

## Avaliação da necessidade de correção radiométrica para comparação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Paula Fernandez Costa<sup>1,2</sup>  
José Augusto Sapienza Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LABGIS - Laboratório de Geotecnologias do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
Rua São Francisco Xavier, 524 – Rio de Janeiro – CEP 20550-900  
{paulacosta, sapienza}@labgis.uerj.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rua São Francisco Xavier, 524 – Maracanã – CEP 20550-900 – Rio de Janeiro – RJ  
paulacosta@labgis.com.br

**Abstract.** The increase number of automated decision system, it is expected that Geospatial computation will pursue newly methods to archive this goal, the iniciative creation of a free software by the paper Teixeira and Ramos (2011) to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) provided the interest to do statistically test. A multitemporal dataset consisting of red band and near-infrared band of the satellite TM-Landsat 5 images to estimate the radiance and reflectance required to obtain NDVI by radiometric correction, calculate the difference between them and comparing the effectiveness of this correction measuring accuracy and precision with an uncorrected raw data after the same calculating difference procedures. This paper also presents an algebraic study of the radiance and reflectance equations to achieve the NDVI, concluding that some procedures verified are meaningless to the final result. Spatial dependence or spatial autocorrelation often occur in remote sense data affecting the significance rates, making the underlying assumptions of the analysis not valid, to avoid corrupt results this paper also suggest a solution to minimize this problem. With five samples tests, the outcome of this experiment is very promising with primary results finding the mean error below two percent and standard deviation below eight percent.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

### 1.Introdução

Nas aplicações profissionais das geotecnologias, o sensoriamento remoto é uma das tecnologias mais eficazes no fornecimento de análise de imagens digitais para estudos relacionados aos estudos territoriais e ambientais.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, acrônimo NDVI em inglês, é um dos principais índices de vegetação e se destaca pela sua utilidade em estudos sobre cobertura vegetal verde, podendo ser aplicada em estudos como, por exemplo, detectar áreas de perda e ganho de vegetação, estimativas de biomassa, vide Isaev et al. (2002), estimativas de produção agrícola e monitoramento de saúde ou ciclo da vegetação, vide Gould, W. (2000). O cálculo do NDVI envolve as frequências de radiação eletromagnética nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, Debiasi et al. (2007).

Com a difusão das últimas duas décadas das imagens de sensoriamento remoto cobrindo extensas porções da superfície da Terra e a possibilidade de automatizar computacionalmente a análise de NDVI sem intervenção de um usuário especialista, diversas metodologias vêm sendo propostas utilizando as propriedades do NDVI a fins de gerar resultados com valia no monitoramento da vegetação.

O objetivo desse trabalho é avaliar se a calibração radiométria altera o resultado da comparação de NDVI entre duas épocas distintas. Caso a calibração se apresente desnecessária, a metodologia se simplifica e demanda um menor conhecimento técnico específico para a comparação de variação do NDVI. Outro ganho importante é diminuir a qualidade de informações sobre a cena, facilitando a construção de um programa de

computador que automatize o processo de comparação do NDVI. Foram realizados 5 experimentos com imagens do sensor TM/LANDSAT 5.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para o cálculo do NDVI, foram utilizadas cenas do sensor Thematic Map (TM) do satélite LANDSAT 5. As cenas foram adquiridas gratuitamente no site o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), vide <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Como a metodologia envolve a comparação do NDVI em duas épocas distintas, a escolha das cenas de uma mesma área levou em consideração: (a) as cenas deveriam ser épocas anuais próximas a fim de mitigar as variações sazonais; e (b) ambas as cenas deveriam ser ou de antes de maio de 2003 ou depois para não introduzir comparações com calibrações diferentes, uma vez que nesse mês foi realizada uma recalibração no sensor TM (Chander e Markham, 2003).

A finalidade de comparar a eficiência da correção radiométrica utilizando procedimentos estatísticos segue os seguintes procedimentos: (1) calcular o NDVI de duas épocas com e sem correção radiométrica; (2) realizar a diferença temporal de NDVI sobre as imagens com e sem calibração separadamente; (3) normalizar os valores da diferença de NDVI com e sem calibração; (4) determinar a diferença normalizada de NDVI entre os resultados com e sem calibração; e (5) realizar testes estatísticos sobre amostras do procedimento anterior com o objetivo de estudar as diferenças. Vide Figuras 1 e 2.

**Diagrama de Transformação OMT-G**  
Cálculo do NDVI com e sem correção radiométrica

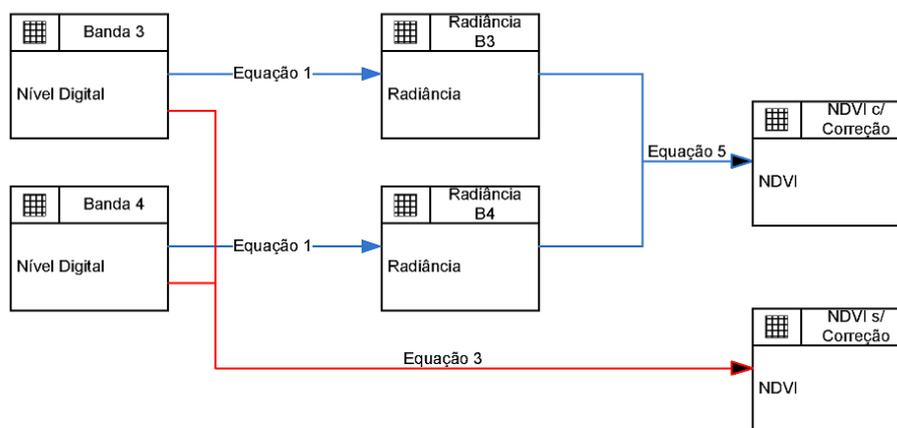


Figura 1. Procedimento para calcular o NDVI com e sem calibração radiométrica.

Ressalta-se que todos os cálculos da metodologia são realizados *pixel a pixel*; o georreferenciamento ou registro das imagens foi ajustado internamente, ou seja, entre as cenas de duas épocas; apenas foram trabalhadas as bandas 3 e 4 necessárias para o cálculo do NDVI, ou seja, as imagens respectivas às frequências do vermelho e infravermelho próximo; e que as imagens estão sem ortorretificação, entretanto o ângulo nadir de todas as cenas é igual a zero grau.

Este trabalho realizou 5 experimentos com a metodologia descrita, veja a Tabela 1.

**Diagrama de Transformação OMT-G**  
Cálculo das Diferenças de NDVI, Normalização e Diferença da Normalização

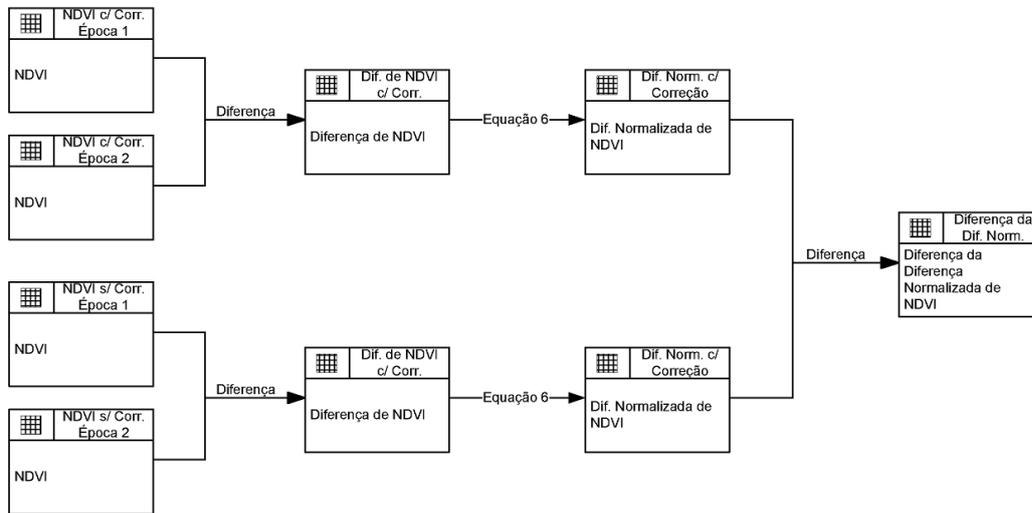


Figura 2. Procedimento para realizar as comparações do NDVI com e sem calibração.

Tabela 1. Detalhes sobre as cenas utilizadas nos experimentos.

Teste	Orbita	Ponto	Data/Hora		% Cobertura de nuvem	
1	220	063	15/09/2004	10/09/2008	7,5%	0%
			12:48:58	12:50:20		
2	224	075	22/09/2008	15/09/2011	0%	0%
			13:19:28	13:23:09		
3	225	075	23/08/2006	18/08/2010	0%	0%
			13:34:21	13:31:08		
4	221	066	03/08/2009	09/08/2011	0%	0%
			13:01:39	13:01:24		
5	221	063	15/07/2008	05/07/2010	2,5%	5%
			12:58:09	13:01:52		

### 2.1 Correção radiométrica

Os pixels das cenas do sensor TM/LANDSAT 5 são escalonados entre valores inteiros de 0 a 255, devido à resolução radiométrica ser de 8 bits. A correção radiométrica consiste em calcular a radiância espectral e a reflectância aparente respectivamente por meio das Equações 1 e 2.

A radiância é medida pelo sensor e estima a intensidade de luz solar emitida pelo solo da Terra, para retornar os valores dos pixels para valores da radiância, foi utilizado a Equação 1 apresentada em Chander e Markham (2003):

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{255} \right) \cdot Q_{cal} + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Onde  $L_{\lambda}$  é o valor da radiância espectral da banda,  $LMIN_{\lambda}$  e  $LMAX_{\lambda}$  o mínimo e máximo do valor da radiância da banda,  $Q_{cal}$  como nível digital do pixel na imagem de certa banda. Esses valores são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da radiância por bandas do satélite TM-Landsat 5, desde 5/5/2003.

Banda	$L_{MIN\lambda}$	$L_{MAX\lambda}$
1	-1,52	193,0
2	-2,84	365,0
3	-1,17	264,0
4	-1,51	221,0
5	-0,37	30,2
6	1,2378	15,303
7	-1,15	16,5

Assim, a partir da radiância espectral, calcula-se a reflectância aparente, que é a relação com a radiação que entrou na atmosfera da Terra e a energia irradiada, captada pelo satélite. Formulação em Chander e Markham (2003):

$$\rho P = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta_s} \quad (2)$$

Onde,  $\rho P$  é a reflectância aparente,  $L_{\lambda}$  a radiância da banda,  $d$  a distância Terra-Sol em unidades astronômicas,  $ESUN_{\lambda}$  a irradiação espectral média no topo da atmosfera e  $\theta_s$  o ângulo zenital.

Tabela 3. Valores de cada banda do  $ESUN_{\lambda}$  para satélite TM-Landsat 5.

Banda	$ESUN_{\lambda}$
1 (0.45– 0.52) $\mu m$	1957
2 (0.52– 0.60) $\mu m$	1826
3 (0.63– 0.69) $\mu m$	1554
4 (0.76– 0.90) $\mu m$	1036
5 (1.55– 7.75) $\mu m$	215.0

## 2.2 Cálculo do NDVI e sua diferença e estudo de equações

Para determinar o NDVI, utilizamos a reflectância da banda 3, vermelho, e banda 4, infravermelho próximo, Shimabukuro et al. (1998):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

Onde NIR é o valor de reflectância na banda do infravermelho próximo e RED o valor da reflectância na banda do vermelho.

Ressalta-se que a formulação acima propõe o uso da reflectância, entretanto na metodologia deste trabalho comparam-se os resultados aplicando a correção radiométrica para chegarmos a reflectância aparente e trabalhando diretamente com os níveis digitais da imagem original.

Realizando um desenvolvimento algébrico para estimar o NDVI, substitui a Equação 2 na Equação 3:

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

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

Chegando a uma equação final, a Equação 5:

$$NDVI = \frac{\left(\frac{L_{NIR}}{ESUN_{NIR}} - \frac{L_{RED}}{ESUN_{RED}}\right)}{\left(\frac{L_{NIR}}{ESUN_{NIR}} + \frac{L_{RED}}{ESUN_{RED}}\right)} \quad (5)$$

Onde  $L_{NIR}$  é a radiância da banda 4,  $L_{RED}$  a radiância da banda 3,  $ESUN_{RED}$  e  $ESUN_{NIR}$ , respectivamente, os valores da irradiação espectral média no topo da atmosfera para as bandas 3 e 4. Constata-se pela Equação 5 que o ângulo zenital e a distância Terra-Sol não são relevantes para o cálculo do NDVI.

Com o resultado do NDVI finalizado em ambas as cenas de anos distintos, realiza-se a diferença do NDVI da mais recente com a mais antiga.

### 2.3 Normalização da distribuição

O objetivo é comparar a diferença de NDVI resultante, tomando-se o resultado com a correção radiométrica e sem a correção radiométrica. Como as duas matrizes de diferença de NDVI calculadas possuem a princípio escalas numéricas diferentes, adotou-se a comparação escaloná-los em um mesmo patamar numérico, normalizando ambas as distribuições de acordo com a Equação 6. Como resultado a distribuição dos *pixels* apresentam média zero e desvio padrão 1:

$$\frac{(Dif_{NDVI} - \bar{x})}{s} \quad (6)$$

Onde,  $Dif_{NDVI}$  é o valor do *pixel* do resultado do cálculo da diferença de NDVI,  $\bar{x}$  é a média dos *pixels* da imagem com a diferença do NDVI e  $s$  o respectivo desvio padrão. O resultado é um novo dado matricial.

Após o procedimento da normalização, é realizada a subtração *pixel a pixel* entre as duas diferenças normalizadas de NDVI. O objetivo é a comparação entre a diferença do NDVI calculada por meio dos dois com e sem correção radiométrica.

### 2.4 Dependência espacial

Um dos grandes obstáculos encontrados em testes estatísticos sobre imagens de sensoriamento remoto é a dependência espacial, vide Legendre e Fortin (1989), pois esta dependência compromete a maioria dos testes estatísticos, Cliff e Ord (1981).

Neste artigo foi feito um procedimento para mitigar os efeitos da dependência espacial. Foi selecionada uma determinada porcentagem de *pixels* aleatoriamente, como proposto em Dale e Fortin (2002), e sobre estes se gerou um subgrupo onde a proximidade das amostras é sempre superior à distância limite da dependência espacial. Neste experimento selecionaram-se duas amostras, uma com 500 e outra com 1000 *pixels*. A distância entre essas amostras é sempre superior a 900 metros. O patamar de 900 metros foi escolhido empiricamente.

### 2.5 Testes estatísticos

Para estimar a média e desvio padrão da população tomando como base a média e desvio amostral, com um intervalo de confiança de 90% e 95%, foi utilizado o teste de estimativa intervalar *t* de Student (Equação 7) e Qui-quadrado  $\chi^2$  (Equação 8), de acordo com Dalmolin e Leal (2001):

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) \tag{7}$$

Onde,  $\mu$  é a média populacional que será estimada,  $\bar{x}$  é a média amostral,  $t_{\alpha}$  é o t crítico com valor tabelado para o nível de significância  $\alpha$  escolhido,  $s$  é o desvio padrão amostral e  $n$  o número de variáveis da amostra.

$$\sigma \leq \frac{(n - 1) \cdot s^2}{\chi^2_{1-\alpha}} \tag{8}$$

Onde,  $\sigma$  é o desvio padrão populacional que será estimado,  $n$  o número de variáveis da amostra,  $s$  é o desvio padrão amostral e  $\chi^2_{1-\alpha}$  com valor tabelado de  $1-\alpha$ , sendo  $1-\alpha$  o intervalo de confiança.

### 3. Resultados

Tabela 4. Valores da média e desvio padrão das diferenças de NDVI sem normalização.

Teste	Dif NDVI com correção		Dif NDVI sem correção	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1	-0,00714483	0,093138004	-0,007359441	0,099546816
2	-0,01150401	0,113155779	-0,01144809	0,118192702
3	0,007185717	0,111329903	0,008056898	0,115821963
4	-0,03401209	0,081916256	-0,034556105	0,084743953
5	0,031653075	0,103124467	0,036301334	0,109494785

Tabela 5. Resultado dos testes de estimativa para a média populacional da diferença entre as diferenças normalizadas, utilizando amostras de 500 e 1000 e alfa igual a 0,1 e 0,005. O grau de liberdade do teste é igual a  $n - 1$  e o intervalo de confiança é  $1 - \alpha$ .

Testes	n=500	n=500	n=1000	n=1000
	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$
1	0,0104	0,0111	0,0102	0,0105
2	0,0094	0,0099	0,0073	0,0077
3	0,0116	0,0122	0,0109	0,0112
4	0,0114	0,0119	0,0126	0,0130
5	0,0151	0,0161	0,0142	0,01508

Tabela 6. Resultado dos testes de estimativa para o desvio padrão populacional da diferença entre as diferenças normalizadas, utilizando amostras de 500 e 1000 e alfa igual a 0,1 e 0,005. O grau de liberdade do teste é igual a  $n - 1$  e o intervalo de confiança é  $1 - \alpha$ .

Testes	n=500	n=500	n=1000	n=1000
	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$
1	0,0465	0,0470	0,0301	0,0303
2	0,0341	0,0345	0,0311	0,0313
3	0,0339	0,0343	0,0309	0,0312
4	0,0339	0,0343	0,0400	0,0403

5	0,0588	0,0595	0,0784	0,0790
---	--------	--------	--------	--------

#### 4. Conclusão

Ressalta-se que nas tomadas de épocas dos cinco experimentos, as paisagens apresentavam diferentes tipos de cenários. Por exemplo, nos experimentos 2, 3 e 4 há áreas rurais onde as áreas de plantio alteravam os valores de NDVI em diversas localidades.

A demonstração da substituição da equação 2 na equação 3, por final desenvolvendo para a equação 5, comprova matematicamente que para determinar o NDVI realizando a correção radiométrica, não se faz necessário o cálculo da distância Terra-Sol, a constante  $\pi$ , e o ângulo zenital.

A Tabela 4 mostra as médias e desvios padrões das diferenças de NDVI sem a normalização. Podemos observar que a distinção de valores ocorre somente a partir da terceira casa decimal. Em outras palavras, nos cinco experimentos realizados, a média e desvio padrão das diferenças com e sem correção radiométricas se apresentaram similares.

Uma vez que se compararam as diferenças normalizadas, ou seja, com média zero e desvio padrão 1, e os valores na Tabela 4 se apresentam similares, podemos entender os resultados das estimativas populacionais como uma variação percentual do desvio padrão não normalizado. Então se percebe nos cinco experimentos que os valores se comportaram com uma distinção de no máximo 1,6% e 8% respectivamente na média e desvio padrão. Observando que o desvio padrão não normalizado está na faixa de 0,1, estamos falando, em valores de NDVI, de uma variação máxima na média de 0,0016 e desvio padrão de 0,008. Conclui-se então que nesses cinco experimentos a diferença entre a diferença de NDVI com correção radiométrica e sem correção radiométrica é relativamente pequena.

Devido ao comportamento diferenciado do experimento de número 5, o mesmo deve ser estudado mais detalhadamente. Como trabalhos futuros serão aplicados a metodologia sobre um conjunto maior de cenas, incluindo imagens oriundas de outros sensores remotos. Também deve ser avaliada a pertinência das correções atmosféricas no resultado do NDVI. Se os resultados se mantiverem como nesses cinco experimentos, ficará apontado que no cálculo da diferença de NDVI para monitoramento da paisagem é dispensável a correção radiométrica.

Em um próximo trabalho também será avaliado se o mesmo fica apontado para apenas o cálculo do NDVI.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Chander, G.; Markham, B.; **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges**. IEEE Transactions on geoscience and Remote Sensing, Vol 41, 11/2003.
- Cliff, A. D.; Ord, J. K. 1981. **Spatial Processes: Models and Applications**. Pion, London.
- Dale, M.R.T.; M.J. Fortin. 2002. **Spatial autocorrelation and statistical tests in ecology**. *Ecoscience* 9:162-167
- Dalmolin, Q.; Leal, E. M. **Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD**. *Bol. Ciênc. Geod.*, Curitiba, v. 7, no 1, p.21-40, 2001
- Debiasi, P.; Eckhardt, R.R.; Castolli, G.; Madruga, R.; Coutinho, A.; **Fusão de imagens MODIS com NDVI do Landsat para a classificação de áreas de cultivo de Soja**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 5707-5714, INPE, Florianópolis, 04/2007.
- Gould, W. **Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots**. 2000 by the Ecological Society of America, *Ecological Applications*, 10(6), 2000, pp. 1861-1870
- Isaev, A. S.; Korovin, G. N.; Bartalev, S. A.; Ershov, D. V.; Janetos, A.; Kasischke, E. S.; Shugart, H. H.; French, N. H. F.; Orlick, B. E.; Murphy, T. L. **Using Remote Sensing to Assess Russian Forest Fire Carbon Emissions** October 2002, Volume 55, Issue 1-2, pp 235-249

Legendre, P.; M. J. Fortin, 1989. **Spatial Pattern and ecological analysis**. Vegetatio, 80:107-138

Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M.; Ponzoni, F. J.; **Índice de Vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal**. In: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33, p1729-1737, 1998.

Teixeira, E. B.; Ramos, J. A. S. **Automated Indicator of Local Variation in Vegetal Cover**. In: Latin America Geospatial Forum 2011.