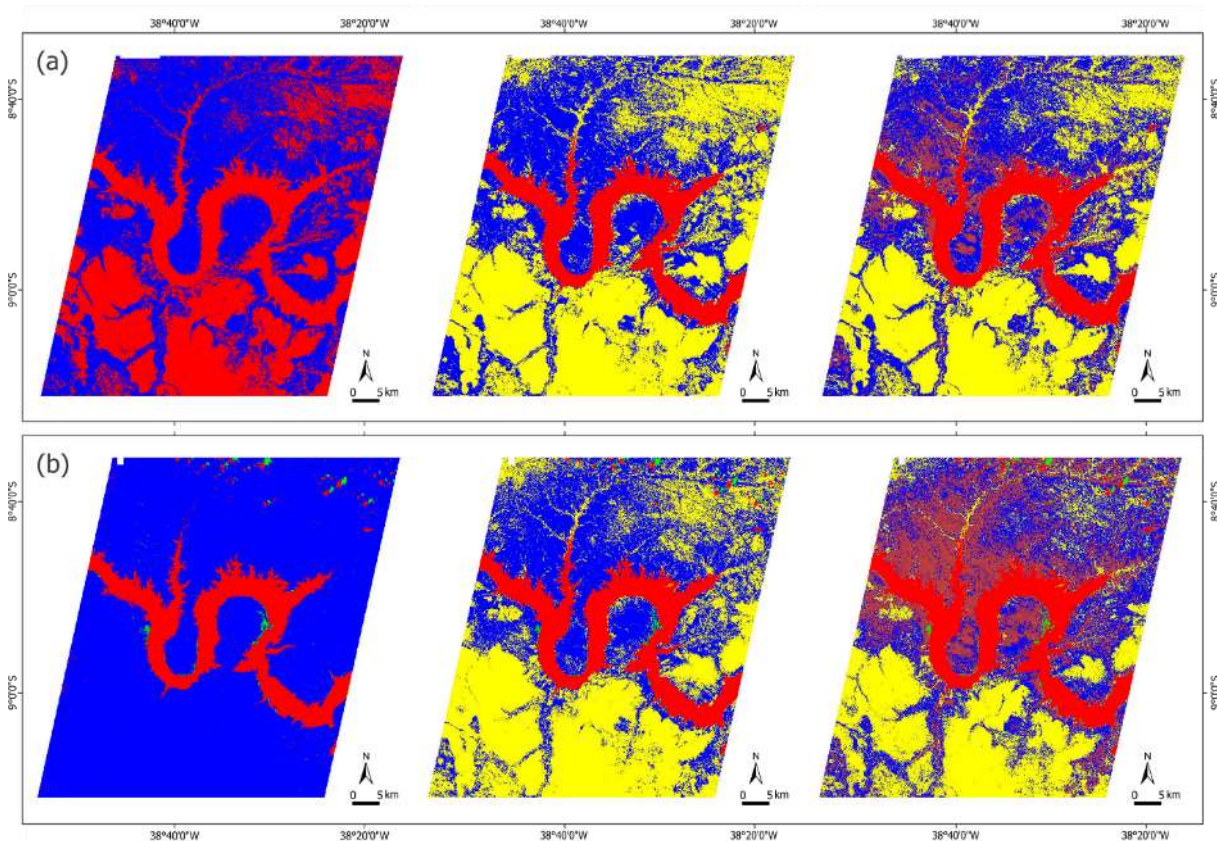
Fonte: o Autor (2016).

Com o histograma das bandas utilizadas no segundo grupo, tem-se a banda do infravermelho próximo em (a) e (d), onde fica claro a baixa reflectância da água demonstrando o alto contraste entre os outros alvos. Em (b) e (c) tem-se bandas pancromáticas cujas faixas espectrais, em geral, compreendem à faixa do visível e do infravermelho próximo, dificultando a discriminação entre a água e os outros alvos, como pode ser observado na Figura 23 (b).

Foi possível perceber que na área de estudo o contraste entre a água e os alvos que ficam nas suas bordas na faixa do infravermelho próximo é alto, por isso a facilidade de identificar e extrair os seus limites.

A partir das imagens fusionadas também foi extraído o contorno do reservatório por meio da classificação não supervisionada k-média, com 3, 4 e 5 classes, como é apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Classificação das imagens resultantes da fusão IHS; (a) OLI, (b) PAN



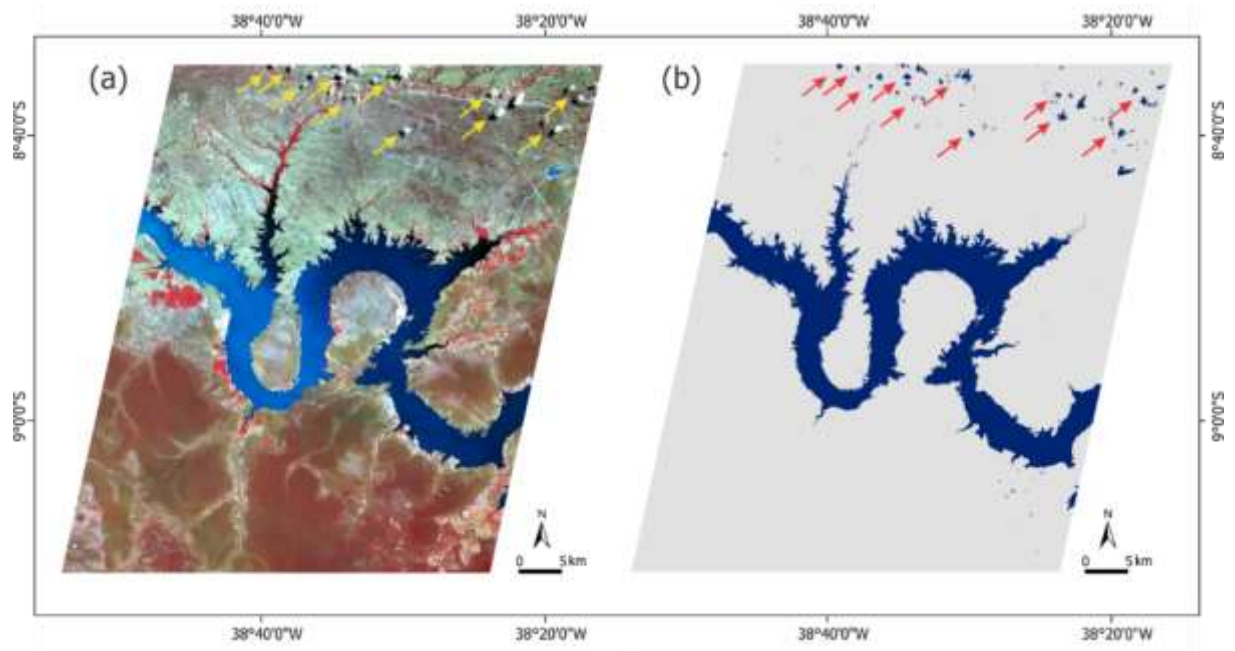
Fonte: o Autor (2016).

Assim como no resultado das imagens fusionadas, também foi possível ver o ganho em detalhes na classificação realizada. Exceto na classificação com 3 classes do sensor OLI (Figura 24a), onde o algoritmo causou uma confusão ao discriminar a água, nas demais classificações os resultados mostraram visualmente melhor definição do corpo d'água. Após a classificação das imagens no SPRING, as classes foram mapeadas, sendo Água ou Outros, tornando-se assim uma imagem binária.

6.3 CONVERSÃO DOS DADOS

A etapa posterior ao mapeamento das classes foi a conversão dos arquivos matriciais, para vetor, onde foi possível realizar a limpeza dos dados e obter apenas o limite do alvo em estudo. A edição dos arquivos vetoriais é necessária por conta de alvos que apresentam um comportamento espectral muito próximo com o dos corpos d'água, como é o caso das sombras de nuvens (Figura 25). Na limpeza dos dados, todos os polígonos diferentes de água foram deletados, resultando no arquivo vetorial apenas os polígonos pertencentes a classe água.

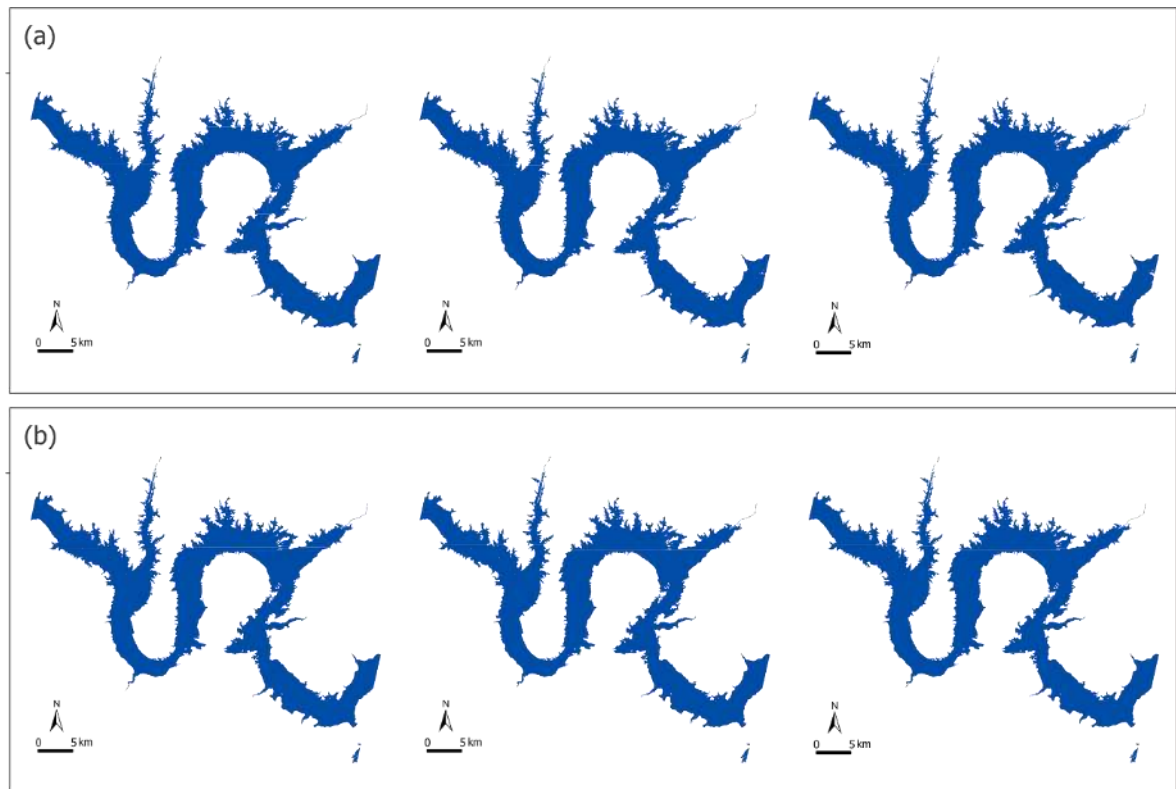
Figura 25 - Sombra de nuvem sensor MUX do dia 09/04/16. (a) Imagem RGB falsa cor 432, (b) Arquivo vetorial.



Fonte: o Autor (2016).

Após a edição dos arquivos vetoriais, restou apenas o contorno do reservatório para todas as classificações realizadas. Na Figura 26, temos o limite do reservatório para cada uma das classificações do grupo 1 de imagens.

Figura 26 - Limite do reservatório para o grupo 1 de imagens; (a) MUX e (b) OLI



Fonte: o Autor (2016).

Para o grupo 1, cuja data de aquisição das imagens foi do dia 05/11/2015, temos as seguintes áreas mapeadas, para o recorte realizado (Tabela 1).

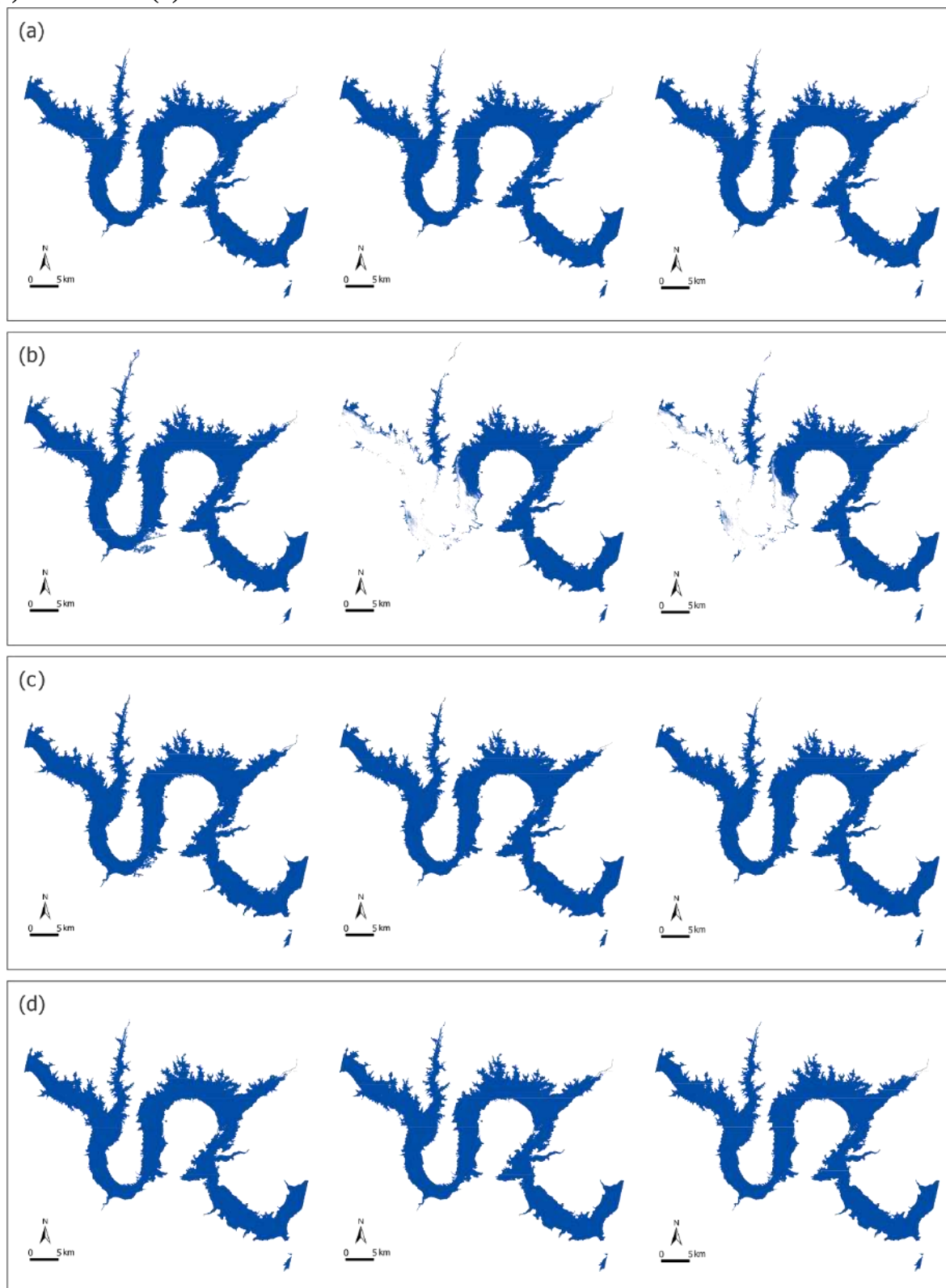
Tabela 1 - Áreas obtidas através da classificação para o grupo 1

Temas	MUX		OLI		Diferença	
	Área (ha)	Área (km ²)	Área (ha)	Área (km ²)	(ha)	(km ²)
3 Temas	44993,47	449,93	44938,44	449,38	48,19	0,4819
4 Temas	44770,20	447,70	44773,74	447,73	5,74	0,574
5 Temas	44676,42	446,76	44713,80	447,13	36,7	0,367

Fonte: o Autor (2016).

As diferenças entre as áreas mapeadas para o MUX e o OLI, são extremamente pequenas e representam menos de 0,1% da área mapeada. Neste grupo de imagens os sensores MUX e OLI possuem respectivamente 20 e 30 m de resolução espacial, por isso apresentam diferenças na área classificada. Para o segundo grupo, tem-se na Figura 27, os limites gerados.

Figura 27 - Limite do reservatório para o grupo 2 de imagens; (a) NIR/MUX, (b) PAN/PAN, (c) PAN/IRS e (d) NIR/PAN



Fonte: o Autor (2016).

Na Tabela 2 são apresentadas as respectivas áreas mapeadas para o grupo 2 de imagens analisadas.

Tabela 2 - Áreas obtidas através da classificação para o grupo 2.

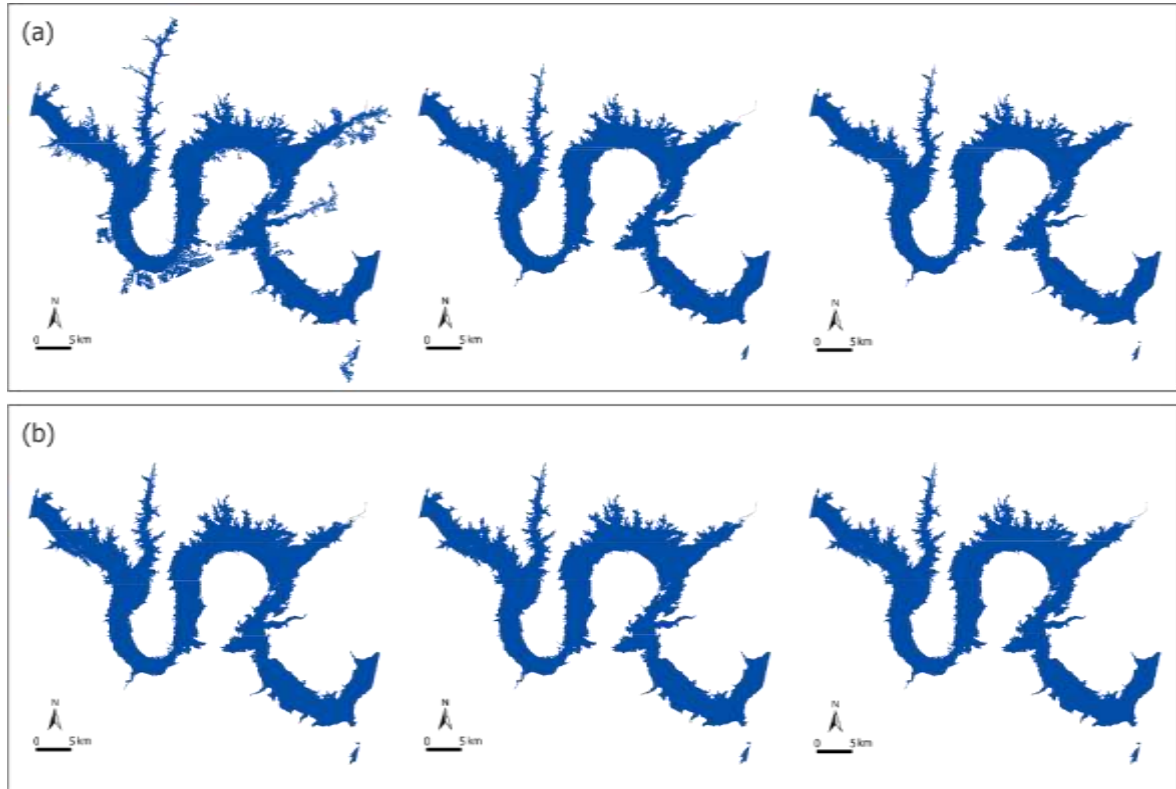
Temas	IRS - PAN		MUX - NIR		PAN - B1		PAN - NIR	
	Área		Área		Área		Área	
	<i>ha</i>	<i>km²</i>	<i>ha</i>	<i>km²</i>	<i>ha</i>	<i>km²</i>	<i>ha</i>	<i>km²</i>
3 Temas	49397,49	493,97	47873,75	478,74	49430,94	494,31	47974,56	479,74
4 Temas	47323,73	473,23	47739,52	477,39	32824,94	328,25	47867,46	478,67
5 Temas	47148,56	471,48	47673,21	476,73	32771,11	327,71	47794,31	477,94

Fonte: o Autor (2016).

Com os resultados obtidos foi possível verificar que na classificação com um número pequeno de classes, é gerada uma classe espectral grande e que pode não retratar a diversidade das classes existentes na imagem. Portanto, quanto maior o número de temas, mais pura foram as classes geradas no estudo realizado.

A conversão e a edição dos dados advindos da fusão de imagens apresentaram os resultados expostos na Figura 28 e na Tabela 3.

Figura 28 - Limite do reservatório para as imagens fusionadas; (a) OLI RGB 432, (b) PAN



Fonte: o Autor (2016).

Tabela 3 - Áreas obtidas através da classificação para as imagens fusionadas

Temas	OLI		PAN		Diferença	
	Área (ha)	Área (km ²)	Área (ha)	Área (km ²)	(ha)	(km ²)
3 Temas	52839,02	528,39	47747,42	477,47	5091,6	50,92
4 Temas	44567,44	445,67	47555,57	475,55	2988,13	29,88
5 Temas	44517,46	445,17	47460,62	474,60	2943,16	29,43

Fonte: o Autor (2016).

As áreas obtidas através da fusão de imagens para os sensores OLI e PAN apresentaram uma diferença de cerca de 10% da área mapeada. Esta diferença pode ser justificada por conta das diferentes resoluções espaciais entre os sensores, mas essencialmente por conta das diferentes datas das imagens, correspondendo a 05/11/2015 para fusão de imagens do sensor OLI, e 09/04/2016 para o sensor PAN.

Realizando a correlação direta com clima, no mês de novembro inicia-se o período chuvoso na região do Submédio do São Francisco, os meses anteriores a ele, setembro e outubro, são os meses mais quentes do ano na região. O mês mais úmido é abril, que

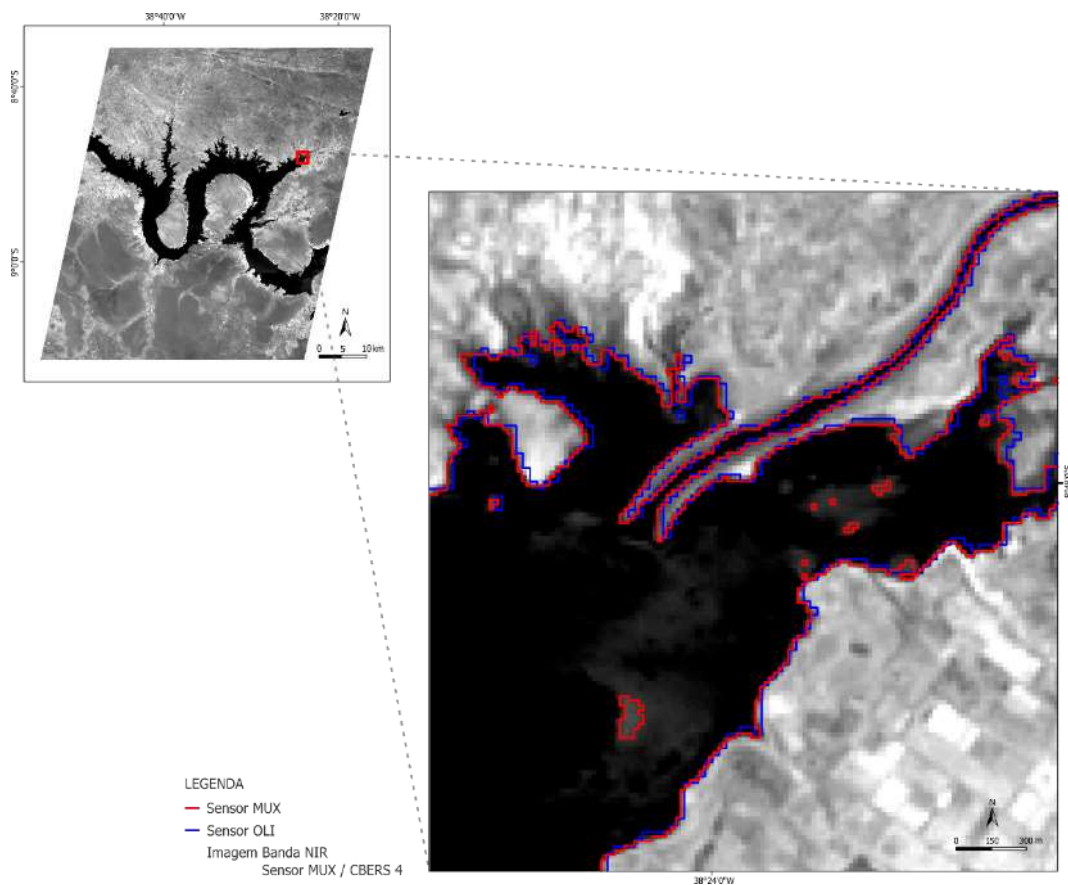
corresponde ao fim do período de chuvas, justificando assim a maior área ocupada pelo reservatório na imagem do sensor PAN que data de 09/04/2016.

6.4 ANÁLISE DOS CONTORNOS GERADOS

Como exposto anteriormente, os resultados utilizando 5 classes apresentaram uma melhor identificação espectral e espacial do reservatório, ou seja, uma classe temática mais pura. Em razão disso, algumas análises foram realizadas utilizando o resultado da extração do contorno com 5 classes temáticas.

Na Figura 29 é possível observar a sobreposição dos limites extraídos através da classificação com 5 temas, para as bandas do infravermelho próximo dos sensores do grupo 1 de imagens, MUX e OLI.

Figura 29 - Comparação entre os limites extraídos para os sensores MUX e OLI (grupo 1) através da classificação com 5 temas



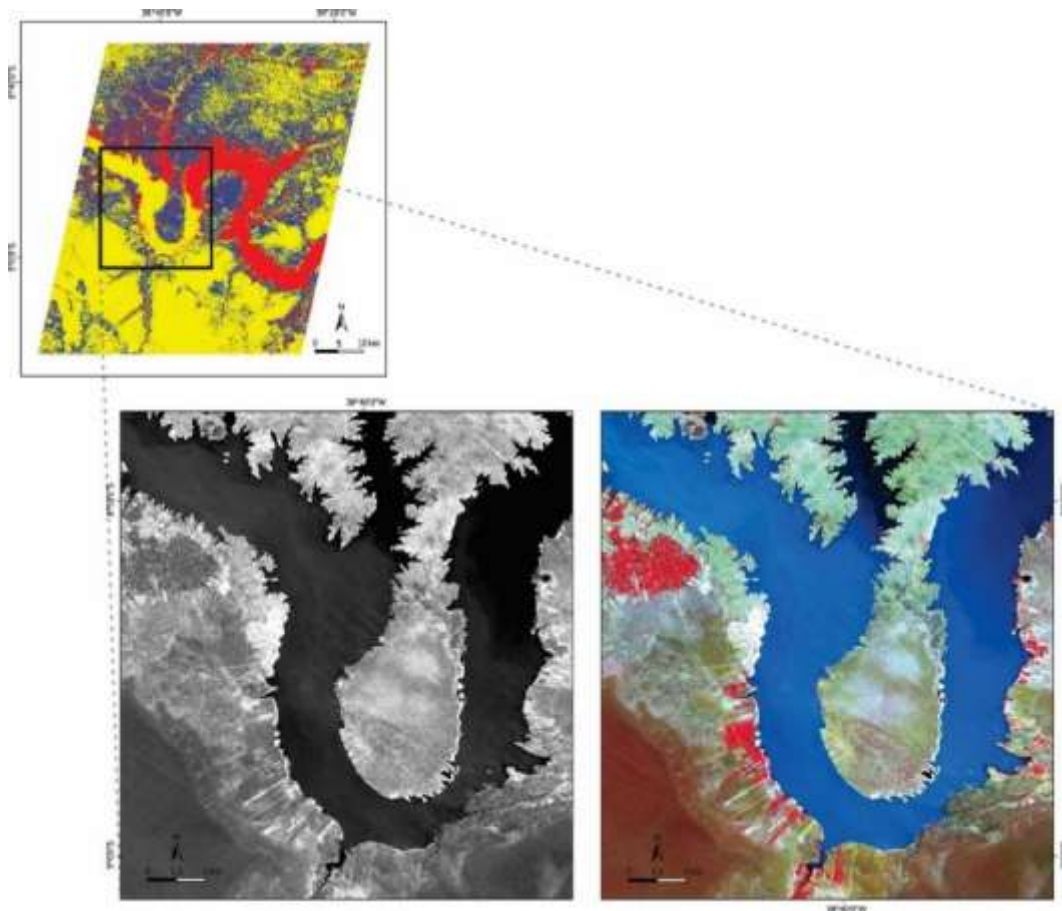
Fonte: o Autor (2016).

Usando a comparação apresentada na Figura 29, foi possível verificar que o sensor MUX observou diferenças no comportamento espectral de pequenas regiões dentro do reservatório, cujas regiões não foram discriminadas através do sensor OLI. Entretanto, para a extração do contorno do reservatório, os sensores apresentaram resultados compatíveis entre si.

Em todos os sensores utilizados foi possível a obtenção do limite do reservatório, exceto na banda pancromática da câmera PAN, alocada ao CBERS-4. Esta banda possui um comprimento de onda de 0,51 a 0,85 μm , intervalo maior que as bandas do visível, isto faz com o que sensor possua uma melhor definição. De acordo com Figueiredo (2005) o conceito do termo pancromático é “banda mais larga que incorpora faixas mais estreitas” isto propicia ao sensor uma definição melhor de seus alvos, pois a energia chega com mais intensidade ao satélite.

No entanto, para o estudo realizado a banda pancromática do sensor PAN apresenta um poder de discriminação entre os alvos maior do que a desejada. A resolução espacial do sensor é de 5 m, por conta disto e do seu maior intervalo de comprimento de onda, o sensor conseguiu discriminar alvos com respostas espectrais diferentes dentro do corpo hídrico, como podemos observar na Figura 30.

Figura 30 - Classificação da banda pancromática a bordo da câmera PAN/CBERS-4

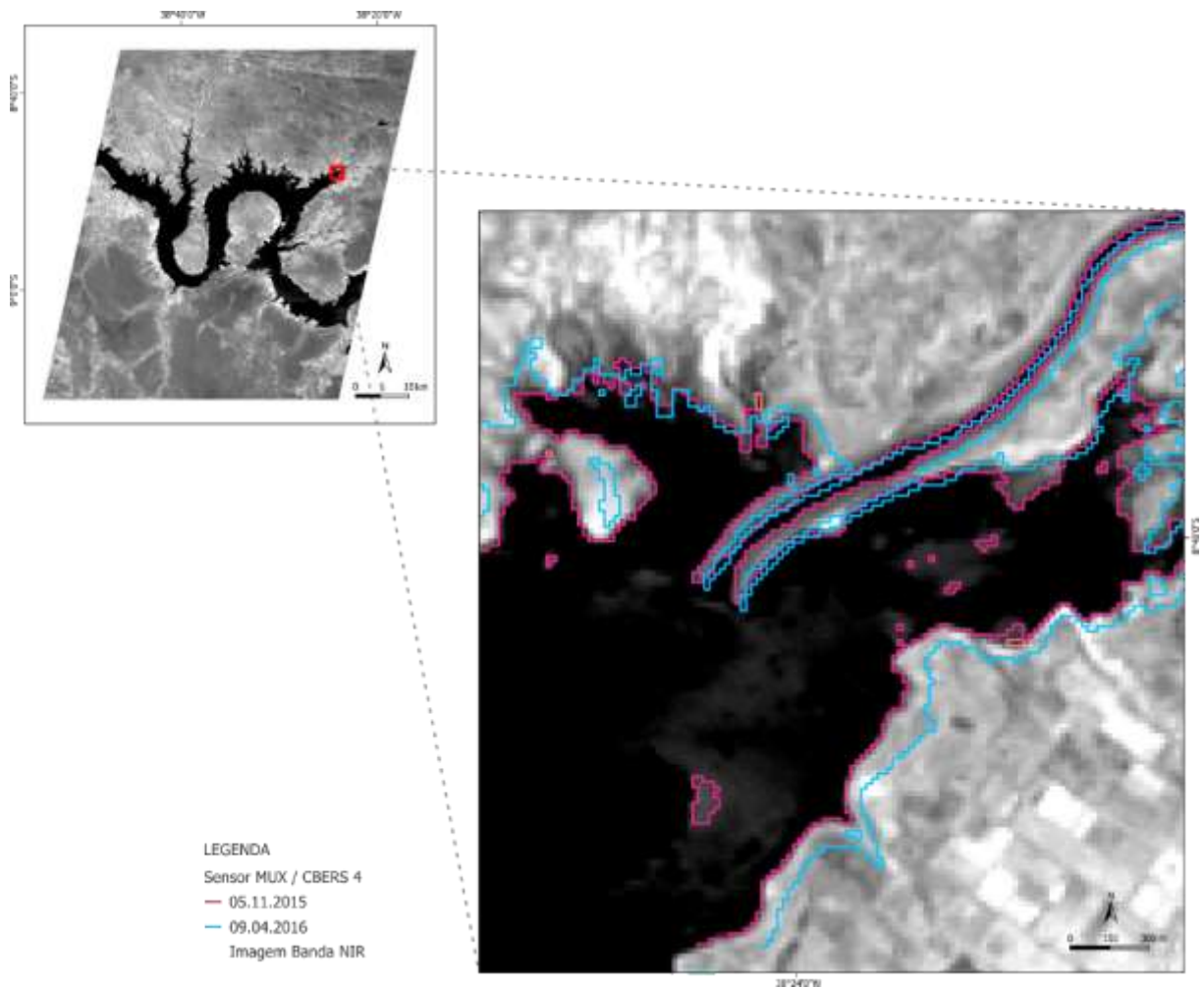


Fonte: o Autor (2016).

A reflectância espectral de um corpo d'água depende de diversos componentes que afetam o seu comportamento espectral. Alguns responsáveis pela mudança de comportamento, são: matéria orgânica dissolvida, algas e principalmente os materiais em suspensão (FERREIRA e PEREIRA FILHO, 2009). Por este motivo, quanto maior a resolução espacial do sensor, maior o poder de distinguir as diferenças presentes no corpo d'água devido aos seus componentes. Em virtude disto, a classificação realizada para um determinado sensor, pode não apresentar as respostas esperadas quando aplicadas a outros sensores.

Outro fator importante de ser destacado é a diferença dos limites gerados quando comparadas as diferentes datas. Na Figura 31, apresentamos os limites gerados através do sensor MUX para os dias 05/11/2015 e 09/04/2016.

Figura 31 - Comparação entre os limites extraídos para o sensor MUX para os dias 05.11.2015 e 09.04.2016

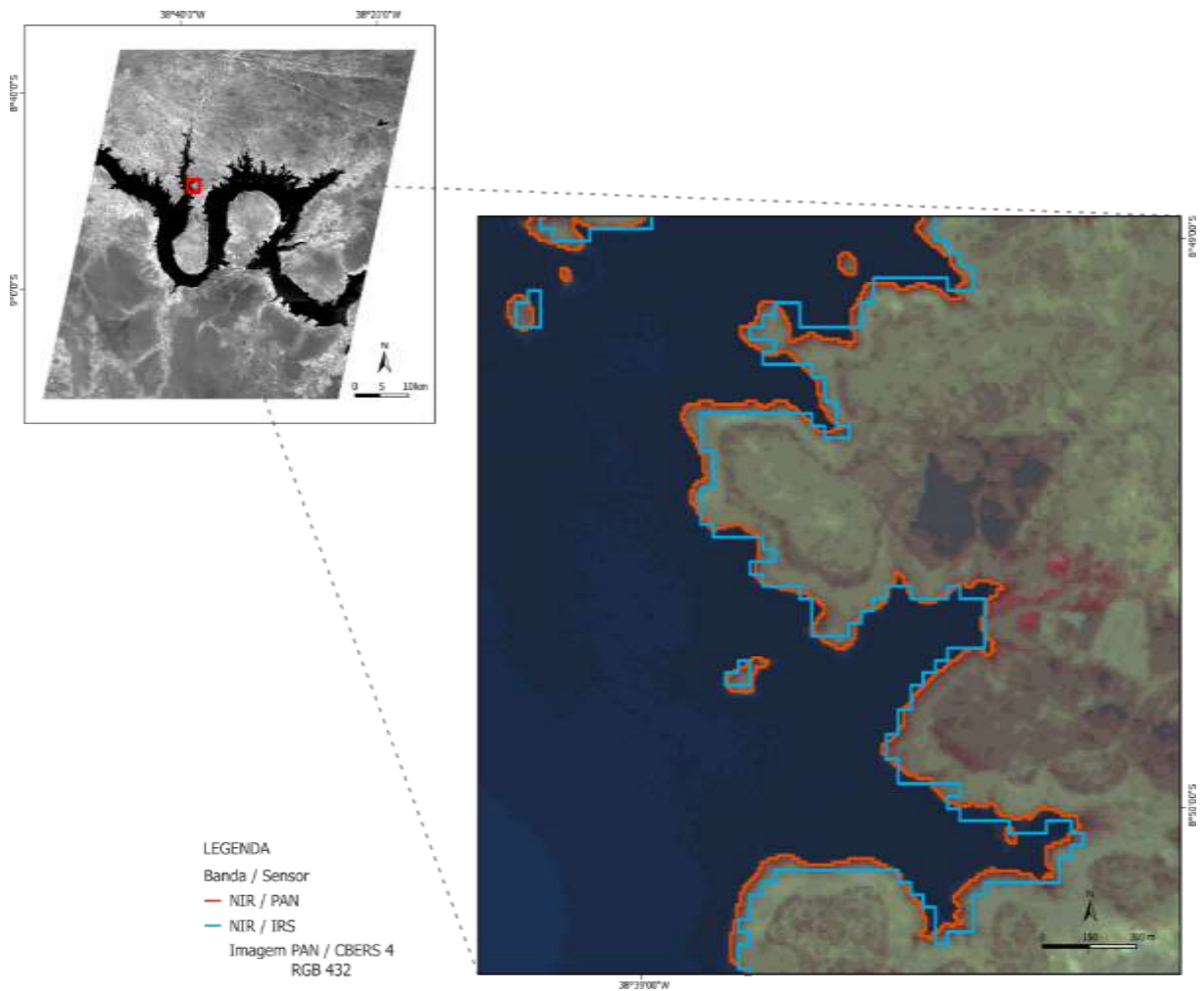


Fonte: o Autor (2016).

Analisando os limites do reservatório extraído para as duas datas, temos uma diferença de cerca de 30 km^2 , que representa um crescimento da área quando comparado a área anterior. A época da imagem a ser utilizada é um dos fatores que deve ser levado em consideração quando se trabalha com a definição das bordas de um reservatório, e deve ser inserida no geo-campo, para estudos futuros.

Outro fator é a resolução espacial, como se observa na Figura 32 tem-se o limite do reservatório para os sensores PAN e IRS, na banda do infravermelho próximo de 10 m e 40 m , respectivamente. É possível perceber a riqueza de detalhes que possui o limite do reservatório extraído pelo sensor PAN, pois quanto maior a resolução espacial de um sensor, maior também será a sua capacidade de registrar os detalhes dos alvos.

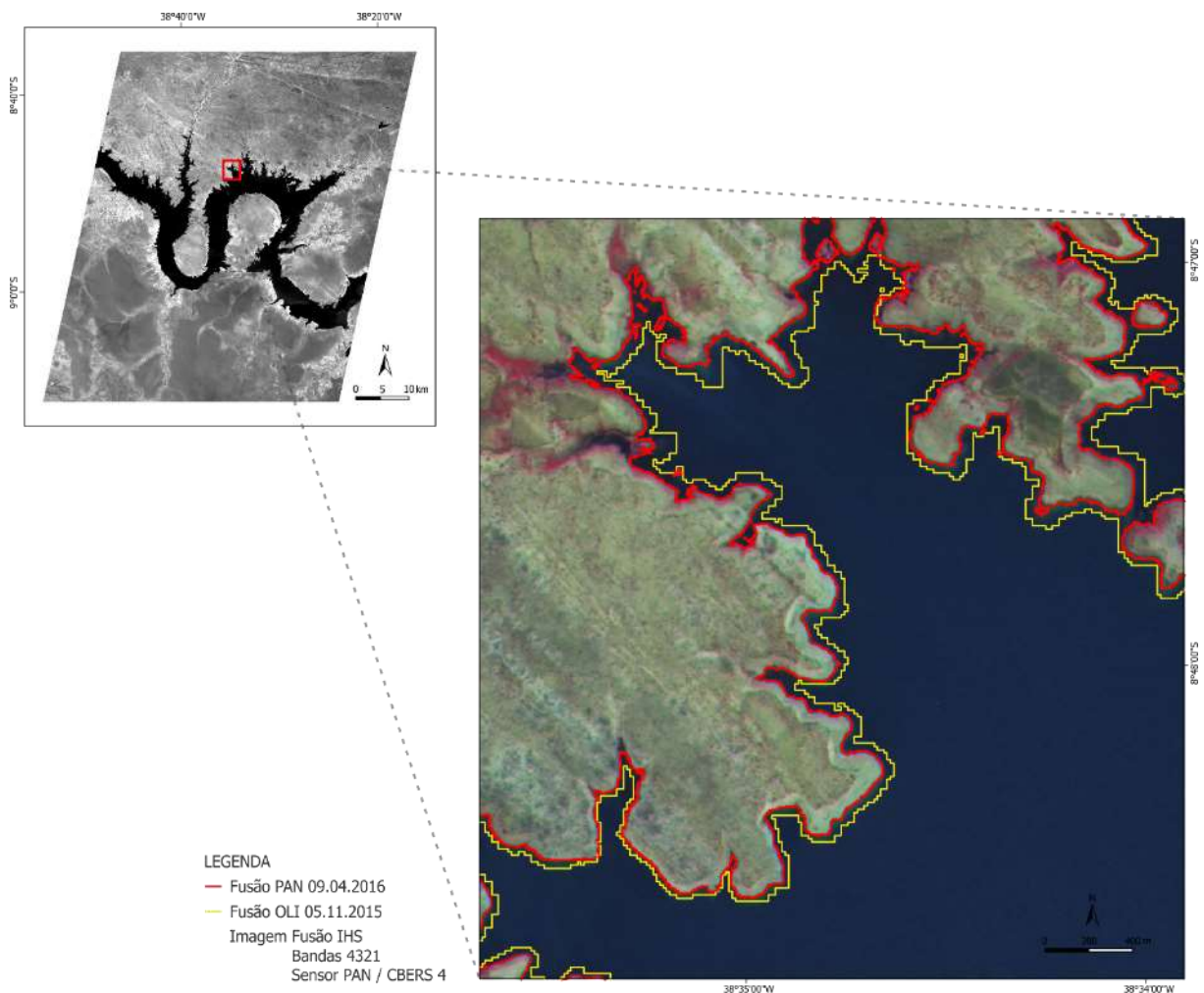
Figura 32 - Comparação entre os limites extraídos pelos sensores PAN e IRS para o dia 05.11.2015



Fonte: o Autor (2016).

Comparando os resultados obtidos através da fusão de imagens, temos na Figura 33, os limites para os sensores PAN e OLI fusionados.

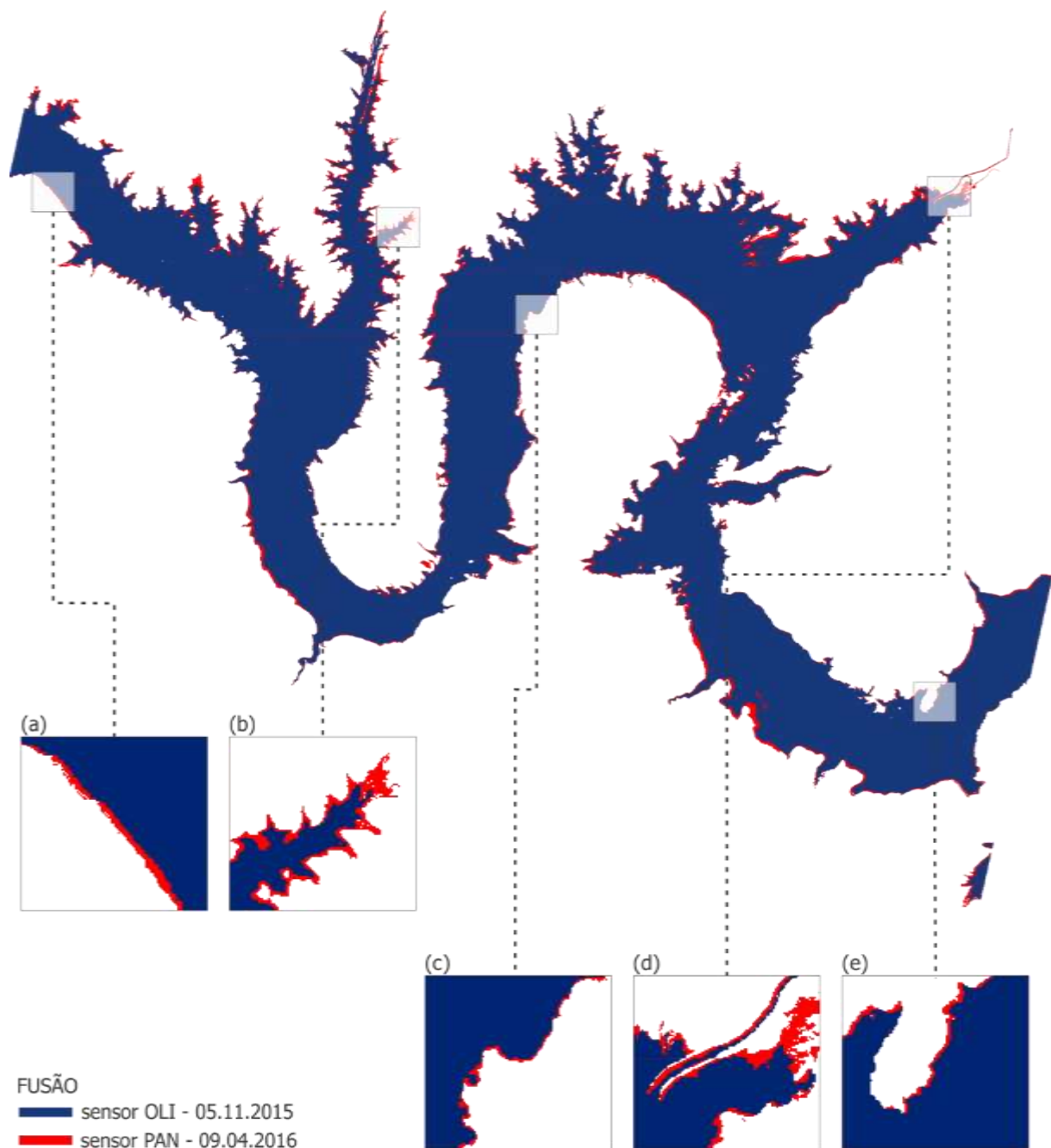
Figura 33 - Comparação entre os limites extraídos pelas imagens fusionadas, sensores OLI e PAN



Fonte: o Autor (2016).

Os contornos obtidos entre as imagens fusionadas apresentaram uma notável diferença espacial, que é justificável pela dessemelhança das datas de aquisição das imagens. As cenas referentes ao sensor OLI foram adquiridas no início do período chuvoso, enquanto as cenas do sensor PAN foram obtidas no fim da temporada de chuvas da região. Esta diferença entre os limites não foi constante em todo trecho extraído, como mostra a Figura 34, por conta da influência do relevo. O relevo faz com que a água ocupe as regiões mais baixas do reservatório.

Figura 34 - Diferença entre os contornos extraídos pelas imagens fusionadas



Fonte: o Autor (2016).

Utilizando os cinco recortes no contorno extraído, nota-se que as diferenças entre os contornos nas duas datas utilizadas não são constantes. Na Figura 34, nos recortes b e d é possível observar o aumento da área ocupada pelo reservatório nas duas datas observadas, e no recorte c, por exemplo, apesar das diferenças na resolução espacial dos sensores, o contorno praticamente não variou.

6.5 ATUALIZAÇÃO CARTOGRAFICA

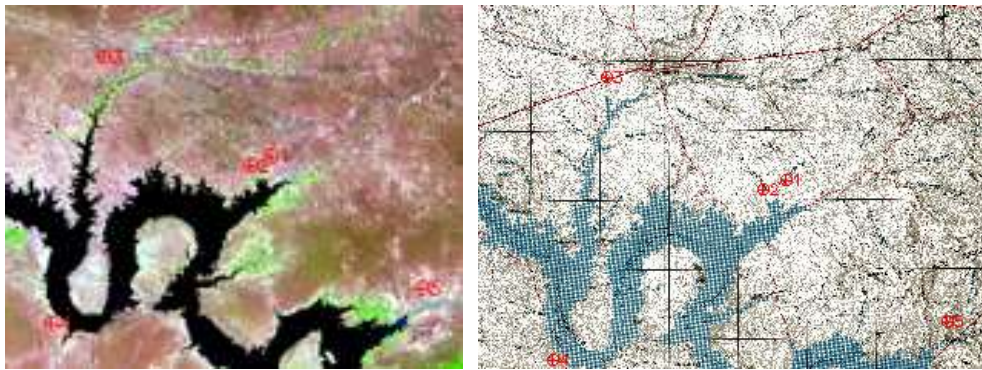
Inicialmente, para a carta na escala 1:250000, foi feito o georreferenciamento imagem/imagem da carta com a imagem OLI no software ENVI e obteve-se um RMS total de 0.990095, utilizando-se um polinômio de primeiro grau e cinco pontos homólogos na imagem e na carta. O relatório de saída do georreferenciamento mostrou que o RMS (Tabela 4) foi inferior a 1 pixel para os pontos P3, P4 e P5. Para os pontos P1 e P2 obteve-se valores não superiores a 2 pixels. Portanto, aplicando o resultado do RMS ao que já foi apresentado de escala gráfica ao OLI, tem-se que usando os resultados obtém-se uma representação na escala de até 1:150000. Diante disto, a representação de 1:250000 está adequada e pode ser utilizada.

Tabela 4 - Dados referente ao georreferenciamento da carta topográfica 1:250000

	Base (x, y)		Warp (x, y)		Predict (x, y)		Error (x, y)		RMS Error
P1	4938.50	3611.75	2338.00	2955.25	2337.66	2953.91	-0.34	-1.34	1.38
P2	4831.50	3663.75	2237.25	3001.75	2237.68	3003.41	0.43	1.66	1.72
P3	4076.25	3106.75	1524.75	2485.25	1524.72	2485.12	-0.03	-0.13	0.14
P4	3810.50	4480.00	1280.00	3773.50	1279.97	3773.39	-0.03	-0.11	0.12
P5	5711.00	4299.75	3076.50	3599.25	3076.48	3599.17	-0.02	-0.08	0.08

O georreferenciamento da carta poderia ter sido realizado usando sua grade de coordenadas, de forma mais ágil e eficiente, porém por falta de informações sobre o sistema de referência da carta, isso não foi possível. Os pontos utilizados para o georreferenciamento são apresentados na Figura 35.

Figura 35 - Georreferenciamento da carta topográfica 1:250.000 com base na imagem OLI



Fonte: o Autor (2016).

Após o georreferenciamento, utilizando o contorno retirado a partir da fusão de imagens e da posterior classificação do sensor PAN/CBERS-4, por apresentar a melhor resolução espacial (compatível com escalas de 1:25000) e a data mais recente de aquisição, entre as imagens utilizadas, foram realizadas algumas análises através da sobreposição com a carta topográfica. Na Figura 36 é apresentado o resultado da atualização cartográfica do corpo d'água estudado na carta 1:250000.

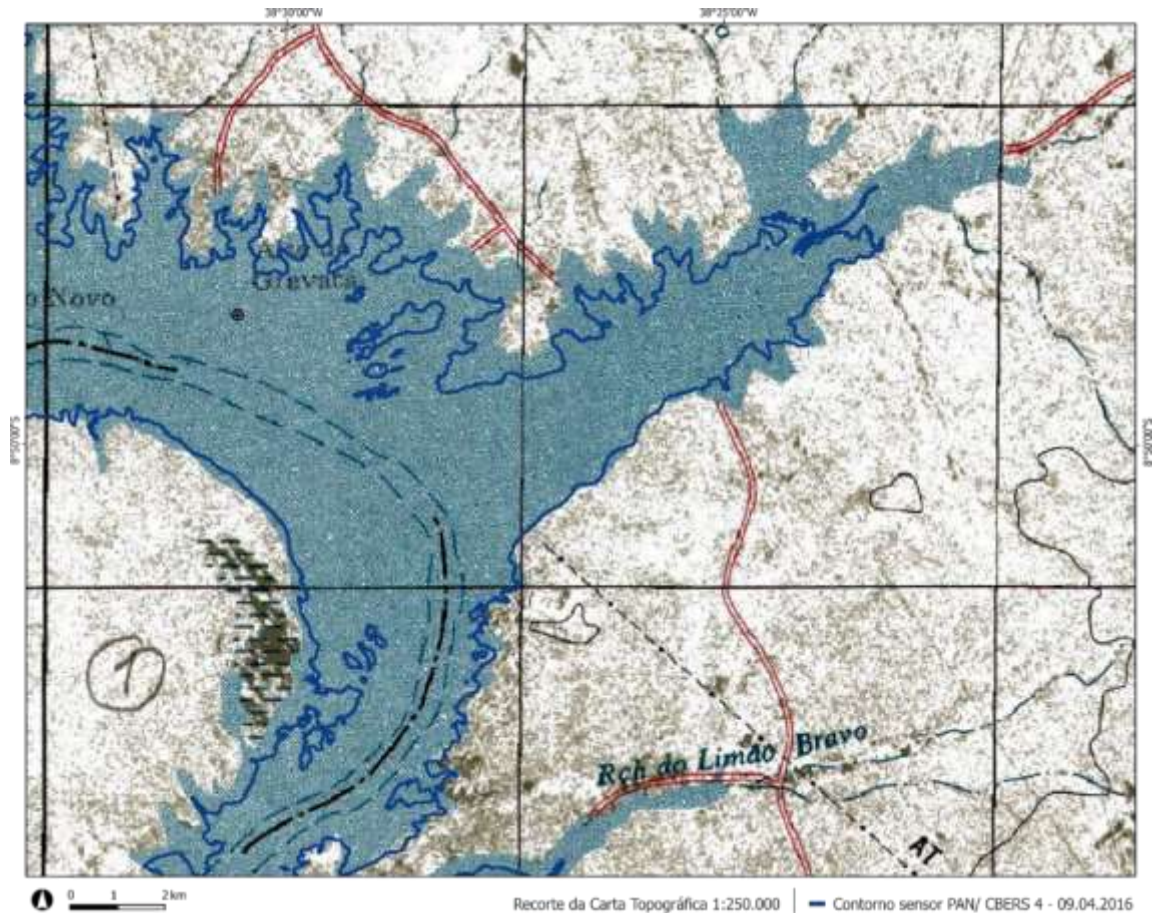
Figura 36 - Atualização da carta topográfica dos corpos d'água 1:250000



Fonte: o Autor (2016).

O resultado para esta atualização mostra que o reservatório possui bordas distintas da imagem PAN de 09/04/2016. Na Figura 37, pode-se observar melhor a discrepância existente entre o contorno presente na carta, e o extraído através da imagem de sensoriamento remoto.

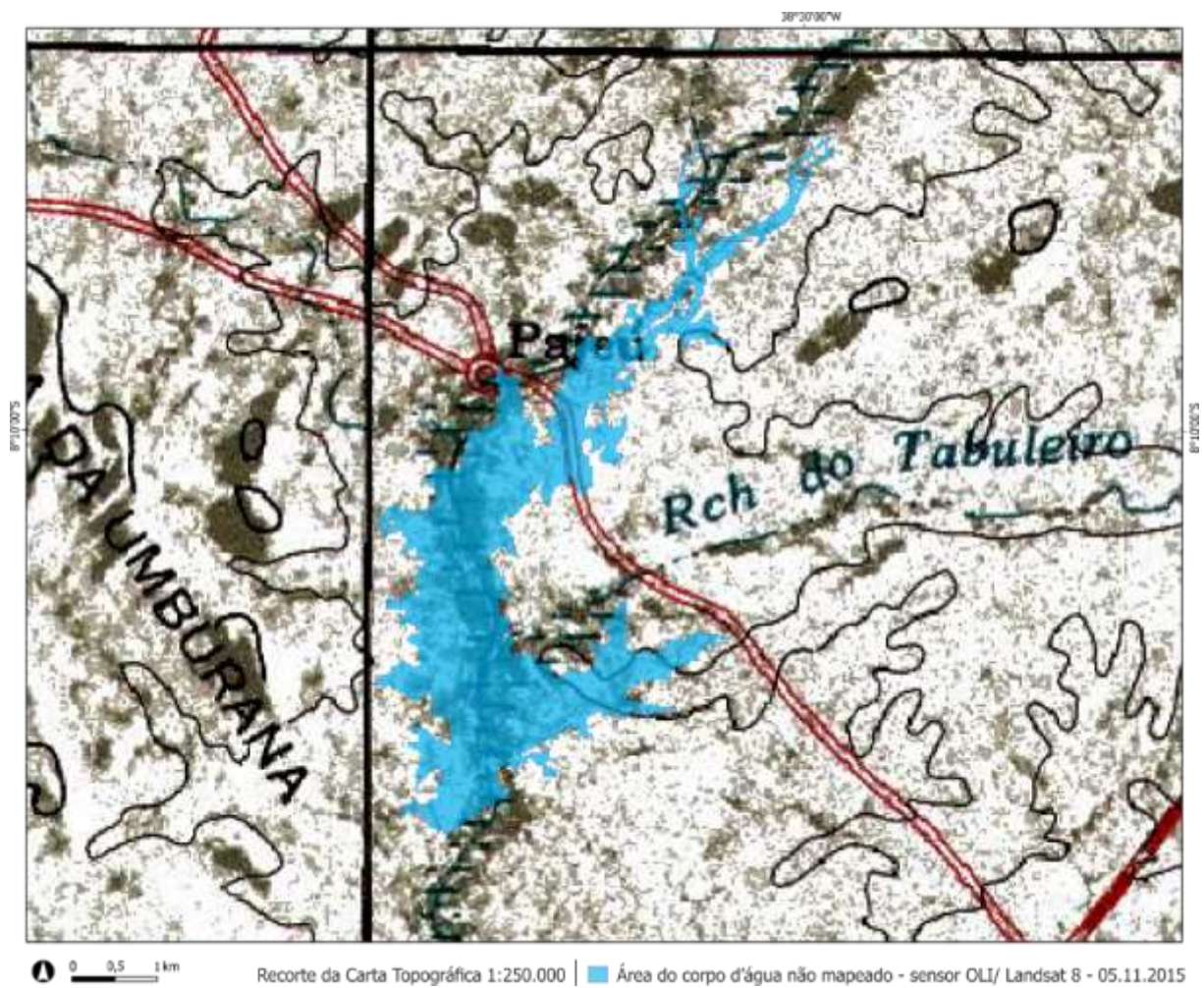
Figura 37 - Detalhe da atualização da carta topográfica dos corpos d'água 1:250000



Fonte: o Autor (2016).

Observa-se, ainda, a ausência de alguns reservatórios que não estão identificados na carta 1:250000. Na Figura 38 temos alguns corpos d'água que não estão presentes na carta utilizada.

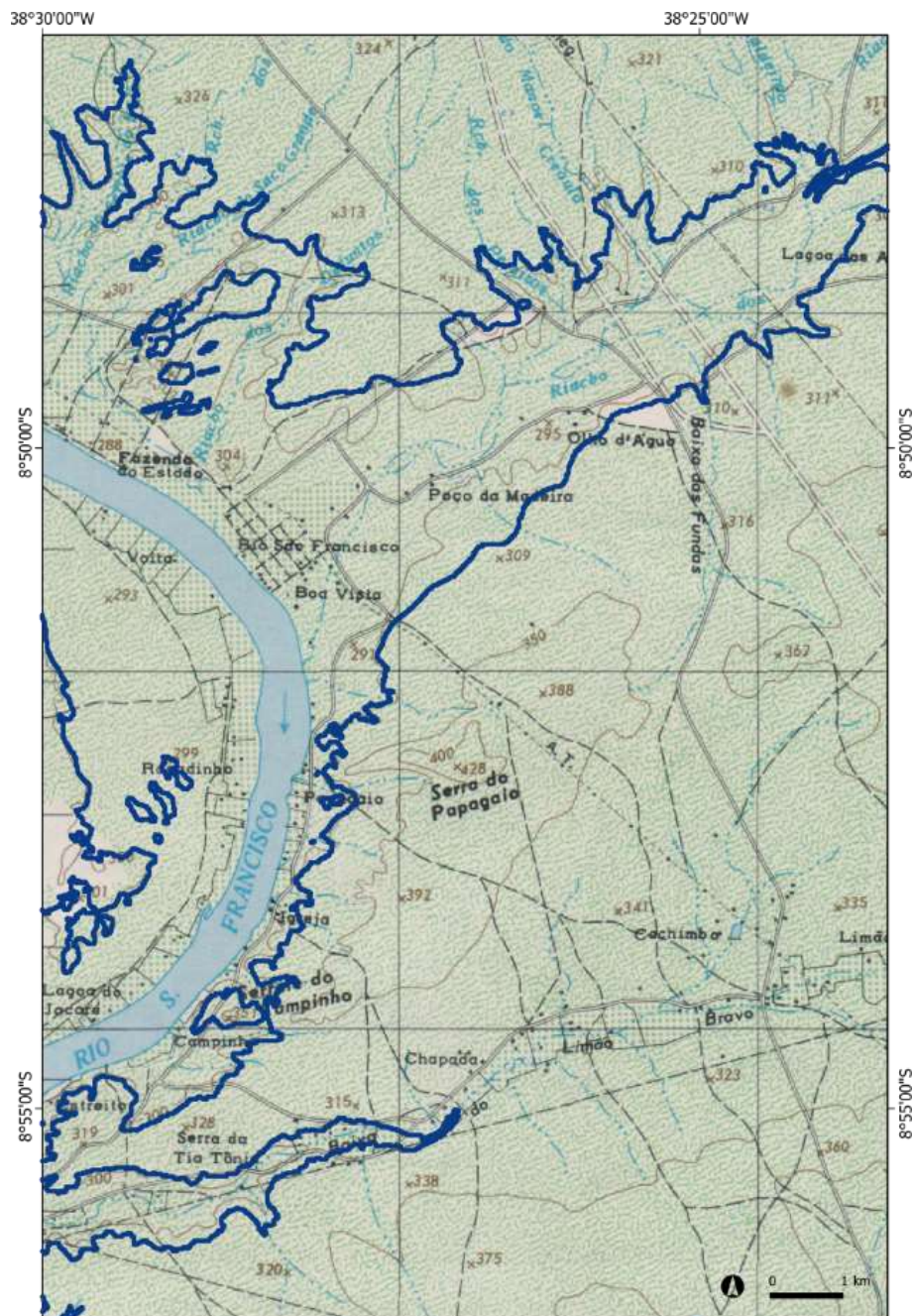
Figura 38 - Atualização cartográfica dos corpos d'água na carta 1:250000



Fonte: o Autor (2016).

No caso da carta topográfica na escala de 1:100000, não é possível nem observar o reservatório. Caso o usuário venha a solicitar a carta irá se deparar com uma grande falta de informações, como mostra a Figura 39.

Figura 39 - Ausência do reservatório na carta topográfica 1:100000



Recorte da Carta Topográfica 1:100.000 | — Contorno sensor PAN/ CBERS 4 - 09.04.2016

Fonte: o Autor (2016).

Através de uma análise entre a carta topográfica e as imagens orbitais utilizadas, pôde-se observar que na região estudada ocorreram uma série de mudanças significativas nos últimos anos, como o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, que realizou a construção de canais de concreto a fim de desviar as águas do rio (Figura 40). Essas mudanças ocorridas na região, demonstram o quanto é importante uma atualização constante das cartas topográficas existentes.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral analisar a atualização cartográfica do reservatório de Itaparica-PE/BA utilizando técnicas de processamento de imagem de sensoriamento remoto. A fim de alcançar o objetivo proposto foram realizadas diversas extrações de contorno do corpo d'água, através da fusão de imagens e da classificação não supervisionada com o propósito de analisar cada um dos métodos utilizados e verificar a sua operacionalidade para fins de atualização cartográfica.

Foram utilizadas imagens orbitais de 4 diferentes sensores a bordo de 2 satélites artificiais que disponibilizam seus dados de maneira gratuita. Todos os sensores utilizados apresentaram resultados adequados para as escalas das cartas topográficas utilizadas. Os sensores com resoluções espaciais grandes (pixels 5 *m*), como é o caso da banda pancromática do sensor PAN, apresentaram um tempo de processamento maior do que as bandas com resoluções espaciais menores, como a pancromática do sensor IRS com 40 *m*.

A extração do limite de um corpo d'água nem sempre é uma tarefa fácil, pois a água pura apresenta um comportamento espectral distinto da água com materiais em suspensão, por exemplo. Na classificação não supervisionada *k*-médias utilizando o sensor PAN/CBERS 4 através da sua banda pancromática foi possível observar uma mudança no comportamento do corpo d'água, o que representou um empecilho na extração de seu contorno, pois devido aos fatores responsáveis pela mudança da absorção da energia eletromagnética, não foi possível a representação do contorno do corpo d'água. Apesar das dificuldades de extração dos alvos, todos os outros resultados obtidos foram consistentes e adequados a realidade do reservatório.

A fusão de imagens com a posterior classificação não supervisionada *k*-médias demonstrou que é possível obter um resultado satisfatório através do uso de imagens de sensoriamento remoto para a atualização cartográfica. Com a utilização de 4 bandas para a extração dos contornos os resultados apresentaram menos ruídos e uma melhor definição dos seus limites do que com apenas 1 banda. A classificação não supervisionada *k*-médias mostrou-se apropriada para o objetivo proposto, pois não necessita de amostras para distinguir as classes de interesse, exigindo apenas a definição do número de classes e interações.

A capacidade de automatizar o processo de extração do contorno de um corpo d'água é uma tarefa que auxilia em diversas áreas, tanto na gestão do corpo d'água e como na atualização cartográfica. A utilização de imagens de sensoriamento remoto para a atualização cartográfica torna esta atividade mais rápida e econômica, devido a grande disponibilidade de sensores acessíveis gratuitamente. A gratuidade das imagens é um aspecto forte que deve ser

levado em consideração na realização de uma difícil e extensa tarefa, tal como a atualização de cartas topográficas em um país como o Brasil, com uma grande extensão territorial.

Na carta topográfica de 1:250000 foi possível verificar a ausência tanto de geo-objetos não mapeados, como de informações essenciais para a utilização da carta, como o sistema de referência e a data do mapeamento. A falta de informações na carta de 1:100000 inicia-se com a não representação do reservatório, o que dificulta os estudos nesta escala, visto que, as cartas são as primeiras informações a serem consultadas quando se pretende conhecer e estudar uma determinada região.

O documento cartográfico é uma ferramenta fundamental e de grande importância para a tomada de decisão nas escalas local, regional e global, auxiliando nas diversas áreas do conhecimento, do planejamento urbano ao gerenciamento dos recursos naturais, por isso devem estar sempre atualizados para que seja possível acompanhar as dinâmicas existentes no espaço. Os métodos utilizados nesta pesquisa podem ser aplicados em outras áreas e para outros alvos, buscando diminuir o tempo de atualização das cartas tanto em nível nacional, como em nível global.

A avaliação dos resultados obtidos foi do ponto de vista qualitativo já que os esforços foram de obter os geo-objetos usando processamento de imagem de sensoriamento remoto para a extração dos corpos d'água na atualização cartográfica, por isso, recomenda-se a posteriori uma avaliação da acurácia posicional do que foi aqui obtido.

Recomenda-se para estudos futuros o pré-processamento das cenas obtidas pelos sensores remotos, para que as imagens sejam submetidas a diversas correções a fim de que garantam uma melhor precisão. Entre elas, sugere-se aplicar a correção *Dark Object Subtraction* (DOS) visando eliminar o espalhamento atmosférico da imagem. Aconselha-se testar novas técnicas de fusão e a utilização em outros tipos de alvos em áreas urbanas, como estradas, edificações, etc. Além disso propõe-se que seja utilizado o software QGIS para a conversão e edição dos dados vetoriais, por ser um software livre e gratuito, de fácil disponibilidade para os sistemas operacionais e bastante amigável.

É essencial a existência de um processo otimizado de atualização de produtos cartográficos, pois o meio físico é dinâmico e a carta topográfica demonstra um determinado instante. É fundamental que os órgãos responsáveis possuam uma metodologia eficiente para a atualização dos produtos, pois com o passar do tempo novos geo-objetos devem ser incorporados e/ou retirados.

REFERÊNCIAS

- ANA. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco**. Subprojeto 4.5C - Plano decenal de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do São Francisco - PBHSF (2004 - 2013). Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF n. 12. Brasília: 2004.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2013.
- BORGES, K. A. de V. **Modelagem de dados geográficos**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.
- BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Coleção das Leis do Brasil**, Brasília, DF, v. 4, p. 679, 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 02 jun 2016.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 09 jan. 1997, p. 470, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 12 mai 2016.
- BRASIL. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 28 nov. 2008, p. 57, 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm>. Acesso em: 12 mai 2016.
- BRAVO, J. V. M., CAMBOIM, S. P., MENDONÇA, A. L. A. de; SLUTER, C. R. A. Compatibilidade dos metadados disponíveis em sistemas VGI com o perfil de metadados empregado na Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil (INDE-BR). **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n. 3, p.465- 483, jul./set, 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/43232>>
- BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. R. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (Eds.) **Potencialidades da Água de Chuva no Semiárido Brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2007, p.15-32.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. 1995. 237f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1995.
- CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. **Gestão de reservatórios de hidrelétricas**. Rio do Sul: Oficina de Textos, 2012.
- CAMBOIM, S. P.; SLUTER, C. R.; MENDONÇA, A.; JORGE, M. T. E. Mapeamento Sistemático: a base para as infraestruturas nacionais de dados espaciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife, **Anais...** Recife: UFPE, 2008. p. 001 - 008.

CANDEIAS, A. L. B.; LEITE, L. L. L.; CABRAL, J. J. da S.; SOBRAL, M. do C.; TAVARES JUNIOR, J. R.; GUIMARÃES, L. M. Qualidade do solo para as culturas irrigadas no entorno do reservatório de Itaparica - Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande, MS: RBRH, 2009.

CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Sistema Itaparica**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www2.codevasf.gov.br/programas_acoes/sistema-itaparica-1>. Acesso em: 05 ago 2015.

CONCAR. **ET-EDGV versão 2.1.3**: especificação técnica para a estruturação de dados geoespaciais vetoriais. 3. ed. Brasília: Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2010.

CONCAR. **Legislação Cartográfica**. 2010. Disponível em: <www.concar.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CONCAR. Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil**: Perfil MGB. 2009. Disponível em <http://www.concar.ibge.gov.br/arquivo/perfil_mgb_final_v1_homologado.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CORREIA, J. D.; CRUZ, C. B. M.; MENEZES, P. M. L.; MARINI, S. S.; BARROS, R. S. Contribuição das Imagens CBERS na Atualização do Mapeamento Sistemático. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. 2012. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: INPE, 2004. p. 873-880.

DORNELLES, M. A.; IESCHECK, A. L. Análise da Aplicabilidade da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) para Dados Vetoriais em Escalas Grandes. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 19, n. 4, p.667-686, out./dez, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v19n4/a10v19n4.pdf>>.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). Banco de Dados Geográficos do Exército. Versão 3.0. 2013. Disponível em: <<http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>>. Acesso em: 13 jun 2016.

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. **Banco de Dados Geográficos do Exército**. Carta Topográfica, 1980. Folha Airi, SC.24-X- A-V. Disponível em: <<http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>>. Acesso em: 03 mai 2016.

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. **Banco de Dados Geográficos do Exército**. Carta imagem de RADAR. Belém do São Francisco, 1980. SC.24-X- A. Disponível em: <<http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>>. Acesso em: 01 mai 2016.

EGELS, Y., KASSER, M. **Digital Photogrammetry**. London: Taylor & Francis, 2002.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, Jataí, n. 13, p. 194-207, 2009.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de Sensoriamento Remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Brasília, Distrito Federal, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 29 mai 2016.

FONSECA, L. ; NAMIKAWA, L.; CASTEJON, E.; CARVALHO, L.; PINHO, C.; PAGAMISSE, A. Image Fusion for Remote Sensing Applications, In.: ZHENG, Yufeng (Ed.). **Image Fusion and Its Applications**. USA: Alcorn State University, 2011. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/imagefusion-and-its-applications/image-fusion-for-remotesensing-applications>>. Acesso em: 07 jun 2016.

GOUVEIA, A. L.; REIS, R. B.; XAVIER, L. A., KRUMBIEGEL, M. Programa de atualização permanente da base cartográfica contínua do Brasil, ao milionésimo (BCIM). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 3619 - 3626.

HELLWEGER, F. L.; SCHLOSSER, P.; LALL, U.; WEISSEL, J. K. Use of satellite imagery for water quality studies in New Your Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 61, p. 437-448, 2004.

IBGE. Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia **Manual de normas, especificações e procedimentos técnicos para a Carta Internacional do Mundo ao milionésimo: CIM 1:1 000 000**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 63 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 2).

IBGE. **Apostila de Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 122p.

IMPAGLIAZZO, M. Sensoriamento remoto como instrumentos para a gestão ambiental das áreas com potencial turístico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 5259-5264.

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Disponível em: < <http://www.inde.gov.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2016

INPE.Câmeras Imageadoras CBERS 3 e 4. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre_satelite/cameras_imageadoras_cbbers3e4.php >. Acesso em: 25 fev. 2016.

JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-Means. Pattern Recognition Letters. Michigan, v. 31, p. 651–666, 2010. Disponível em: <<http://dataclustering.cse.msu.edu/papers/ECMLTalk.pdf>>.

KIRK, J. T. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T. da; CERQUEIRA, R.W. O Exército Brasileiro e os Padrões de Dados Geoespaciais para A INDE. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., Recife, **Anais...** Recife: UFPE, 2012. p. 001 – 008.

MATSUOKA, C. T. **Atualização cartográfica urbana utilizando imagem quickbird**. 2006. 66 f. Dissertação (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Universidade do Rio Grande

do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2006.

MACQUEEN, J.B, Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. In: BERKELEY SYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, 5. 1967, Berkeley. **Anais...** Berkeley: University of California Press, 1967. p. 281-297.

MELO, I. D. F., CANDEIAS, A. L. B., MENDES, E. B. Mapeamento Sistemático: Software “Onde Estou?”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 341-347.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; ROSA, A. N. de C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B. de; SOUZA, E. B. de; BAPTISTA, G. M. de M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília, DF: MMA, 2006.

MORAES, R. M. **Sensoriamento remoto e classificação de imagens**. João Pessoa, 1999. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/procimagem/procimagem.htm>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; NERY, C. V. M. Monitoramento do uso e ocupação do solo na bacia do Rio Vieira no município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geomática**, Pato Branco, v. 2, n. 2, p. 50 - 58, 2014.

NERY, C. V. M., BRAGA, F. L., MOREIRA, A. A., FERNANDES, F. H. S. Aplicação do novo código florestal na avaliação das áreas de preservação permanente em topo de morro na sub-bacia do Rio Canoas no município de Montes Claro/ MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, n. 06, p. 1673-1688, 2013.

NETO, J. A. S., CARNEIRO, A. F. T., PAIXÃO, S. K. S. O Uso da IDE na Gestão Territorial. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/03, p. 351-360, 2011.

OHATA, A. T.; QUINTANILHA, J. A. O uso de algoritmos de clustering na mensuração da expansão urbana e detecção de alterações na Região Metropolitana de São Paulo (1991 – 2002). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. 2005. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 647 - 655.

PAES, R. F. de C, CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. do C. Sistemas de informações geográficas para subsidiar a tomada de decisão na gestão ambiental de reservatórios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3. 2010. Recife, PE. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p. 001 - 005.

PINHEIRO, J. G.; MANDARINO, F.; MORAIS, R. V. de. Estudo sobre a conversão de dados entre o modelo de intercâmbio de dados hidrográficos S-57 e o modelo ET-EDGV da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26. 2014. Gramado, RS. **Anais...** Gramado: UFRGS, 2014. p. 1-11.

POLIDORO, A. M.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Índice indicador de corpos d’água para imagens multiespectrais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS

GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1. 2004. Recife, PE. **Anais...** Recife: UFPE, 2004. p. 001 - 009.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

QUIRINO, D. T.; CASAROLI, D.; PEREIRA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. J.; ALMEIDA, R. T. S. et al. Avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM (algoritmo 3B42 Versão 7 e Real Time) utilizadas no balanço hídrico climatológico no Estado de Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. 2015. João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 5094-5101.

RAMME, F. L. P.; SANTOS, N. F. Desenvolvimento de um banco de dados geográficos para a categoria de informação hidrografia da ET-EDGV em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013. Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 2471 - 2478.

SABINS F. F. Jr. **Remote Sensing Principles and Interpretation**. New York: Freeman, 1997. 512 p.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3. ed. USA: Academic Press, 2007.

SILVA, M.; CANDEIAS, A. L. B. Atualização cartográfica através de imagens de satélites e ortofotocartas digitalizadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1. 2004. Recife, PE. **Anais...** Recife: UFPE, 2004. p. 001 - 008.

UNESCO. **Agua para todos, agua para la vida**. Paris: UNESCO, 2003. 36 p.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat Project Description**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php>. Acesso em: 14 jul. 2016.

VENTURIERI, A. **Curso de introdução às técnicas de Sensoriamento Remoto**. Belém, 2007. (Apostila).

VERGARA, O. R., CINTRA, J. P., D'ALGE, J. C. L. **Atualização cartográfica integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas de informação geográfica**. 2002. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/228845132>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

VILELA, M. A. M. A. **Metodologia para Monitoramento da Qualidade da Água de Reservatórios Utilizando Sensoriamento Remoto**. 2010. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

ZHANG, Y. Problems in the Fusion of Commercial High-Resolution Satellite as Well as Landsat 7 Images and Initial Solutions. In: SYMPOSIUM ON GEOSPATIAL THEORY,

PROCESSING AND APPLICATIONS, 34. 2002. Ottawa, Canada. **Anais...** Ottawa: ISPRS, 2002. p. 9 -12.

ANEXOS

ANEXO B - Carta Topográfica SC.24-X-A-V / Airi (1:100000).

