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

CLAUDIANNE BRAINER DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO ESPACIAL DE MÚLTIPLOS SENSORES

RECIFE
2018

CLAUDIANNE BRAINER DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO ESPACIAL DE MÚLTIPLOS SENSORES

Dissertação de Mestrado apresentado 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 do requisito para obtenção de grau de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior

RECIFE

2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

O48a Oliveira, Claudianne Brainer de Souza.
Análise da integração espacial de múltiplos sensores /Claudianne Brainer de Souza Oliveira. - 2018.
61 folhas, il.; tab.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Júnior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2018.
Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2. Fusão RGB-IHS. 3. Multifonte. 4. Bordas. 5. Análise espacial. I. Tavares Júnior, João Rodrigues (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2018-233

CLAUDIANNE BRAINER DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO ESPACIAL DE MÚLTIPLOS SENSORES

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: 21/02/2018

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Orientador)
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

_____

Profª. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinadora interna)
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dra. Rafaella Chrystiane de Moura Matos (Examinadora externa)
Faculdade Integrada de Pernambuco
Faculdade Joaquim Nabuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, força maior e toda a luz do meu caminho. Presença constante em todos os momentos fossem eles fáceis ou difíceis dessa jornada e aquele que me coloca diante de novos conhecimentos e amizades. Sei que “tudo posso naquele que me fortalece”;

Aos meus familiares (minha mãe Socorro Brainer, pai Ademir Felix e os irmãos Severino Neto, Breno Guedes e Bruno Guedes), a quem devo parte do que tenho e do que sou, agradeço a toda loucura e amor recebidos sempre;

À Saulo Carvalho, por sua amizade, cumplicidade, companheirismo, pelo carinho e compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva e em especial as suas palavras de apoio, porque quando a jornada se torna pesada e cansativa é você quem diz: “ eu acredito em você, vai dar tudo certo”;

Às amigas de mais de uma década, que mesmo não estando presentes diretamente, me deram apoio e palavras de conforto (Betânia Queiroz, Fabiana Ribeiro e Patrícia Conceição);

Aos amigos que fiz durante o curso, pela verdadeira amizade que construímos, por toda a ajuda que dispuseram sempre nos momentos em que estávamos todos atribulados de compromissos, (Albino, Andersonn, Clériston, Glauco, Paulo, Wedja e Weyller) e também por todos os momentos de descontrações e desabafos (Aline, Gabriela Deise, Gabriela Valenzuela, Lucas, Maxuel, Phablo e Rodrigo), meu especial agradecimento. Sem vocês essa trajetória não seria prazerosa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudos que viabilizou esta pesquisa.

Agradecimentos são estendidos ao Laboratório de Sensoriamento Remoto (LASENSO), pela disponibilidade do espaço para os meus estudos em Sensoriamento Remoto;

Aos Profs. João Rodrigues e Ana Lúcia por toda orientação e apoio mesmo nos seus momentos mais difíceis.

“Pedras no
caminho?
Guardo todas...
Um dia
Construirei um
Castelo!”

(Fernando Pessoa)

RESUMO

Esta pesquisa trata de experimentos da análise espacial multifonte de pontos das bordas do reservatório de Itaparica nas margens da cidade de Petrolândia e do perímetro irrigado de Apolônio Sales no município de Petrolândia, Pernambuco, Brasil, utilizando o método de fusão RGB-IHS de um recorte idêntico para as bandas da faixa do visível, representando a área de estudo (coordenadas do vértice inferior esquerdo do recorte: φ_1=-9°2'1"; λ_1=-38°19'55"; vértice superior direito: φ_2=-8°51'51"; λ_2=-38°7'4"). Para a primeira fusão usou-se a banda pancromática (0,51 µm a 0,85 µm) de 5 m, e as bandas 7-6-5 do sensor MUX do satélite CBERS-4 de 10 m; e na segunda fusão foi utilizada a banda 8 pancromática (0,500 µm a 0,680 µm) de 15 m, e as bandas 3-2-1 do sensor OLI do satélite LANDSAT 8. Esta pesquisa desenvolveu um método simples e realizou experimentos para detectar e quantificar as mudanças em informação espectral nas imagens fusionadas. O método envolve séries de testes de perfis espectrais (número digital vs. distância) nas interfaces água, vegetação e solo, que permitiram selecionar os perfis mais sensíveis as bordas; localizar e quantificar as discrepâncias entre bordas antes e depois das fusões, e ainda definiu três tipos de bordas sensíveis aos testes: solo exposto x água, área urbana x água, e vegetação x água (bordas homólogas com as mesmas coordenadas E, N), indicando quais das fusões obtiveram ganhos ou perdas na definição de bordas. As bandas 7-6-5 do sensor MUX (órbita-ponto 149-110; 23/01/2017) fusionadas de 10 m para 5 m, com 8 bits (256 níveis de cinza), demonstrou excelente ganho na capacidade de separar bordas, ganho este superior ao da fusão das bandas 4-3-2 de 30 m fusionadas para 15 m do sensor OLI (órbita-ponto 216-066; 26/01/2017), apesar de possuir uma maior quantização, de 16 bits (65536 níveis de cinza). O maior ganho depois da fusão na capacidade de definir bordas do MUX CBERS-4 foi comprovado pelas maiores variações de ND dos perfis espectrais nas bordas, quando comparadas aos resultados dos mesmos perfis do OLI LANDSAT-8. Os ganhos em contraste foram quantificados estatisticamente pela média e desvio-padrão, e matriz de correlação, entre recortes das bandas não fusionadas e fusionadas; as grandes diferenças entre média e desvio-padrão entre as bandas da composição R7-G6-B5 do MUX CBERS-4, indicam um ganho excelente em contraste para as bordas testadas, ao contrário dos ganhos menores na composição R4-G3-B2 do OLI LANDSAT 8, que

mostrou pequenas diferenças entre média e desvio-padrão, e baixa separação de bordas nos perfis.

Palavras-chave: Fusão RGB-IHS. Multifonte. Bordas. Análise espacial.

ABSTRACT

This research deals with experiments of the multispectral spectral analysis of points on the edges of the Itaparica reservoir on the banks of the city of Petrolândia and of the irrigated perimeter of Apolônio Sales in the city of Petrolândia, Pernambuco, Brazil, using the RGB-IHS fusion method of a similar equal for bands of the visible, representing the study area (coordinates of the lower left vertex of the cut: φ_1= -9°2'1"; λ_1= -38° 19'55"; upper right vertex: φ_2= -8°51'51"; λ_2= -38°7'4"). For the first fusion, the panchromatic band (0.51 μm to 0.85 μm) of 5 m was used, and the bands 7-6-5 of the MUX sensor of the CBERS-4 satellite of 10 m; and in the second melting the panchromatic band 8 (0.500 μm to 0.680 μm) of 15 m was used, and the OLI sensor bands 3-2-1 of the LANDSAT 8 satellite were used. This research developed a simple method and performed experiments to detect and quantify the changes in spectral information in the fused images. The method involves series of tests of spectral profiles (digital number vs. distance) at the interface water, vegetation and soil, which allowed to select the profiles more sensitive the edges; locate and quantify the discrepancies between edges before and after the fused, and defined three types of edges sensitive to the tests: soil exposed x water, urban area x water, and vegetation x water (homologous edges with the same coordinates E, N), indicating which fused obtained gains or losses in the definition of edges. The bands 7-6-5 of the MUX sensor (orbit-point 149-110; 23/01/2017) fused from 10 m to 5 m, with 8 bits (256 gray levels), demonstrated excellent gain in the ability to separate edges , gain higher than that of the fused of the 30 m bands 4-3-2 fused to 15 m of the OLI (orbit-point 216-066; 26/01/2017), sensor, despite having a greater quantization, of 16 bits (65.536 gray levels). The higher gain after fusion in the MUX CBERS-4 edge-defining ability was demonstrated by the higher ND variations of the edge spectral profiles when compared to the results of the same OLI LANDSAT-8 profiles. The contrast gains were statistically quantified by the mean and standard deviation, and correlation matrix, between cuts of the non-fused and fused bands; the large differences between mean and standard deviation between the bands of the composition R7-G6-B5 of the MUX CBERS-4, indicate an excellent contrast gain for the edges tested, as opposed to the smaller gains in OLI composition R4-G3-B2 LANDSAT 8, which showed small differences between mean and standard deviation, and low separation of edges in the profiles.

Keywords: RGB-HIS fusion. Multisource. Edges. Space analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de imagens de diferentes sensores e resoluções espaciais para discriminar áreas urbanas..... 22
Figura 2 - Exemplo do Espectro Eletromagnético..... 23
Figura 3 - Diferença de resolução radiométrica em área urbana..... 24
Figura 4 - Composição colorida de uma imagem do sensor OLI Landsat-8 dos canais 2-3-4 com os respectivos histogramas de cada banda..... 27
Figura 5 - Composição R(3)G(4)B(2) sem fusão (a) e fusionada (b) do satélite CBERS-4..... 29
Figura 6 - Modelo de representação gráfica dos atributos IHS por um cone..... 30
Figura 7 - Fluxograma do método IHS..... 31
Figura 8 - Exemplo de uma matriz de correlação..... 32
Quadro 1 – Resumo do estado da arte..... 35
Figura 9 - Reservatório de Itaparica..... 37
Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo..... 38
Figura 11 - Fluxograma detalhando a metodologia..... 42
Figura 12 - Imagens sem fusão e fusionada com seus respectivos histogramas do satélite Landsat-8..... 45
Figura 13 - Imagens sem fusão e fusionada com seus respectivos histogramas do satélite CBERS-4..... 46
Quadro 2 – Matrizes de Correlação Espectral..... 49
Figura 14 - Coleta e gráficos dos perfis da imagem sem fusão e fusionada do satélite Landsat-8..... 51
Figura 15 - Coleta e gráficos dos perfis da imagem sem fusão e fusionada do satélite CBERS-4..... 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat-8..... 19
Tabela 2 - Características das imagens orbitais dos sensores MUX e PAN do satélite CBERS-4..... 21
Tabela 3 - Exemplo de matriz de correlação..... 32
Tabela 4 - Comparação entre as imagens originais e fusionadas..... 48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 14
1.1 JUSTIFICATIVA..... 16
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA..... 17
1.2.3 Objetivo Geral..... 17
1.2.4 Objetivos Específicos..... 17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... 18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 19
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES..... 19
2.1.1 Landsat-8..... 19
2.1.2 CBERS-4..... 20
2.2 RESOLUÇÃO DAS IMAGENS EM SENSORIAMENTO REMOTO..... 21
2.2.1 Resolução Espacial..... 21
2.2.2 Resolução Espectral..... 23
2.2.3 Resolução Radiométrica..... 24
2.2.4 Resolução Temporal..... 25
2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS..... 25
2.3.1 Histograma de Imagem..... 26
2.3.2 Fusão..... 28
2.3.2.1 IHS (Intensidade-Matiz-Saturação)..... 29
2.4 ESTATÍSTICAS EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM..... 31
2.4.1 Matriz de Correlação..... 31
2.4.2 Coeficiente de Correlação de Pearson..... 33
2.4.3 Média e Desvio Padrão..... 33
2.5 ESTADO DA ARTE..... 35
3 ÁREA DE ESTUDO..... 37
3.1 LOCALIZAÇÃO..... 37
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICA-AMBIENTAL..... 38
4 MATERIAL E MÉTODOS..... 40
4.1 MATERIAL..... 40
4.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS..... 40
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... 41

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS..... 44
5.1 ANÁLISE DAS IMAGENS ORIGINAIS E FUSIONADAS..... 44
5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS ESTATÍSTICOS..... 47
5.3 GRÁFICOS DE PERFIS PARA DETECÇÃO DE BORDAS..... 49
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 55
REFERÊNCIAS..... 57

1 INTRODUÇÃO

Com a chegada de imagens de média e alta resolução e técnicas mais robustas, o sensoriamento remoto tem ganhado o interesse na comunidade acadêmica e tem sido utilizado para mapear os tipos de uso e cobertura da terra e para detecção das informações que compõem o espaço geográfico.

Uma característica dos sensores utilizados é a geração de imagens pancromáticas com resolução espacial superior à das imagens multiespectrais. Pesquisas são desenvolvidas no intuito de obter imagens híbridas de imagens multiespectrais e pancromáticas, para que assim possam obter imagens multiespectrais com uma resolução espacial de ótima qualidade.

O sensoriamento remoto tomou um papel crucial, impondo com veemência e razão a sua difusão no cotidiano das pessoas e em inúmeros campos da pesquisa, assim como no monitoramento de recursos naturais, e é neste contexto que o investimento no desenvolvimento de tecnologias nos sistemas sensores tem obtido avanços consideráveis (FIRMINO, 2013).

O desenvolvimento dos sistemas de sensoriamento remoto fornece uma grande quantidade de dados com suas respectivas particularidades. Transformar dados em informações, gerar conhecimento, depende da capacidade de processar estes sinais. Segundo Pradham (2008), este processamento também engloba a fundamentação da representação de imagens em níveis de resolução variados, a compressão, o processamento morfológico, relativo à extração das características úteis da imagem, os procedimentos de segmentação, a representação e a descrição de objetos e o reconhecimento de objetos. No âmbito do sensoriamento remoto, a grande variedade dos dados ocorre quando diferentes sistemas sensores ou sensores de um mesmo sistema captam as imagens com diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas.

O método de fusão de imagens RGB-IHS é um procedimento auxiliar de processamento digital de imagens muito disseminado, tendo como objetivo reduzir as dimensões do pixel (ampliação dos detalhes) das bandas multiespectrais, contudo, vários pesquisadores vêm utilizando esse método sem considerar a análise da integração espectral dessas imagens (GEVAERT E GARCÍA-HARO, 2014; BISQUERT et al., 2015; BYUN et al., 2015; GAO, et al., 2016).

A presente dissertação traz uma análise da integração de imagens usando a técnica fusão de imagem entre os sensores OLI do satélite Landsat-8 e MUX do satélite CBERS-4, ou seja, em termos do ganho ou perda de contraste nos tipos de bordas do reservatório de Itaparica: a- borda vegetação x área urbana x água, b- borda com cobertura vegetal x solo exposto x água, c- borda solo exposto x água. Essa abordagem é uma novidade na literatura.

Os perfis espectrais são as ferramentas analíticas destas bordas, enquanto a fusão é o processamento das imagens para melhorar a precisão espacial das imagens, visando ver perdas e ganhos no contraste das bordas.

Esse trabalho está vinculado ao Projeto INNOVATE, aprovado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT e pelo Ministério Alemão de Educação e Pesquisa – BMBF.

1.1 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a realização deste trabalho é preencher duas lacunas importantes existentes. A primeira é que existe uma lacuna no estado da arte na questão sobre a análise da integração de imagens multifonte utilizando a técnica de fusão de imagem, utilizando os sensores OLI e MUX dos satélites Landsat-8 e CBERS-4, respectivamente. A segunda refere-se ao estudo do ganho ou perda de contraste nos tipos de bordas do reservatório de Itaparica, através dos perfis espectrais que são as ferramentas analíticas destas bordas.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento espectral, utilizando a técnica de fusão de imagens e perfis espectrais das bordas do reservatório de Itaparica na cidade de Petrolândia, Pernambuco, Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

1- Analisar o comportamento espectral das bordas (a- borda área urbana x água, b- borda solo com cobertura vegetal x água, c- borda solo exposto x água) das imagens MUX e OLI não fusionadas, utilizando perfis espectrais e análises estatísticas;

2- Analisar o comportamento espectral das bordas (a- borda área urbana x água, b- borda solo com cobertura vegetal x água, c- borda solo exposto x água), das imagens MUX R(7) G(6) B(5) e OLI R(4) G(3) B(2) fusionadas, pelo método IHS.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em 7 (sete) itens e que são resumidos a seguir:

No item, **“1. Introdução”** apresentou-se a justificativa para elaboração do trabalho, bem como os objetivos geral e específicos e a estrutura do trabalho. No item, **“2. Fundamentação Teórica”**, faz-se uma revisão bibliográfica da base teórica referente aos seguintes temas: Características dos Satélites, estruturas das imagens em Sensoriamento Remoto, Resolução das Imagens em Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens, Matrizes de Correlação e o estado da arte. No item, **“3. Área de Estudo”** faz-se uma caracterização física e ambiental da área de estudo. No item, **“4. Material e Métodos”**, apresentam-se os softwares e equipamentos utilizados, bem como a metodologia empregada para a realização desta dissertação. No item, **“5. Análise dos Resultados”**, são mostrados os resultados obtidos neste trabalho e concomitante é feita uma análise desses resultados. No item, **“6. Conclusões”**, seguem as principais conclusões e avaliações dos resultados obtidos, bem como as recomendações para estudos futuros que abordem o tema em questão. E no último item, **“7. Referências Bibliográficas”**, consta toda a bibliografia utilizada para esse trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O termo Sensoriamento Remoto é definido por Florenzano (2002) como o "conjunto de atividades que permitem a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida". Ou ainda, por Meneses e Almeida (2012) como sendo a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES

2.1.1 Landsat-8

O Landsat 8 opera com dois sensores imageadores: o *Operational Land Imager* (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática com resolução espacial de 15m e as demais bandas com 30m e o seu período de revisita é de 16 dias. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA, e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) com resolução espacial original de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros para coincidir com as demais bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (Tabela 1).

Tabela 1: Características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat-8

Bandas	***Comprimentos de ondas (μm)***	***Resolução Espacial (m)***
Banda 1 – Ultra-Azul	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Vermelho	0.64 - 0.67	30

Tabela 1: Características das imagens orbitais dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat-8

(continuação)

Bandas	***Comprimentos de ondas (μm)***	***Resolução Espacial (m)***
Banda 5 - Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1	10.6 - 11.19	100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 m
Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2	11.5 - 12.51	100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 m

Fonte: Adaptada de USGS.

2.1.2 CBERS-4

No que tange aos sistemas imageadores, o Brasil é responsável pelas câmeras MUX e WFI, enquanto a China é responsável pelos IRS e PAN. Essa divisão de responsabilidade estende-se aos demais sistemas e também aos custos de toda a missão, que é de 50% para cada país. Os quatro imageadores conferem aos CBERS-4 uma complexidade em termos de imageamento. Ao mesmo tempo, esses imageadores complementam-se e fornecem aos usuários uma gama de atributos muito interessante (INPE, 2016).

A câmera MUX (Tabela 2) foi desenvolvida no Brasil e sua principal função é manter a continuidade dos imageamentos feitos pelos três CBERS anteriores. É o sensor que assegura o recobrimento global pelo CBERS numa resolução espacial padrão a cada 26 dias. Com um campo de visada estreito, há pouca alteração no tamanho do pixel nas bordas da imagem. As aplicações dessa câmera são as já desenvolvidas para os satélites que possuem câmeras nessa classe de resolução (20 metros). Ao contrário da sua congênere a bordo dos CBERS anteriores, a MUX

não possui capacidade de visada lateral. Essa capacidade foi transferida para a câmera PAN (INPE, 2016).

Tabela 2: Características das imagens orbitais dos sensores MUX e PAN do satélite CBERS-4

Satélite / Sensor	**Resolução Espacial**	**Bandas**	**Faixa Imageada**
CBERS / MUX	20m	B05: 0,45 – 0,52 µm (Azul) B06: 0,52 – 0,59 µm (Verde) B07: 0,63 – 0,69 µm (vermelho)	120km
CBERS / PAN	5m	B01: 0,51 – 0,85 µm	60km

Fonte: Adaptada do INPE.

2.2 RESOLUÇÃO DAS IMAGENS EM SENSORIAMENTO REMOTO

Campbell (1996) define resolução como a “capacidade do sistema sensor em discriminar informações de detalhe”. Ou seja, é a limitação operacional de um sistema de sensoriamento remoto para produzir uma imagem nítida e bem definida.

O termo resolução em sensoriamento remoto se divide em quatro parâmetros diferentes: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal.

2.2.1 Resolução Espacial

O tamanho individual do elemento de área imageada no terreno representa em qualquer tipo de sensor uma propriedade importante da imagem: a resolução espacial (Figura 1).

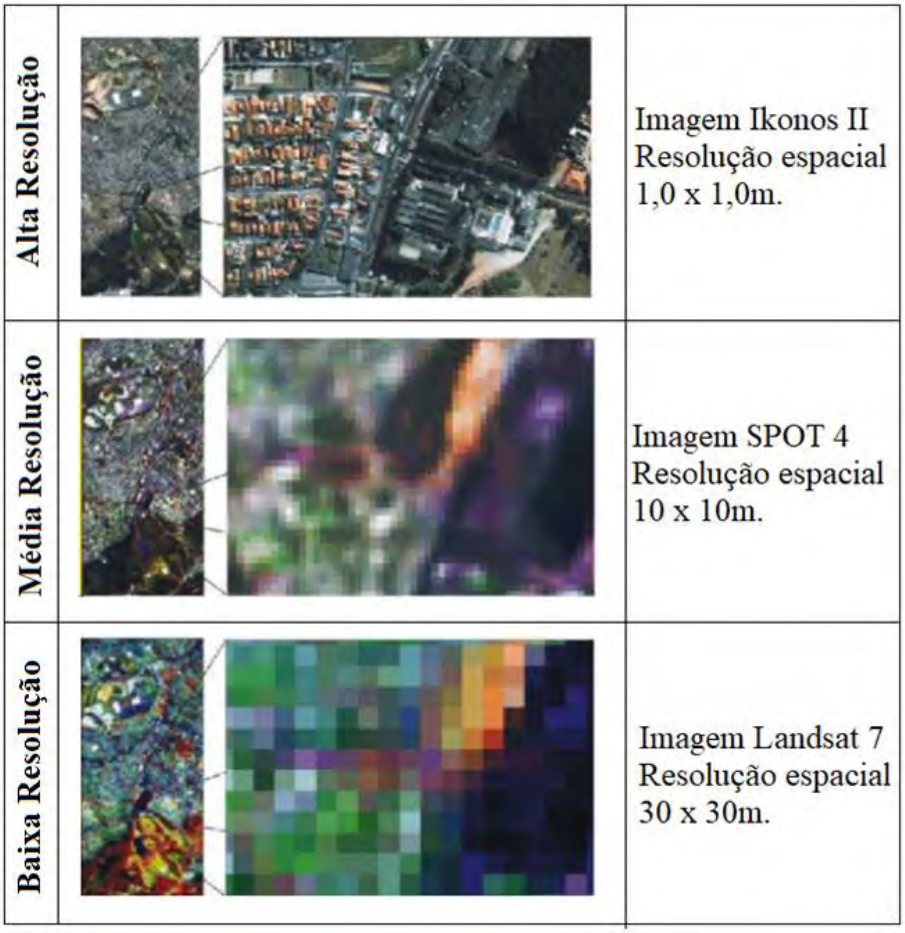
Melo (2002), explica que a resolução espacial refere-se à habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. Esta habilidade baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definindo a sua área do campo de visada do instrumento numa certa altitude e num determinado instante.

Uma imagem digital, como os dados de satélites, é um conjunto ordenado de valores numéricos, em que cada valor está relacionado com a radiância de uma área no terreno representada por uma simples célula ou pixel (MOREIRA, 2001).

A resolução espacial é um importante parâmetro do sensor porque ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem (MENESES E ALMEIDA, 2012).

A figura 1 apresenta uma mesma área com alta, média e baixa resolução espacial e visualiza-se os resultados com maior detalhe (alta resolução) ao menor detalhe (baixa resolução).

Figura 1: Exemplo de imagens de diferentes sensores e resoluções espaciais para discriminar áreas urbanas.



Fonte: Adaptada de MELO (2002).

2.2.2 Resolução Espectral

Segundo Novo (1992), resolução espectral é *"uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno*".

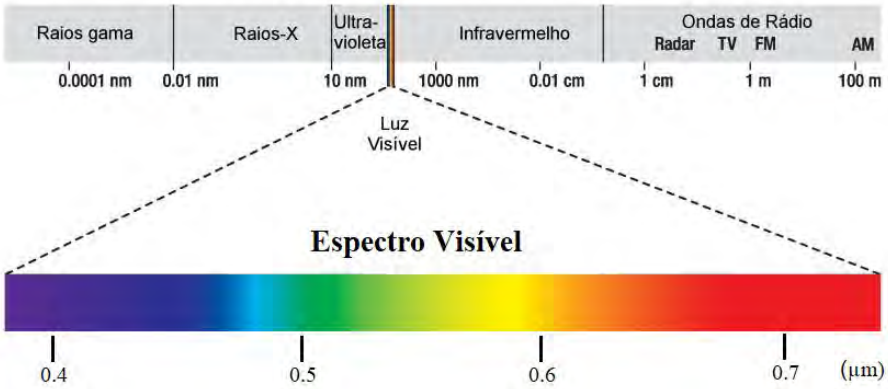
Moreira (2001) complementa dizendo que, resolução espectral refere-se ao poder de resolução que o sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre, ou seja, o número de bandas do sensor e a largura da faixa espectral de cada banda.

De acordo com Meneses e Almeida (2012) o termo resolução espectral envolve pelo menos três parâmetros de medida:

i) o número de bandas que o sensor possui;
ii) a largura em comprimento de onda das bandas;
iii) as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético.

Portanto, quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a discriminação do alvo na cena e melhor a resolução espectral (MELO, 2002).

Figura 2: Exemplo do Espectro Eletromagnético



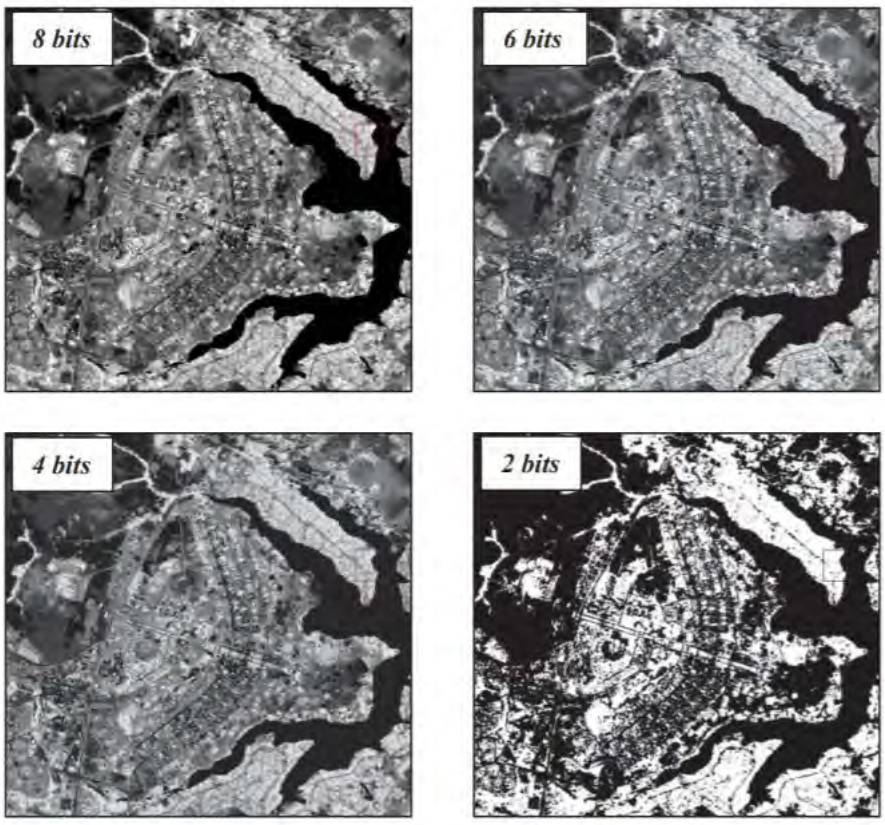
Fonte: A autora.

2.2.3 Resolução Radiométrica

Refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. A radiância de cada pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de *Número Digital* (ND) (BRYS, 2008).

O número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo 8 bits significam 2^8 = 256 níveis de cinza como é o caso das imagens do CBERS-4. A Figura 3 ilustra essa diferença de níveis de cinza que vão de 8 bits até 2 bits.

Figura 3 - Diferença de resolução radiométrica em área urbana.



Fonte: MENESES e ALMEIDA (2012).

2.2.4 Resolução Temporal

Refere-se à frequência de passagem do sensor num mesmo local, num determinado intervalo de tempo. Este ciclo está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação), e ao ângulo total de abertura do sensor (Melo 2002). É o intervalo de vezes que o satélite observa uma mesma área do terreno em um determinado período.

Sendo assim, a resolução temporal significa à periodicidade com que o sistema sensor adquire imagens da mesma porção da superfície terrestre. A sequência temporal dos sistemas varia de acordo com os objetivos fixados para o sensor. Os satélites de recursos naturais oferecem uma periodicidade muito maior, pois não estão coletando informações de fenômenos tão dinâmicos como os meteorológicos. Assim, a resolução temporal destes satélites está entre os 16 dias do LANDSAT-8 e os 26 do CBERS-4.

Meneses e Almeida (2012), dizem que, a resolução temporal é fundamental para acompanhar ou detectar a evolução ou mudanças que ocorrem na Terra, principalmente para alvos mais dinâmicos, como o ciclo fenológico de culturas, desmatamentos, desastres ambientais, tendo forte impacto na monitoração ambiental.

2.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Por Processamento Digital de Imagens (PDI) entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

Conforme Silva (2001), a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O

resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Ainda segundo Silva (2001), o sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões. Contudo, ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informação presente numa imagem. Vários tipos de degradações e distorções, inerentes aos processos de aquisição, transmissão e visualização de imagens, contribuem para limitar ainda mais essa capacidade do olho humano.

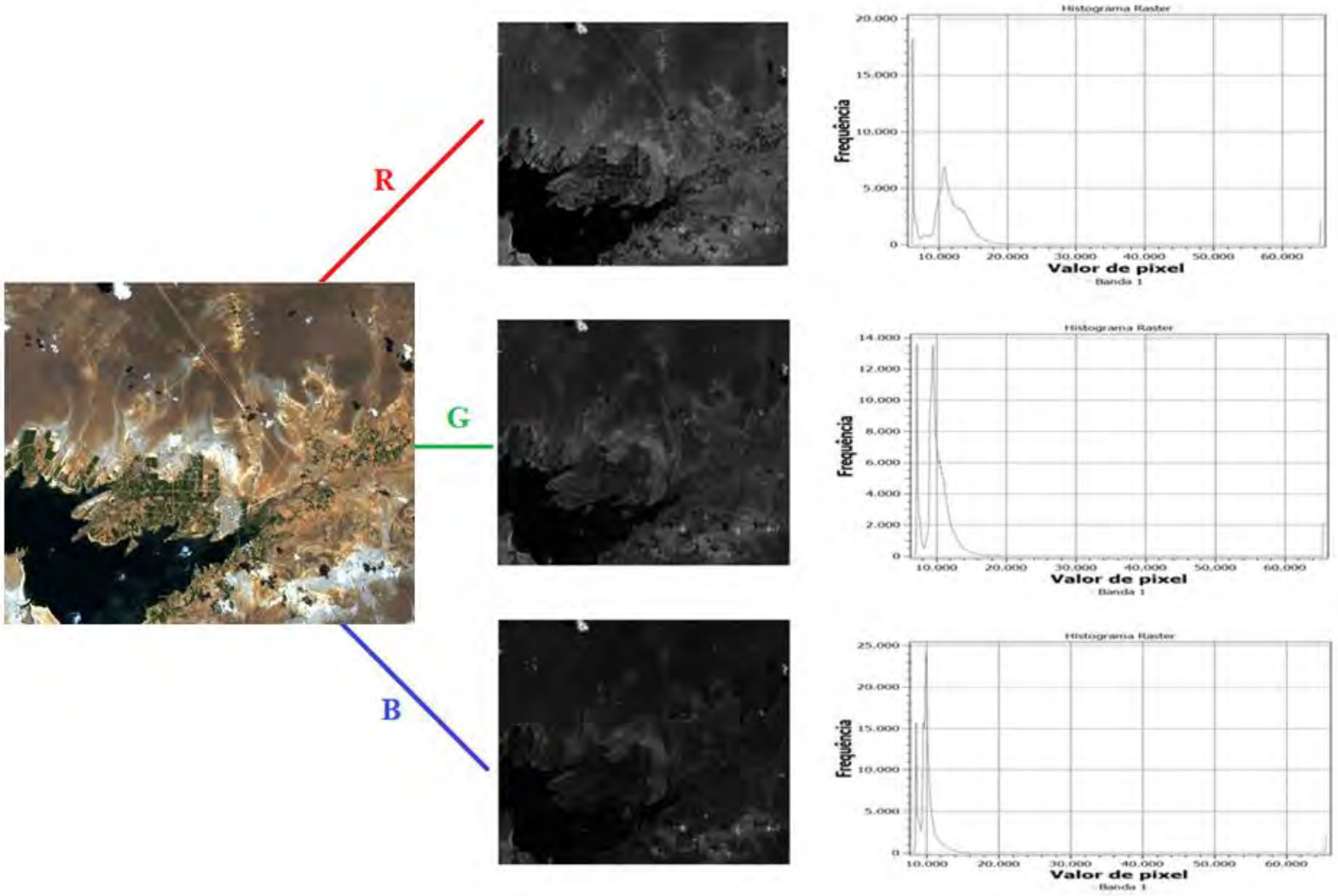
O objetivo principal do processamento de imagens é o de remover essas barreiras, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens (BRYS, 2008).

2.3.1 Histograma de Imagem

Os valores digitais das bandas individuais de um sensor podem ser computados na forma de um gráfico de barras, onde as alturas das barras indicam a quantidade de números de pixels presentes na imagem, com um determinado valor de brilho. Isso é uma representação estatística da distribuição de frequências de uma variável quantitativa na forma de histograma (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Conforme Silva (2001), em processamento de imagens, trabalha-se sempre com os tons de cinza (*digital numbers* ou *DNs*) atribuídos aos pixels de uma imagem. O histograma (Figura 4) é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DNs de uma imagem, e possivelmente a mais útil em processamento digital de imagens. Ele fornece a informação sobre quantos pixels na imagem possuem cada valor possível de DN (que, no caso das imagens de 8 bits, variam de 0 a 255) ou, de forma equivalente, qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN.

Figura 4 – Composição colorida de uma imagem do sensor OLI/Landsat-8 dos canais 2-3-4 com os respectivos histogramas de cada banda.



Fonte: A autora

2.3.2 Fusão

Para melhor visualização dos dados gerados por diferentes sensores, alguns procedimentos de processamento de imagens têm sido desenvolvidos e aplicados. Alguns destes procedimentos combinam imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original. A estas operações dá-se o nome de fusão de imagens (NOVO, 2010).

A fusão de imagens é uma estrutura dependente de aplicação para fazer uso de duas ou mais imagens / bandas espectrais complementares dos mesmos ou diferentes sensores para a mesma área para obter mais informação que não é conseguida utilizando cada imagem / banda sozinha, a fim de melhorar a qualidade da interpretação das imagens (ABDIKAN & SANLI, 2012).

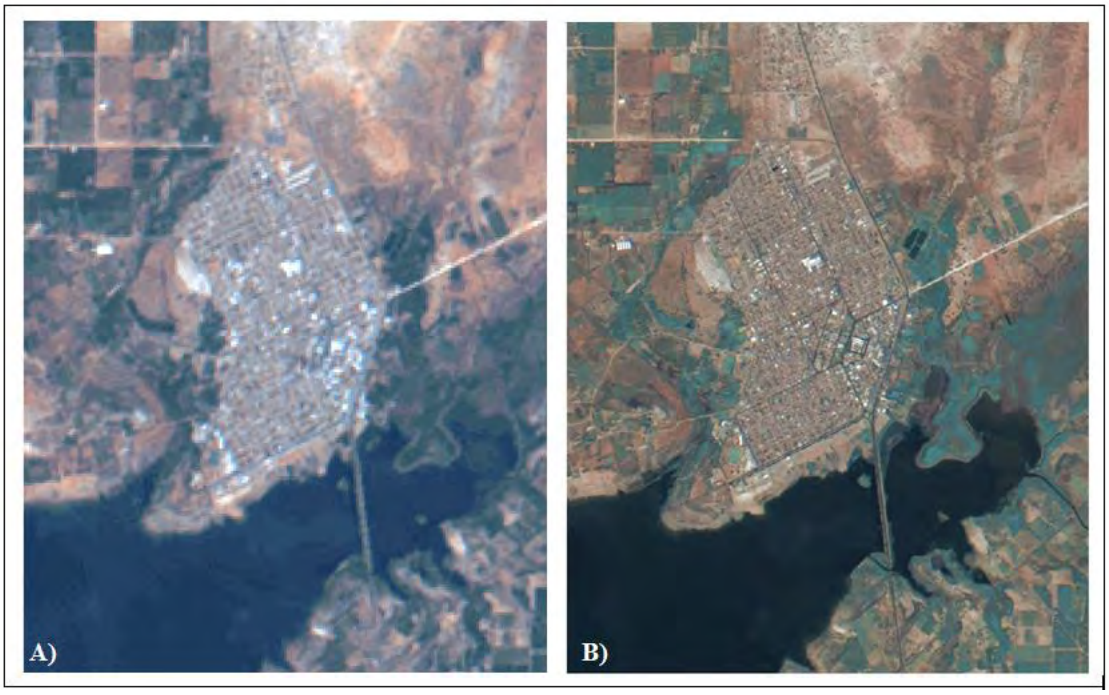
Para Dong et al. (2014), a fusão de dados orbitais pode ser caracterizada como uma estrutura de trabalho em geoprocessamento onde ferramentas e técnicas são desenvolvidas com o objetivo de combinar informações advindas de diferentes sensores, onde a utilização dessa técnica permite a obtenção de uma imagem de melhor qualidade (Figura 5).

Ejaily et al.(2013), Bhaskarrajan (2014) descrevem a fusão de imagens e suas técnicas em detalhes. Devido à informações complementares de diferentes características espectrais e espaciais de dados de multifontes, a fusão de imagens pode facilitar a interpretação de imagem.

As técnicas de fusão incluem: Intensidade-Matiz-Saturação (IHS); Componentes Principais; Transformação de Brovey; Transformação Wavelet, dentre outros. No entanto, o método de IHS é um dos mais utilizados devido a sua eficiência e facilidade de implementação (Tu et al., 2001).

O método de fusão de imagens RGB-IHS é um procedimento auxiliar de processamento de imagens muito disseminado, tendo como objetivo reduzir as dimensões do pixel das bandas multiespctrais, contudo, vários pesquisadores vêm desenvolvendo novos metodos, não considerando a questão multifonte (DONG et al. 2014; BHASKARRAJAN, 2014; EJAILY et al, 2013; ABDIKAN e SANLI, 2012). Para o sistema sensor, MUX-PAN CBERS-4 e OLI/TIRS a fusão RGB-IHS atende a proposta auxiliar de fusão para este trabalho.

Figura 5 - Composição R(7)G(6)B(6) sem fusão (A) e fusionada (B) do satélite CBERS-4.



Fonte: A autora.

2.3.2.1 IHS (Intensidade-Matiz-Saturação)

O controle dos equipamentos de visualização de imagens multiespectrais é feito através das componentes R, G e B. Já o IHS interpreta a cor como a combinação de três componentes conhecidas por intensidade (*Intensity*), Matiz (*Hue*) e Saturação (*Saturation*). O espaço de atributos de cores representado por estas três componentes é conhecido por IHS. Esses atributos podem ser analisados e manipulados individualmente, ao contrário do sistema RGB onde eles são intrinsecamente interligados (TEIXEIRA, 2008).

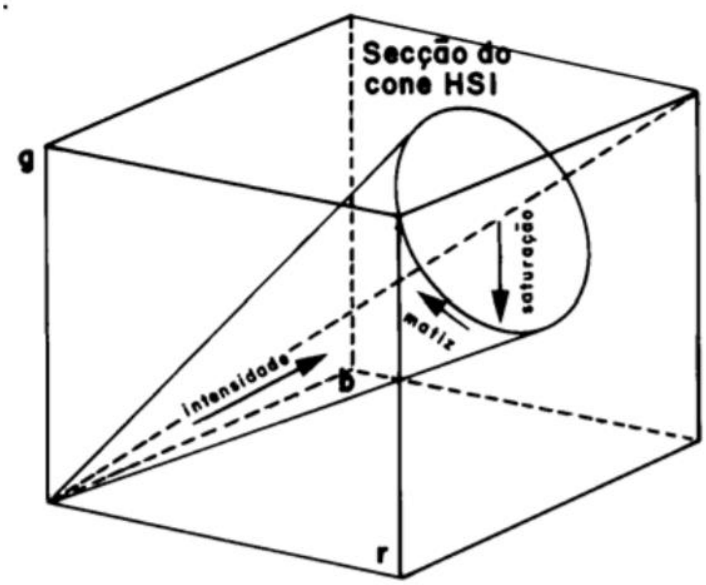
O IHS pode ser comparado com o olho humano que enxerga imagens sem distinguir o vermelho, azul e verde (RGB), mas sim a intensidade, a matiz e a saturação das cores (SPRING, 2006). Devido a isso, este sistema apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB.

Segundo a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE (2016) a intensidade ou brilho é a medida de energia total envolvida nos comprimentos de onda, sendo responsável pela sensação de brilho da energia incidente sobre o olho.

A matiz ou cor de um objeto é a medida do comprimento de onde médio da luz que se reflete ou se emite, definindo, a cor do objeto. Já a saturação ou pureza, expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda produzindo tons pastéis (apagados).

O espaço IHS pode ser graficamente representado por um cone. A relação espacial entre o espaço RGB e IHS é mostrada na figura 6.

Figura 6 – Modelo de representação gráfica dos atributos IHS por um cone.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

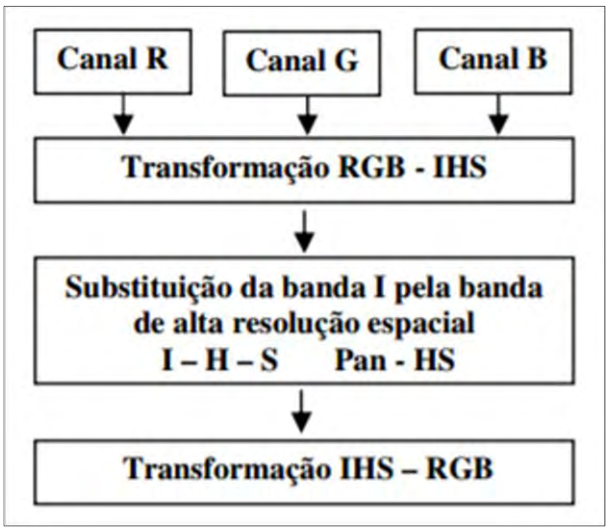
A distância de um ponto até a origem ou ápice do cone representa a intensidade. A distância radial do ponto até o eixo central do cone representa a saturação. O matiz é representado como uma sequência radial ao redor dos círculos de saturação e do eixo de intensidade (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Por serem independentes, estes três parâmetros podem ser analisados e modificados separadamente, para um melhor ajuste das cores às características do sistema visual. É muitas vezes utilizada para produzir imagens integradas de sensores diferentes ou imagens de geofísica.

O método IHS (Figura 7) consiste em transformar o R, G e B da imagem multiespectral em componentes IHS, substituindo a componente de intensidade pela

imagem pancromática, e realizando o inverso para obter uma alta resolução espacial multiespectral da imagem (BHASKARRAJAN, 2014).

Figura 7 - Fluxograma do método IHS



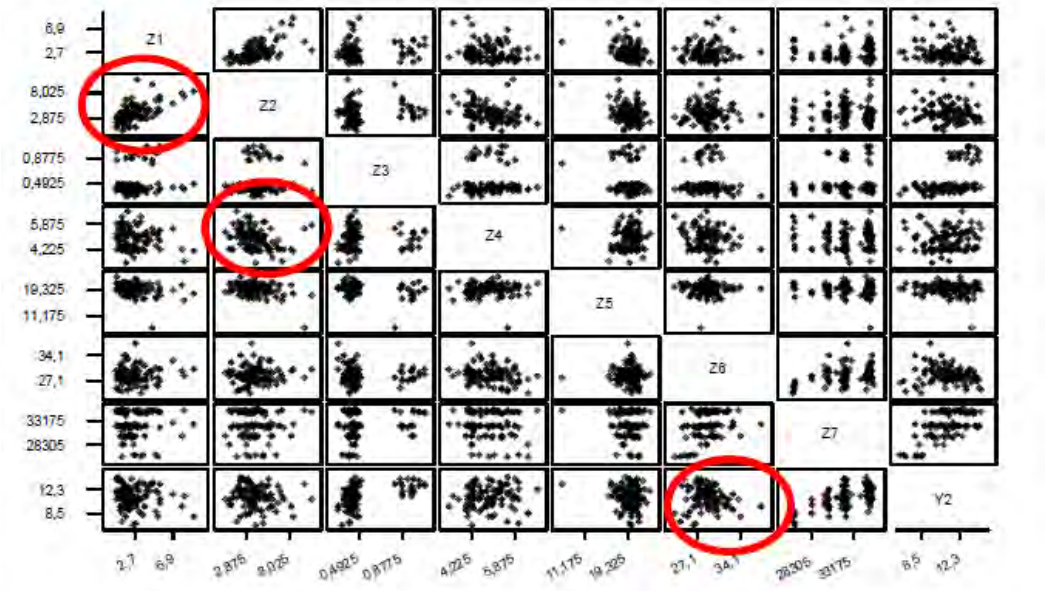
Fonte: Nascimento et. al., 2007.

2.4 ESTATÍSTICAS EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

2.4.1 Matriz de Correlação

A Matriz de correlação (Figura 8) é utilizada para iniciar a análise estatística dos dados históricos dos diversos universos estudados, identificando visualmente as variáveis envolvidas no estudo que se relacionam entre si (LÍRIO, 2004).

Figura 8: Exemplo de matriz de correlação de análise estatística, indicando as variáveis que se relacionam.



Fonte: Adaptada de Amaral (2011).

De acordo com ALMEIDA FILHO (2001) a matriz de correlação é uma matriz quadrada cujos elementos são as correlações entre as variáveis analisadas, onde na diagonal principal todos os elementos são iguais a 1 (um), visto que cada variável é totalmente correlacionada com ela mesma (Tabela 3). Já a matriz de covariância é uma matriz quadrada cujos elementos fora da diagonal principal são as covariâncias entre as variáveis e na diagonal principal são as variâncias de cada variável.

Tabela 3: Exemplo de uma matriz de correlação.

	Opç	Retor	Anúnc	Necess	Hora	Atend	Solic	Dispon	Prest	Pontu	Pós-Ven	Preç	Condi	Cont
Opç	1,00													
Retor	**0,51**	1,00												
Anúnc	0,17	0,25	1,00											
Necess	0,25	0,41	**0,54**	1,00										
Hora	0,35	0,40	0,16	0,31	1,00									
Atend	0,39	0,24	0,31	0,20	0,28	1,00								
Solic	0,29	0,20	0,11	0,09	0,21	0,36	1,00							
Dispon	0,18	0,18	0,16	0,08	0,28	0,49	0,39	1,00						
Prest	0,24	0,16	0,19	0,15	0,29	0,43	0,44	**0,66**	1,00					
Pontu	0,26	0,12	0,25	0,13	0,23	**0,56**	0,41	**0,71**	**0,75**	1,00				
Pós-Ven	0,36	0,28	0,23	0,22	0,24	0,30	0,27	0,22	0,17	0,33	1,00			
Preç	0,28	0,32	0,35	0,31	0,41	0,41	0,31	0,18	0,20	0,20	0,30	1,00		
Condi	0,27	0,30	0,35	0,25	0,27	0,30	0,27	0,12	0,13	0,14	0,22	**0,56**	1,00	
Cont	**0,51**	**0,52**	0,35	0,37	0,43	0,40	0,41	0,24	0,33	0,27	0,45	**0,55**	0,46	1,00

Fonte: Lírio (2004).

2.4.2 Coeficiente de Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson pode ser entendido como uma medida do grau de relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias, apresentando, assim, ênfase na predição do grau de dependência entre ambas (BRITO, 2007).

A análise de correlação tem a finalidade de quantificar o grau de associação linear entre as variáveis e a estatística que descreve a intensidade desta associação é o coeficiente de correlação (SCHULTZ e SCHULTZ, 1992). O coeficiente de correlação varia de -1 a 1, sendo que os extremos representam perfeita correlação entre variáveis e 0, a ausência.

A interpretação do coeficiente quando r = 1 é de que existe correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y. A correlação é linear perfeita positiva quando r = 1 e linear perfeita negativa quando r = −1. Quando se tem r = 0, não existe correlação linear entre as variáveis X e Y.

Entretanto, na prática ocorrem diferentes valores de (r). A interpretação do valor de r depende muito dos objetivos de sua utilização e as razões pelas quais este é calculado. Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003, p. 90), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

se $0{,}00 < r < 0{,}30$, existe fraca correlação linear;

se $0{,}30 \leq r < 0{,}60$, existe moderada correlação linear;

se $0{,}60 \leq r < 0{,}90$, existe forte correlação linear;

se $0{,}90 \leq r < 1{,}00$, existe correlação linear muito forte.

O coeficiente de correlação pode conter qualquer valor entre -1 e 1, onde o sinal do coeficiente (+, -) define se a direção da relação entre as duas variáveis é positiva ou negativa. Assim, uma correlação positiva indica que, à medida que os valores das componentes de uma variável aumentam os valores das componentes da outra variável também aumentam. O oposto ocorre para a correlação negativa, pois enquanto uns aumentam, os outros diminuem (BRITO, 2007).

2.4.3 Média e Desvio Padrão

A Média Aritmética de um conjunto de dados é obtida somando todos os valores e dividindo o valor encontrado pelo número de dados desse conjunto. É muito utilizada em estatística como uma medida de tendência central.

Segundo Martins (2013), a média é considerada uma medida de tendência central e é muito utilizada no cotidiano. Surge do resultado da divisão do somatório dos números dados pela quantidade de números somados.

Meneses e Almeida (2012) complementam dizendo que, em Processamento Digital de Imagens a média está relacionada com uma grandeza que indica algo sobre o nível de reflectância dos alvos presentes na cena.

Desvio padrão de uma amostra (ou coleção) de dados, de tipo quantitativo, é uma medida de dispersão dos dados relativamente à média, que se obtém tomando a raiz quadrada da variância amostral. Uma vez que a variância amostral se exprime nas unidades dos dados elevados ao quadrado, considera-se como medida de dispersão, não a variância, mas a sua raiz quadrada (MARTINS, 2013).

O desvio padrão é uma medida que só pode assumir valores não negativos e quanto maior for o seu valor, maior será a dispersão dos dados.

O resultado matemático de uma imagem não é 100% a representação do mundo real. Por isso, sempre caberá ao usuário, à análise e a interpretação dos dados contidos na imagem.

2.5 ESTADO DA ARTE

Quadro 1 – Resumo do estado da arte

TÍTULO	AUTOR	Periódico. QUALIS em Geociências	MÉTODOS E IMAGENS UTILIZADAS	ANO
Comparison of different fusion algorithms in urban and agricultural areas using sar (palsar and radarsat) and optical (spot) images	Abdikan & Sanli	Boletim de Ciências Geodésicas (B1)	Comparações visuais qualitativas e Inspeções Estatísticas. Imagens: PALSAR, RADARSAT-1, SPOT-2	2012
New Image Fusion Technique to Improve the Quality of Remote Sensing images	Ejaily et al.	International Journal of Computer Science Issues.	Geração de imagens fusionadas a partir dos métodos IHS e Componentes Principais. Imagens: QuickBird	2013
Satellite Image Fusion using IHS and PCA Method	Bhaskarrajan	International Journal of Innovative Science.	Geração de duas imagens fusionadas a partir dos métodos IHS e Componentes Principais. Imagens: QuickBird-2 (PAN e Multiespectral).	2013
A comparison of STARFM and an unmixing-based algorithm for Landsat and MODIS data fusion	Gevaert e García-Haro	Elsevier (A1)	Comparar métodos de fusão de dados aplicados a sensores com média e alta-resoluções espaciais. Sensor: Landsat e Modis.	2014
A Bidimensional Empirical Mode Decomposition Method for Fusion of Multispectral and Panchromatic Remote Sensing Images	Dong et al.	Remote Sensing (A2)	Comparações visuais entre todos os métodos. Imagens: TM, SPOT, IKONOS	2014
A Simple Fusion Method for Image Time Series Based on the Estimation of Image Temporal Validity	Bisquert et al.	Remote Sensing, A2	Criar um método de fusão simples e rápido baseado em uma média ponderada de duas imagens de entrada (H e L). Sensor: Landsat e Modis	2015

Quadro 1 – Resumo do estado da arte

TÍTULO	AUTOR	Periódico. QUALIS em Geociências	MÉTODOS E IMAGENS UTILIZADAS	ANO
Image Fusion-Based Change Detection for Flood Extent Extraction Using Bi-Temporal Very High-Resolution Satellite Images	Byun et al.	Remote Sensing (A2)	Uma nova abordagem de detecção de mudança sem supervisão baseada na fusão da imagem.Sensor: KOMPSAT-2	2015
Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery	Gao, et al.	Elsevier (A1)	Avaliar as abordagens de sensoriamento remoto para o mapeamento de fenologia de culturas utilizando séries de tempo de índice de vegetação geradas pela imagem de reflectância superficial. Sensor: Landsat e Modis	2016
Fusion of Sentinel-2 images	Wang, et al.	Elsevier (A1)	Desenvolver um novo método de fusão para reduzir a escala das seis bandas de 20 m para uma resolução espacial de 10 m usando as quatro bandas de 10 m observadas diariamente. Sensor: Sentinel-2	2017
A Rigorously-Weighted Spatiotemporal Fusion Model with Uncertainty Analysis	Wang e Huang	Remote Sensing (A2)	Rigorously-weighted spatiotemporal fusion model (RWSTFM) - Thresholding method -Multiple sensor method: MODIS TM-5	2017
Generating a series of fine spatial and temporal resolution land cover maps by fusing coarse spatial resolution remotely sensed images and fine spatial resolution land cover maps.	Li, et al.	Elsevier (A1)	Criação de um modelo de Fusion Model de Mapas e Imagens (STIMFM), modelo espacial-temporal temporal, para produzir mapas de cobertura de terra em resoluções espaciais e temporais finas.	2017
Image Registration and Fusion of Visible and Infrared Integrated Camera for Medium-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing	Li, et al.	Remote Sensing (A2)	Criação de um novo método de registro e fusão de imagens através de câmeras integradas de luz visível e infravermelho de uso comum montadas em veículos aéreos não tripulados de média altitude (UAVs).	2017

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

O Reservatório de Itaparica (barragem Luiz Gonzaga) localiza-se na região do Submédio da Bacia do Rio São Francisco. Este reservatório foi construído para geração de energia elétrica. Ele está compreendido entre os municípios de Petrolândia, Tacaratu, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco, no Estado de Pernambuco, e os municípios de Glória, Rodelas e Chorrochó, no Estado da Bahia.

Segundo Silva et al. (2007) a construção do reservatório de Itaparica teve início em 1975 e com conclusão em 1985. O Reservatório de Itaparica (Figura 9) possui 150Km de extensão leste-oeste dos municípios de Jatobá e Petrolândia até Belém do São Francisco no estado de Pernambuco, e Glória, Rodelas, Chorrochó e Abaré no estado da Bahia, Brasil. O Reservatório está localizado na extremidade do baixo São Francisco, 50 Km dos reservatórios de Paulo Afonso-Moxotó.

Figura 9: Reservatório de Itaparica

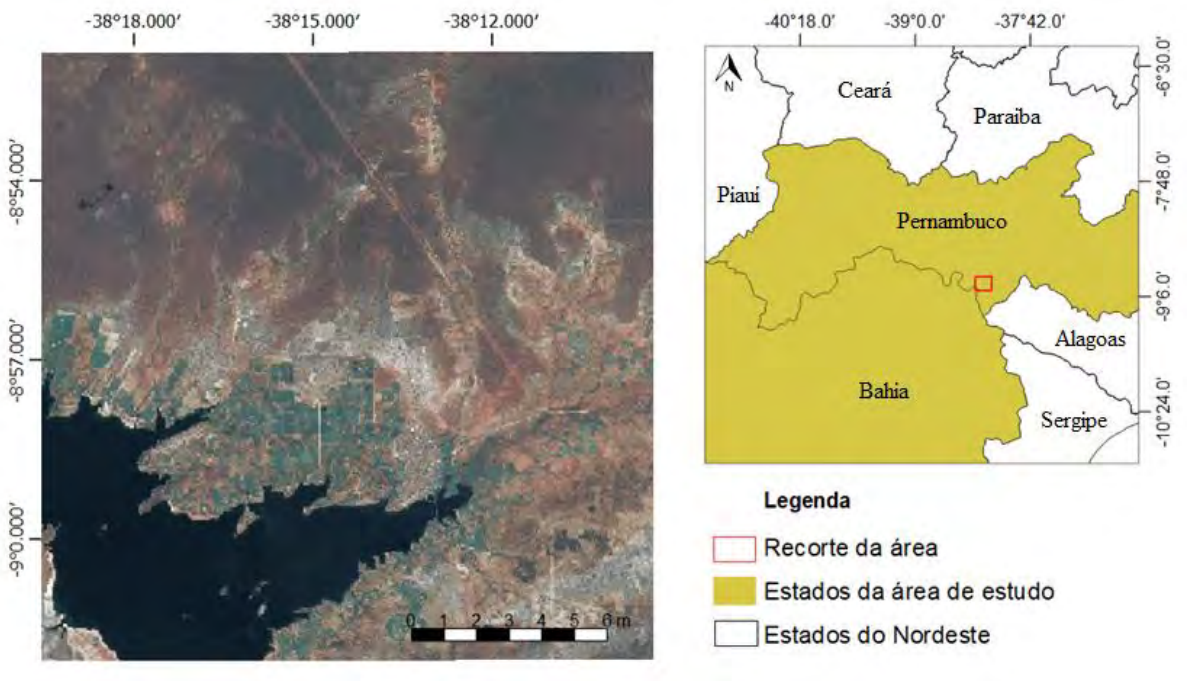
Fonte: Google Earth ©, 2018.

A área de estudo do presente trabalho compreende uma das principais divisões do Reservatório de Itaparica, englobando a cidade de Petrolândia e o

perímetro irrigado Apolônio Sales, na Mesorregião do São Francisco Pernambucano no estado de Pernambuco, Brasil (Figura 10).

O recorte da área situa-se entre as coordenadas φ_1= -9°2'1"; λ_1= -38°19'55" (vértice inferior esquerdo do recorte) e φ_2= -8°51'51"; λ_2=- 38°7'4" (vértice superior direito).

Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A autora.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-AMBIENTAL

A área está localizada na "Depressão de São Francisco", que significa um clima semiárido quente e seco com chuvas de verão a outono (clima BShw' da classificação Köppen) cuja precipitação anual diminui de sudeste para nordeste, variando entre 448 e 610 mm e se caracteriza pela alta evaporação com duas estações sazonais definidas. (SUDENE, 1990).

O período chuvoso se estende de maio a julho, o período mais seco de setembro a novembro. A temperatura anual é de cerca de 26°C e há uma taxa de evaporação anual muito alta de 2.386 mm (CODEVASF, 1998).

A região está situada parte sobre o cristalino e parte sobre área sedimentar, com regime hídrico negativo, vegetação da caatinga, além de área de agricultura (GUILLOU, 2016).

A geologia da área é composta principalmente de formações arenosas da bacia sedimentar de Jatobá, formando a planície ondulado liso e suave da área de estudo. Sua altitude varia de 300 m a pouco mais de 500 m. É principalmente de areias de latossolos de quartzo (EMBRAPA, 2001). As areias da área de Petrolândia para Ibimirim / Estado de Pernambuco são muito profundas, excessivamente drenadas, fortes para extremamente ácidas e têm baixa fertilidade natural (Cavedon, 1986). Com a presença de Umbuzeiro (Tuberosa spondias), Juazeiro (Juazeiro zizyohus), Mandacaru (Cereus famacuruos) e Acacia (Acaria spp.) como espécies tipicamente tolerantes ao sal (SILVA et. al., 2007).

Segundo Silva et. al. (2007) a vegetação natural da área é a caatinga hiperxerófita arbórea densa, no topo das chapadas e arbórea aberta, nos níveis inferiores da encosta e da base desses relevos, sendo observadas áreas de pastagens plantadas e também áreas com culturas temporárias, semi-temporárias e permanentes, restritas aos projetos de irrigação. Com a presença de Umbuzeiro (Tuberosa spondias), Juazeiro (Juazeiro zizyohus), Mandacaru (Cereus famacuruos) e Acacia (Acaria spp.) como espécies tipicamente tolerantes ao sal. Os solos são heterogêneos, com teores variáveis de argila, indicando suscetibilidade variável à erosão e o relevo caracteriza-se por ser suave ondulado.

De acordo com Matta et al. (2017), hoje em dia, os usos do reservatório de Itaparica são muitos, além do armazenamento de água e geração de energia, também é usado para agricultura de irrigação e produção de aquicultura, consumo de água humana e animal, navegação, recreação e pesca.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os softwares utilizados, bem como os procedimentos metodológicos para a realização deste trabalho.

4.1 MATERIAL

- Notebook Lenovo, processador Intel Core i5, 6GB RAM, 1TB HD, Sistema Operacional Windows 10;
- Imagens dos Satélites Landsat-8 sensor OLI câmeras multiespectral (30m) e PAN (15m) e CBERS-4 câmeras MUX (20 m) e PAN (5 m).

4.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Durante a execução do trabalho foram utilizados os seguintes *softwares*:

SPRING 5.2.7

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas) é um SIG no estado da arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

O SPRING tem como objetivos principais (SPRING, 1996):

- Construir um sistema de informações geográficas para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional;
- Tornar amplamente acessível para a comunidade brasileira um SIG de rápido aprendizado;
- Fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais;
- Ser um mecanismo de difusão do conhecimento desenvolvido pelo INPE e seus parceiros, sob forma de novos algoritmos e metodologias.

A versão 5.2.7 pode ser obtida livremente no endereço eletrônico

<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>.

QGIS 2.14

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. O QGIS é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Funciona em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de dados e funcionalidades.

O projeto QGIS oferece aplicativos para diferentes usos (QGIS, 2016):

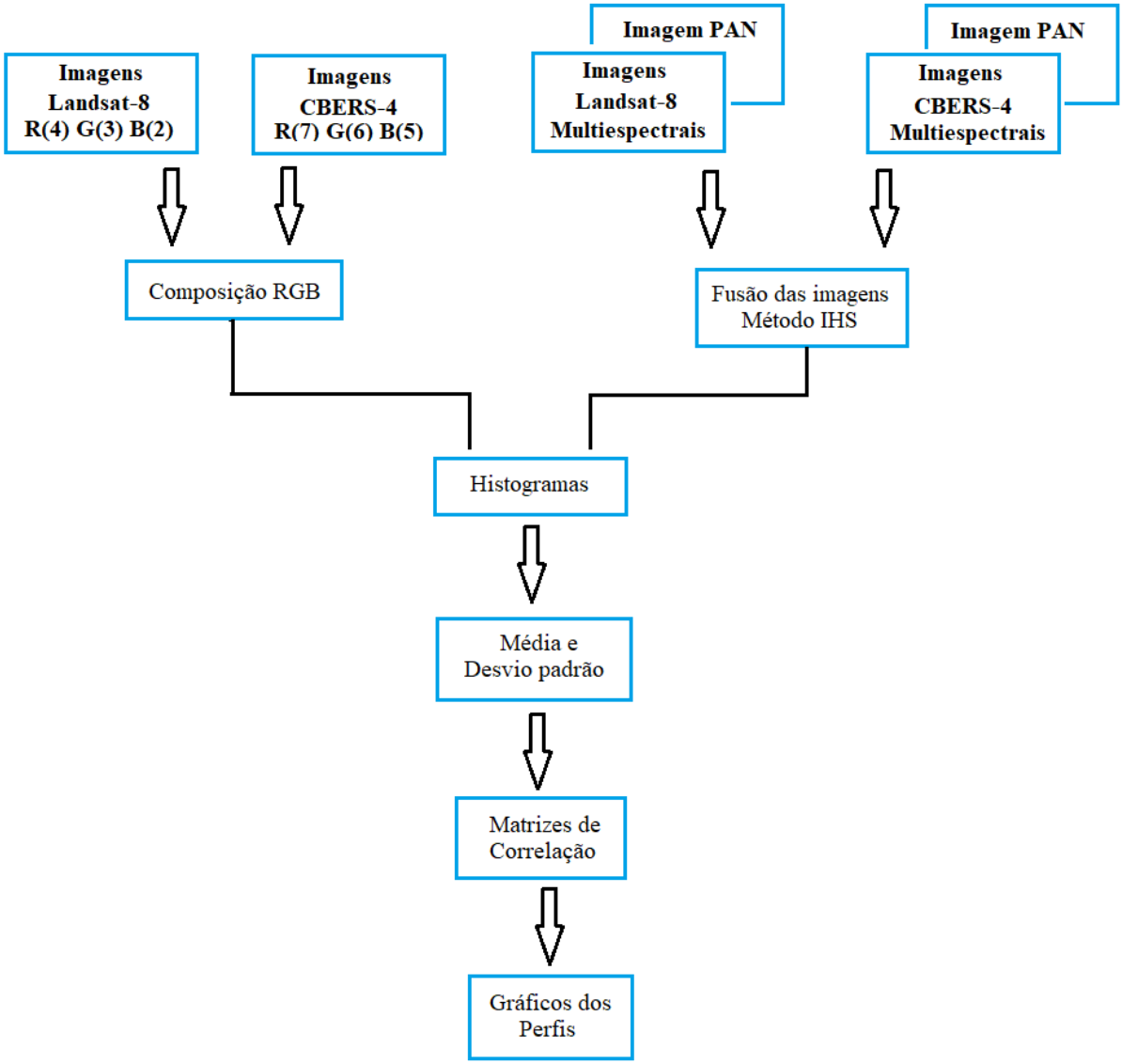
- QGIS Desktop – Aplicação desktop clássico do QGIS oferece funções de SIG para visualização de dados, edição e análise;
- QGIS Browser – Visualizador de dados rápido e fácil para os seus locais de rede e rede on-line (WMS) de dados;
- QGIS Server – Possui padrão compatível com WMS 1.3 servidor, que pode ser facilmente configurado usando arquivos de projeto QGIS Desktop;
- QGIS Cliente – A front-end web para o mapeamento de necessidades com base em OpenLayers e GeoExt.

A versão 2.14 pode ser obtida livremente no endereço eletrônico <http://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta etapa consiste em descrever resumidamente os procedimentos adotados no desenvolvimento do trabalho, seguindo o plano da figura 11.

Figura 11 - Fluxograma detalhando a metodologia



Fonte: A autora

A primeira fase do trabalho consistiu na revisão bibliográfica, com o objetivo de estudar o estado da arte na comparação e utilização de diferentes sistemas sensores multiespectrais para realizar fusão de imagens; paralelo a isso foram selecionadas as imagens dos sensores MUX de 23/01/2017, órbita-ponto 149-110 com 8 bits (256 níveis de cinza) e o OLI de 26/01/2017, órbita-ponto 216-066 com 16 (65536 níveis de cinza), em seguida foi realizado o recorte idêntico para as bandas da faixa do visível, representando a área de estudo (coordenadas do vértice inferior esquerdo do recorte: φ_1=-9°2’1”; λ_1=-38°19’55”; vértice superior direito: φ_2=-8°51’51”; λ_2=-38°7’4”).

A segunda fase fundamentou-se no processamento das imagens, na qual foi realizada a fusão das imagens utilizando o método RGB-IHS para a banda pancromática (0,51 µm a 0,85 µm) de 5 m, e as bandas 7/6/5 do sensor MUX do satélite CBERS-4 de 10 m; e para a banda 8 pancromática (0,500 µm a 0,680 µm) de 15 m, e as bandas 4/3/2 do sensor OLI do satélite LANDSAT 8.

Logo após foram gerados os histogramas, tanto para as imagens fusionada como para as imagens originais (composição RGB), e na sequência obteve-se a média, o desvio padrão e a matriz de correlação para ambas as imagens e por fim foram selecionados pontos homológos com as mesmas coordenadas E e N e assim gerou-se os gráficos de perfil para detecção de bordas, onde pôde-se obter três tipos de análises: a- borda vegetação x área urbana x água, b- borda com cobertura vegetal x solo exposto x água, c- borda solo exposto x água.

A terceira e última fase consistiu na organização e análise dos resultados, tais como: análise das imagens originais e fusionadas e seus respectivos histogramas, análise comparativa da média, do desvio padrão e das matrizes de correlação e gráficos de perfil para detecção de bordas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na “Análise da Integração Espectral de Múltiplos Sensores”, através da análise das imagens originais e fusionadas dos sensores MUX e OLI e seus respectivos histogramas, em seguida será realizada uma análise comparativa da média, do desvio padrão e das matrizes de correlação e por fim uma terceira análise por meio dos gráficos de perfil para detecção de bordas.

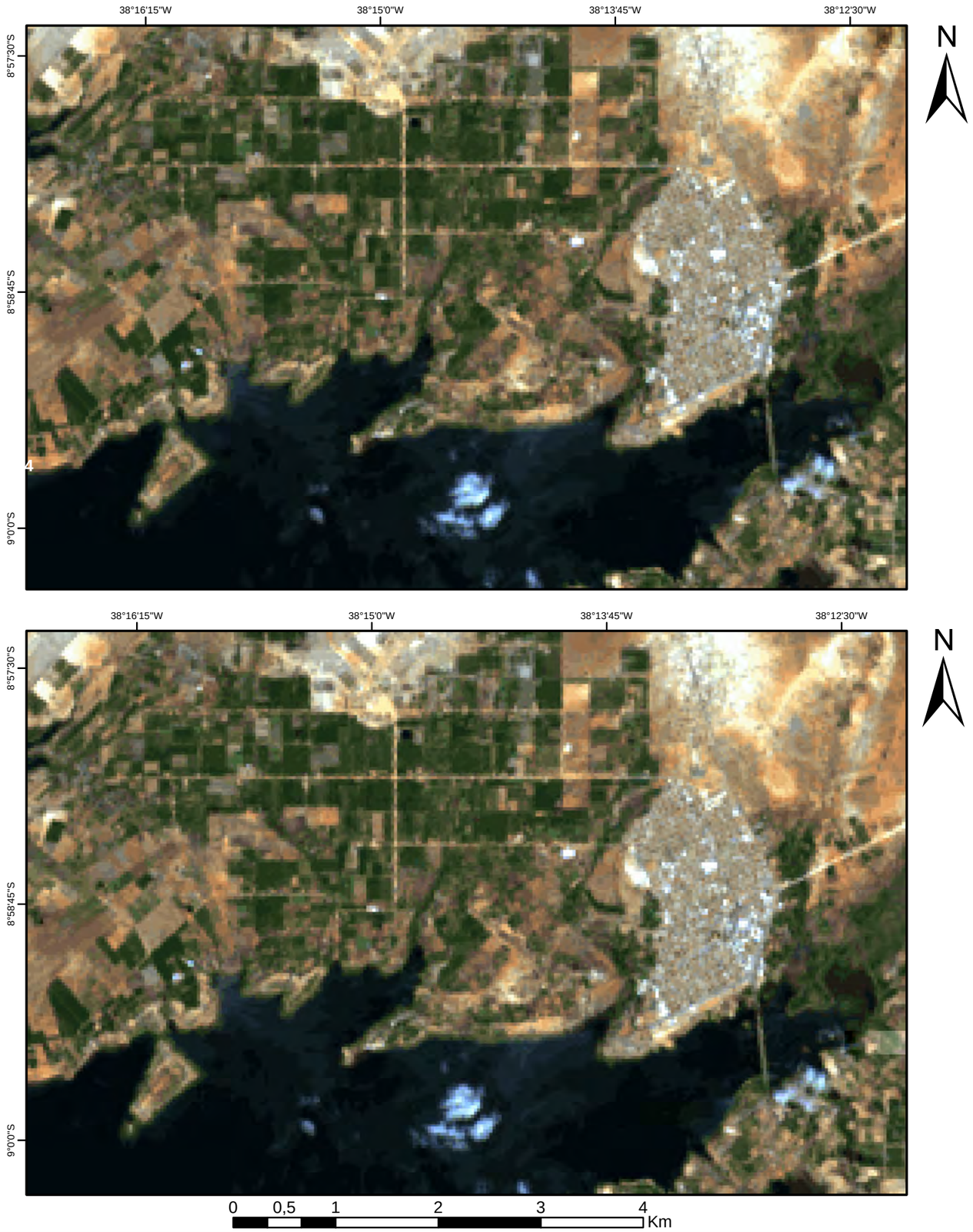
5.1 ANÁLISE DAS IMAGENS ORIGINAIS E FUSIONADAS

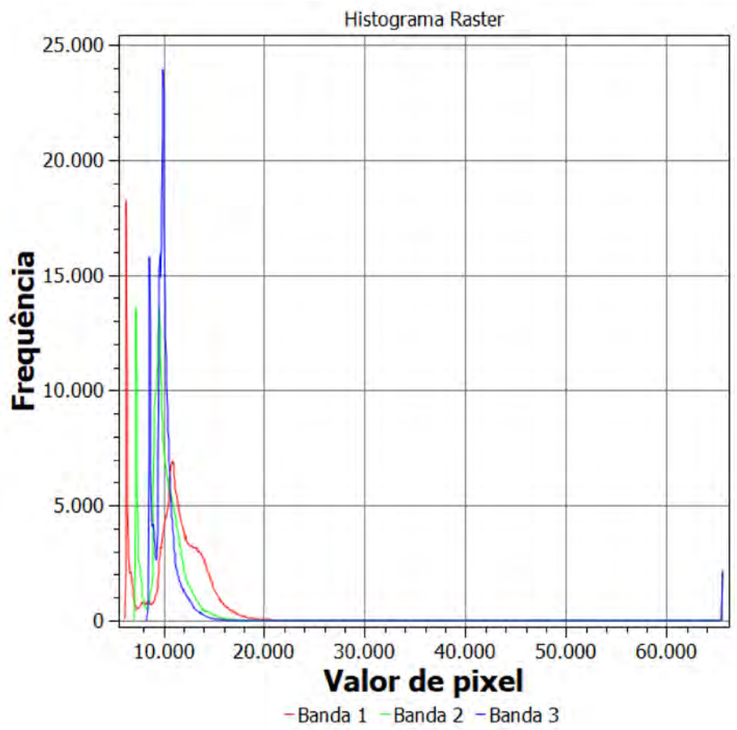
A fusão resulta na geração de um produto sintético que reúne a resolução espectral e espacial das imagens originais e pode ser avaliada pelos histogramas. Os histogramas mostram a distribuição dos pixels por banda, antes e depois da fusão. Nas figuras 12 e 13 foi possível perceber que depois da fusão a quantidade (frequência) e valores de ND foram distribuídos de modo a melhorar o contraste para cada banda no IHS.

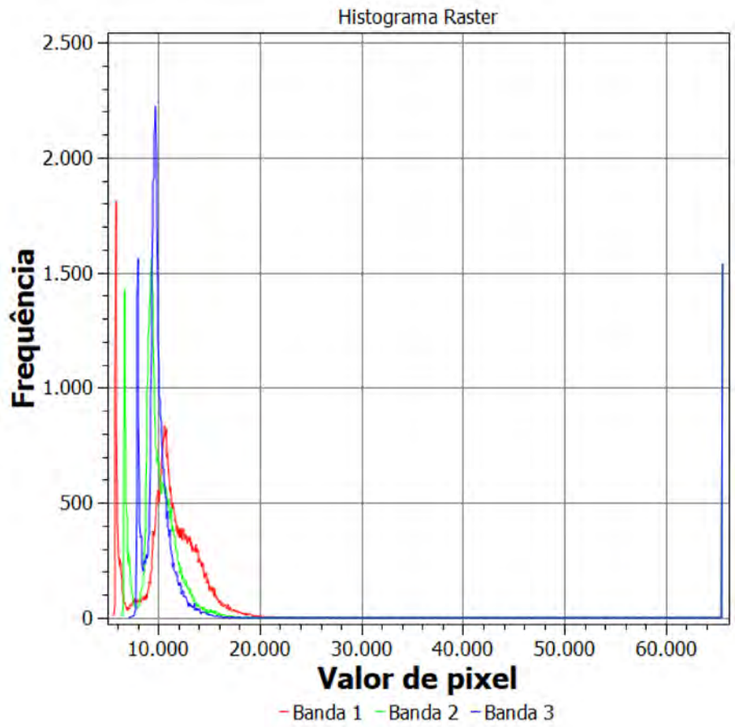
O histograma de uma imagem apresenta a repartição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras ("pixels") com cada nível. A forma do histograma informa como os dados estão distribuídos em torno da média ou da moda, ou se preferir, onde está a concentração dos dados. Em muitos casos de imagens de sensoriamento remoto, apenas o conhecimento visual da forma do histograma de uma banda, já fornece uma boa informação sobre o comportamento espectral da cena.

Figura 12 - Imagens sem fusão e fusionada com seus respectivos histogramas do satélite Landsat-8

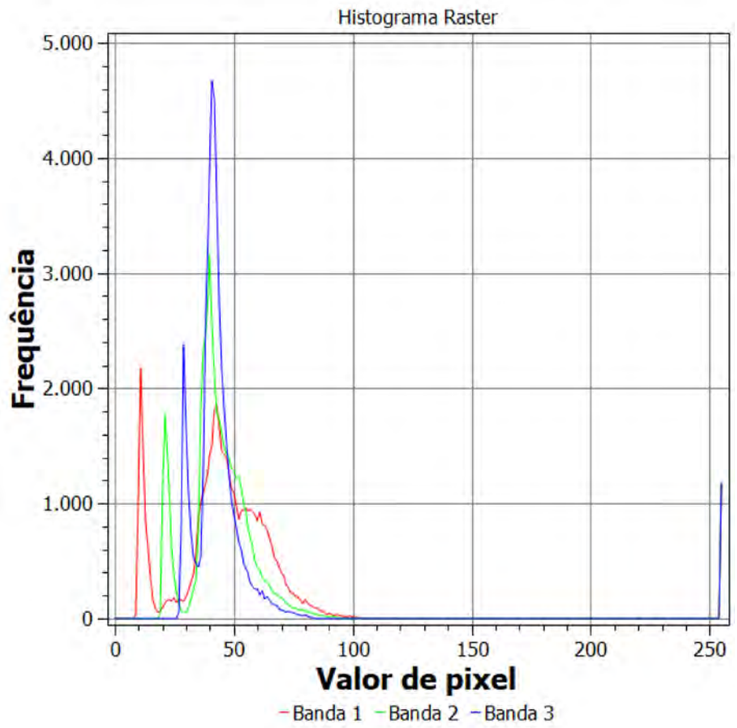
Mapa da imagem sem fusão e fusionada e seus respectivos histogramas

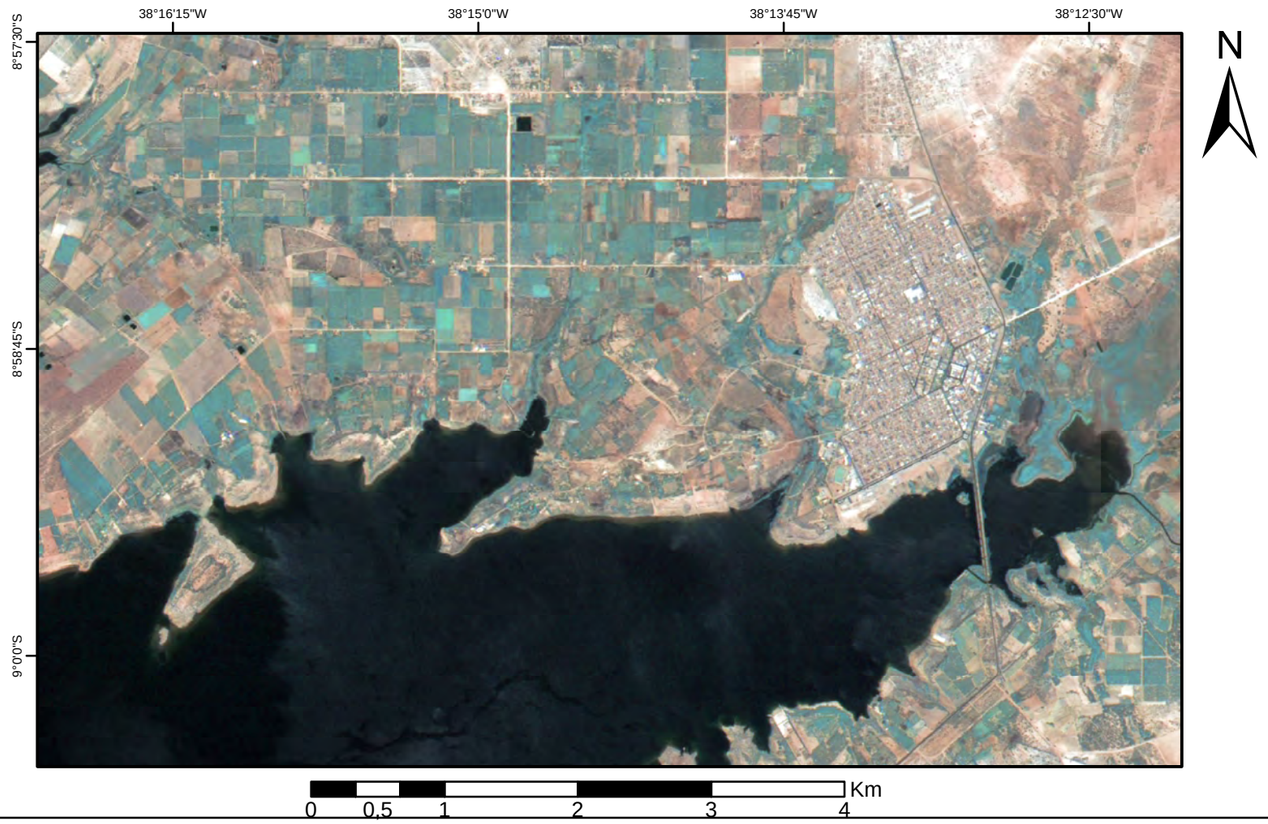


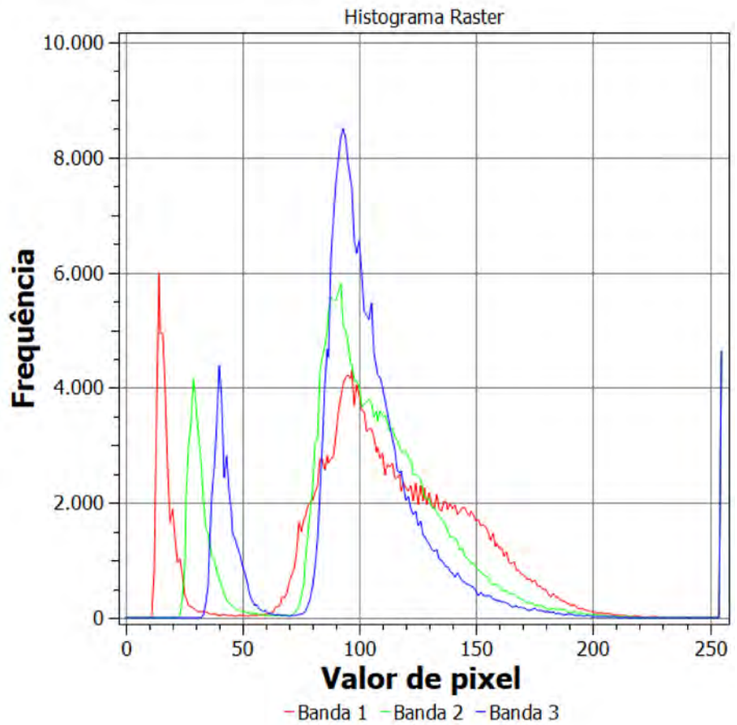




Mapa da imagem sem fusão e fusionada e seus respectivos histogramas







No caso do Landsat-8, sensor OLI os histogramas tem uma forma simétrica com distribuição fechada, ou seja, baixa variância, a imagem tendo classes de alvos com baixa reflectância e baixo contraste, com aparência visual mais escura do que comparada com sensor MUX do CBERS-4. Sendo assim, mesmo depois da fusão o contraste da imagem não obteve uma grande variação.

Já no CBERS-4 na imagem original a forma assimétrica do histograma indica que a parte mais à esquerda da curva apresenta alvos de baixo contraste espectral e com maior concentração de distribuição dos dados, enquanto a parte mais à direita tem um maior contraste espectral dos objetos e uma maior distribuição. E na imagem fusionada o histograma tem uma forma bimodal, sugerindo no mínimo a presença de dois conjuntos de alvos com distintos valores de reflectância.

O sensor MUX do CBERS-4 apresentou um melhor ganho em sua precisão espectral. A aplicação e verificação deste ganho são demonstradas nos perfis dos três tipos de bordas estudados neste trabalho: a- borda vegetação x área urbana x água, b- borda com cobertura vegetal x solo exposto x água, c- borda solo exposto x água.

5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS ESTATÍSTICOS

Desvio padrão é uma medida de disperção, e sendo assim nas imagens fusionadas ele quantifica o ganho de contraste entre as bordas. Já a média está relacionada com uma grandeza que indica algo sobre o nível de reflectância dos alvos presentes na cena.

A média e o desvio padrão (Tabela 4) foram aumentados depois da fusão, isso indica um melhor contraste de borda. Entre as três bandas no RGB para ambos os sensores a banda do vermelho do CBERS-4 obteve depois da fusão um desvio padrão maior do que antes da fusão, correspondendo assim a um maior contraste.

Tabela 4 – Comparação entre as imagens originais e fusionadas

	Média			Desvio Padrão		
OLI (4-3-2)	R	G	B	R	G	B
Não Fusionada	11290.9	10080.5	10121.1	2708.43	1707.22	1169.04
Fusionada	11098.8	9898.6	9927.31	2848.65	1881.26	1362.26
	Média			Desvio Padrão		
CBERS-4 (7-6-5)	R	G	B	R	G	B
Não Fusionada	45.0525	43.3701	42.42	17.7636	12.4052	8.46982
Fusionada	103.626	99.552	97.356	43.6143	34.5308	27.954

Fonte: A autora.

Para a imagem fusionada do sensor OLI do Landsat-8 as médias diminuiram e o desvio padrão aumentou menos que o desvio padrão da fusionada do sensor MUX do CBERS-4. A consequencia espacial do maior desvio padrão para as bandas fusionada (R7-G6-B5) é que a amplitude de ND vai ser maior nas bordas ocorrendo picos de irregularidade nos setores com os pixels de maior contraste. Isso será mostrado no tópico 5.3.

Quanto as matrizes de correlação (Quadro 2), elas servem para quantificar em valores que vão de -1 a 1 o quanto as bandas de cada sensor correlacionam entre si. Para ambos os sensores os valores de correlação se aproximaram de 1, o que indica que as bandas possuem um alta correlação. Para a imagem não fusionada do sensor OLI do Landsat-8 o menor valor encontrado é o de 0.843073 que corresponde as bandas do vermelho com o azul. E o maior valor foi de 0.953798 para as bandas do vermelho com o verde. E para a imagem fusionada o menor valor foi de 0.871372 para a banda do vermelho com azul, e o maior valor foi de 0.959897 para a banda do verde com azul.

Já para o sensor MUX do CBERS-4 esses valores aumentam, para a imagem sem fusão o menor valor foi de 0.861792 para as bandas do vermelho com azul e o maior valor foi de 0.954562, para as bandas do verde com azul. E para a imagem fusionada o menor e maior valor foram, respectivamente, 0.926044 e 0.984477, sendo que o menor valor corresponde para as bandas do vermelho e azul e o maior valor para verde e azul.

Esses valores de correlação mostram que, mesmo ambas as imagens com valores próximos a 1 o sensor MUX ainda consegue obter uma maior correlação entre suas bandas.

Quadro 2 – Matrizes de Correlação Espectral

OLI (4-3-2)	MATRIZES DE CORRELAÇÃO			
Não Fusionada		R	G	B
	R	1	0.953798	0.843073
	G	0.953798	1	0.945775
	B	0.843073	0.945775	1
Fusionada		R	G	B
	R	1	0.958681	0.871372
	G	0.958681	1	0.959897
	B	0.871372	0.959897	1
CBERS-4 (7-6-5)	MATRIZES DE CORRELAÇÃO			
Não Fusionada		R	G	B
	R	1	0.949605	0.861792
	G	0.949605	1	0.954562
	B	0.861792	0.954562	1
Fusionada		R	G	B
	R	1	0.958931	0.926044
	G	0.958931	1	0.984477
	B	0.926044	0.984477	1

Fonte: A autora

5.3 GRÁFICOS DE PERFIS PARA DETECÇÃO DE BORDAS

Os gráficos de perfil (Figuras 14 e 15) servem para posicionar e espacializar os contrastes das imagens sem fusão e fusionadas. Portanto, foi possível perceber que o perfil na borda de área urbana x água mostra uma separação melhor entre essas duas feições.

Para a imagem sem fusão do sensor OLI (Figura 14) o perfil 1 onde se encontram as bordas vegetação x área urbana x água possui um traçado irregular quando passa pela área urbana devido a rugosidade da área e quando chega próximo de 2.750 m esse traçado dá uma queda, pois é neste ponto que se inicia a borda da água.

Para o perfil 2 onde temos as bordas de cobertura vegetal x solo exposto x água é possível perceber que na distância de aproximadamente 1.125m a curva tem uma queda considerável, pois nesse momento se dá início a borda da água e

quando chega na distância de 2.750m a curva sobe novamente dando início ao solo exposto.

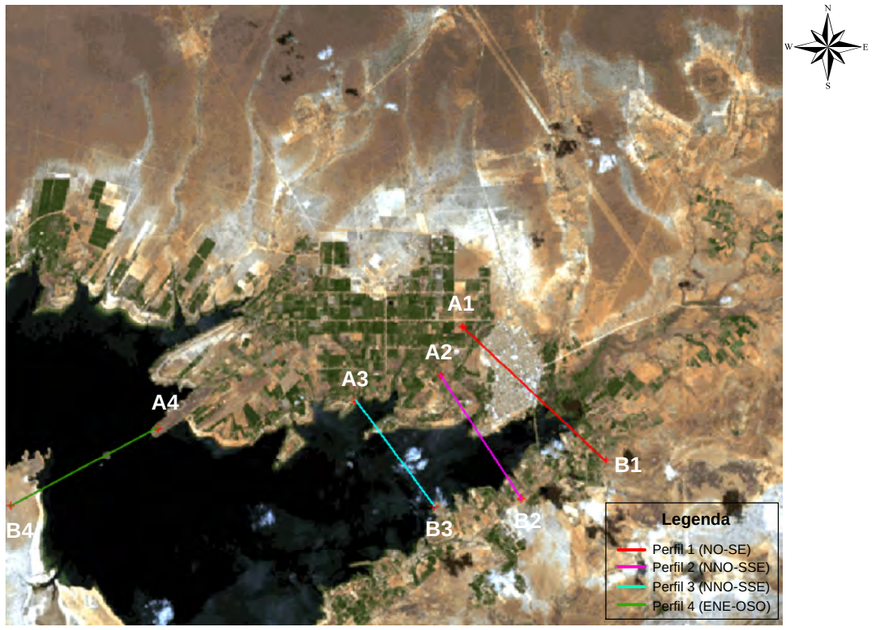
Nos perfis 3 e 4 temos a borda solo exposto x água. Para o perfil 3 os níveis de ND se mantem entre 5.500 e 20.000 (pico mais alto). A 1.850m de distância do ponto A3 para o ponto B3, o perfil alcançou um pico devido a presença de nuvem. Já o perfil 4 seu percurso é composto mais de água, a 250m do ponto A4 existe a primeira borda (solo exposto x água), a 1.250m de distância, e é encontrada a segunda borda (água x solo exposto) onde se tem um pico de 10.000 ND devido a presença de um acumulo sedimentar, por fim entre as últimas bordas (água x solo exposto/ solo exposto x solo exposto) há um pico de aproximadamente 21.000 ND, isso se explica devido ao tipo do solo (areia) ser diferente do restante.

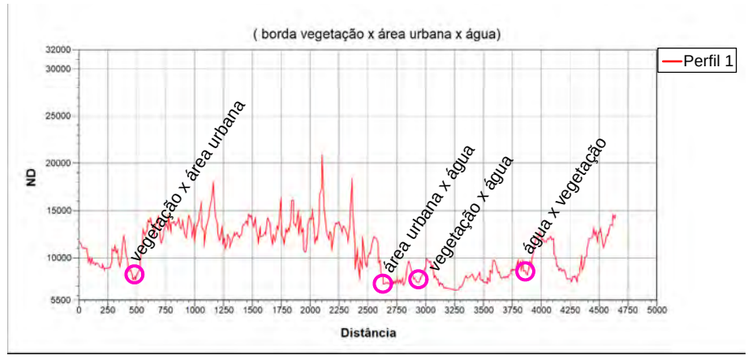
Para os gráficos de perfis da imagem fusionada do sensor OLI do landsat-8 se obteve uma queda entre os valores de ND. Sendo assim, todos os picos dos 4 perfis se tornaram mais baixos, com valores menores de número digital.

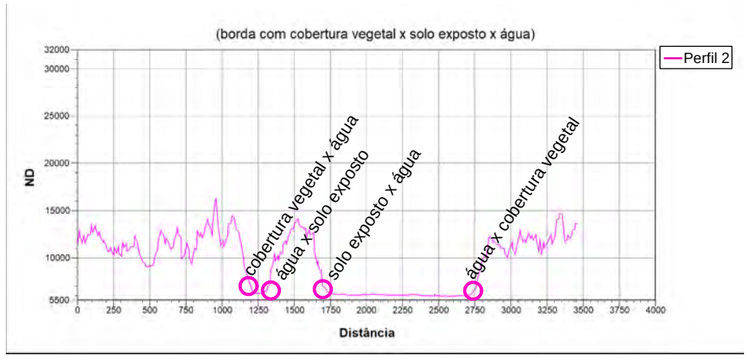
Os perfis do sensor OLI depois da fusão indicaram que as amplitudes de ND modificaram pouco nas bordas, indicando um baixo ganho de contraste, apesar da quantização de 16 bits, comparados com os perfis do sensor MUX.

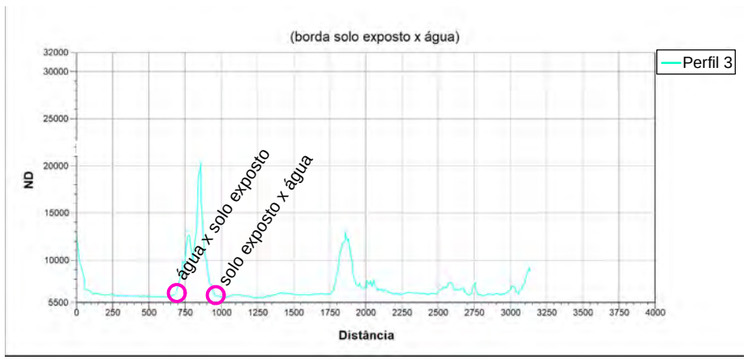
Figura 14 - Coleta e gráficos dos perfis da imagem sem fusão e fusionada do satélite Landsat-8

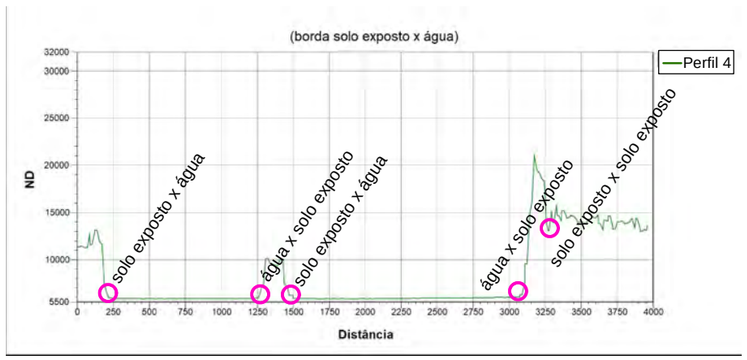
Mapa da imagem sem fusão e fusionada e seus respectivos perfis

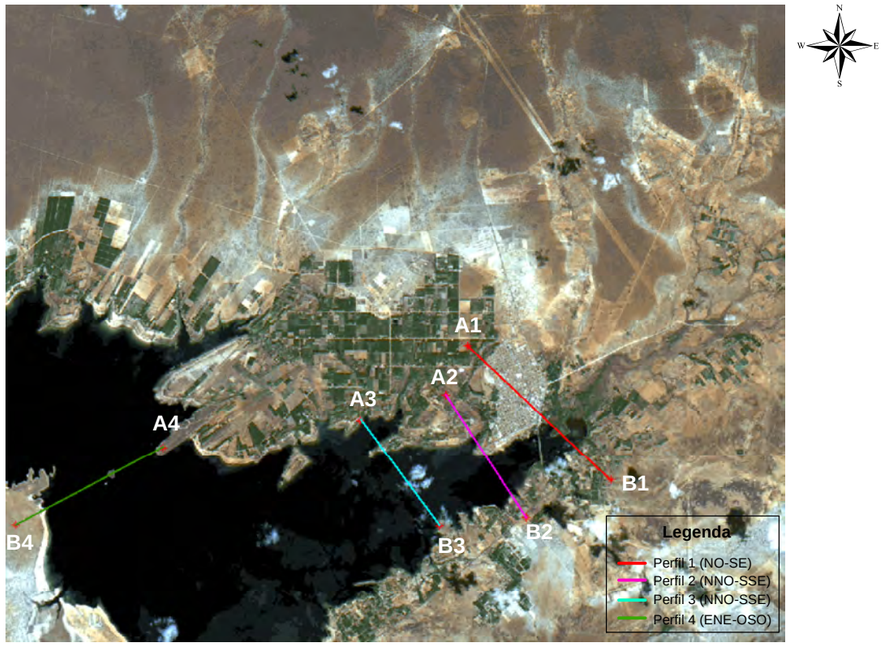


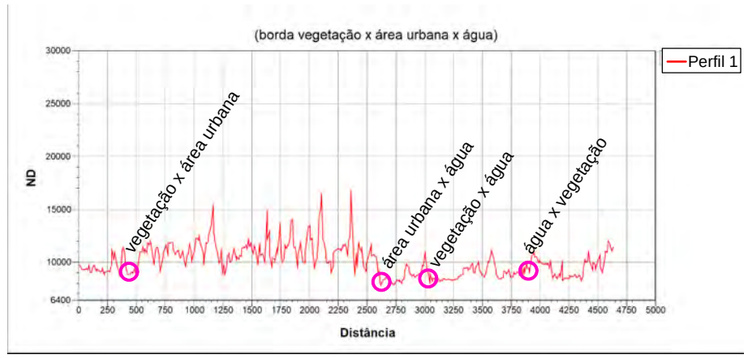


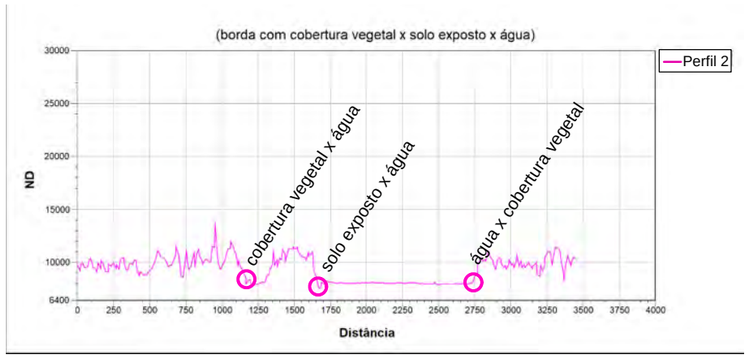


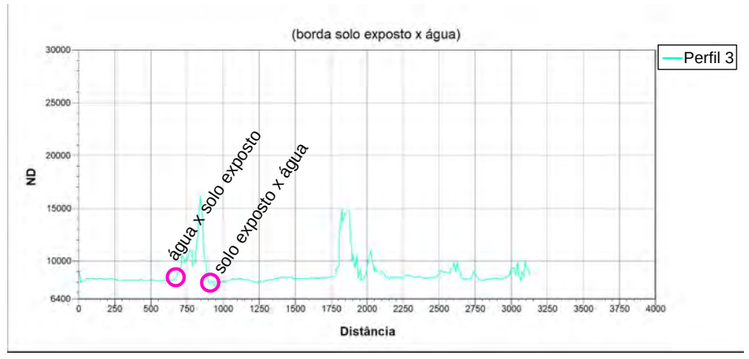


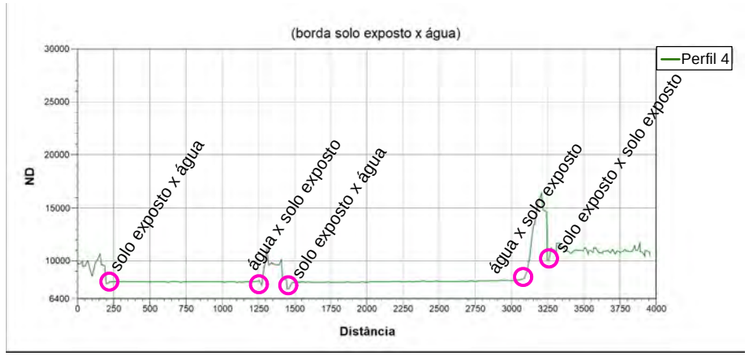












Para a imagem do sensor MUX do CBERS-4 temos os mesmos perfis, para que assim fosse possível fazer a comparação dos quatro perfis para as imagens sem fusão e fusionada.

Para o perfil 1 do sensor MUX do CBERS-4 (Figura 15), é possível perceber um traçado mais irregular do que o mesmo perfil na imagem sem fusão, isso corresponde ao maior ganho de contraste entre os pixels que representam as variações de ND da estrutura urbana da cidade de Petrolândia. Quando é detectado a mudança de borda área urbana x água no perfil da imagem sem fusão todo o trajeto aquático do perfil mantem-se aproximadamente com os valores entre 25 e 50 ND.

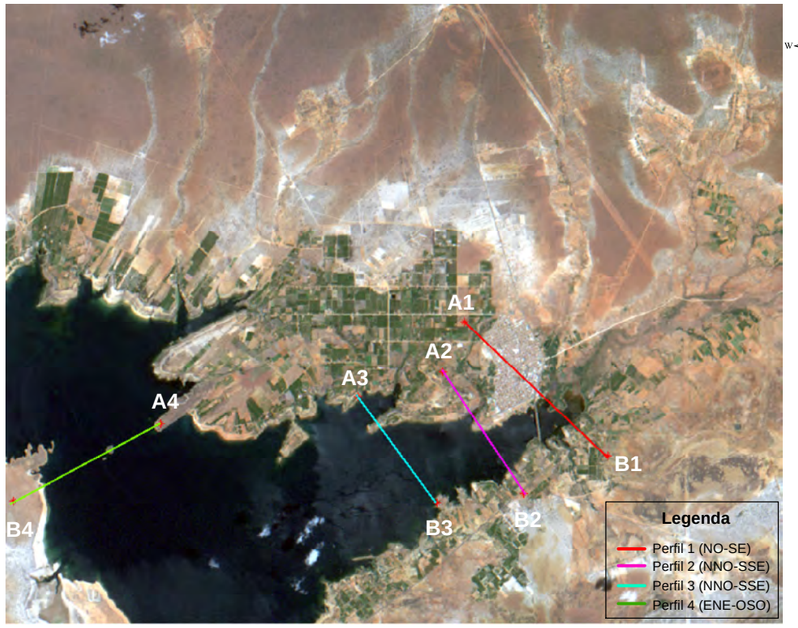
No perfil 2 é perceptível o aumento de contraste entre o gráfico da imagem fusionada para o sem fusão. Os valores de ND aumentam significativamente na imagem fusionada obetendo pico que chega a aproximadamente a 160 ND.

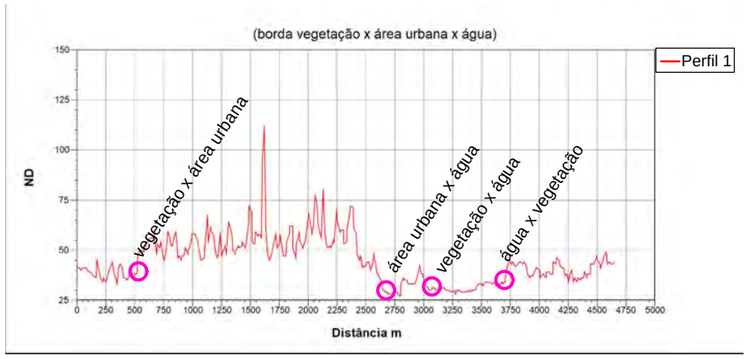
No perfil 3 entre as bordas água x solo exposto e solo exposto x água é revelado um pico de aproximadamente 240 ND para a imagem fusionada e de aproximadamente 70 ND para a imagem sem fusão, ou seja uma diferença de 170 ND, revelando assim um melhor contraste na imagem fusionada.

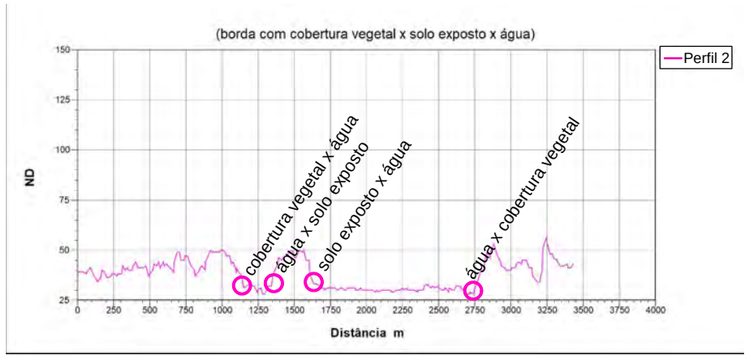
No perfil 4 ao sair da borda água para a borda solo ele encontra uma margem arenosa que corresponde a maior ND. Após essa borda o perfil mostra muitas irregularidades, causadas pela rugosidade da borda. Entre 1.250 e 1.500 m do ponto A4 para o ponto B4 o perfil detecta uma ilha revelando um pico de ND de aproximadamente 100 para a imagem fusionada e para a imagem sem fusão esse valor não chega a 50 ND .

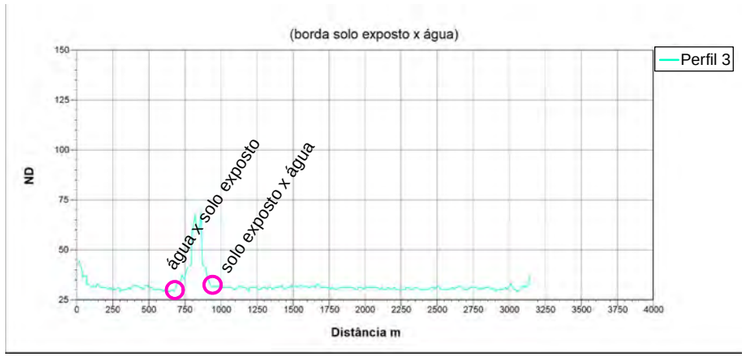
Figura 15 - Coleta e gráficos dos perfis da imagem sem fusão e fusionada do satélite CBERS-4

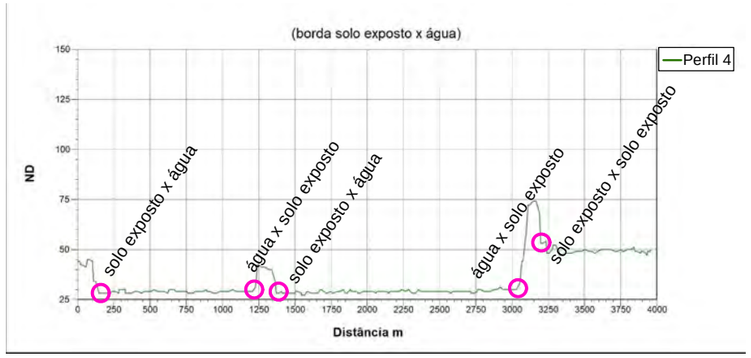
Mapa da imagem sem fusão e fusionada e seus respectivos perfis

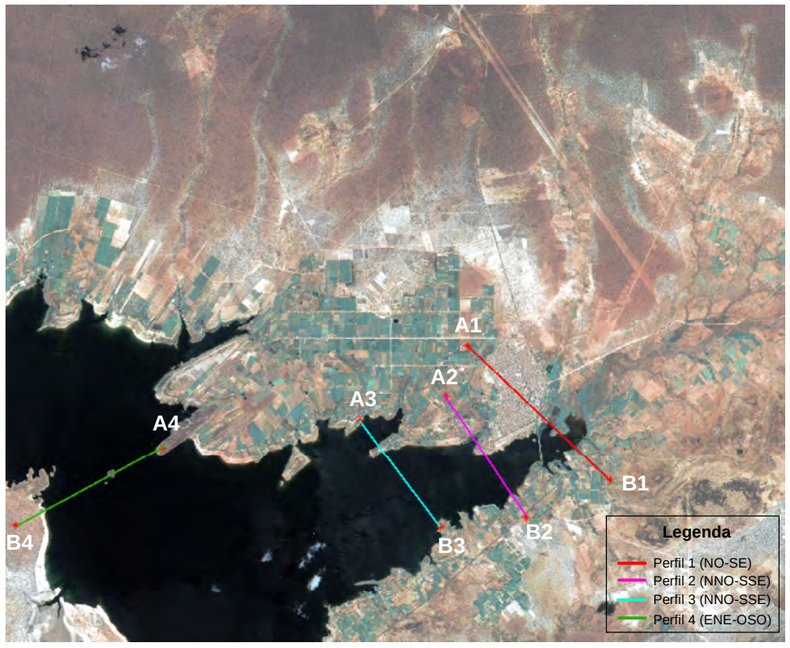


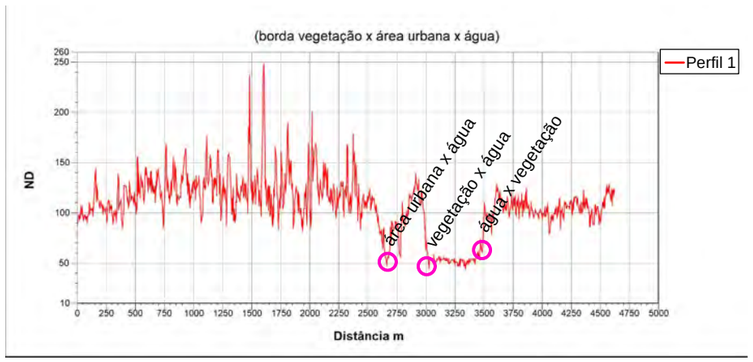


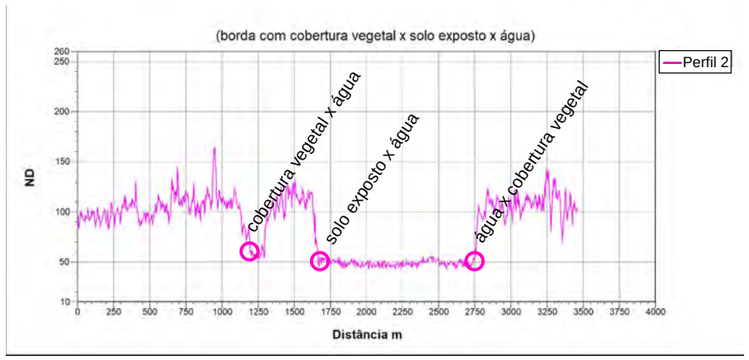


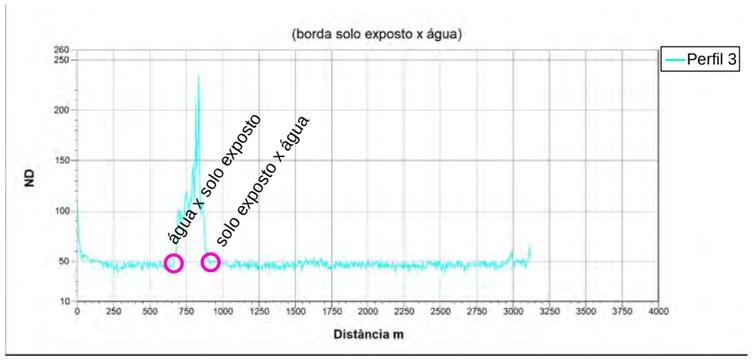


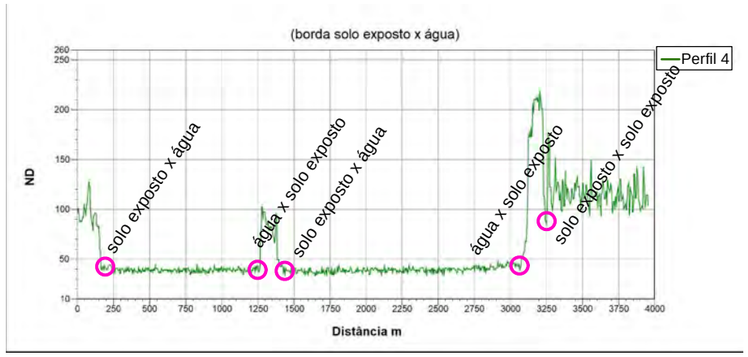












Para a imagem sem fusão do sensor MUX do CBERS-4 existe uma relação de que, para todos os perfis quanto maior a variação em ND maior é o contraste entre os pixels, e quanto menor a variação menor o contraste. Portanto as amplitudes dos valores de ND são bem menores antes da fusão.

Fazendo uma comparação entre os dois sensores para ambas as imagens (fusionadas e sem fusão) pode-se notar que algumas bordas mudaram de posição.

No perfil 2 todas as bordas tem um deslocamento de aproximadamente 5m de distância entre os sensores. E no perfil 4 a primeira borda de água x solo exposto há um deslocamento também de 5m de distância. Isso se deve a um melhor contraste para o sensor MUX do CBERS-4, quando comparado com sensor OLI do Landsat-8, apresentando assim um melhor ganho de precisão espectral para o sensor MUX.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, foi apresentada uma abordagem de fusão de imagem através do método RGB-IHS, que permite uma melhor resolução espacial para as imagens multiespectrais dos satélites Landsat-8 e CBERS-4.

Analisar as perdas e ganhos na precisão espectral depois da fusão permitiu comparar diferentes sistemas sensores, ou seja, realizar uma análise multifonte.

Sendo assim, os esforços conduzidos para a realização deste trabalho de dissertação envolveram preencher uma lacuna no estado da arte na questão sobre a análise da integração de imagens multifonte utilizando a técnica de fusão de imagem.

O método de fusão utilizado apresentou um melhor ganho em precisão espectral para o sensor MUX do CBERS-4, apesar da quantização de 8 bits comparado com o OLI do Landsat-8 que possui 16 bits. Sendo assim o método de fusão RGB-IHS nos dá uma resposta espectral melhor no sensor MUX do que no sensor OLI.

Os resultados mostraram que para todas as análises estatísticas, espacial e espectral as bandas do satélite CBERS-4 apresentou uma melhor resposta, confirmando assim, que o método IHS proporciona um resultado mais preciso para imagens que possuem 8 bits de resolução radiométrica.

Os dados estatísticos serviram como suporte para reafirmar os resultados encontrados para os gráficos de perfis.

Recomenda-se para estudos futuros uma comparação entre sensores com a mesma faixa espectral da banda Pancromática, para que possa avaliar se mesmo assim existe uma grande diferença de perda e ganho na precisão espectral.

Recomenda-se também aplicar o processo de correção das imagens ambas de Número Digital para reflectância, e realizar também a correção atmosférica pelo método DOS (*Dark Object Subtraction*).

Outra recomendação é utilizar essa mesma metodologia para comparar sensores que possuam a mesma resolução radiométrica (quantidade de bits).

A importância dos resultados desta pesquisa está no atendimento adequado para a falta de estudos comparativos entre fusões multifontes para os sensores MUX do satélite CBERS-4 e o OLI do LANDSAT 8, além da área de estudo estar associada ao subprojeto INNOVATE (*INterplay between the multiple use of water*

reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems) inserido no Projeto entre Brasil e Alemanha, justificando o método e os resultados obtidos para detecção de borda que contribuem para melhorar o conhecimento científico das bordas dos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABDIKAN, S.; SANLI, F. B. Comparison of different fusion algorithms in urban and agricultural areas using sar (palsar and radarsat) and optical (spot) images. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 2012.Curitiba – PR, v. 18, n. 4, p. 509-531.

ALMEIDA FILHO, Raimundo. Processamento digital de imagens Landsat-TM na detecção de áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, região da Serra do Tona, Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 235-242, 2001.

BHASKARRAJAN, N. J. Satellite Image Fusion using IHS and PCA Method. **International Journal of Innovative Science**, 2014. v. 1, n 7, p. 152-156.

BISQUERT,M.; BORDOGNA, G.; BÉGUÉ, A.; CANDIANI, G.; TEISSEIRE, M.; V, P. A Simple Fusion Method for Image Time Series Based on the Estimation of Image Temporal Validity. **Remote Sensing**, 2015. v. 7, p. 704-724. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/remotesensing>

BRITO, Jorge Luiz Nunes e Silva; COELHO FILHO, Luiz Carlos Teixeira**. Fotogrametria Digital**. 1 ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007.

BRYS, L. M. Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto. Porto Alegre-RS, 2008. 172p. **Dissertação (Mestrado).**

BYUN, Y.; HAN, Y.; CHAE, T**.** Image Fusion-Based Change Detection for Flood Extent Extraction Using Bi-Temporal Very High-Resolution Satellite Images**. Remote Sensing,** 2015. v. 7, p. 10347-10363; Disponível em: <www.mdpi.com/journal/remotesensing>

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
CBERS, Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres. **Aplicações**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016. Disponível em <http://www.cbers.inpe.br/pt/programas/p_aplicacoes.htm> Acesso em: 12 out 2016.

CODEVASF. COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Serviço de Assistência Técnica e Extensão Rural destinado aos agricultores reassentados em decorrência da construção da Barragem de Itaparica: Lote 2 Borda do Lago**. Petrolina, 1998. Relatório Final.

CROSTA, Álvaro Penteado – **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Rev. – Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.

DONG, W.; LI, X.; LIN, X.; LI, Z. A Bidimensional Empirical Mode Decomposition Method for Fusion of Multispectral and Panchromatic Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, 2014. v. 6, p. 8446-8467.

EJAILY, A. E.; ELTOHAMY, F.; NAHAS, M.Y. E.; ISMAIL, G. A. New Image Fusion Technique to Improve the Quality of Remote Sensing images. **International Journal of Computer Science Issues**, 2013. v. 10, n. 3, p. 565-569.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. - Embrapa Solos, Recife, 2001.

FERMINO, M. S., A Transformada Wavelet na Fusão de Imagens de Sensoriamento Remoto. Presidente Prudente-SP, 2013. 83p. **Dissertação de Mestrado.** Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94329/fermino_ms_me_prud.pdf>.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GAO, F.; ANDERSON, M. C.; ZHANG, X.; et al. Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. **Elsevier**, 2017. v. 188, p. 9-25.

GEVAERT, C. M.; GARCÍA-HARO, F. J. A comparison of STARFM and an unmixing-based algorithm for Landsat and MODIS data fusion, **Elsevier,** 2015. v. 156, p. 34-44.

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

GUILLOU, A. N. Análise de bordas de reservatório utilizando múltiplos sensores: estudo de caso: reservatório de Itaparica-PE. Recife-PE, 2016. 60p. **Dissertação de Mestrado.**

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Spring: Tutorial de Geoprocessamento: Classificação de Imagens.** 2006. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em 19 set. 2017.

LI, H.; DING, W.; CAO, X.; LIU, C. Image Registration and Fusion of Visible and Infrared Integrated Camera for Medium-Altitude Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing. **Remote Sensing**, 2017, v. 9, n. 441, p. 2-29.

LI, X.; LING, F.; FOOD, G. M.; GE, Y.; ZHANG, Y.; DU, Y. Generating a series of fine spatial and temporal resolution land cover maps by fusing coarse spatial resolution remotely sensed images and fine spatial resolution land cover maps. **Elsevier**, 2017. v. 196, p. 293-311.

LÍRIO, G. S. W. Métodos Multivariados: Uma Metodologia para Avaliar a Satisfação dos Clientes da Rbs-Tv da Região Noroeste do RS. Santa Maria-RS, 2004.95p. **Dissertação de Mestrado.** Disponível em: < http://w3.ufsm.br/adriano/disser/gilvete. pdf>.

LIU, W. T. **Aplicações de sensoriamento remoto.** UNIDERP, 2007. 881P.

MARTINS, M. E. G. Desvio padrão amostral. **Revista de Ciência Elementar**. V. 1, n. 1, p. 1-21, out 2013.

MATTA, E.; SELGE, F.; GUNKEL, G.; HINKELMANN, R. Three-Dimensional Modeling of Wind- and Temperature-Induced Flows in the Icó Mandantes Bay, Itaparica Reservoir, NE Brazil. **Journal Water.** V. 9, n. 775, p. 3-21, Oct 2017. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/water>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo** / D. H. C. T. B. Melo. – São José dos Campos: INPE, 2002. 146p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 1.ed. São José dos Campos: INPE, 2001.

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

PRADHAM, P.; YOUNAN, N. H.; KING, R. L. In: STATHAKI, Tania. Image fusion: Algorithms and Applications. Londres: **Elsevier**, 2008. p. 393 - 428.

QGIS. 2016. Disponível em: <http://www.qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em: 25 março 2016.

ROSA, R.. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SILVA, A. M. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**.Centro de Eventos da PUCRS – de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre – RS.Disponível em <www.cartografia.org.br>. Acesso em: 05 de novembro de 2017.

SILVA, M.; CANDEIAS, A. L. B.; VICTOR, U. F. da S.; CARVALHO, R. M. C. M. de O. **Family Agriculture in Brazilian Semi-Arid.** In: Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany. Berlin: Technische Universität Berlin, 2007.

SIVAGAMI, R.; VAITHIYANATHAN, V.; SANGEETHA, V.; AHMED, M. I.; SUNDAR, K. J. A.; LAKSHMI, K. D. Review of image fusion techniques and evaluation metrics for remote sensing applications. **Indian Journal of Science and Technology,** 2015. v. 8, p. 1-7**.**

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

SUDENE. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste**. Série Pluviometria, 6. Pernambuco. Recife, 1990.

TEIXEIRA, C. V. Uso do sensoriamento remoto para delimitação e identificação de áreas inundáveis (várzea) na bacia amazônica. Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2008, 84 p. **Dissertação de Mestrado.**

TU, T.; SU, S.; SHYU, H.; HUANG, P. S. Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation. **Optical Engineering**, v. 40, n. 5, p. 720-8, May 2001.

WANG, Q.; SHI, W.; LI, Z.; ATKINSON, P. M. Fusion of Sentinel-2 images. **Elsevier**, 2016. v. 187, p. 241-252.