



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Utilização de índices físicos a partir de imagens OLI – TIRS para o mapeamento de uso e cobertura da terra no entorno do aeroporto internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freire

Claudianne Brainer de Souza Oliveira¹ Ana Lúcia Bezerra Candeias², João Rodrigues Tavares Júnior³.

¹Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco - (UFPE), Recife/PE – Brasil. E-mail: nane.brainer@gmail.com. ²Doutora em Computação Aplicada com ênfase em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Pernambuco - (UFPE), Recife/PE – Brasil. E-mail: analucia@ufpe.br ³Doutor em Geociências Universidade Federal de Pernambuco - (UFPE), Recife/PE – Brasil. E-mail: rodriguesjoao380@gmail.com.

Artigo recebido em 07/04/2018 e aceito em 04/02/2019

RESUMO

Atualmente o uso de índices físicos NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*) vêm sendo muito utilizados como suporte para o mapeamento e monitoramento de uso e ocupação da terra. A área de estudo abrange o Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre e o seu entorno, uma região na qual estão inseridos os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife, ambos no Estado de Pernambuco. Utilizando imagens do satélite LANDSAT-8, sensor OLI de 18-06-2016, orbita-ponto 214-066, aplicou-se a técnica de fusão RGB-IHS para se obter uma melhor resolução espacial, logo após foram calculados os índices físicos, com o objetivo de avaliar o uso e ocupação do solo da área em questão. Como resultado final, obteve-se um mapa de uso e cobertura da terra, contendo quatro classes (solo exposto, água, vegetação e área construída), na escala de 1:50.000, no sistema de referência geodésico WGS84.

Palavras-Chave: índices físicos, sensoriamento remoto, área urbana, uso e cobertura da terra.

Physical indexes from OLI - TIRS images as tools for land use and coverage mapping around the airport International Recife / Guararapes - Gilberto Freire

ABSTRACT

Currently the use of NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) and NDWI (*Normalized Difference Water Index*) have been widely used as support for mapping and monitoring land use and occupation. The study area covers the Recife / Guararapes - Gilberto Freyre International Airport and its surroundings, a region in which the municipalities of Jaboatão dos Guararapes and Recife are located, both in the State of Pernambuco. Using images from the LANDSAT-8 satellite, OLI sensor of 06-06-2016, orbit-point 214-066, the RGB-IHS fusion technique was applied to obtain a better spatial resolution, after the physical indexes were calculated, with the objective of evaluating the land use and occupation of the area in question. As a final result, a land use and land cover map was obtained, containing four classes (exposed soil, water, vegetation and built area), in the 1: 50.000 scale, in the WGS84 geodetic reference system.

Keywords: physical indexes, remote sensing, urban area, use and land cover.

Introdução

O sensoriamento remoto como ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre, nos permite uma visão do ambiente e sua transformação, mostrando assim os impactos causados por fenômenos naturais e/ ou antrópicos.

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 interurbano.

Desde o início a urbanização nos países periféricos ocorre o crescimento desordenado das cidades, causado pelo intenso fluxo migratório da população rural para as cidades. Embora as áreas urbanas ocupem uma porção relativamente pequena da superfície terrestre, sua extensão, distribuição e evolução têm grande impacto no meio ambiente e na dinâmica socioeconômica mundial (Small, 2005; Cursach et al., 2012).

O aeroporto é um equipamento territorial que, integrado ao sistema aeroportuário e de controle do espaço aéreo nacional, constitui-se como objeto da organização do espaço geográfico e fator de reorganização do mesmo.

Os índices físicos são normalmente usados separadamente e não formando combinações RGB (HE et al., 2010; LEE et al. 2011; LIU e ZHANG, 2011).

Ao se realizar combinações com estes índices é possível identificar e realçar em imagens de satélites determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, cursos d'água, solo exposto, entre outros, além de a normalização contribuir na redução de ruídos e efeitos de iluminação.

Moreira Filho e Tavares Júnior 2016, afirmam que os índices físicos podem detectar e separar, com ótima precisão espectral (70% a 95% de probabilidade), as feições urbanas que constituem a estrutura de uma cidade (ruas, avenidas, canais, construções, áreas verdes, reservatórios hídricos, portos, aeroportos).

Os diferentes sistemas sensores têm em seus acervos de bandas, a disponibilidade de imagens pancromáticas e multiespectrais, e a fusão de imagens é um recurso auxiliar para melhorar a resolução espacial dos índices físicos (Ejaily et al., 2013; Bhaskarrajan, 2014; Dong et al., 2014; Hnatushenko & Vasyliiev, 2016).

Para o sistema sensor OLI/TIRS a fusão RGB-IHS atende a proposta auxiliar de fusão para este projeto de pesquisa.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo calcular os índices físicos NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*) como ferramenta para a construção do mapa de uso e cobertura da terra no entorno do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre, utilizando softwares livres (QGIS e Spring).

Material e método

Caracterização da área de estudo

A área de estudo do presente artigo (Figura 1) abrange o Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre e o seu entorno, uma região na qual estão inseridos os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife, ambos no Estado de Pernambuco.

A cidade mantém acelerado ritmo de crescimento da sua população tendo, na segunda metade do século XX, ultrapassado um milhão de habitantes (IBGE, 2010). Situado a 11 km do Centro do Recife, o aeroporto é um dos mais centrais do país, e está inserido em uma área caracteristicamente urbana.

Segundo dados do IBGE 2010, a região metropolitana do Recife é a mais populosa do Nordeste e a quinta maior do Brasil ao lado de Fortaleza e Salvador, com uma população de 1,55 de habitantes em Recife e total de 3,73 milhões em toda área metropolitana, sendo considerada uma das cidades com maior desenvolvimento do Nordeste do Brasil.

Diante disto, assegura-se que a mancha urbana apresenta-se com solo bastante influenciado por pressões econômicas, destacando-se com elevado grau de adensamento construtivo.

O clima da cidade é caracterizado por ser quente e úmido, do tipo AS' com chuvas de outono a inverno, apresentando elevada umidade relativa do ar, com valores médios anuais superiores 84% (Köppen, 2004).

A região estudada, por está situada em zona de baixa latitude, apresenta média mensal em torno de 25°C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes com temperaturas superiores a 26°C. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24°C.

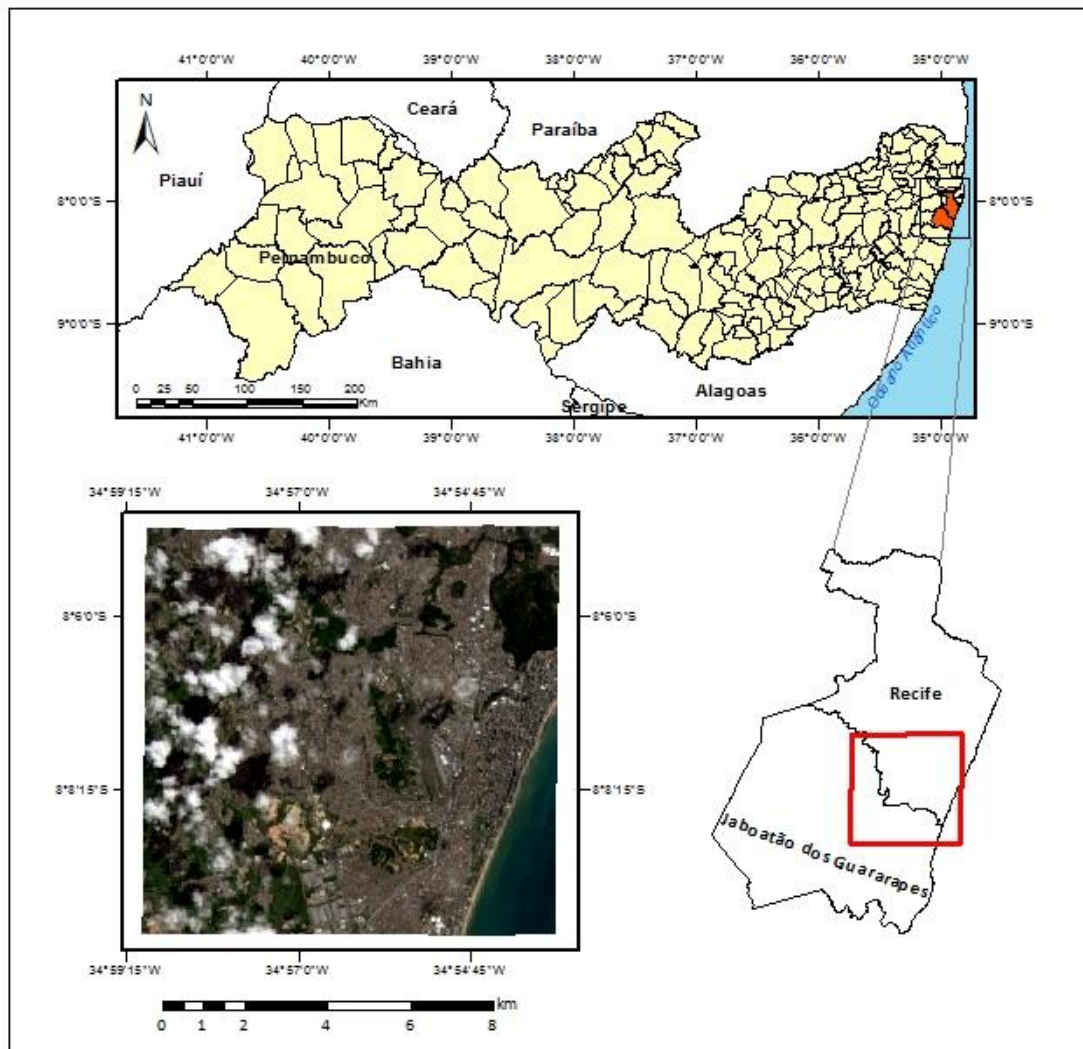


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autores 2017.

A construção do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes antecede a II Guerra Mundial, sendo que o conflito serviu para melhorar a estrutura da Base Aérea do Recife e, conseqüentemente, do próprio aeroporto.

O AIR/GGF está situado em uma área plana (Figura 2), com o sistema de morros a oeste

(Figura 3).

As áreas do entorno do aeroporto estão inseridas nos bairros de Boa Viagem, Iburá, Imbiribeira, IPSEP e Jordão, na cidade do Recife e nos bairros de Candeias, Jardim Jordão e Piedade, na cidade de Jaboatão dos Guararapes.



Figura 2. Mosaico de fotografias mostrando a pista do aeroporto Recife/ Guararapes – Gilberto Freyre, situada em uma área plana. Fonte: Autores 2017.



Figura 3. Mosaico de fotografias ressaltando as áreas de morro no entorno do aeroporto Recife/ Guararapes – Gilberto Freyre. Fonte: Autores 2017.

No final da década de 1940, o Recife passou a ter grande importância no tráfego aéreo, em meio às aerovias do Atlântico Sul - Europa, pela sua posição geográfica estratégica. Seu nome oficial foi dado em 2 de julho de 1948, transformando o Aeroporto do Recife, localizado no Campo do Ibura, em Aeroporto dos Guararapes. A nomenclatura do aeroporto foi novamente alterada em 27 de dezembro de 2001, pela Lei nº 10.361, que instituiu a denominação de AIR/GGF, Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre (Infraero, 2016).

Processamento Digital na Interpretação de Imagem

Para melhor a 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 (Scott et al., 2014).

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.

Ejaily et al.2013, e 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 vários sensores, 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, para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a técnica IHS (intensidade-matiz-saturação).

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 multiespectrais.

O IHS pode ser comparado com o olho humano que enxerga imagens sem distinguir o vermelho, azul e verde (RGB), mas sim a intensidade, o matiz e a saturação das cores (SPRING, 2006).

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. O matiz ou cor de um objeto é a medida do comprimento de onda 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 método IHS (Figura 4) 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).

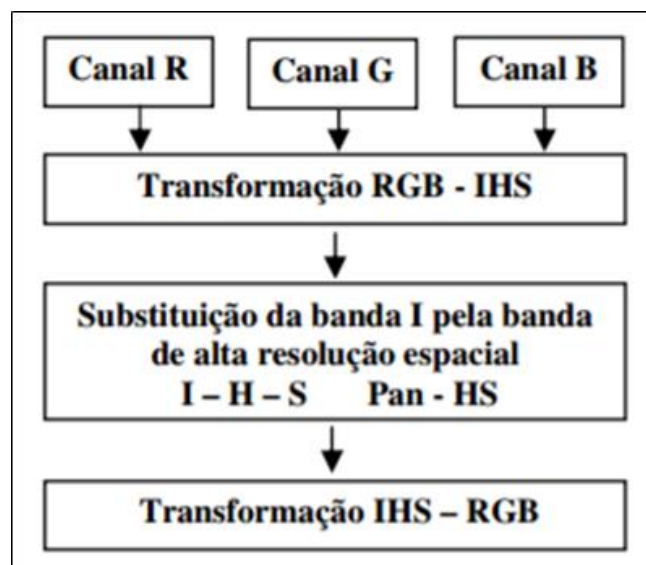


Figura 4. Fluxograma do método IHS. Fonte: Nascimento et. al.2007.

Índices radiométricos para detecção de classes de uso e cobertura da terra

O sensoriamento remoto da vegetação urbana envolve métodos diretamente relacionados às

especificações técnicas dos sistemas sensores e algoritmos de detecção separada dos objetos na superfície física da Terra, contudo, as relações entre resolução espacial, espectral e radiométrica,

requerem análises específicas conforme a complexidade da área de estudo (Moreira Filho & Tavares Júnior, 2016).

NDVI (Normalized difference vegetation index)

O NDVI se trata de um índice obtido a partir de dados espectrais para explicitar as condições vegetativas, ou seja, o vigor vegetativo em cada pixel da imagem de forma numérica, variando de -1 a 1 (Albuquerque et al., 2015).

Tipicamente, é utilizado para avaliar fenologia sazonal ou produtividade de vegetação à medida que se modifica gradualmente com o crescimento da vegetação (Gamon et al., 2015).

NDWI (Normalized difference water index)

O NDWI foi desenvolvido para maximizar a reflectância típica da água, usando comprimentos de onda verdes; minimiza a baixa reflexão do infravermelho próximo pelos recursos hídricos; e maximiza a alta reflexão do mesmo pela vegetação e características do solo (Ferreira, 2013).

O NDWI (*Normalized difference water index*) foi criado para destacar corpos de água a partir da reflectância no infravermelho próximo e na faixa do verde.

NDBI (Normalized Difference Built-up Index)

O índice NDBI que foi desenvolvido para identificar áreas urbanas com base no incremento de respostas espectral das áreas construídas entre bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (Pinheiro & Laranjeira, 2013) ou seja, serve como alternativa importante para o mapeamento rápido e prático de áreas construídas.

Este índice é empregado para mapear áreas urbanas e construídas por meio da reflectância no infravermelho próximo e no infravermelho médio.

A aplicação de índices físicos fornece parâmetros capazes de detectar e separar alvos

compostos de materiais diferentes como água, área construída, vegetação e solo exposto.

Material

Os materiais utilizados nessa pesquisa foram:

- Imagem orbital do Landsat-8 – Resolução Espacial 30 m, bandas espectrais: 2, 3, 4, 5 e 6 e de 15 m, banda pancromática: 8; datada de 18-06-2016, orbita-ponto 214-066 (disponibilizadas United States Geological Survey – USGS);
- Software Spring versão 5.2.7 – SIG com funções de processamento de imagens (software de uso livre);
- Software QGIS versão 2.8.7 (software de uso livre);
- Computador Laptop – Processador Intel core i5 2,3 GHz, Memória RAM 6,0 GB, HD 1 TB, Interface Gráfica NVIDIA GEFORCE 2,0 GB (uso pessoal).

Procedimentos metodológicos

Um dos sensores mais usado para o estudo das coberturas terrestres por sua acessibilidade é o satélite Landsat, este conta com dados desde 1972, a partir de 11 de fevereiro de 2013 se encontram disponíveis dados de Landsat 8 (Roy et. al., 2014), a configuração das bandas deste satélite, permite por técnicas de fusão de imagens melhorar a resolução espacial.

O Landsat 8 opera com dois sensores imageadores: o *Operational Land Imager* (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, 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. Fonte: Adaptada de USGS.

(continua)

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
Banda 5 - Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88	30
Bandas	Comprimentos de ondas (µm)	Resolução Espacial (m)
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

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente, realizou-se uma análise para a escolha da imagem que obtivesse a menor quantidade de nuvens possível.

Na Figura 5 apresenta-se o fluxograma dos procedimentos metodológicos do estudo.

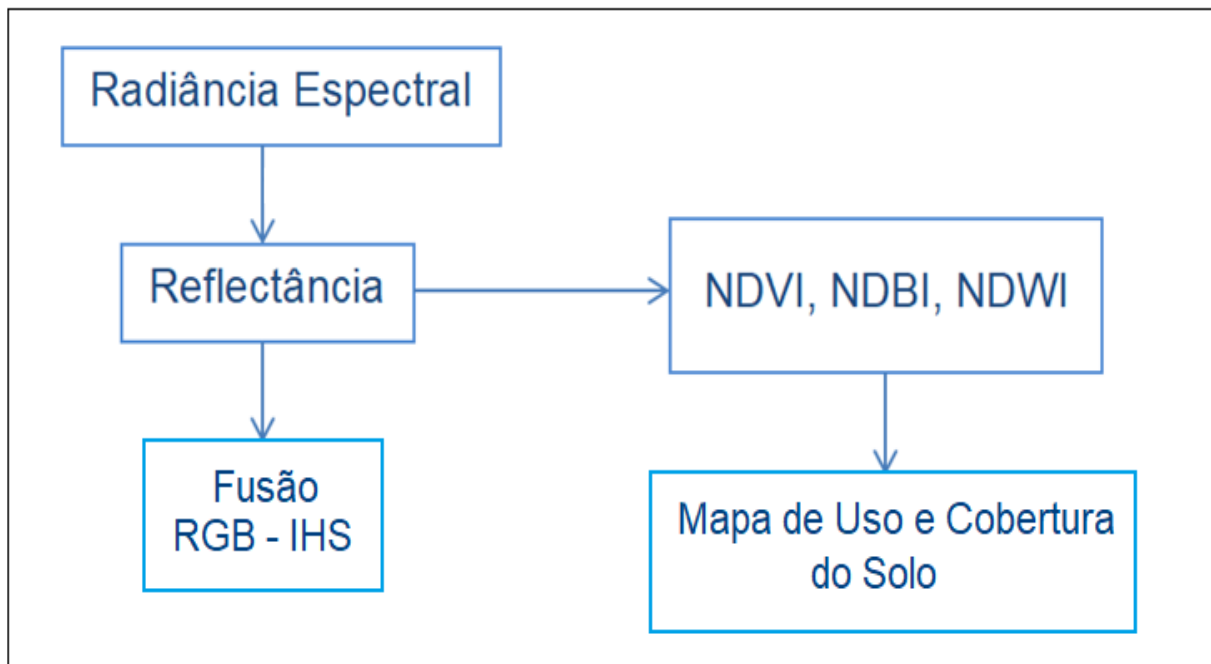


Figura 5. Fluxograma da metodologia. Fonte: Autores 2017.

Radiância espectral

Consiste no cálculo da radiação espectral em cada banda ($L\lambda$), em que o número digital de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat-8 para as bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Para converter os valores quantizados e calibrados (ND) do sistema sensor LANDSAT 8 OLI para radiância e reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens. Maiores detalhes podem ser obtidos no *document LDCM Cal/Val Algorithm Description Document* e no *Landsat 8 Science Users' Handbook*, disponível em http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. A radiância espectral no topo da atmosfera para as bandas de 2 a 7 foi calculada a partir da Equação 1:

$$L\lambda = MLQcal + AL \quad (1)$$

onde, $L\lambda$ corresponde a radiância espectral no topo da atmosfera; ML corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem), AL corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem) e $Qcal$ corresponde ao número digital para cada pixel.

Reflectância

Esta etapa representa o cômputo da reflectância de cada banda, definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida segundo a equação 2.

$$\rho\lambda' = M\rho Qcal + A\rho \quad (2)$$

Onde, $\rho\lambda'$ não apresenta correção para o ângulo solar; $M\rho$ corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem) e $A\rho$ corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem).

Para corrigir a reflectância em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol (d), usou-se a Equação 3.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta SZ)^{\frac{1}{d^2}}} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta SE)^{\frac{1}{d^2}}} \quad (3)$$

Onde, $\rho\lambda$ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, θSE corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem) e θSZ corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de $\theta SZ = 90^\circ - \theta SE$).

A reflectância planetária no topo da atmosfera também pode ser determinada a partir da Equação 4 (Chander et al., 2009).

$$\rho\lambda = \pi L\lambda d^2 ESUN\lambda \cos\theta SZ \quad (4)$$

Onde, d corresponde a distância astronômica Terra-Sol (disponível nos metadados da imagem) e $ESUN\lambda$ corresponde a irradiância solar média no topo da atmosfera.

Combinando a Equação 3 e a Equação 4, determinou-se os valores de $ESUN\lambda$ para cada banda espectral de acordo com a Equação 5.

$$ESUN\lambda = \pi L\lambda d^2 \rho\lambda \cos\theta SZ \quad (5)$$

Essas duas etapas foram realizadas no software QGIS versão 2.8.7, utilizando o algoritmo *Geosud Reflectance TOA* (Figura 6).

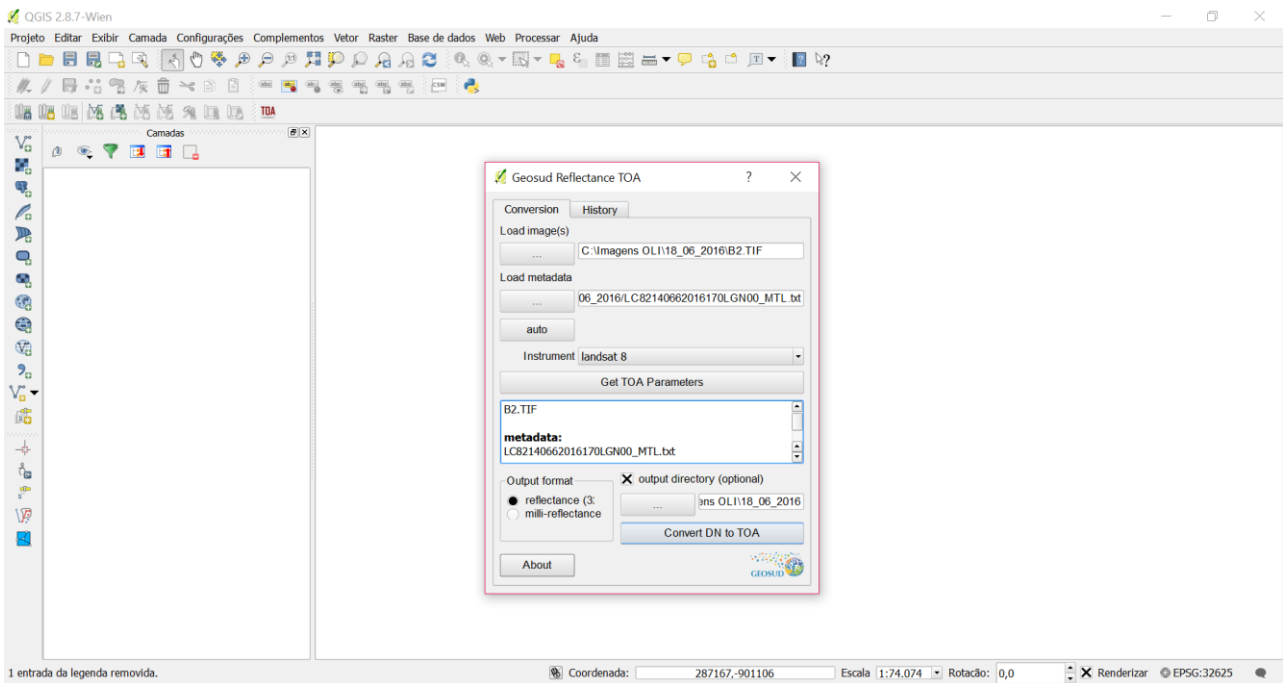


Figura 6. Software QGIS e o algoritmo *Geosud Reflectance TOA*. Fonte: Autores 2017.

Fusão RGB-IHS

Para melhorar as informações do sensor OLI, foi realizada uma fusão de imagens no software Spring versão 5.2.7, que combina a banda pancromática (resolução espacial de 15m) com as bandas multiespectrais (resolução espacial de 30m)

para criar uma imagem sintética com melhor resolução espacial (Figura 7).

Em seguida, se realizou uma composição falsa cor 4-3-2 no software QGIS versão 2.8.7, para se fazer uma melhor interpretação visual dos alvos vegetação, área construída, estradas e água.

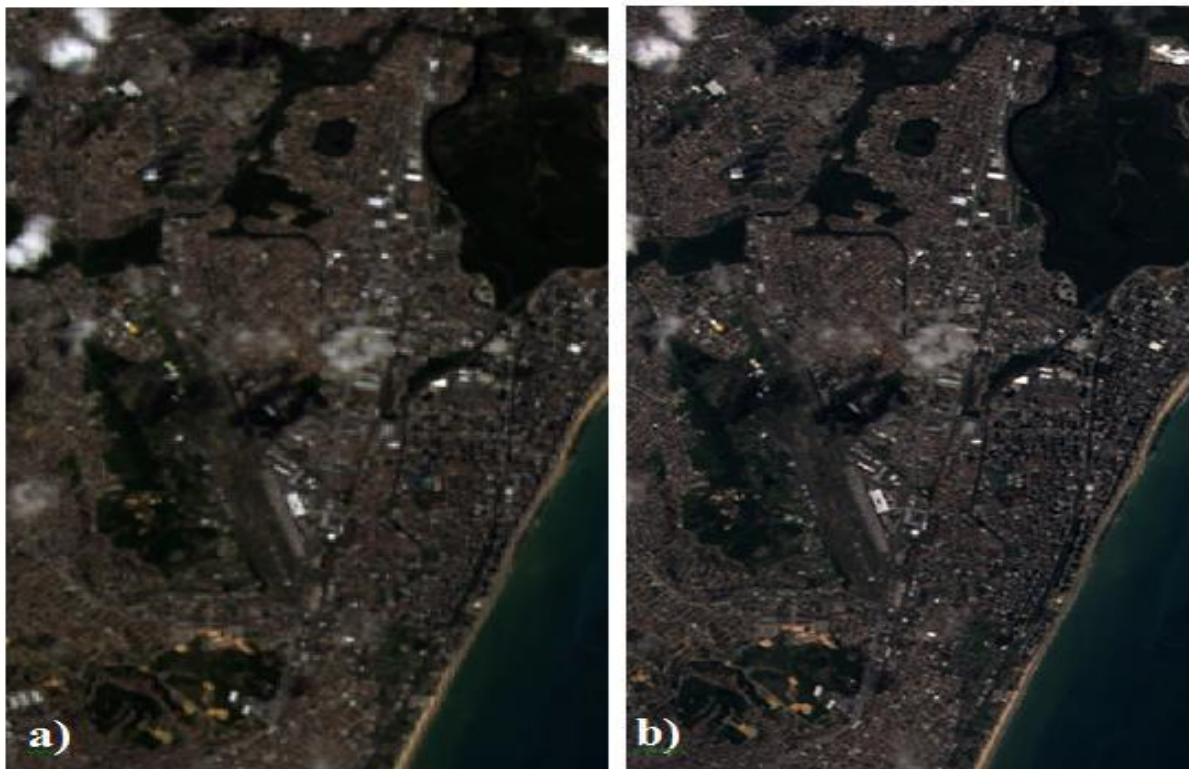


Figura 7. Composição R(4)G(3)B(2) sem fusão (a) e fusionada (b). Fonte: Autores (2017).

NDVI, NDBI, NDWI

Por ultimo, foram calculados os índices radiométricos NDVI, NDWI, NDBI que foram realizados utilizando o *menu* “Raster - Calculadora Raster” (Figura 8), contida no software QGIS versão 2.8.7.

Para esses três índices têm as seguintes equações:

$$NDVI = \frac{(\rho_{ivp} - \rho_{vm})}{(\rho_{ivp} + \rho_{vm})} \quad (4)$$

$$NDBI = \frac{(\rho_{ivm} - \rho_{ivp})}{(\rho_{ivm} + \rho_{ivp})} \quad (5)$$

$$NDWI = \frac{(\rho_{vd} - \rho_{ivp})}{(\rho_{vd} + \rho_{ivp})} \quad (6)$$

Onde, ρ_{ivp} é a refletância no infravermelho próximo, ρ_{vm} é a refletância no vermelho, ρ_{ivm} é a reflectância no infravermelho médio e ρ_{vd} é a reflectância na faixa do verde.

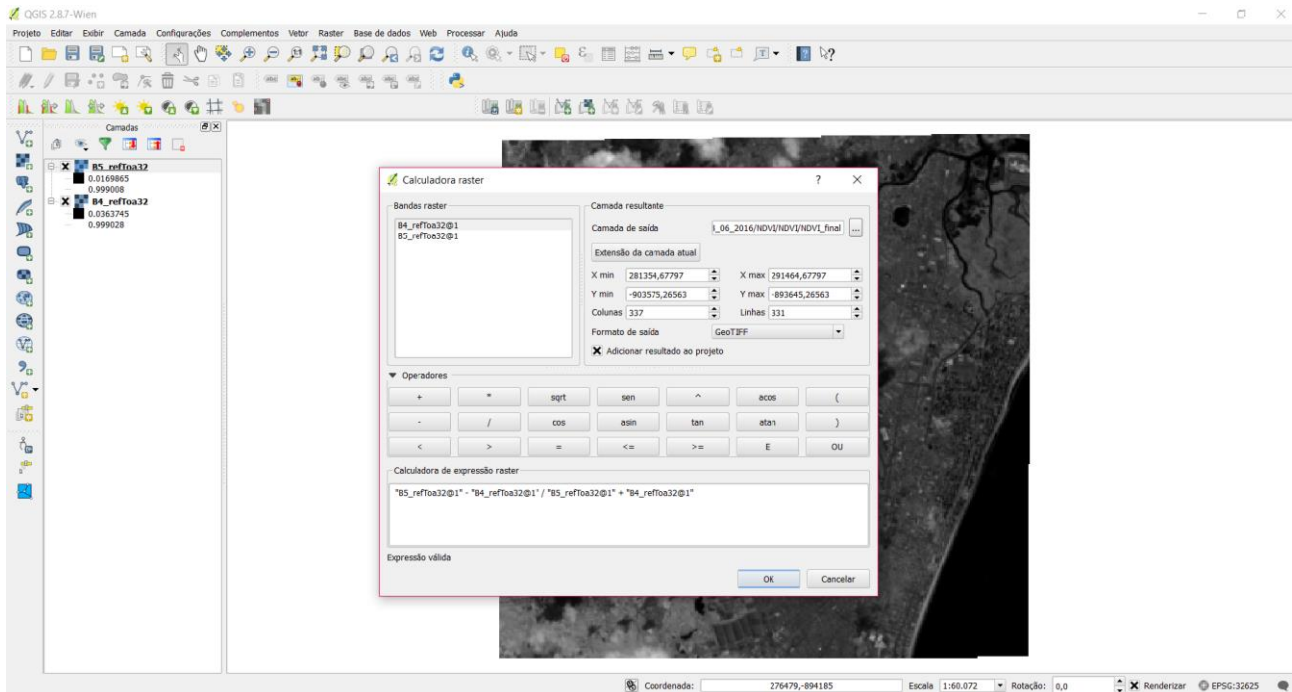


Figura 8. Algoritmo Calculadora raster. Fonte: Autores 2017.

Classes de uso e cobertura da terra



E para fazer a identificação e mapeamento das classes de uso e cobertura da terra foi utilizado Manual Técnico de Uso da

Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE.



O quadro 1 mostra uma rápida descrição das classes identificadas no mapa de uso e cobertura da terra.

Quadro 1. Caracterização das classes de uso e cobertura do solo. Fonte: Adaptado de Barros Junior e Silva, 2018.

(continua)

Tipologia	Descrição	Fotografia ilustrativa
Vegetação	Área sob cobertura vegetal natural, representada por uma floresta homogênea ou até mesmo por fragmentos de médio porte. Suas características favorecem o funcionamento ideal dos ecossistemas.	
Águas	Unidades de representação dos reservatórios e cursos de água superficiais. O desenvolvimento sob essas áreas é bastante restrito; porém, o recurso natural pode ser captado para atender as demandas humanas.	

(conclusão)

Tipologia	Descrição	Fotografia ilustrativa
Áreas urbanizadas	Áreas classificadas como “uso consolidado”. A reversão do impacto é problemática devido às questões sociais. Nesse caso, têm baixíssimas limitações quanto ao desenvolvimento.	
Estradas	Assim como a ocupação urbana, são áreas classificadas como “uso consolidado”. Considerada por muitos autores, como o principal vetor de contribuição para o desenvolvimento.	

E após todas essas etapas foi realizado o mapa de uso e cobertura da terra no entorno do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre, na escala de 1:50.000 no sistema geodésico de referência WGS84.

Resultados e discussão

Os índices físicos NDVI, NDBI e NDWI (Figura 8) foram obtidos a partir de operações matemáticas com a combinação de bandas específicas, nas quais certos comprimentos de onda do espectro eletromagnético são absorvidos e outros são refletidos, de modo a sobressair o alvo desejado.

No que se diz ao NDVI, geralmente, quando há mais radiação refletida em comprimentos de onda do infravermelho próximo do que em comprimentos de onda visíveis, é presumível que a vegetação seja densa e contenha algum tipo de floresta. Por outro lado, se há pouca diferença na intensidade da reflectância entre

comprimentos de onda visíveis e no infravermelho próximo, a vegetação pode ser escassa, possivelmente, composta por pastagem (Weier & Herring, 2000).

O cálculo de NDVI para a área de estudo resultou em valores entre -1 e 1, onde a ausência de folhas verdes correspondeu a um valor próximo de zero, e os valores perto de 1 com coloração branca indicaram maior densidade de vegetação arbórea. Já a água, por apresentar maior reflectância na região do verde do que na do infravermelho próximo, apresenta-se na imagem com valores negativos, próximos a -1.

O NDBI é um índice que distingue o solo exposto e área construída. Ele pode ser aplicado para o mapeamento de áreas urbanas possuindo uma acurácia satisfatória (Bacic; Kawakubo 2014 apud Zha et al., 2010), ou seja, serviu como alternativa importante para o mapeamento rápido e prático de áreas construídas. Em contra partida, seu desempenho pode ser negativamente afetado pela

presença de outros usos e cobertura da terra cuja reflectância varia sazonalmente (Pinheiro & Laranjeira, 2013; ZHA et al., 2003).

Por se tratar de um índice normalizado, assim como o NDVI, os valores de NDWI variam entre -1 e 1, sendo os valores mais próximos de 1 indicadores de maior umidade da vegetação e os valores negativos vegetação seca (Ferreira, 2013).

Sendo assim, a seleção dos comprimentos de onda do NDWI maximiza as

propriedades de reflectância da água usando comprimentos de onda verdes; minimiza a baixa reflexão de IVP pelos recursos hídricos; e maximiza a alta reflexão de IVP pela vegetação e características do solo.

Sendo assim, os resultados foram água com valores positivos, enquanto as estradas e a vegetação apresentaram valores negativos ou próximos de zero.

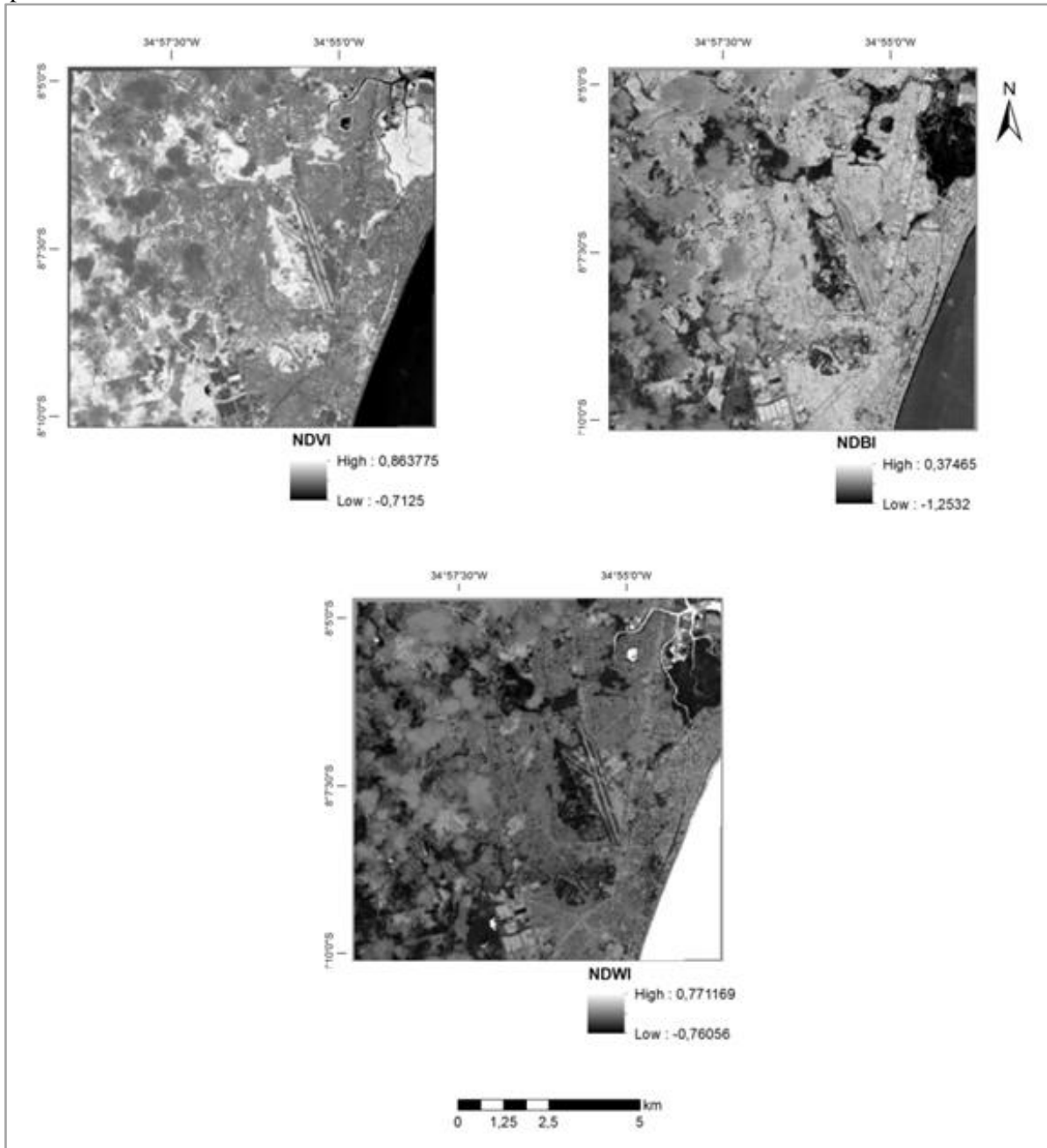


Figura 8. Índices NDVI, NDBI e NDWI da área do entorno do aeroporto do Recife/Guararapes. Fonte: Autores 2018.

Com base nos produtos cartográficos obtidos através do cálculo desses índices, foi

gerada a composição RGB, onde R = NDBI, G = NDVI e B = NDWI, que serviu como ferramenta

na obtenção de contrastes mais interessantes na identificação das classes de uso e cobertura da terra: áreas construídas, estradas, vegetação e água (Figura9).

Foi possível identificar uma limitação em relação ao comportamento espectral de alguns alvos nessa associação dos canais RGB aos índices físicos na composição colorida. Em algumas áreas

a classe estrada foi confundida com área construída, isso se deve ao tipo de material que é usado no telhado das construções, onde sua resposta espectral se aproxima ao das estradas. Houve também uma confusão entre a classe água com as nuvens por apresentarem valores de pixel próximos.

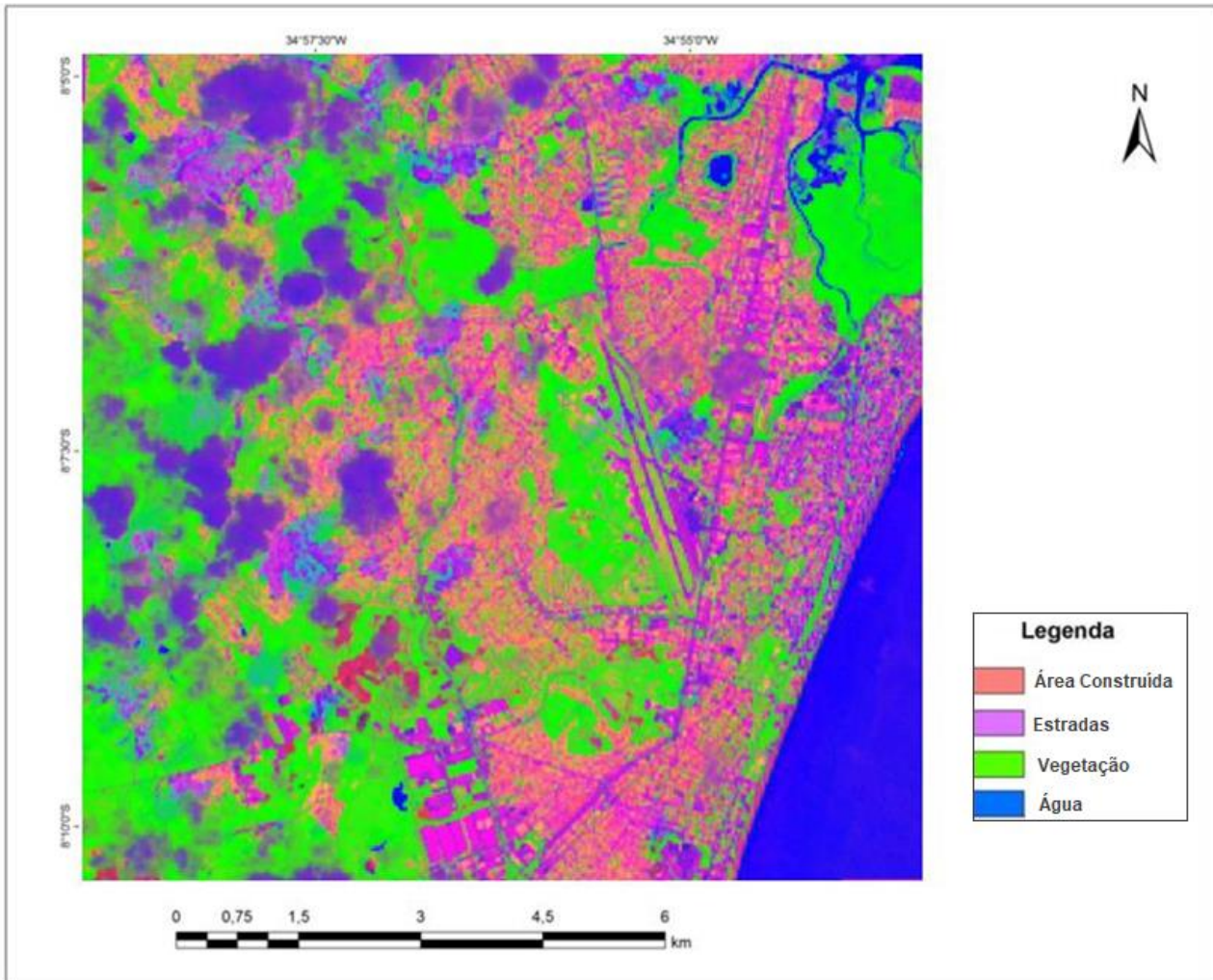


Figura 9. Composição colorida R (NDBI) G (NDVI) B (NDWI). Fonte: Autores 2018.

França et al. 2012 e Cardoso e Amorim (2014) obtiveram resultados semelhantes ao deste trabalho, destacaram em seus estudos a confusão entre as classes estradas e área construída, assim como a água e nuvens.

Conclusões

O presente estudo foi desenvolvido através de dados orbitais e técnicas de geoprocessamento, o que possibilitou a construção de um mapa de uso e cobertura do solo de uma área urbanizada.

Os índices NDVI, NDBI e NDWI obtidos a partir de imagens fusionadas apresentam resultados do uso e ocupação das terras no entorno do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre, destacando-se a área construída. A composição RGB (R-NDBI, G-NDVI, B-NDWI) mostrou benefício para o mapeamento temático de uso e cobertura da terra quando se trabalha com áreas urbanas.

Em algumas áreas, observou-se que a classe estradas foi confundida com a classe área

construída, isso se deve ao fato de que o material usado nos telhados das construções ter uma resposta espectral que se aproxima ao das estradas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico por financiar o projeto a partir da concessão de bolsa de mestrado.

Referências

- Abdikan, S.; Sanli, F. B. 2012. Comparison of different fusion algorithms in urban and agricultural areas using sar (pulsar and radarsat) and optical (spot) images. *Boletim de Ciências Geodésicas*. Curitiba – PR 18, 509-531.
- Albuquerque, E. M. DE; Diniz, J. M. T.; Lima, R. F. DE; Ferreira, F. N.; Chaga Silva, F. DAS. 2015. Técnicas de geoprocessamento no suporte à análise da seca na microbacia do açude Jatobá II. *Revista Verde (Pombal-PB-Brasil)* 4, 27-33.
- BACIC, B. L. de J.; KAWAKUBO, F. S. 2014. Mapeamento de classes intraurbanas no município de Caraguatatuba (SP) utilizando imagens Landsat 5 TM e imagem NDBI. In: *Simpósio Mineiro de Geografia*. Alfenas - MG. p. 1702 – 1707.
- Bhaskarrajan, N. J. 2014. Satellite Image Fusion using IHS and PCA Method. *International Journal of Innovative Science* 1, 152-156.
- Cardoso, R. S.; Amorim, M. C. C. T. 2014. Avaliação dos índices NDVI, NDBI e NDWI como ferramentas ao mapeamento do uso e cobertura da terra. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória – ES. 115 – 127.
- Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113, 893-903
- Cursach, J.A.; Rau, J.R.; Tobar, C.N. y Ojeda, J.A. 2012. Estado actual del desarrollo de la ecología urbana en grandes ciudades del sur de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 52, 57-70.
- Dong, W.; LI, X.; LIN, X.; LI, Z. A 2014. Bidimensional Empirical Mode Decomposition Method for Fusion of Multispectral and Panchromatic Remote Sensing Images. *Remote Sensing* 6, 8446-8467.
- Ejaily, A. E.; Eltohamy, F.; Nahas, M.Y. E.; ISMAIL, G. A. 2013. New Image Fusion Technique to Improve the Quality of Remote Sensing images. *International Journal of Computer Science Issues* 10, 565-569.
- Ferreira, J. M. S.; Ferreira, P. S.; Morais, Y. C. B.; Gomes, V. P.; França, L. M. A.; Galvêncio, J. D. 2013. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de mudanças espaço-temporais das áreas de vegetação de mangue em Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06, 356-372, <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/683>
- França, A. F.; Tavares Junior, J. R.; Moreira Filho, J. C. C. 2012. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE. 001 - 009.
- Gamon, J. A.; Kovalchuck, O.; Wong, C. Y. S.; Harris, A.; Garrit, S. R. 2015. Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. *Biogeosciences* 12, 4149–4159.
- HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y. 2010. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters* 1, 213–221, Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2010.481681>>.
- Hnatushenko, V.V.; Vasyliiev, V.V. 2016. Remote Sensing Image Fusion Using Ica And Optimized Wavelet Transform. XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic. Volume XLI-B7, 653-659.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>.
- IBGE. – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. GeoNetwork: portal para informações e dados espaciais do IBGE. Disponível em: <<http://www.metadados.geo.ibge.gov.br>> .
- INFRAERO – Empresa Brasileira em Infraestrutura Aeroportuária. 2017. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/>>.
- Köppen, W. 2004. Sistema Geográfico dos Climas. *Notas e Comunicações de Geografia*. 12, 4-29. Tradução Antonio Carlos de Barros Correa.
- Lee, L.; Chen, L.; Wang, X.; Zhao, J. 2011. Use of landsat tm/etm+ data to analyze urban heat island and its relationship with land use/cover change. *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering – RSETE* 922 – 927.

- Liu, L.; Zhang, Y. 2011. Urban heat island analysis using the Landsat tm data and aster data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing* 3, 1535–1552, ISSN 2072-4292.
- Moreira Filho, J. C. C.; Tavares Junior, J. R. 2016. Avaliação da precisão temática de composições de NDBI, NDVI, NDWI. *Revista Brasileira de Geomática*. Pato Branco – PR 4, 007 – 018.
- Pinheiro, C.; Laranjeira, M. 2013. Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*. 249-272.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D.L., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lyburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J.E., Wynne, R.H., and Zhu, Z., 2014, Landsat-8—science and product vision for terrestrial global change research: *Remote Sensing of Environment* 145, 154-172.
- Scott, D., Petropoulo, G. P., Moxley, J., MALCOLM, H., 2014. Quantifying the physical composition of the urban morphology throughout wales based on the time series (1989-2011) analysis of Landsat TM/ETM+ images and supporting GIS data. *Remote Sensing* 6, 11731-11752.
- Small, C. A. 2005. Global analysis of urban reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 26, 661–681.
- Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. *Computers & Graphics* 395- 403.
- Usgs. United States Geological Survey. 2017. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat 8. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.
- Usgs. United States Geological Survey 2017. Landsat Missions. Disponível em : <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>.
- Weier J., Herring D. 2000. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation>>.
- Zha, Y., J. Gao, and S. NI, 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International Journal of Remote Sensing* 24,583–594.