

Proposta de simplificação do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

José Augusto Sapienza Ramos¹
Carlos Eduardo Gonçalves Ferreira¹

¹ Sistema Labgis – Núcleo de Geotecnologias da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524 – Rio de Janeiro – CEP 20550-900
{sapienza, carlos.ferreira}@labgis.uerj.br

Abstract. The application of vegetation indices is a way of understanding the vegetation cover in landscape studies, where the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is widely applied. The NDVI consists in the calculation of the reflectance in the red and near infrared electromagnetic frequencies. However to aim the reflectance values the user must convert digital number, applying a radiometric correction in satellite bands. This study evaluates if the radiometric correction is necessary and how the NDVI calculation could be optimized. For this purpose, bands of the TM, ETM and LISS-III optical sensors of the satellites Landsat 5, Landsat 7 and Resourcesat1-P6 respectively were used to obtain NDVI values with and without the radiometric correction, calculating the difference between them for each optical sensor. The results revealed a stable average and low standard deviation for all the tests. At last, this paper proposes an Abbreviated Normalized Difference Vegetation Index (ANDVI) which seems to be equivalent to the NDVI with radiometric correction and more easily evaluated. The results showed that the ANDVI is interesting and possible for substitute the radiometric correction process. It is hoped that it will come to a facilitation of the methodology of calculation of NDVI, thus enhancing its practical applications.

Palavras-chave: remote sensing, NDVI, radiometric correction, ANDVI, sensoriamento remoto, NDVI, retificação radiométrica, ANDVI

1. Introdução

As aplicações com imagens dos sensores remotos orbitais são tradicionalmente direcionadas a estudos sobre a paisagem terrestre, seja de ordem territorial ou seja ambiental. Dentre tais aplicações, a utilização de índices de vegetação é uma forma de compreender a cobertura vegetal e possibilitar ao usuário aferir análises da situação passada e atual, produção agrícola, biomassa, monitoramento da saúde vegetal, entre outras, conforme indica Carlson e Ripley (1997). Dentre tais índices, Ponzoni (2012) e Anatoly et al. (2014) apontam que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, acrônimo em inglês – é um dos mais utilizados.

Segundo as propostas originais de Rouse et al. (1973) e Deering et al. (1975), o cálculo do NDVI envolve a reflectância nas frequências eletromagnéticas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Onde *NIR* é o valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo; e *RED* seria o valor de reflectância na faixa do vermelho.

Em Jackson e Huete (1991) comenta-se que o NDVI ganhou grande aceitação pelos usuários desde sua proposição, principalmente pela possibilidade de aplicação a partir de dados coletados por diversos sensores ópticos orbitais que efetuam recobrimento de grandes extensões da Terra.

Após o processamento dos dados captados pelo sensor óptico, estes são disponibilizados ao usuário final em uma imagem em níveis digitais (ND), também chamados de níveis de cinza (Moreira, 2007). Pelo fato do NDVI considerar os valores de reflectância, é necessário

efetuar a transformação de ND para radiância espectral e, a partir desta, para reflectância aparente (Markham e Baker, 1986). Conforme aponta Moreira (2007) esse processo é conhecido como retificação radiométrica, um tipo de correção radiométrica, e é explicitado nas Equações 2 e 3:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) \cdot (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda} \quad (2)$$

$$\rho_{\lambda} = \left(\frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \right) \quad (3)$$

Onde L_{λ} é o valor da radiância espectral na banda λ , $LMIN_{\lambda}$ e $LMAX_{\lambda}$ respectivamente o mínimo e o máximo da radiância na banda, Q_{calmin} e Q_{calmax} o nível mínimo e máximo de nível digital da imagem, respectivamente, Q_{cal} é o nível digital no pixel da imagem em questão, ρ_{λ} é o valor de reflectância aparente na banda λ , d a distância Terra-Sol em unidades astronômicas, θ_s o ângulo solar zenital, e $ESUN_{\lambda}$ o valor de irradiância espectral no topo da atmosfera em λ .

Para encontrar os dados referentes à d^2 e θ_s , o usuário deve procurar os metadados sobre a imagem, como o ângulo de elevação solar e o dia juliano da imagem, conforme indicam os trabalhos de Chander et al. (2009) e Chander (2007). A partir de tais informações, o usuário conseguirá efetuar o cálculo da reflectância aparente e, assim, encontrar o NDVI.

Costa e Ramos (2013), por sua vez, avaliaram a necessidade de retificação radiométrica para a comparação de NDVI de uma mesma área em épocas distintas. Por fim, o trabalho conclui que em cálculos de diferenças de NDVI a retificação radiométrica não impacta substancialmente nos valores finais.

Continuando nesta direção, o presente trabalho analisa a necessidade da retificação radiométrica para o cálculo do NDVI e de que forma esta correção poderia ser simplificada para se calcular valores iguais ou equivalentes.

2. Metodologia de Trabalho

Foram adotados os seguintes passos em cada uma das cenas testadas (detalhados na Tabela 1): (1) cálculo do NDVI sem retificação radiométrica, ou seja, aplicando a Equação 1 diretamente sobre as bandas com seus níveis digitais – neste trabalho chamado NDVI_{nd}; (2) cálculo do NDVI a partir dos valores de reflectância aparente, oriundos da retificação radiométrica, conforme a Equação 5; (3) cálculo *pixel a pixel* da diferença entre o NDVI com retificação e o NDVI_{nd} do mesmo teste; (4) cálculo da média e do desvio padrão desta diferença de NDVI em cada teste; (5) proposição do *Abbreviated Normalized Difference Vegetation Index* (ANDVI) a partir da aplicação de uma constante para aproximar a média das diferenças a zero; (6) verificação da existência de um padrão de diferenças entre os valores de *pixel* com NDVI com retificação radiométrica e os valores dos mesmos *pixels* com ANDVI.

Conforme indicado por Rouse et al. (1973) *apud* Shimabukuro et al. (1998), para o cálculo do NDVI selecionou-se imagens geradas na frequência eletromagnética na faixa do vermelho e infravermelho próximo, que correspondem respectivamente às bandas 3 e 4 dos sensores utilizados no presente estudo. Assim, para o cálculo em cada teste, foram utilizadas duas bandas em cada uma das trinta cenas, totalizando sessenta imagens dos diferentes sensores: Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat-5, sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM) do satélite Landsat-7 e do sensor Linear Imaging Self-Scanner III (LISS-III) do satélite ResourceSat-1 IP6. Alguns detalhes das cenas são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. As imagens foram adquiridas gratuitamente junto ao site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Ressalta-se que possíveis distorções geométricas e exatidão posicional externa não impactam o resultado deste trabalho, uma vez que todos os testes são realizados *pixel a pixel* apenas entre as bandas de uma mesma aquisição. A única consistência geométrica que foi garantida para as imagens é a exatidão posicional interna entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo de uma mesma cena. Também se ressalta que as imagens selecionadas para o estudo tinham paisagens diferentes entre si, a fim de diversificar o padrão de uso e cobertura da terra aos resultados aqui apresentados.

Tabela 1. Imagens de teste do sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat 5.

Teste	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	TM8	TM9	TM10
Ano	2009	2011	2009	2010	2006	2011	2004	2006	2008	2009
Órbita	228	228	223	223	220	220	220	225	224	221
Ponto	079	079	068	068	075	075	063	075	075	066

Tabela 2. Imagens de teste do sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM) do Landsat 7.

Teste	EIM1	ETM2	ETM3	ETM4	ETM5	ETM6	ETM7	ETM8	ETM9	ETM10
Ano	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2002	2002	2003	1999
Órbita	220	220	223	223	225	225	222	219	219	218
Ponto	065	065	064	064	071	071	067	076	076	074

Tabela 3. Imagens de teste do sensor Linear Imaging Self-Scanner III (LISS-III) do ResourceSat-1.

Teste	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Ano	2010	2013	2010	2012	2010	2012	2010	2012	2010	2012
Órbita	315	315	324	324	330	330	327	327	330	330
Ponto	083	083	083	083	092	092	082	082	091	091

2.1 Cálculo do NDVI com retificação radiométrica

Primeiramente efetuou-se a transformação dos valores em níveis digitais para radiância espectral de acordo com a Equação 2. Chander (2007) e Chander et al. (2009) indicam os valores de mínimo ($LMIN_{\lambda}$) e máximo ($LMAX_{\lambda}$), em unidades $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, referentes à banda 3 para os dados dos sensores TM, ETM e LISS-3 respectivamente como: -1,17 e 264; -5 e 234,4; 0 e 151,31. Já para a banda 4 tem-se os valores -1,51 e 221; -5,1 e 241,1; 0 e 157,57, também respectivamente. Observa-se que os metadados no site do INPE das imagens utilizadas do sensor ETM apresentavam o valor 1, assim considerando as constantes de $LMIN_{\lambda}$ e $LMAX_{\lambda}$ associados às imagens de baixo ganho.

A partir da radiância espectral, encontramos a reflectância aparente, que expressa a relação entre a energia irradiada e incidente no topo da atmosfera e a energia irradiada pelos alvos e percebida pelo sensor (Markham e Baker, 1986). Para isto, aplica-se a Equação 2 para cada uma das bandas em questão. Chander (2007) e Chander et al. (2009) indicam os valores de irradiação espectral ($ESUN_{\lambda}$), em unidades de $W/(m^2 \cdot \mu m)$, no topo da atmosfera para os sensores TM, ETM e LISS-3. Para a banda 3 temos os valores: 1554, 1533, e 1575,5, respectivamente. Já para a banda 4, fica-se com 1036, 1039 e 1087,34, respectivamente.

Neste trabalho se utilizou um desenvolvimento algébrico apresentado em Costa e Ramos (2013) para simplificar o cálculo do NDVI a partir da reflectância, aplicando a substituição da

Equação 3 na Equação 1. Essa fórmula simplificada elimina a necessidade de levantar os metadados das imagens de satélite para se calcular o NDVI a partir da reflectância.

$$NDVI = \frac{\left(\frac{\pi \cdot L_{NIR} \cdot d^2}{ESUN_{NIR} \cdot \cos\theta_s}\right) - \left(\frac{\pi \cdot L_{RED} \cdot d^2}{ESUN_{RED} \cdot \cos\theta_s}\right)}{\left(\frac{\pi \cdot L_{NIR} \cdot d^2}{ESUN_{NIR} \cdot \cos\theta_s}\right) + \left(\frac{\pi \cdot L_{RED} \cdot d^2}{ESUN_{RED} \cdot \cos\theta_s}\right)} = \frac{\left(\frac{L_{NIR}}{ESUN_{NIR}} - \frac{L_{RED}}{ESUN_{RED}}\right)}{\left(\frac{L_{NIR}}{ESUN_{NIR}} + \frac{L_{RED}}{ESUN_{RED}}\right)} \quad (4)$$

Os valores de $ESUN_\lambda$ são mantidos na equação, pois o fluxo radiante que irradia uma área da superfície varia em cada banda, já os números constantes entre as bandas são eliminados pela divisão.

2.2 Diferença de NDVI e NDVI_{nd}

Para conhecer os efeitos da retificação radiométrica no valor do NDVI, foi efetuada a subtração *pixel a pixel* entre o NDVI resultado da Equação 4 e o NDVI_{nd} resultado diretamente pela Equação 1. Este passo foi repetido para cada um dos trinta testes.

O trabalho de Legendre e Fortin (1989) apontou ressalvas ao se utilizar de testes estatísticos descritos em imagens de sensoriamento remoto orbital, onde a dependência espacial aparece como um fator limitante na aplicação destes testes e com a possibilidade de superestimar ou subestimar resultados. Desta forma, para se analisar os valores de diferença entre os cálculos de NDVI sem estudar diretamente a existência e comportamento da dependência espacial, foram coletados pixels aleatoriamente, e sobre estes se gerou um subgrupo experimental onde a proximidade das amostras entre si sempre foi superior a 1000 metros, valor este arbitrado para evitar a dependência espacial. Ao fim, calculou-se a média e o desvio padrão amostral sobre essas diferenças entre os dois cálculos de NDVI.

3. Resultados e Discussão

Na hipótese da retificação radiométrica não alterar o valor de NDVI, as diferenças entre os testes deveriam ter média (\bar{x} e \bar{X}) igual a zero e desvio padrão (s e S) também igual a zero. Essa exatidão de comportamento não é observada nos experimentos, como é apresentado entre as Tabelas 4 e 6. Todavia aproximar a média à zero pode ser alcançado pela subtração da média geral das diferenças ($\bar{X} = c_{sensor}$) entre os valores de NDVI e NDVI_{nd}, propondo-se então o *Abbreviated Normalized Difference Vegetation Index* (ANDVI) na Equação 5. A coluna $\bar{x} - c_{sensor}$ presente nas Tabelas 4, 5 e 6 apresenta a média da diferença entre o NDVI com retificação radiométrica e o ANDVI proposto na Equação 5, onde se obtém valores próximos a zero. Como é mostrado nas tabelas, o valor de c_{sensor} , ou constante de ajuste, muda conforme o sensor. Esse comportamento ocorre devido às diferentes constantes aplicadas nas duas fórmulas da retificação radiométrica e, eventualmente, formulações diferentes para o cálculo da radiância.

$$ANDVI = \frac{DN_{NIR} - DN_{RED}}{DN_{NIR} + DN_{RED}} + c_{sensor} \quad (5)$$

Onde ANDVI é o valor de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Abreviado, DN_{NIR} e DN_{RED} o nível digital (*digital number*) respectivamente nas bandas do infravermelho e vermelho e c_{sensor} sendo o valor constante de ajuste referente à retificação radiométrica do respectivo sensor.

Tabela 4. Resultados do sensor TM com a média e desvio padrão da diferença para cada teste em \bar{x} e s e para todos os *pixels* em \bar{X} e S entre o NDVI com retificação e o NDVI_{nd}.

Teste	n	\bar{x}	s	$\bar{x} - c_{TM}$
TM1	672	-0,110631	0,001388	-0,0116
TM2	673	-0,080242	0,016996	0,0188
TM3	679	-0,095808	0,009756	0,0032
TM4	685	-0,096642	0,010751	0,0024
TM5	697	-0,103410	0,009806	-0,0044
TM6	716	-0,102395	0,010053	-0,0034
TM7	688	-0,092040	0,010726	0,0070
TM8	667	-0,104805	0,008380	-0,0058
TM9	709	-0,103682	0,008636	-0,0047
TM10	677	-0,100298	0,009551	-0,0013
Total	$\sum n$	$\bar{X} = c_{TM}$	S	$\bar{X} - c_{TM}$
	6.863	-0,099028	0,012958	0,000007

Tabela 5. Resultados do sensor ETM com a média e desvio padrão da diferença para cada teste em \bar{x} e s e para todos os *pixels* em \bar{X} e S entre o NDVI com retificação e o NDVI_{nd}.

Teste	n	\bar{x}	s	$\bar{x} - c_{ETM}$
ETM1	678	-0,153971	0,01943	-0,011631
ETM2	689	-0,154647	0,018391	0,018758
ETM3	690	-0,154737	0,030169	0,003192
ETM4	698	-0,159703	0,020605	0,002358
ETM5	691	-0,162305	0,008171	-0,004410
ETM6	726	-0,158166	0,007206	-0,003395
ETM7	695	-0,149865	0,026821	0,006960
ETM8	685	-0,139754	0,037155	-0,005805
ETM9	726	-0,135429	0,04664	-0,004682
ETM10	663	-0,161484	0,011682	-0,001298
Total	$\sum n$	$\bar{X} = c_{ETM}$	S	$\bar{X} - c_{ETM}$
	6.941	-0,152944	0,027064	-0,00004

Tabela 6. Resultados do sensor LISS-III com a média e desvio padrão da diferença para cada teste em \bar{x} e s e para todos os *pixels* em \bar{X} e S entre o NDVI com retificação e o NDVI_{nd}.

Teste	n	\bar{x}	s	$\bar{x} - c_{LISSIII}$
L1	848	-0,099897	0,012161	0,041203
L2	837	-0,110018	0,011486	0,031082
L3	833	-0,144817	0,019995	-0,003717
L4	866	-0,136839	0,021444	0,004261
L5	835	-0,156104	0,013591	-0,015004
L6	837	-0,148886	0,015664	-0,007786
L7	849	-0,154055	0,012520	-0,012955
L8	837	-0,151827	0,014681	-0,010727
L9	839	-0,156462	0,012763	-0,015362
L10	835	-0,151834	0,014374	-0,010734
Total	$\sum n$	$\bar{X} = c_{LISSIII}$	S	$\bar{X} - c_{LISSIII}$
	8.416	-0,149753	0,016617	-0,00005

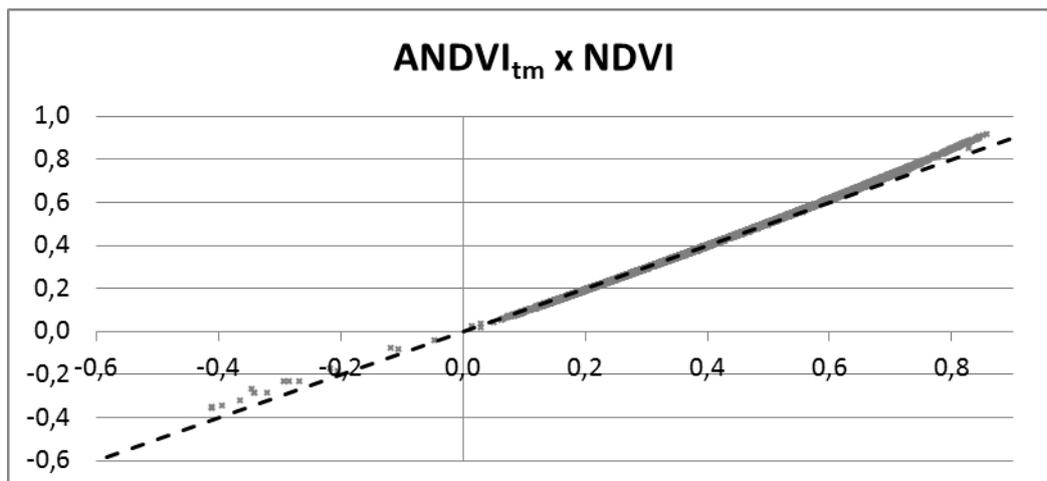


Figura 1. Gráfico comparando 6.863 valores de ANDVI_{tm} e NDVI com retificação.

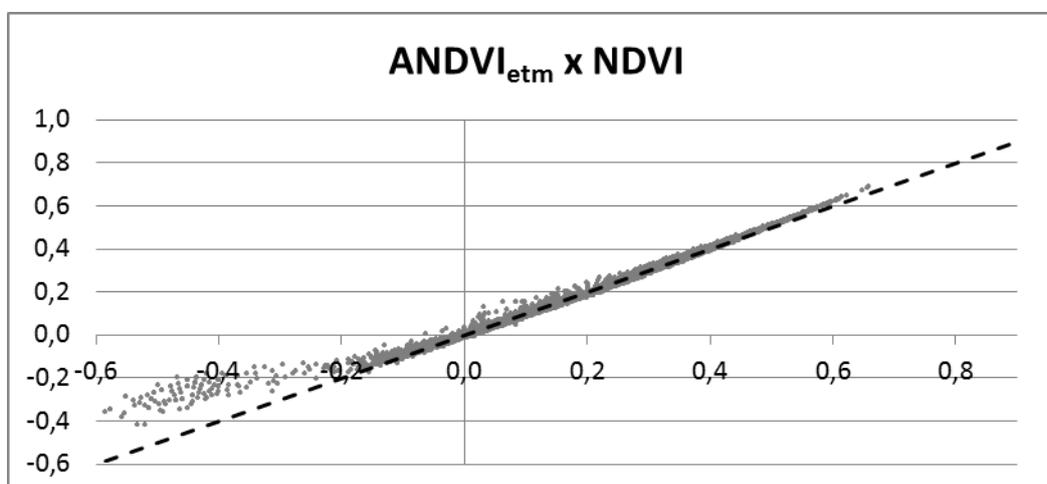


Figura 2. Gráfico comparando 6.941 valores de ANDVI_{etm} e NDVI com retificação.

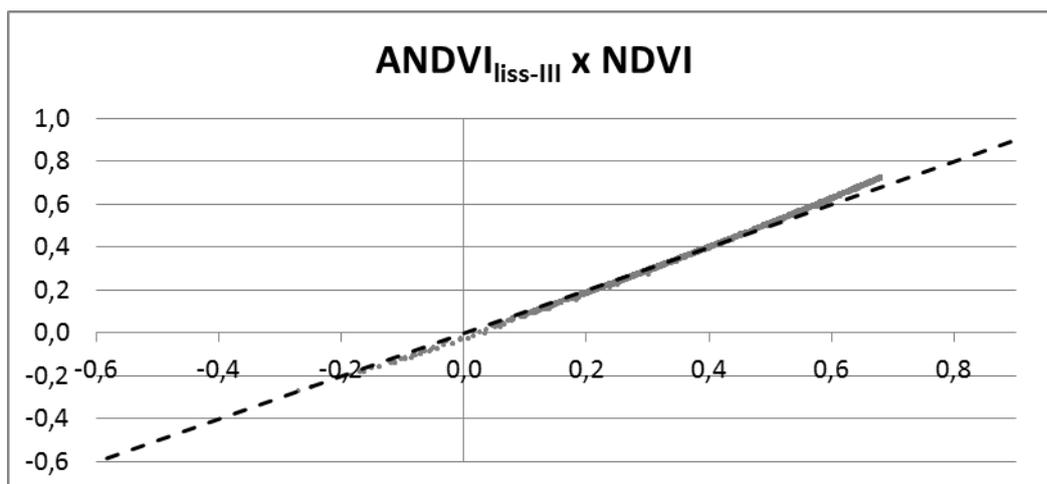


Figura 3. Gráfico comparando 8.416 valores de ANDVI_{liss-III} e NDVI com retificação.

Para verificar os valores do ANDVI foram construídos os gráficos apresentados entre a Figura 1 e 3, onde são plotados no eixo y os valores do ANDVI – aplicando a respectiva constante c_{sensor} retirada das Tabelas 4, 5 e 6 – e o NDVI com retificação radiométrica no eixo x para todos os *pixels*. Ressalta-se que a linha tracejada $x = y$ representa a reta de ajuste ideal onde o valor de ANDVI é igual ao valor de NDVI.

A constante c_{sensor} não influencia o valor do desvio padrão s apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6. Entretanto o primeiro dígito significativo ocorre na segunda casa decimal e com grandeza relativamente pequena. Sendo assim, pode ser assumido para alguns estudos que o desvio no valor do NDVI com retificação radiométrica e o ANDVI não é expressivo.

Um caso especial em relação do desvio padrão fica nos dados do sensor ETM, onde se verifica nos pontos com o valor de NDVI menor que -0,2 uma dispersão distinta frente ao resto do conjunto de dados, comportamento este que não aparece nos demais sensores. Esses dados representam 1,96% do conjunto de resultados desse sensor. Se for assumido que estes valores seriam *outliers*, e os eliminando, o valor de desvio padrão total (S na Tabela 5) para este sensor mudaria de 0,022627 para 0,156245, ficando com um valor de desvio mais próximo ao observado nos outros dois sensores. Cabe uma investigação mais aprofundada a fim de verificar se estes valores seriam correspondentes ao comportamento espectral dos alvos, ou mesmo situações de ruído ou saturação da imagem ou metadados incorretos em relação a ganho do sensor ou outra propriedade.

Também deve ser destacado que os demais sensores apresentaram valores residuais e que as médias e desvios padrões possuem variação entre os resultados. Apesar das variações serem quantitativamente pequenas e desprezíveis para alguns estudos que se utilizam do NDVI, é pertinente uma avaliação mais detalhada dos elementos que podem causar essas variações.

4. Conclusões

A proposição de otimização do cálculo do NDVI utilizando o ANDVI considera que o processo de retificação radiométrica pode ser substituído por uma constante de ajuste, onde essa abreviação do processo possibilita maior rapidez computacional e metodológica no cálculo de um índice de vegetação equivalente ao NDVI. Em adição, a simplificação do cálculo do NDVI, que possui diversas aplicações, permite que usuários menos especialistas utilizem um índice, uma vez que se elimina a necessidade de entendimento de uma série de conceitos inerentes às fórmulas de retificação radiométrica.

A metodologia para se chegar à constante de ajuste e os resultados aqui apresentados apontam que o ANDVI tem potencial de aplicação e equivalência com o cálculo do NDVI com retificação radiométrica. Todavia, sugere-se como trabalhos futuros aos estudos do ANDVI: (1) utilizar um número maior de cenas para avaliar a presença de *outliers*, a estabilidade da constante e o comportamento do ANDVI em diferentes cenários de uso e cobertura; (2) investigar os fatores que influenciam no valor do desvio encontrado entre as diferenças das imagens do ANDVI e NDVI com retificação; (4) avaliar a existência, comportamento e influência da dependência espacial; e (3) avaliar a aplicação da metodologia em outros sensores, calculando suas constantes.

Outro trabalho futuro pertinente é testar diferentes técnicas e formulações para o ANDVI como, por exemplo, utilizando técnicas de regressão estatística para a forma $ax + b$. Testes, que não foram apresentados neste trabalho devido ao espaço de texto, apontam que uma regressão linear resulta em um a muito próximo a 1 e sem melhoria significativa ao desvio padrão.

Espera-se que com o avanço das investigações se chegue a uma facilitação metodológica e consistente para um cálculo equivalente ao do NDVI, aumentando assim aplicações práticas pela comunidade que se utiliza cada vez de imagens de satélite em diferentes estudos.

5. Referências

Anatoly A. Gitelson, Yi Peng, Karl F. Huemmrich, Relationship between fraction of radiation absorbed by photosynthesizing maize and soybean canopies and NDVI from remotely sensed data taken at close range and from MODIS 250m resolution data. **Remote Sensing of Environment**, v. 147, 2014, p.108-120, 2014

Carlson, Toby N.; Ripley, David A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 241-252, 1997.

Chander, Gyanesh. **An Overview of Resourcesat-1 (IRS-P6)**. Remote Sensing Technologies / USGS Contract 03CRCN0001, 2007. Disponível em < <https://calval.cr.usgs.gov/documents/IRSP6.pdf>>. Acesso em 09 out 2014.

Chander, Gyanesh; Markham, Brian L.; Helder, Dennis L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote sensing of environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009. Disponível em <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat_Calibration_Summary_RSE.pdf>. Acesso em 10 out 2014.

Costa, Paula Fernandez; Ramos, José Augusto Sapienza. Avaliação da necessidade de correção radiométrica para comparação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos p.9171-9178. CD-ROM, On-line.ISBN: 978851700065-2. Disponível em <www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1632.pdf>. Acesso em: 09 out. 2014.

Deering, D.W.; Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data. In: International Symposium on Remoting Sensing of Environment, 10, Ann Arbor, **Proceedings...**Ann Arbor, MI: ERIM, 1975. v.2, p. 1169-1178.

Jackson, Ray D.; Huete, Alfredo R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3, p. 185-200, 1991. Disponível em < <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/gis/lectesc/intvegindx.pdf>>. Acesso em 09 out 2014.

Legendre, Pierre; Fortin, Marie Josée. Spatial pattern and ecological analysis. **Vegetatio**, v. 80, n. 2, p. 107-138, 1989. Disponível em <http://www.uvm.edu/~bwemple/geog204/legendre_fortin.pdf>. Acesso em 09 out 2014.

Markham, Brian L.; Barker, J. L. **Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**.EOSAT Landsat technical notes, v. 1, p. 3-8, 1986.

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª edição atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV-Universidade Federal de Viçosa, 2007. 320p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 164 p.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration**, 1973. 371p. MD:, NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>>. Acesso em 10 out. 2014

Shimabukuro, Yosio Edemir; Novo, Evlyn Moraes; Ponzoni, Flávio Jorge. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.13, p.1729-1737, 1998. Disponível em <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/download/5057/7206>>.