Comparison of water index for MUX / CBERS-4 digital number and monochrome reflectance images

Evelly F. Nascimento^{*}, Laízy de S. Azevedo^{**}, Ana Lúcia B. Candeias^{***}, João R. Tavares Júnior^{****}

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

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

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

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

Received 28 March 2020; accepted 16 May 2020

Abstract

Remote Sensing is an essential tool for studies focused on the environment. Among the various techniques employed, we highlight the physical indices that facilitate the use of information on different targets. Often, there is a need to use values that are more physically correlated with the target (reflectance) of the values without these characters (digital numbers). The determination of physical values in remote sensing images is a fundamental step for the calculation of indices such as the NDWI (Water Index with normalized difference), these values being recovered through the transformation of the digital numbers that compose as images. In this context, the objective of this study is to compare the NDWI and without radiometric correction by extracting information from three different targets displayed in the image (water, exposure and individual vegetation) and checking whether this change generates changes in the results. The methodology followed some steps, such as: capturing two images from the CBERS-4 / MUX satellite, converting digital numbers for reflection by programming in LEGAL language (Spatial Language for Algebraic Geoprocessing) in the SPRING software, calculating the NDWI, comparing images. The results were analyzed statistically by means of graphs and records from which they were compared between NDWIs and without radiometric correction. Through the analyzes, it was allowed that there was a similarity between the results that were not notified applicable discrepancies for the data with and without correction. Among the three targets studied, the largest discrepancies identified were for water and the smallest for exposed soil.

Keywords: Remote Sensing, NDWI, physical values, radiometric correction.

Comparação do índice de água para imagens MUX/CBERS-4 com número digital e reflectância monocromática

Resumo

O Sensoriamento Remoto é uma ferramenta essencial para estudos voltados ao meio ambiente. Dentre as diversas técnicas empregadas, destacam-se os índices físicos pois facilitam a obtenção de informações sobre diferentes alvos. Muitas vezes, existe a necessidade de se utilizar valores mais fisicamente correlacionados com o alvo (reflectância) do que valores sem essa característica (números digitais). A determinação de valores físicos em imagens de sensoriamento remoto é uma etapa fundamental para o cálculo de índices como o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), sendo esses valores obtidos por meio da transformação dos números digitais que compõem as imagens. Neste contexto, o objetivo deste estudo é comparar o NDWI com e sem correção radiométrica através da extração de informações de três alvos distintos identificados na imagem (água, solo exposto e vegetação) e verificar se essa correção gera alterações significativas nos resultados. A metodologia seguiu algumas etapas como: aquisição de duas imagens do satélite CBERS-4/MUX, conversão de números digitais para Reflectância por programação em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no software SPRING, cálculo do NDWI, comparação entre as imagens. Os resultados foram analisados estatisticamente por meio de gráficos e perfis a partir dos quais realizou-se comparações entre os NDWIs com e sem a correção radiométrica. Através das análises, observou-se que houve similaridade entre os resultados obtidos não sendo notada discrepâncias significativas para os dados com e sem correção. Entre os três alvos estudados, as maiores discrepâncias identificadas foram para a água e as menores para o solo exposto.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, NDWI, valores físicos, correção radiométrica.

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto tem se tornado uma tecnologia de suma importância para estudos climáticos e ambientais, por proporcionar análises detalhadas do objeto de estudo, pela velocidade no processamento dos dados, praticidade e baixo custo.

De acordo com Novo (2008) o Sensoriamento Remoto (SR) é a utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados, entre outros, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Segundo Lacerda et al. (2014), o Brasil é um país vulnerável às mudanças climáticas, especialmente quanto à ocorrência de extremos climáticos (secas e enchentes). No país, as regiões Amazônica e Nordeste do Brasil são consideradas mais vulneráveis. Assis (2016) diz que há irregularidade na distribuição dos índices pluviométricos, associada à alta variabilidade interanual da precipitação na região tropical, com anos secos e outros chuvosos.

Em relação às informações ambientais, diversos índices físicos têm sido propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais dos alvos, dentre eles destaca-se o Índice de água, NDWI (*Normalized Difference Water Index*). A aplicação do NDWI fornece parâmetros capazes de detectar e separar alvos compostos de materiais diferentes como água, edificações, vegetação e solo exposto (Oliveira et al., 2019).

As imagens digitais advindas dos sensores remotos orbitais são constituídas por pixels apresentando números digitais variados, os quais são relacionados diretamente com a radiação eletromagnética (REM) dos alvos que chega ao sensor. Esses valores de radiação são diretamente proporcionais a reflectância dos diferentes alvos (Teixeira et al., 2017).

A conversão dos números digitais (ND) presentes em imagens orbitais de SR em valores de reflectância é uma atividade rotineira entre profissionais envolvidos com a aplicação das técnicas de SR na avaliação quantitativa dos recursos naturais. Para isso, duas etapas principais são consideradas. A primeira é referente à conversão dos NDs das imagens em valores de reflectância aparente por meio da aplicação de coeficientes de calibração dos sensores que as geraram. A segunda refere-se à conversão das reflectâncias aparentes em reflectância de

superfície por meio da aplicação de métodos de correção atmosférica (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Os valores brutos de ND das imagens são empregados para classificar diferentes tipos de cobertura, criar mosaicos digitais de várias imagens e detectar mudanças em imagens sucessivas de uma mesma área. Esses valores são utilizados no processamento dos dados, e são diretamente proporcionais a radiância e reflectância.

O ND é definido como a intensidade do pixel tendo sua amplitude variando segundo a resolução radiométrica do sensor. No entanto, não devem ser comparados diretamente entre diferentes satélites devido às diferenças na calibração dos sensores (Novo, 2010).

A radiância espectral é o fluxo radiante em um feixe por unidade de comprimento de onda e por unidade de área e ângulo sólido desse feixe, e é expresso nas unidades do SI, $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ (Schaeppman Strub et al., 2006). Já a reflectância é a proporção da quantidade total de radiação eletromagnética (REM) refletida por uma superfície na quantidade total de REM incidente na superfície (Ponzoni et al. 2012).

Guyot e Gu (1994) observaram que o uso de dados equivalentes de reflectância de superfície no cálculo do índice de vegetação, eliminou muitos erros e forneceu uma base sólida para a comparação de índices medidos ao longo do tempo ou por múltiplos sensores.

Diante disso, nota-se a importância de se determinar os valores de reflectância de imagens de satélite. Esses valores podem ser considerados a base para executar inúmeras tarefas do SR. Em contrapartida, a inclusão destes cálculos tornam a obtenção de índices físicos mais demorada e trabalhosa pois acrescenta mais etapas no processamento das imagens.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo comparar o índice NDWI obtidos por ND e por reflectância e avaliar se existem similaridades ou diferenças significativas entre diferentes alvos identificados como água, solo e vegetação. Para isso, foram utilizadas duas imagens distintas do satélite CBERS- 4/ MUX para dar mais robustez aos resultados encontrados.

2. Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende trechos dos municípios de Altamira, Senador Jose Porfirio e Vitoria do Xingu todos localizados no Estado do Pará, Brasil, entre as coordenadas geográficas 03°06' e 03°35' de latitude sul e 51°40' e 52°18' de longitude a oeste de

Greenwich. Esta área está inserida na região hidrográfica do Rio Xingu (Figura 1). A principal razão para escolha dessa região foi o pequeno percentual de recobrimento de nuvens. A dinâmica desses municípios

é marcada pelo processo migratório a partir do ano de 2010, quando foi liberada a licença de instalação da usina hidrelétrica de Belo Monte.

Figura 1 – Mapa Localização da área de estudo abrangendo os municípios de Altamira, Senador Jose Porfirio e Vitoria do Xingu no estado do Pará, Norte do Brasil.

Obtenção de Imagens

As imagens foram adquiridas junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) através do endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/>, em que é possível fazer o download das cenas gratuitamente de acordo com alguns parâmetros como: satélite, sensor, percentual de recobrimento de nuvens, localização e data de captura da imagem.

Foram utilizadas duas imagens do sensor MUX do satélite CBERS-4, ambas da órbita 165 e ponto 104, sendo uma delas correspondente ao dia 03 de julho de 2016 (Dia Sequencial do Ano: 185), e a outra correspondente ao dia 24 de agosto de 2019 (Dia Sequencial do Ano: 236). Esta cena foi pouco utilizada

para fins interpretativos visto que o objetivo principal era realizar as comparações propostas neste artigo. Algumas características desse satélite podem ser vistas na Tabela 1.

Segundo Ponzoni e Santos (2008), satélites da série LANDSAT tem seus dados de calibração atualizados e divulgados constantemente, e isso faz com que os usuários possam estabelecer correlações entre os parâmetros radiométricos determinados mediante a aplicação desses dados de calibração.

A série de satélites CBERS não tem essa divulgação tão constante dos parâmetros de transformação de ND em reflectância, por isso a escolha desse satélite para realizar os estudos.

Tabela 1 – Atributos das bandas dos sensores utilizados.

Bandas / resolução espectral	CBERS (MUX)			
	Espacial	Temporal	Radiométrica	Faixa Imageada
(B5) Azul (0,45 a 0,59 μm)				
(B6) Verde (0,63 a 0,69 μm)	20 m	26 dias	8 bits	120 km x 120 km
(B7) Vermelho (0,63 a 0,69 μm)				
(B8) Infravermelho (0,77 a 0,89 μm)				

Equações e dados envolvidos na conversão

A metodologia envolvida no trabalho pode ser vista por meio do fluxograma a seguir (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada.

As equações a seguir descrevem a conversão do ND em radiância monocromática, de acordo com Pinto et al. (2016):

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

Onde:

ND é o Número digital de cada pixel;

R_{máx} e R_{mín} são constantes de calibração de um determinado sensor;

DN_{máx} e DN_{mín} são os valores máximo e mínimo que o ND pode alcançar;

L_λ é a radiância espectral monocromática (W/m².sr.μm);

Nas imagens do MUX/CBERS-4 de resolução radiométrica de oito bits, o DN_{mín} é 0 e o DN_{máx} é 255, sendo assim, a radiância pode ser calculada pela seguinte equação:

$$L\lambda = \frac{R_{max}-R_{min}}{ND_{max}}(ND)+R_{min} \quad (2)$$

A Tabela 2 descreve dados das bandas do CBERS-4– MUX, utilizados para o cálculo do NDWI. Os coeficientes de calibração (R_{mín} e R_{máx}) foram extraídos de Ponzoni e Epiphanyo (2012). As irradiancias espectrais no topo da atmosfera foram extraídas de Pinto et al. (2016).

Tabela 2 – Coeficientes de Calibração e irradiancia espectral no topo da atmosfera para o CBERS-4 MUX.

Número da banda	Δλ: Intervalo espectral (μm)	<i>RMIN</i>	<i>RMAX</i>	<i>E</i>
		Coeficiente de calibração: Radiância espectral mínima (W/m ² .sr.μm)	Coeficiente de calibração: Radiância espectral máxima (W/m ² .sr.μm)	Irradiância solar estratosférica média (TOA) (W/m ² . μm)
B05	0,45 a 0,52	35,3	344,4	1958
B06	0,52 a 0,59	25,7	361,8	1852
B07	0,63 a 0,69	12,9	352,3	1559
B08	0,77 a 0,89	8,9	275,0	1091

A reflectância monocromática corrigida do ângulo solar pode ser encontrada usando-se a equação abaixo:

$$\rho\lambda = \frac{\pi \left(\frac{L_{max}-L_{min}}{ND_{max}} \right) (ND) + L_{min}}{E\lambda \cdot \sin(z) \cdot d} \quad (3)$$

Onde:

d é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas;

z é o ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição da imagem;

E_λ é a irradiancia solar média no topo da atmosfera (mW/cm².Ω.μm).

O inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (d) é obtido através da equação abaixo onde DAS é o Dia Sequencial do Ano correspondente a data de aquisição das imagens

$$d = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(DAS \cdot \frac{2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

O DSA para a imagem de 2016 e 2019 é respectivamente, 185 e 236. O ângulo solar zenital médio (z) é obtido nos metadados imagem. Para a cena utilizada tem-se os seguintes ângulos de elevação em graus decimais para os anos de 2016 e 2019 respectivamente, 55,668025 e 58,31275.

Após a obtenção dos valores físicos das imagens CBERS-4 realizou-se o cálculo do NDWI proposto por McFeeters (1996), conforme equação abaixo. Os valores obtidos a partir do NDWI variam numa escala entre -1 e 1. O cálculo foi realizado para valores brutos e para os valores físicos.

$$NDWI = \frac{\rho_{Verde} - \rho_{IVP}}{\rho_{Verde} + \rho_{IVP}} \quad (5)$$

Onde:

ρ_{Verde} é o valor da reflectância na faixa do Verde

ρ_{IVP} é o valor da reflectância na faixa do Infravermelho Próximo

O cálculo do NDWI com números digitais foi realizado por meio da ferramenta de operações aritméticas do software SPRING. Já o NDWI gerado por reflectância foi obtido através de programação na linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) também no software SPRING, onde todas as equações foram implementadas. A análise dos resultados foi feita por meio da coleta vinte amostras diferentes para os alvos água, solo e vegetação no NDWI reflectância e ND. Através desses dados foram elaborados gráficos e gerados perfis que abrangem áreas que contém os três alvos estudados.

3. Resultados e discussão

Para comparar os dados NDWI obtidos a partir do ND e da reflectância, foram realizadas análises de três tipos de alvos distintos, sendo eles: vegetação, solo

exposto e água. Assim, foi possível comparar tanto a diferença entre as respostas dos pixels para ND e reflectância, quanto os valores encontrados pelo NDWI para os diferentes alvos.

O NDWI apresenta valores reais contidos entre -1 e 1. Nas figuras abaixo podem ser visualizados para um mesmo intervalo de diferentes classes os índices obtidos por ND e reflectância para os anos de 2016 e 2019. Foram atribuídas cores de acordo com os intervalos determinados, formando então o mapa. Os intervalos correspondem aos utilizados por Oliveira et al. (2010), em que os valores negativos de NDWI, regiões que podem ter baixo ou nenhum teor de água, são representados pela cor vermelha, enquanto que as demais cores correspondem os valores positivos do índice. (Figura 2).

Através do valor de NDWI obtido foi possível identificar onde há presença de água. Por exemplo, a área vermelha, que representa valores negativos, indica solo exposto ou sem vegetação, que englobam áreas sem a presença de corpo hídrico. Em áreas verdes, quanto maior o valor do índice, maior a quantidade de água presente na vegetação (Jensen, 2009; Qiao et al., 2011)

Resultados como os encontrados por Ponzoni e Santos (2008) destacam que a similaridade entre os valores de reflectância de superfície ao longo do tempo é esperada para alvos que apresentassem pouca variação espectral, ou seja, alvos que podem ser considerados invariáveis como exemplo solo e água. Porém, os resultados apontaram variações consideráveis de NDWI para a água entre as duas datas, o que pode caracterizar alterações em sua composição química e na quantidade de sedimentos em suspensão. Os resultados também mostram alterações significativas para o alvo solo em algumas amostras, indicando a possibilidade de que seus teores de umidade tenham sido alterados.

Essas variações na água e no solo podem ser resultantes das alterações causadas na região de estudo devido ao início da construção e conclusão da usina de Belo Monte que ocasionou o crescimento da mancha urbana. As áreas de água e solo exposto ocuparam uma porcentagem maior em relação à área total e a área de vegetação diminuiu conforme demonstra estudos realizados por Santos et al. (2012).

Figura 2 – Classificação NDWI da área de estudo.

A partir de 20 amostras coletadas para cada um dos 3 tipos de alvos, foi gerada a Figura 3 que apresenta gráficos das diferenças absolutas entre os valores de reflectância e ND calculados para os dois períodos de estudo. A água (Figura 3A) apresentou maior diferença entre NDWI obtido por ND e por reflectância, os demais alvos, apresentaram menores diferenças. Para os alvos solo exposto (Figura 3B) e vegetação (Figura 3C), as diferenças para os anos de 2016 e 2019 variaram de forma aleatória.

Teixeira, Candeias e Tavares Jr. (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. Foi feita uma amostragem de 12 pontos escolhidos e chegou-se à conclusão de que existe diferença com e sem aplicação da correção atmosférica e que esta diferença não é constante. Observa-se que o NDVI possui uma pequena variação de valores para todos os alvos apresentados enquanto que para o NDWI e NDBI tem-se que valores bem superiores em relação ao NDVI para os alvos solo, área urbana, água e vegetação

. Com base na amostra de pixels de NDWI, obtidas pelos dois métodos para os alvos água, vegetação e solo exposto, que foram coletadas nas imagens processadas, foi realizado um estudo de correlação das amostras. Para um perfeito ajustamento das observações deve-se ter intercepto igual a 0 e uma inclinação igual a 1 ($R^2=1$). Os resultados obtidos mostram que para a água, nos anos de 2016 e 2019 respectivamente (Figura 4A e B), as inclinações e equações são, $R^2=0,984$ e $R^2=0,995$ e $y=1,7636x-0,0506$ e $y=1,7589x-0,0665$.

Nonny et al. (2018) analisaram os dados NDVI obtido a partir de VANT (usando ND) e do Sentinel 2 (usando a reflectância) em duas regiões de vinhas e produziram gráficos de regressão linear que relacionavam os valores do Índice obtido por imagens de satélite e imagens de VANT a fim de comparar estatisticamente. A análise dos dados do índice dos VANT mostrou relações com o índice das imagens de satélite, notadamente similaridades na localização de áreas de maior ou menor vigor das videiras e um certo nível de correlação entre os valores obtidos. Obtiveram como resultado $R^2=0,52$ e $R^2=0,68$ para cada vinha.

Figura 3 – Diferenças absolutas entre valores de reflectância de superfície das imagens e os valores de ND para diferentes alvos em 2016 e 2019. A- Alvo água; B- Alvo solo; C- Alvo vegetação.

Figura 4 – Correlação entre NDWI do ND e da reflectância para a água nos anos 2016 (A) e 2019 (B).

A Figura 5 A e B apresenta os resultados para o solo nos anos de 2016 e 2019 respectivamente. A equação linear que representa a forma de ligação entre as duas variáveis é $y=1,155x+0,0062$, com coeficiente

de regressão linear $R^2=0,9782$ e para o ano de 2019 $y=1,0762x+0,0032$ e $R^2=0,9817$. Esse gráfico denota a similaridade entre o NDWI da reflectância e o NDWI do ND para o solo.

Figura 5 – Correlação entre NDWI do ND e da Reflectância para o solo nos anos de 2016 (A) e 2019 (B).

Os valores para a correlação mostram que as imagens NDWI geradas a partir do ND e da Reflectância têm uma forte correlação com a direção positiva, ou seja, a medida que uma variável aumenta a outra segue na mesma direção, aumentando também. A

vegetação, no entanto, apresentou correlação mais baixas, sendo 0,84 e 0,47 para os anos de 2016 e 2019 respectivamente (Figura 6 A e B), com $R^2=0,7003$ e $R^2=0,2168$, indicando que em relação aos outros alvos a vegetação não apresentou bons resultados.

Figura 6 – Correlação entre NDWI do ND e da Reflectância para a vegetação nos anos de 2016 (A) e 2019 (B).

A Figura 7 apresenta dois perfis de NDWI que ilustra a similaridade entre os valores de reflectância e ND comprovando os resultados do gráfico da Figura 3, destacando a região entre as distâncias 10000 e 20000 que apresenta valores com maiores diferenças tanto para ano de 2016 como para o ano de 2019. Alguns picos negativos também podem ser encontrados nos

dados do ano de 2016 entre as distâncias 10000 e 20000 que por meio de análise visual, notou-se que caracterizam porções de terra na superfície da água. Vale ressaltar que a área que compreende o perfil ABCD é constituída por água, solo e vegetação, não possuindo diferenças significativas na cobertura vegetal ao longo do período de estudo.

Figura 7 – Perfil ABCD para o NDWI ND e Reflectância de 2016 e 2019. (Fonte: Autores, 2020)

Estes resultados mostram a sensibilidade do índice quando se converte ND em reflectância como podem ser vistos nas Figuras, constatando a importância do processamento prévio para realizar o tratamento de uma imagem de satélite fazendo

diferentes tipos de correções. Os dois tipos de dados utilizados para a geração do NDWI se diferem entre si, o NDWI de reflectância de superfície apresenta valores mais confiáveis, porém que possui uma relação aproximadamente linear com o NDWI do ND.

4. Conclusões

Em linhas gerais, neste estudo 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. Os resultados dificultaram uma análise geral devido a variação significativa de correlação entre os alvos.

Apesar da correção radiométrica, feita a partir da transformação do ND em reflectância não ser necessária em todas as aplicações do SR e Processamento digital de imagens, realiza-la pode influenciar significativamente os resultados em algumas situações, e essa influência pode diferir de alvo para alvo.

Sendo assim, devido as diferenças significativas identificadas no comportamento dos alvos, recomenda-se a realização de estudos mais detalhados. Sugere-se aplicação da metodologia sobre um conjunto maior de cenas, incluindo imagens de outros satélites. Também deve ser avaliada a influência da correção radiométrica em outros índices físicos verificando se os resultados se assemelham aos encontrados para o NDWI.

Referências

- Assis, J.M.O., 2016. Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Guyot, G., Gu, X.F., 1994. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT/HRV and Landsat-TM data. *Remote Sensing of Environment* 49, 169-180.
- Jensen, J.R., 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Editora Parêntese, São José dos Campos.
- Lacerda, F.F., Nobre, P., Sobral, M.C., Lopes, G.M. B., 2014. Alterações climáticas globais, uma realidade em Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, Brasil 11, 121-154.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425-1432.
- Nonny, F., Malacarne, D., Pappalardo, S.E., Codato, D., Meggio, F., Marchi, M., 2018. Sentinel-2 Data Analysis and Comparison with UAV Multispectral Images for Precision Viticulture. *Journal for Geographic Information Science* 6, 105-116.
- 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.
- Oliveira, C.B.S., Candeias, A.L.B., Tavares Júnior, J.R., 2019. 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. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 1039-1053.
- Oliveira, T.H., Machado, C.C.C., Silva, J.S., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M. Silva, B.B., 2010. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 55-69.
- Pinto, C., Ponzoni, F., Castro, R., Leigh, L., Mishra, N., Aaron, D., Helder, D., 2016. First in-flight radiometric calibration of MUX and WFI on-board CBERS-4. *Remote Sensing* 8, 1-22. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs8050405>.
- Ponzoni, F.J., Epiphanyo, J.C.N., 2012. Calibração absoluta em vôo dos sensores do CBERS. *Revista Brasileira de Cartografia* 64, 813-820.
- Ponzoni, F.J., Pinto, C.T., Castro, R.M., Griffith, D.J., 2012. Spectral uniformity evaluation of reference surfaces for airborne and orbital sensors absolute calibration. *Revista Brasileira de Geografia física* 30, 263-275.
- Ponzoni, F.J., Santos, S.B., 2008. Conversão de Números Digitais de Imagens Orbitais em valores de FRB de Superfície. *Boletim de Ciências Geodésicas* 14, 541-556.
- Ponzoni, F.J., Shimabukuro, Y.E., 2007. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. Editora Parêntese, São José dos Campos.
- Qiao, C., Luo, J., Sheng, Y., Shen, Z., Zhu, Z., Ming, D., 2011. An adaptive water extraction method from remote sensing image based on NDWI. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 40, 421-433.
- Santos, T., Santos, L., Albuquerque, r., Corrêa, E., 2012. Belo Monte: Impactos Sociais, Ambientais, Econômicos e Políticos. *Revista Tendências* 8, 214-227.
- 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.

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.