

Comparison of NDVI and NDBI indices for MUX / IRS / CBERS-4 images with digital number (ND) and manochromatic reflectance (ρ)

Renato S. Albuquerque^{*}, Bruna Araújo Candeia^{**}, João R. Tavares Júnior^{***}, Ana Lúcia B. Candeias^{****}

^{*}Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil. Email: renatoengufcg@gmail.com

^{**}Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela Universidade Federal de Pernambuco.

^{***}Professor do Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco.

^{****}Professora do Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco.

Received 7 May 2021; accepted 19 October 2021

Abstract

Remote Sensing (RS) has been widely used over the last decades by the rapid technological development of multispectral imaging sensors and by its numerous applications dedicated to understanding and analyzing spectral, radiometric, spatial and temporal heterogeneities of the most varied targets of the Earth's surface. Among the various techniques employed, the use of physical indices stands out because it makes it easier to obtain information about different targets. When one intends to analyze physical NDVI and NDBI index values, one must take into account the correlation of the target by digital numbers (ND) and by reflectance to identify the best method to be used. In this context, this work aims to compare by ND and reflectance the NDVI and NDBI indices and evaluate similarities or significant variations between the targets (vegetation, urban and water). For this, two distinct images from the CBERS-4 satellite MUX and IRS sensors were used. All calculations and analysis were performed using the QGIS software and tools in version 3.16.2. As a result, it was observed that there was similarity between the Vegetation and Urban targets, being noticed significant variations with and without radiometric correction for the Water target, year 2016 and 2019. Thus, after performing radiometric correction the reflectance values of the targets for NDVI and NDBI have more accurate responses and therefore more sensitive when compared to ND. It is worth noting, that the relationship ND and reflectance for NDVI and NDBI are approximately linear, identifying no significant differences.

Keywords: radiometric correction, physical values, NDVI, NDBI, CBERS-4 image.

Comparação dos índices NDVI e NDBI para imagens MUX/IRS/CBERS-4 com número digital (ND) e reflectância (ρ) manocromática

Resumo

O Sensoriamento Remoto (SR) passou a ser largamente utilizado ao longo das últimas décadas pelo rápido desenvolvimento tecnológico de sensores imageadores multifontes e por suas inúmeras aplicações dedicadas a compreender e analisar heterogeneidades espectral, radiométricas, espacial e temporal dos mais variados alvos da superfície terrestre. Dentre as diversas técnicas empregadas, destacam-se o uso de índices físicos por facilitar a obtenção de informações sobre diferentes alvos. Quando se pretende analisar valores físicos de índices NDVI e NDBI, deve-se levar em consideração a correlação do alvo por números digitais (ND) e por reflectância para identificar qual o melhor método a ser utilizado. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo comparar por ND e reflectância os índices NDVI e NDBI e avaliar similaridades ou variações significativas entre os alvos (vegetação, urbano e água). Para isso, foram utilizadas duas imagens distintas do satélite CBERS-4 sensores MUX e IRS. Todos os cálculos e análises foram realizados por meio do software e das ferramentas do QGIS na versão 3.16.2. Como resultado, observou-se que houve similaridade entre os alvos Vegetação e Urbano, sendo notada variações significativas com e sem correção radiométrica para o alvo Água, ano 2016 e 2019. Desta forma, após realização da correção radiométrica os valores de reflectância dos alvos para o NDVI e NDBI tiveram respostas mais precisas e, portanto, mais sensíveis quando comparadas com ND. Vale destacar, que a relação ND e reflectância para o NDVI e NDBI são aproximadamente lineares, não identificando diferenças significativas.

Palavras-Chave: correção radiométrica, valores físicos, NDVI, NDBI, imagem CBERS-4.

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto (SR) passou a ser largamente utilizado ao longo das últimas décadas pelo rápido desenvolvimento tecnológico de sensores

imageadores multifontes e por suas inúmeras aplicações dedicadas a compreender e analisar heterogeneidades espectral, radiométricas, espacial e

temporal dos mais variados alvos da superfície terrestre.

Segundo Chen et al. (2018) mapeando a cobertura urbana de uma grande área usando múltiplos sensores vários recursos, corrobora que uma imagem de satélite multiespectral, com diferentes sensores, pode coletar e fornecer informações espectrais da superfície terrestre e discriminar as diferentes classes de uso e ocupação do solo em espaços urbanos. Uma das classificações utilizam assinatura espectral do alvo para ambientes urbanos, que de forma geral pode apresentar uma menor precisão usando desse tipo de classificação, em comparação, por exemplo, com outros ambientes florestais. Isso se deve ao fato de o ambiente urbano possuir maior heterogeneidade espectral e espacial dos mais variados materiais de superfície encontrado no espaço urbano.

No processamento de imagens várias técnicas podem ser utilizadas, algumas delas, segundo Weng (2012), são a classificação subpixel, a regressão, a complementaridade com a fração vegetação e, a mais utilizada, análise linear de mistura espectral. A análise linear de mistura espectral considera a resposta de cada elemento do pixel, em qualquer banda espectral como a combinação linear das respostas dos alvos que compõe a unidade de resolução no solo (Shimabukuro e Smith, 1991). De acordo com Hirye et al. (2015), as técnicas de sensoriamento remoto aplicado nas cidades em processo de crescimento urbano, é possível identificar áreas sendo preparadas para urbanização, construções, vias não pavimentadas, áreas sem tratamento paisagístico, fragmentos de vegetação ou florestas, focos de queimadas e alteração nos recursos hídricos.

As informações mais detalhadas da distribuição espacial dos elementos da superfície terrestre podem ser avaliadas por diversos índices físicos, com objetivo de explorar as propriedades espectrais dos alvos, os quais se destacam o *Normalised Difference Vegetation Index -NDVI*, proposto por Rouse et al. (1973), com a finalidade de obter respostas espectrais que separasse a vegetação verde a partir da variação do substrato sobre o dossel (p.ex., os solos que são visíveis sob os dosséis) e o índice *Normalized Difference Built-Up Index -NDBI*, para mapear áreas urbanas, peri-urbanas e construídas. É um indicador de áreas construídas com a vantagem de estar menos sujeito a subjetividades humanas (Zha et al., 2003).

Os índices espectrais são técnicas amplamente utilizadas na transformação de imagens de sensoriamento remoto para realçar a resposta espectral de alvos da superfície terrestre e avaliar e monitorar processos de mudanças de ordem natural e/ou antrópica da cobertura da terra. Esses índices

resultam da combinação de dois ou mais canais espectrais do espectro eletromagnético, sendo amplamente utilizados devido a sua simplicidade conceitual e eficiência computacional para extrair informações presentes nas imagens (Ponzoni, 2002; Schepers et al., 2014).

Os níveis de energia refletida, emitida ou retro espalhada que deixa a superfície do alvo apresenta diferenças de intensidade contínuas que precisa ser detectadas e registradas pelo sensor. Quanto maior for a capacidade do sensor distinguir diferenças de intensidade refletida do alvo, maior será sua resolução radiométrica (Novo, 2008).

A medida da resolução radiométrica, também recebe o nome de quantização. Em termos práticos, a quantização da radiação eletromagnética é medida em números de valores digitais de cinza (ND) que expressa os valores de radiância medido pelo senso (Ponzoni et al., 2015). O número de níveis de cinza de uma imagem é expresso em bits, em função do número de dígitos binários que a linguagem computacional utiliza para registrar e armazenar o valor de ND.

As imagens orbitais de SR são rotineiramente convertidas de ND em valores de refletância entre profissionais que fazem uso e aplicação de técnicas de SR na avaliação quantitativa dos recursos naturais. Para isso, são consideradas a conversão dos NDs das imagens em valores de refletância aparente pela aplicação de coeficientes de calibração dos sensores que as geraram e a conversão das refletâncias aparentes em refletância de superfície por meio da aplicação de métodos de correção atmosférica (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

A calibração radiométrica pode ser entendido como os procedimentos de conversão dos números digitais presentes em uma imagem em valores de radiância efetiva ou aparente e depois em refletância. A radiação efetiva pode também ser denominada de radiância aparente, porque inclui a interferência de outros fatores que não aqueles oriundos das características físico-químicas do objeto em estudo (Ponzoni et al., 2015). Assim, a calibração radiométrica tem como objetivo principal converter os números digitais das imagens em radiância, refletância ou temperatura.

O ND é definido por Novo (2010), como a intensidade do pixel na sua amplitude variando conforme a resolução radiométrica do sensor. Os valores de ND de imagens orbitais podem ser empregados na classificação de diferentes tipos de cobertura do solo, detectar mudanças do ambiente por período e analisar as misturas espectrais em composições coloridas.

A radiância espectral é o fluxo de energia radiante em um feixe por unidade de comprimento de onda, por unidade de área e ângulo, sendo expresso

nas unidades do *International System of Units* - SI, $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ (Schaepman-Strub et al., 2006). A reflectância é a proporção da quantidade total de Radiação Eletromagnética - REM refletida por uma superfície ou um alvo na quantidade total de REM incidente na superfície (Ponzoni et al., 2012).

Teixeira et al. (2017) avaliaram os índices NDVI, NDWI e NDBI calculados com ND e com a Reflectância obtida pela transformação DOS em imagens do sensor TM do Landsat 5. Uma amostragem com a escolha de 12 pontos foi realizada e chegou-se à conclusão de que existe diferença com e sem aplicação da correção atmosférica e que esta diferença não é constante. No trabalho de Nascimento et al. (2020), compararam o índice NDWI obtidos por ND e por reflectância para avaliar se existem similaridades ou diferentes significativas entre os alvos de água, solo e vegetação. Como resultado notou-se que a diferença entre o NDWI com e sem a correção radiométrica, foi maior para o alvo Água do que para os alvos Vegetação e Solo exposto. As amostras de pixels de NDWI obtidos pelos dois métodos mostraram forte correlação entre as variáveis para os alvos água e solo exposto, enquanto que para a vegetação esta correlação não foi muito satisfatória.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo comparar por ND e reflectância os índices NDVI e NDBI e avaliar similaridades ou variações significativas entre os alvos vegetação, urbano e água.

2. Materiais e Métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada próximo a posição central do estado do Pará, Brasil, entre as coordenadas geográficas $03^{\circ}09'$ e $03^{\circ}16'$ de latitude sul com referência a linha do equador e $52^{\circ}16'$ e $52^{\circ}07'$ de longitude a oeste do meridiano de Greenwich, as margens do rio Xingu e dista aproximadamente 720 km da capital Belém (Figura 1). Regulamentada pela lei estadual nº 1604, de 27 de setembro de 1917, é constituída por 11 distritos: Altamira, Novo Horizonte, São Felix, Porto de Moz, Tapará, Vilarinho de Monte, Vieiros, Pombal, Aquiqui, Sousel e Alto Xingú (IBGE, 2008).

Segundo Becker (1985) e Umbuzeiro (1988) o crescimento da cidade foi se desenvolvendo em partes, com alguns bairros planejados pela Prefeitura Municipal, outros pela Prelazia do Xingu e por empresas privadas. A parte da população mais vulnerável e, porém, mais pobres foram forçadas a ocupar regiões de baixadas e áreas alagadiças por falta de alternativas. Assim, a cidade de Altamira apresenta padrões variáveis de urbanização e infraestruturas.

A escolha da área de estudo foi motivada pelo importante histórico da dinâmica do processo migratório da cidade de Altamira pela construção da usina hidrelétrica de Belo Monte que começou a ser erguida em julho de 2011 e pelas imagens que apresentaram percentual abaixo de 10% de recobrimento de nuvens.

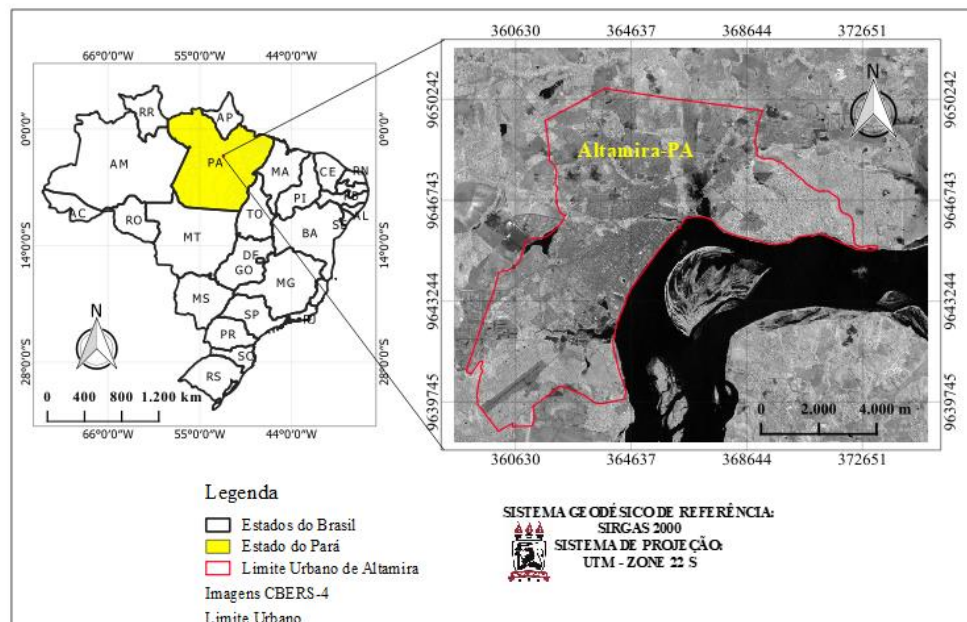


Figura 1 – Mapa Localização da área de estudo, cidade de Altamira - PA, Norte do Brasil.

Procedimento Metodológicos

Para realização desta pesquisa, foram utilizados recursos tecnológicos de hardware pessoais: Notebook Acer, processador Intel® Core™

i3-7021U CPU® 2.30GHz, 4,00 GB RAM, DDR4 + HDD 1T, Sistema Operacional 64 bits Windows 10. Quanto ao conjunto de softwares utilizados: QGIS Desktop 3.16.2 e Microsoft Office 365 Word, Excel.

Os procedimentos metodológicos estão apresentados na Figura 2, sendo dedicada a aquisição das imagens, tratamento, processamento, análises e comparação dos resultados.

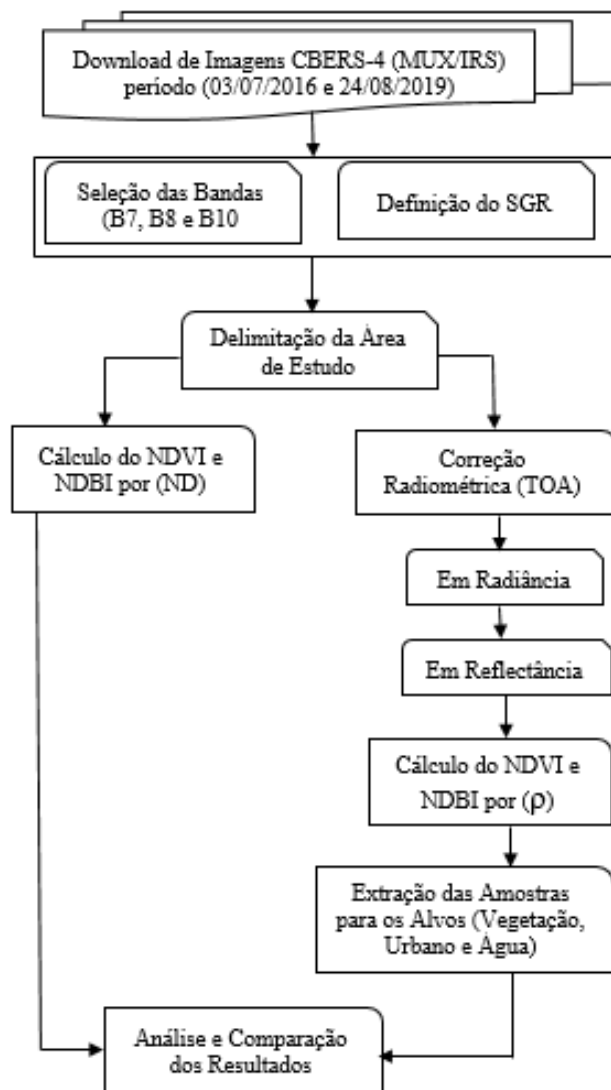


Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada.

Aquisição, Tratamento e Processamento das Imagens

As imagens orbitais multiespectrais, trata-se do satélite CBERS-4, sensor Regular *Multispectral Camera* (MUX) e *Multispectral and Thermal Imager Camera* (IRS), órbita 165, ponto 104. Foram adquiridas duas cenas do CBERS-4 com período 03/07/2016 e 24/08/2019, possuindo as mínimas interferências de nuvens. As imagens possuem formato Geotiff e composição RGB (8 bits), com quatro bandas espectrais e resolução espacial de 20 m. No caso do sensor IRS as bandas Pancromática (PAN) e Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) tem resolução espacial de 40 m.

As imagens CBERS-4 foram reprojetadas, antes no Datum: SRC WGS 1984 para o SRC UTM SIRGAS 2000 zone 25 Sul (sistema oficial do Brasil) e processadas. Para obtenção das imagens é

necessário realizar cadastro ou fazer login no site (<http://www.dgi.inpe.br/>) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O download das cenas é gratuito e podem ser selecionadas de acordo com alguns parâmetros, tais como, satélite, sensor, percentual de recobrimento de nuvens, localização e data de captura da imagem.

O limite da área de estudo envolve todo o espaço urbana da cidade de Altamira e parte do rio Xingu que sofreu impactos ambientais significativos e fortes interferências humanas devido a construção da usina hidrelétrica Belo Monte.

As imagens orbitais geralmente representam apenas números digitais adimensionais em formato matricial, assim, a calibração radiométrica tem como objetivo principal converter os números digitais das imagens em radiância, reflectância ou temperatura (Ponzoni et al., 2015).

Conforme Pinto et al. (2016), a equação 1 descreve a conversão do ND em radiância monocromática. A reflectância monocromática pode ser encontrada usando a equação 2. Assim, os índices espectrais são calculados pela reflectância no topo da atmosfera (do inglês, *Top of Atmosphere Reflectance* - ToA Reflectance).

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{ND_{max}} * (ND) + L_{min} \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{ND_{max}} \right) (ND) + L_{min}}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d} \quad (2)$$

As equações 1 e 2 representam o cálculo da Reflectância (ρ_{λ}) [$W / (m^2 * sr * \mu m)$] para cada banda espectral. A expressão, π representa a constante matemática, L_{λ} a radiância espectral [$W / (m^2 * sr * \mu m)$], " d " representa a distância sequencial do ano Sol-Terra em unidades astronômicas [UA], $\cos(z)$ corresponde ao ângulo zenital solar [rad] e ND o nível digital do pixel de cada imagem. E_{λ} , representa a irradiância solar exoatmosférica média no topo da atmosfera [$W / (m^2 * \mu m)$].

O dia " d ", segundo Iqbal (1983), é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em um dia sequencial do ano (DSA), conforme equação 3.

$$d = 1 + 0,033 * \cos(DSA * 2 * \frac{\pi}{365}) \quad (3)$$

Os dados de calibração do CBERS-4 não são atualizados e divulgados constantemente, e isso limita o usuário a estabelecer correlações entre os parâmetros radiométricos mediante a aplicação desses dados de calibração. Os parâmetros radiométricos do CBERS-4 estão ilustrados no Quadro 1. Tais parâmetros foram utilizadas de acordo

com a calibração radiométrica encontrada no documento de (Chandler, 2007; Ponzoni e Epiphanyo, 2012). A distância sequencial do ano Sol-Terra e o ângulo zenital solar são variáveis em função do tempo, que mudam de acordo com a data de obtenção de cada imagem. O ângulo de elevação solar, podem ser identificados nos metadados ao fazer o download das imagens.

A *Top of Atmosphere Reflectance* (TOA) da banda onze (B10), foram obtidas através do *Solar*

Radiation and Climate Experiment (SORCE), no conjunto de dados *Total Solar Irradiance* SORCE - *Daily average*, disponível no site <http://lasp.colorado.edu/lisird/>. A banda (B10) do CBERS-4, refere ao intervalo espectral (1,55 - 1,75 μm) do *Short Wave Infrared* (SWIR), necessário para o cálculo do NDBI. A média do ângulo de elevação solar $\cos(z)$ das bandas espectrais foram utilizadas para o cálculo da reflectância.

Quadro 1 – Principais características dos sensores imageadores da imagem CBERS-4 (MUX/IRS).

Multispectral Camera (MUX) e Multispectral and Thermal Imager Camera (IRS) do CBERS-4. Data da aquisição das imagens: 24/08/2019						
Bandas	$\Delta\lambda$: Intervalo espectral (μm)	<i>L</i> MIN: Rad. Mín. (W/m2.sr. μm)	<i>L</i> MAX: Rad. Máx. W/m2.sr. μm	<i>E</i> : Irradiância solar estratosférica média (TOA) (W/m ² . Mm)	<i>Z</i> : Ângulo de elevação solar	Órbita-ponto:
B05	0,45 a 0,52	35,3	344,4	1958	58.3037	165/104
B06	0,52 a 0,59	25,7	361,8	1852	58.3097	
B07	0,63 a 0,69	12,9	352,3	1559	58.3158	
B08	0,77 a 0,89	8,9	275,0	1091	58.3218	
B10	1,55 a 1,75	4,2	44,5	1360,659	58.2979	
Multispectral Camera (MUX) e Multispectral and Thermal Imager Camera (IRS) do CBERS-4. Data da aquisição das imagens: 03/07/2016						
Bandas	$\Delta\lambda$ Intervalo espectral (μm)	<i>L</i> MIN Rad. Mín. (W/m2.sr. μm)	<i>L</i> MAX: Rad. Máx. W/m2.sr. μm	<i>E</i> : Irradiância solar estratosférica média (TOA) (W/m ² . Mm)	<i>Z</i> : Ângulo de elevação solar	Órbita-ponto:
B05	0,45 a 0,52	35,3	344,4	1958	55.6549	165/104
B06	0,52 a 0,59	25,7	361,8	1852	55.6636	
B07	0,63 a 0,69	12,9	352,3	1559	55.6724	
B08	0,77 a 0,89	8,9	275,0	1091	55.6812	
B10	1,55 a 1,75	4,2	44,5	1361,031	55.6570	

Fonte: Adaptado de Ponzoni e Epiphanyo (2012) e Pinto (2016).

Onde: $\Delta\lambda$ é o intervalo espectral (μm) para cada banda. *L*MIN e *L*MAX é a radiância espectral [W / (m² * sr * μm)]. *E*, representa a irradiância solar estratosférica média no topo da atmosfera [W / (m² * μm)], e *Z* corresponde ao ângulo zenital solar [rad].

Os índices espectrais do CBERS-4 foram calculados após a realização da calibração radiométrica para cada banda espectral, conforme observada no Quadro 2.

Quadro 2 – Cálculo dos Índices espectrais CBERS-4.

CBERS-4	
MUX	$NDVI = \frac{\rho\text{Banda}8 - \rho\text{Banda}7}{\rho\text{Banda}8 + \rho\text{Banda}7}$
MUX e IRS	$NDBI = \frac{\rho\text{Banda}10 - \rho\text{Banda}8}{\rho\text{Banda}10 + \rho\text{Banda}8}$

Fonte: Adaptado de Rouse et al. (1973), Gao (1996) e Jensen (2009).

Após a obtenção dos valores físicos das imagens CBERS-4 realizou-se o cálculo por ND do NDVI proposto por Rouse et al. (1973), e o índice NDBI (Zha et al., 2003), conforme equação 4 e 5. Os valores obtidos a partir do NDVI e NDBI variam numa escala entre -1 e 1.

$$NDVI = \frac{\text{Banda } 8 - \text{Banda } 7}{\text{Banda } 8 + \text{Banda } 7} \quad (4)$$

$$NDBI = \frac{\text{Banda } 10 - \text{Banda } 8}{\text{Banda } 10 + \text{Banda } 8} \quad (5)$$

Onde: Banda 8 possui a faixa espectral do infravermelho próximo - NIR, Banda 7 possui a faixa espectral do verde e Banda 10 possui a faixa espectral do infravermelho de ondas curtas - SWIR.

Todos os cálculos envolvidos nessa pesquisa foram realizados por meio das ferramentas do QGIS na versão 3.16.2. Para análise dos resultados foram criados 50 pontos de amostras diferentes para os

alvos (Vegetação, Urbano e Água) totalizando 150 pontos de vetor no formato shapefile. Na ferramenta *processar, caixa de ferramentas* do QGIS (*add. raster values.to features*) é possível extrair os valores dos índices para aqueles pontos ou pixels na imagem de interesse. Feito esse processo, a camada shapefile de pontos para as amostras de vegetação, por exemplo, foram exportadas no formato XLSX tabela Excel e os dados tratados para elaboração de gráficos e perfis contendo os três alvos estudados. Para criação do perfil espectral utilizou-se da ferramenta *Terrain profile* do QGIS. Esta ferramenta permite inserir simultaneamente todas as imagens de estudo e extrair os dados para tabelas Excel.

3. Resultados e discussão

A análise do ND e da reflectância nos períodos ano 2016 e 2019 para o NDVI e NDBI estão apresentados nas Figuras 3 e 4. Os intervalos da rampa de cores, criados com auxílio do QGIS na ferramenta *Composição Banda simples falsa-cor* para o NDVI e NDBI, foram determinados com base no trabalho de Nascimento et al. (2020), e extrapolando os valores negativos para melhor compreensão, dar mais consistências e robustez aos resultados encontrados nesta pesquisa.

O NDVI e NDBI apresentam valores reais contidos no intervalo entre -1 e 1. Para o NDVI, valores acima de 0,5 representa regiões com a presença de vegetação rasteira ou arbórea, entre 0,0 e 0,5 são regiões de espaços urbanos, solo exposto impermeáveis ou regiões que apresenta remoção total

da vegetação. Os valores negativos representam os corpos hídricos, eventuais sombras provocadas pela intensidade verticalizada das construções e/ou de nuvens. Para o NDBI, valores acima de 0,4 são regiões de espaços urbanos, solo exposto impermeáveis ou regiões que apresenta remoção total da vegetação, entre 0,0 e 0,4 representa regiões com a presença de algum tipo de vegetação rasteira ou arbórea. Vale destacar que os valores negativos para o NDBI, no que se refere a alvos de corpos hídricos ou sombras, não permitiram uma análise confiável devido a imagem da banda dez (B10) que possui o canal espectral infravermelho de ondas curtas (SWIR) conter ruídos causados por falha da digitalização pushbroom linear sem a correção SLC, *San Line Corretor* (Zanotta et al., 2019).

Nessa pesquisa, foram definidos três tipos de classes/alvos (Vegetação, Urbano e Água) com 50 pontos de amostras para cada classe totalizando 150 pontos/pixels. Uma linha de perfil espectral, Figura 5, foi delimitada e enumerada para indicar quando ocorre as transições de um alvo e outro.

A partir das amostras dos alvos vegetação, urbano e água para o NDVI ND e NDVI reflectância, foram realizadas análise de regressão e correlação linear. A análise de regressão e correlação busca analisar dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população. O coeficiente de correlação (R^2) mede o grau de relacionamento entre duas variáveis. Assim, o perfeito ajustamento das observações deve ter intercepto igual a 0 e uma inclinação (coeficiente de correlação – R^2) igual a 1 ou 45°.

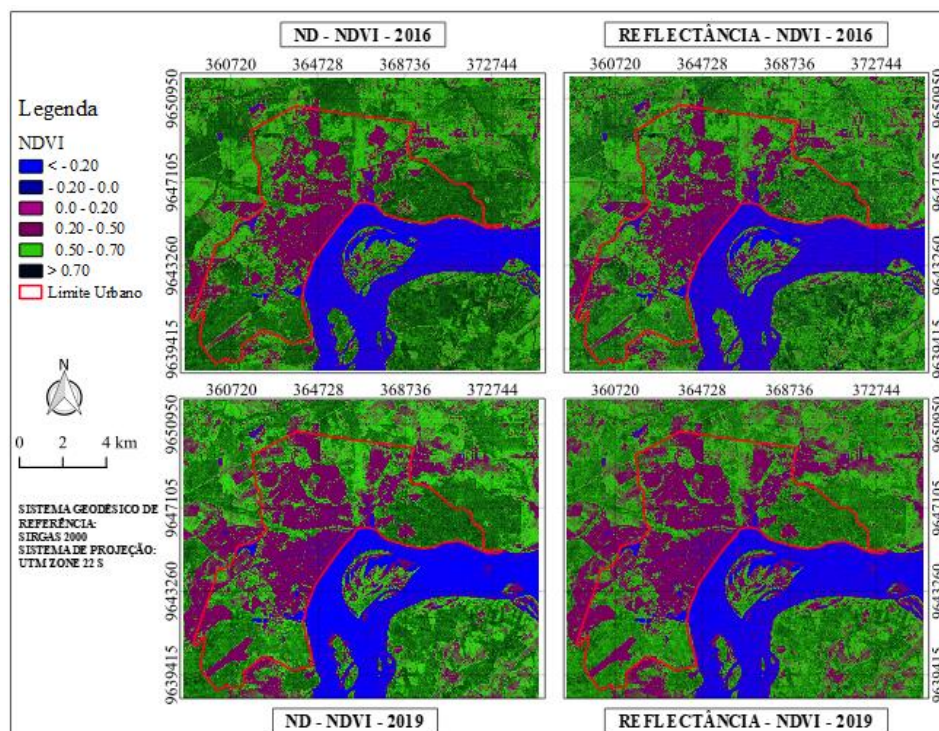


Figura 3 - Composição Banda simples falsa-cor do índice NDVI para imagens dos anos 2016 e 2019.

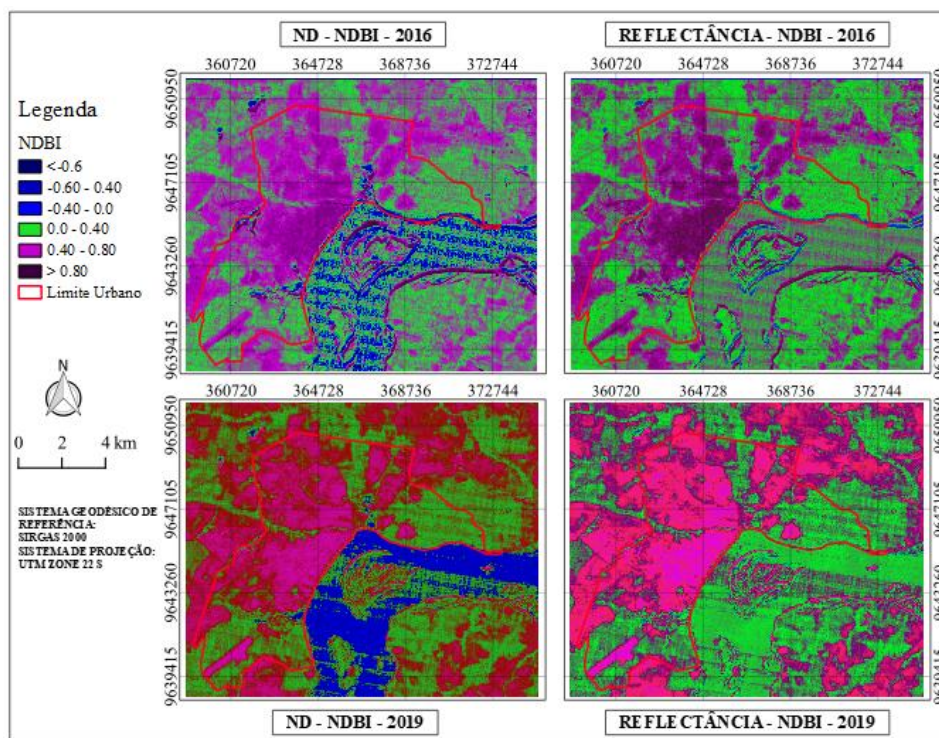


Figura 4 - Composição Banda simples falsa-cor do índice NDBI para imagens dos anos 2016 e 2019.

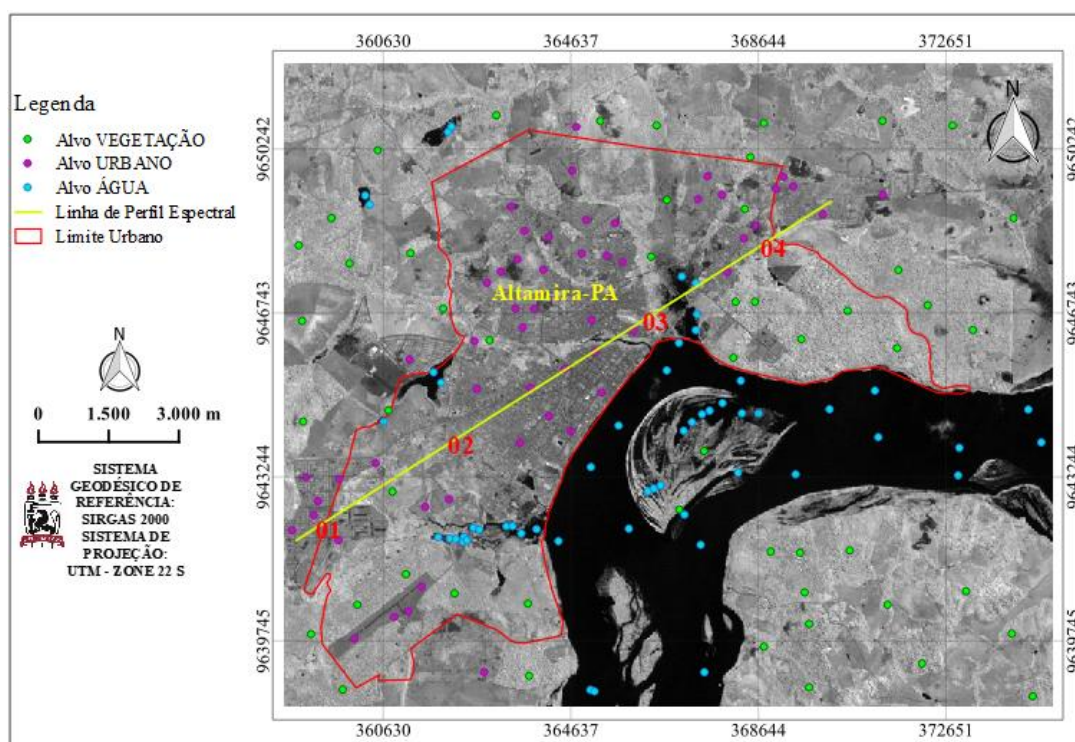


Figura 5 - Amostras de alvos e linha de perfil espectral para imagens dos anos 2016 e 2019.

Os resultados observados na Figura 6A e 6B, mostram que houve similaridade para o alvo vegetação por ND e reflectância, anos observados

2016 e 2019, as inclinações e equações são, $R^2=0,9073$ e $R^2=0,9847$ e $y=1,0448x+0,0937$ e $y=1,2375x-0,0258$.

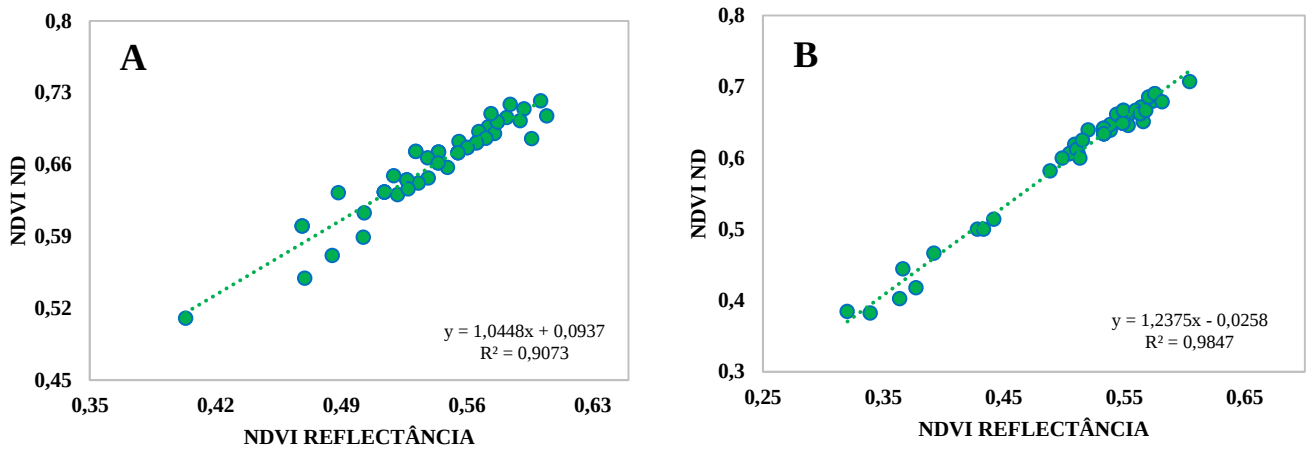


Figura 6 - Correlação entre NDVI ND e NDVI reflectância para o alvo vegetação nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

A Figura 7A e 7B, mostram que houve similaridade para o alvo urbano por ND e reflectância, anos observados de 2016 e 2019, as inclinações e equações são, $R^2=0,9958$ e $R^2=0,9985$ e $y=1,2501x-0,0562$ e $y=1,2513x-0,0566$.

A Figura 8A, ano 2016, mostram que houve baixa similaridade quando comparado com a Figura 8B para o alvo água por ND e reflectância, ano

observado 2019, as inclinações e equações são, $R^2=0,8420$ e $R^2=0,9901$ e $y=1,0123x-0,1813$ e $y=1,3697x-0,0683$. As variações para o alvo água, Figura 8A, podem ser resultantes das alterações causadas na região devido ao início da construção e conclusão da usina de Belo Monte com alterações significativas que podem ser material em suspensão.

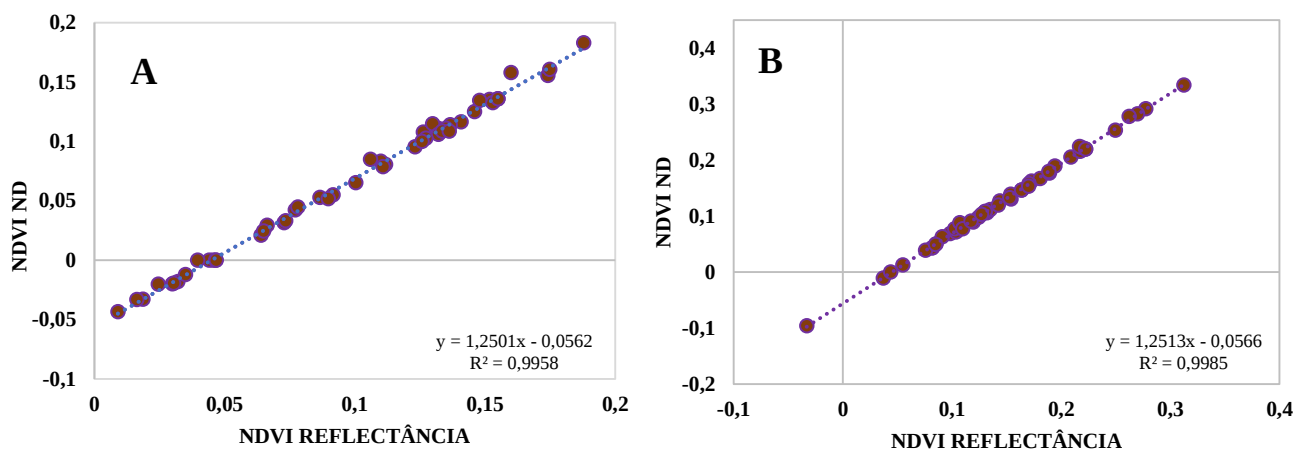


Figura 7 - Correlação entre NDVI ND e NDVI reflectância para o alvo urbano nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

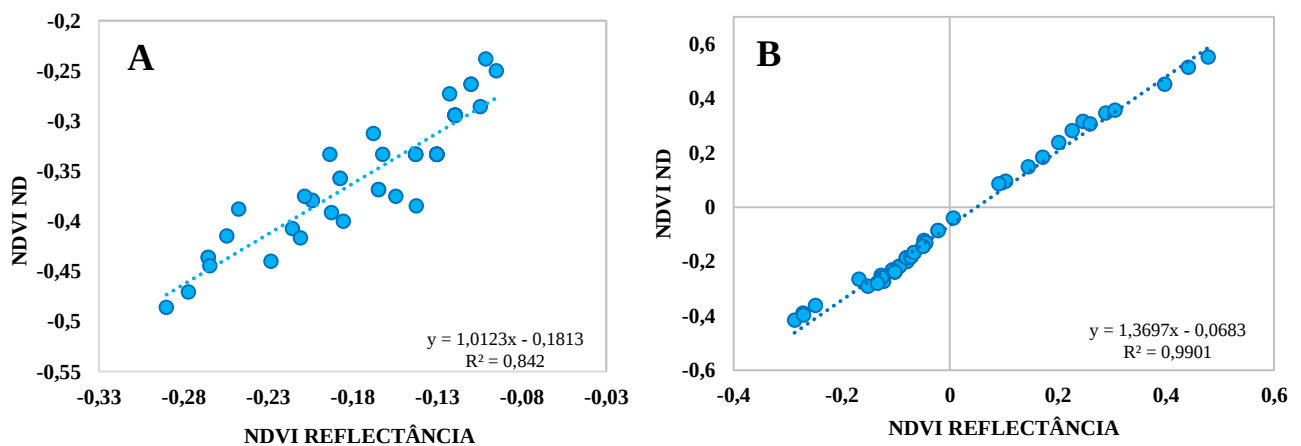


Figura 8 - Correlação entre NDVI ND e NDVI reflectância para o alvo água nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

Para o NDBI, os resultados observados na Figura 9A e 9B, mostram que houve similaridade para o alvo vegetação por ND e reflectância, anos

observados de 2016 e 2019, as inclinações e equações são, $R^2=0,9741$ e $R^2=0,9397$ e $y=1,9006x+1,438$ e $y=1,8978x+1,4298$.

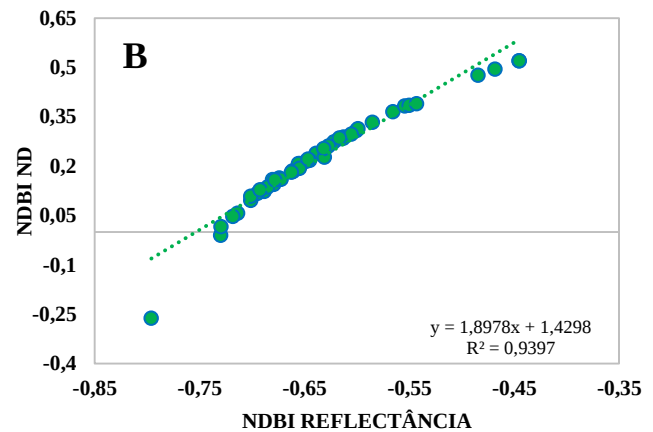
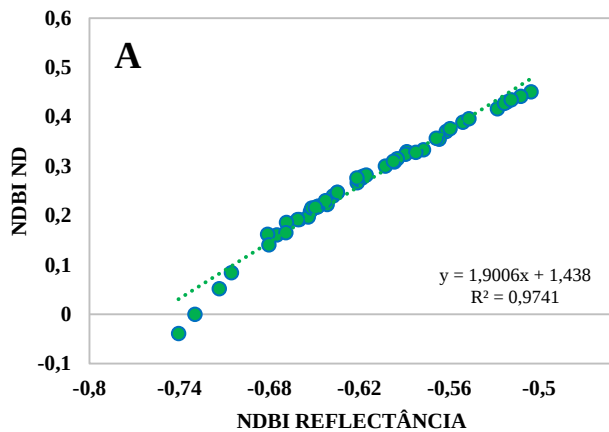


Figura 9 - Correlação entre NDBI ND e NDBI reflectância para o alvo vegetação nos anos 2016 (A) e 2019 (B). Fonte: Autor (2021).

A Figura 10A e 10B, mostram que houve similaridade para o alvo urbano por ND e reflectância, anos observados de 2016 e 2019, as

inclinações e equações são, $R^2=0,9772$ e $R^2=0,09847$ e $y=0,8087x+0,8853$ e $y=0,8326x+0,8952$.

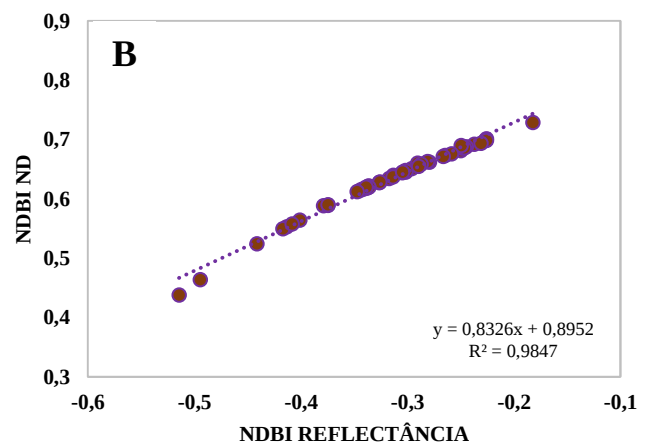
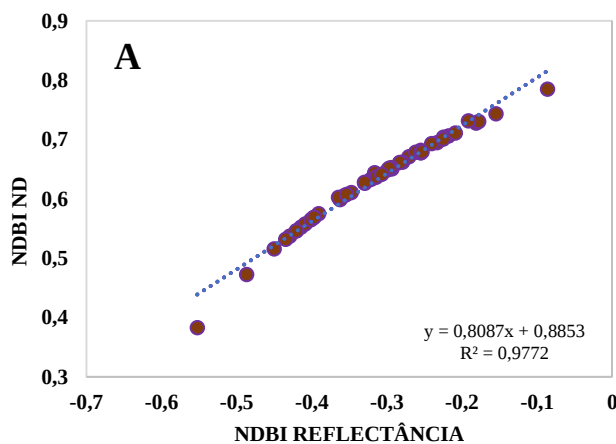


Figura 10 - Correlação entre NDBI ND e NDBI reflectância para o alvo urbano nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

A Figura 11A e 11B, mostram que houve baixa similaridade para o alvo água por ND e reflectância, ano observado 2016 e 2019, as inclinações e equações são $R^2=0,7218$ e $R^2=0,6848$ e $y=1,3947x+0,9182$ e $y=3,9813x+2,2296$. As variações para o alvo água podem estar relacionadas a dois fatores: o primeiro refere-se ao ruído que a banda dez (B10) do CBERS-4 possui. Estes ruídos, conforme Fonseca (2004) são classificados como

coerentes por apresentar um padrão sistemático e são particularmente perceptíveis em alvos uniformes escuros, tais como água ou floresta (Masek et al., 2001). O segundo fator, em concordância com Nascimento et al. (2020), pode ser resultante das alterações causadas na região, devido ao início da construção e conclusão da usina de Belo Monte, o que pode ter provocado alterações significativas nos valores de reflectância da água.

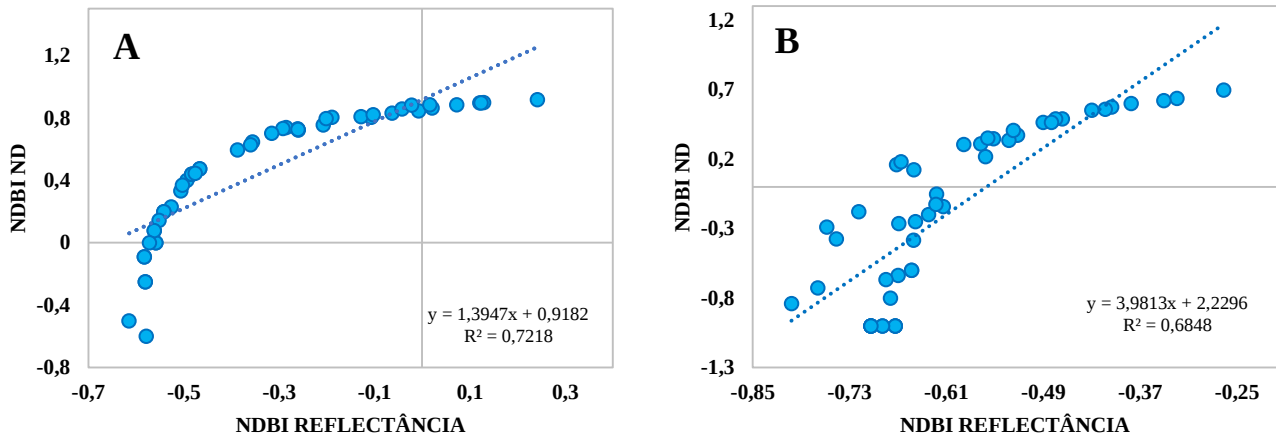


Figura 11 - Correlação entre NDBI ND e NDBI reflectância para o alvo água nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados o perfil NDVI ND e NDVI reflectância ano 2016 e 2019 respectivamente. A linha de perfil espectral corta regiões de cobertura vegetal, espaços urbanos com algum tipo de construção, áreas impermeáveis e corpos hídricos. Partindo do zero até o ponto 01 é observado que a linha espectral cruzou áreas construídas do espaço urbano, do ponto 1 ao 2 representa algum tipo de cobertura vegetal (picos com os maiores valores positivo), do ponto 2 ao 3

observa-se a presença novamente de áreas construídas, do ponto 3 ao 4 existe presença de vegetação e corpos hídricos (picos com os menores valores negativos) e pôr fim, do ponto 4 em diante surge a presença de áreas urbanas construídas. O destaque é observado para a região no intervalo entre as distâncias 1000 m e 4000 m com as maiores diferenças de valores para o ano de 2016. Para o ano de 2019, não é observado diferenças significativas entre ND e reflectância para o NDVI.

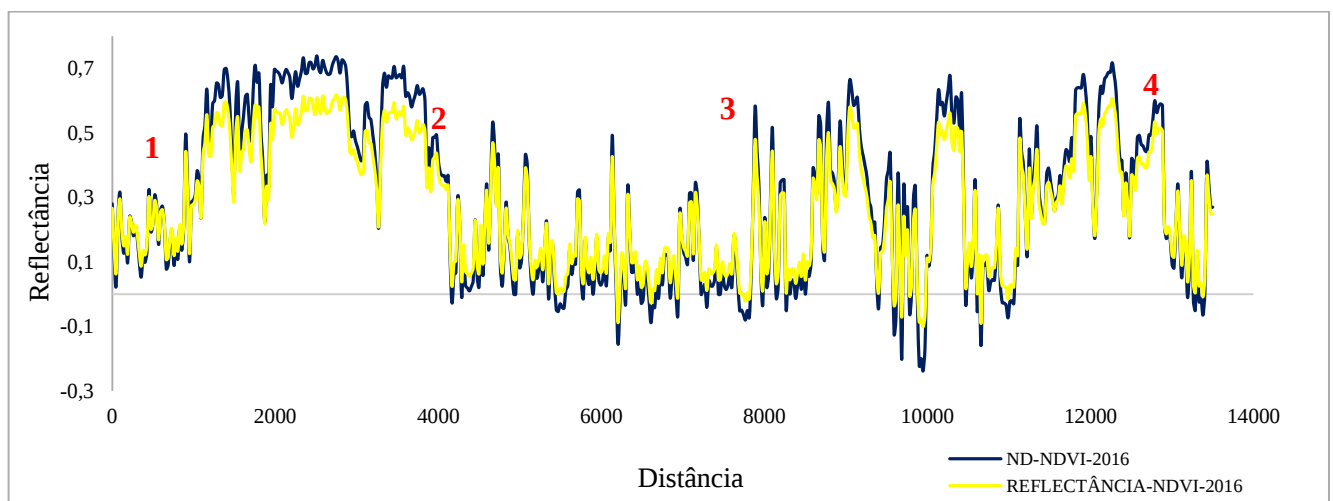


Figura 12 - Perfil 1-2-3-4 para o NDVI ND e NDVI reflectância ano 2016.

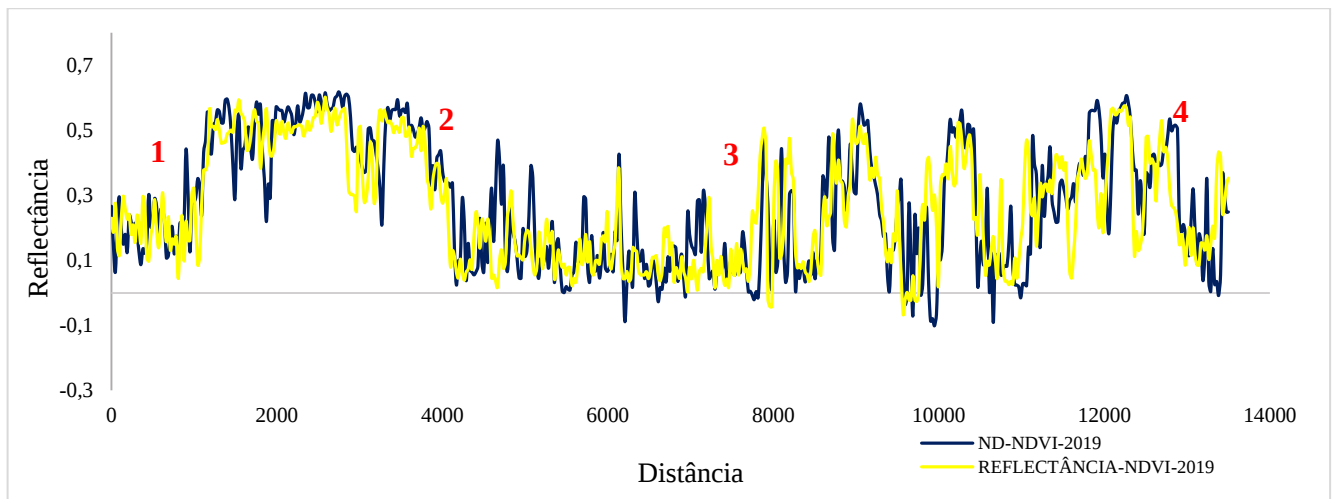


Figura 13 - Perfil 1-2-3-4 para o NDVI ND e NDVI reflectância ano 2019.

Na Figura 14 e 15 são apresentados o perfil NDBI ND e NDBI reflectância ano 2016 e 2019 respectivamente. A linha de perfil espectral é exatamente igual da utilizada na Figura 12 e 13. Partindo do zero até o ponto 1 é observado que a linha espectral cruzou áreas construídas do espaço urbano (picos com os maiores valores positivo), do ponto 1 ao 2 representa algum tipo de cobertura vegetal, do ponto 2 ao 3 presença novamente de áreas construídas, do ponto 3 ao 4 existe a presença de vegetação e corpos hídricos (picos com menores valores negativos) e pôr fim, do ponto 4 em diante surge a presença de áreas urbanas construídas. O

destaque é observado para a região no intervalo entre as distâncias 8000 m e 10300 m com as maiores diferenças de valores para o ano de 2016 e 2019. É importante ressaltar que os valores de NDBI ND ano 2016 são quase todos positivos, com exceção da região que apresenta corpos hídricos, já o NDBI reflectância ano 2016 os valores são quase todos negativos. Os gráficos são similares e tem relação inversamente proporcional na sua representação numérica. O mesmo é observado para o NDBI ND ano 2019, no caso do NDBI reflectância ano 2019 todos os valores assumiram valores negativos.

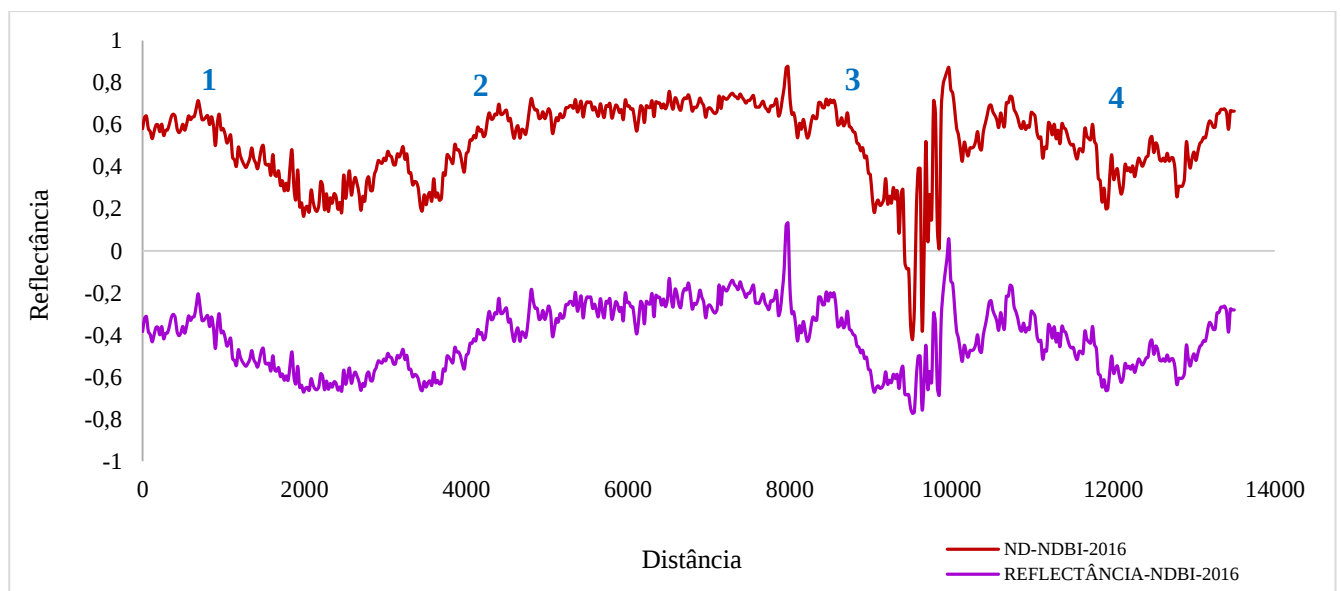


Figura 14 - Perfil 01-02-03-04 para o NDBI ND e NDBI reflectância ano 2016. Fonte: Autor (2021).

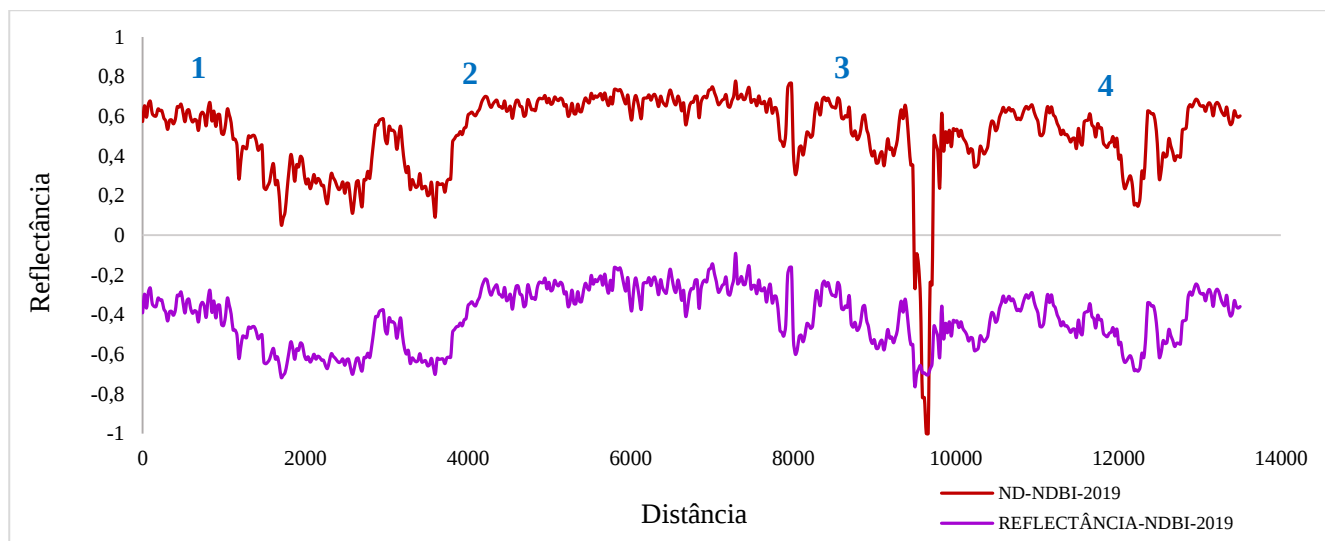


Figura 15 - Perfil 01-02-03-04 para o NDBI ND e NDBI reflectância ano 2019. Fonte: Autor (2021).

O tratamento e processamento prévio de uma imagem orbital aplicando métodos de correções se mostram importantes devido a observações de maior sensibilidade dos índices quando se converte ND em reflectância. Nesta pesquisa, notou-se que após realização da correção radiométrica os valores de reflectância dos alvos para o NDVI e NDBI tiveram respostas mais precisas e, portanto, mais sensíveis quando comparadas com ND. Este resultado converge com os resultados encontrados por Nascimento et al. (2020). Vale destacar, que a relação ND e reflectância para o NDVI e NDBI são aproximadamente lineares, não identificando diferenças significativas.

Para o NDWI ND e NDWI reflectância ano 2016 e 2019, Nascimento et al. (2020), obtiveram resultados de grau forte de correlação com os fatores R^2 acima de 0,9 para os alvos Água e Solo Exposto.

4. Conclusões

Nesta pesquisa, observou-se que o NDVI ND e NDVI reflectância ano 2016, para o alvo Água, apresentou diferenças. Estas variações podem ser resultantes das alterações causadas na região devido ao início da construção e conclusão da usina de Belo Monte com alterações nas composições físico-químicas, quantidade e qualidade da água. No mesmo sentido, o NDBI ND e NDBI reflectância ano 2016 e 2019 respectivamente, para o alvo Água, apresentaram as maiores diferenças que podem ser justificadas, além das variações resultantes das alterações causadas na região devido ao início da construção e conclusão da usina de Belo Monte, pelo o ruído que a banda10 (B10) do CBERS-4 possui.

Os alvos Vegetação e Urbano para o NDVI ND; NDVI reflectância, NDBI ND; NDBI reflectância ano 2016 e 2019 mostraram grau forte de correlação com todos os fatores R^2 acima de 0,9.

Desta forma, a correção radiométrica de ND para reflectância não é uma obrigatoriedade em todas as aplicações de processamento digital de imagem no sensoriamento remoto. Realiza-la, pode contribuir de forma positiva nos resultados esperados.

Nesse sentido, recomenda-se a realização de estudo sobre um conjunto de cenas de imagens de outros satélites, avaliar a influência da correção radiométrica com os índices estudados nessa pesquisa, para verificar se os resultados se assemelham aos encontrados.

Referências

- Becker, B., 1985. Fronteira e urbanização repensadas. Revista Brasileira de Geografia 47, 315-426.
- Chandler, G., 2007. An overview of the CBERS-2 satellite and comparison of the CBERS-2 CCD data with the L5 TM Data. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Disponível: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/v/20070038251.pdf>. Acesso: 29 abr. 2021.
- Chen, J., Du, P., Wu, C., Xia, J., Chanussot, J., 2018. Mapping urban land cover of a large area using multiple sensors multiple features. Remote Sensing 10, 872.
- Fonseca, L.M.G., 2004. Processamento digital de imagens. Notas de aula ministradas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.
- Gao, B.C., 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment 58, 257-266.
- Hirye, M.C.M, Alves, D.S, Kux, H.J.H., 2015. Mapeamento da cobertura da terra na cidade de Altamira (PA) em 2000 e 2010, com a utilização do modelo linear de mistura espectral de imagens

- do sensor TM. *Revista Brasileira de Cartografia* 67, 157-168.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008. Regiões de influência das cidades: 2007. IBGE, Rio de Janeiro.
- Iqbal, M., 1983. *An introduction to Solar Radiation*. Academic Press, Nova York.
- Jensen, J.R., 2009. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Parêntese editor, São José dos Campos.
- Masek, J.G., Honsak, M., Goward, S.N., Liu P., Pak, E., 2001. Landsat-7 ETM+ as an observatory for land cover initial radiometric and geometric comparisons with Landsat5 Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment* 78, 118-130.
- Nascimento, E F., Azevedo, L.D.S., Candeias, A.L.B., Júnior, J.R.T., 2020. Comparação do índice de água para imagens MUX/CBERS-4 com número digital e refletância monocromática. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 34-44.
- Novo, E.M.L.M., 2008. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. 3. ed. Editora Blucher, São Paulo.
- Novo, E.M.L.M., 2010. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. 4. ed. Editora Blucher, São Paulo.
- Pinto, C.T., 2016. *Uncertainty evaluation for in-flight radiometric calibration of Earth observation sensors*. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Ponzoni, F.J., Epiphanyo, J.C.N., 2012. In-flight absolute calibration of cbers sensors. *Revista Brasileira de Cartografia* 64, 813-820.
- Ponzoni, F.J., Pinto, C.T., Lamparelli, R.A.C., Junior, J.Z., Antunes, M.A.H., 2015. *Calibração de Sensores Orbitais*. 2. ed. Oficina de Textos, São José dos Campos.
- Ponzoni, F.J., 2002. *Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: diagnóstico a mata a atlântica*. INPE, São Jose dos Campos. Disponível: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11/doc/CAP8_FJPonzoni.pdf. Acesso: 2 jul. 2021.
- Ponzoni, F.J., Shimabukuro, Y. E., 2007. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. Editora Parêntese, São José dos Campos.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC* 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.
- Schaepman-Strub G., Schapman M.E., Painter T.H., Dangel S., Martonchik J.V., 2006. Reflectance quantities in optical remote sensing – definitions and case studies. *Remote Sensing of Environment* 103, 27–42.
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., Goossens, R., 2014. Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). *Remote Sensing* 6, 1803-1826.
- Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A., 1991. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* I, 16-20.
- Teixeira, A.M.A., Candeias, A.L.B., Tavares Júnior, J.R., 2017. Comparação dos índices de vegetação para imagens TM/Landsat 5, com correção e sem correção atmosférica. *Revista Brasileira de Geomática* 5, 524-542.
- Umbuzeiro, U.M., 1988. *Altamira e sua História*. Grupo Cultural, Altamira.
- Weng, Q., 2012. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment* 117, 34-49.
- Zanotta, D.C., Ferreira, M.P., Zortea, M., 2019. *Processamento de imagens de satélite*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Zha, Y., Gao, Y., Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing* 24, 583-594.