

Downscaling do índice de vegetação normalizado produto do MODIS (500m) para a resolução espacial do Landsat 8 (30 m)

Rafael João Sampaio¹; Gisele Dornelles Pires¹; Fabrício Polifke da Silva¹

¹Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

samprafael@gmail.com, gdornele@gmail.com, briciopolifke@gmail.com

Resumo – *O presente estudo avalia um método de downscaling para dados do Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) obtidos pelo sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) combinados com imagens do sensor Landsat 8. As imagens Landsat 8 possui uma resolução espacial de 30m e uma resolução temporal de 16 dias, enquanto o MODIS possui resoluções de espaciais de 250, 500 e 1000 metros, coletados semanalmente ou diariamente. Desta forma ambos sensores combinados podem produzir séries históricas de NDVI com altas resoluções espaciais e temporais. Neste tudo, uma regressão linear foi utilizada para produção de imagens sintéticas com resolução espacial de 30m e temporal de 7 dias, a partir de imagens MODIS e Landsat. A aplicação do método foi realizada na bacia do rio Piabanha, através de duas cenas MODIS, produto MYD09, de datas de 25 de setembro de 2014 a 11 de outubro de 2014, e duas cenas de Landsat 8 OLI / TIRSS da mesma data. A metodologia reconhece que uma relação linear ocorre entre mapas de escala maior e menor de uma região, desde que ambos estejam nas mesmas condições atmosféricas. Assim, com as duas imagens MODIS e uma imagem Landsat 8 (25 de setembro de 2014) foi gerada uma imagem sintética do NDVI para o dia 11 de outubro de 2014. A imagem Landsat 8 de 11 de outubro foi utilizada para validar a imagem sintética. Os resultados encontram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,62. Esse valor sugere o potencial da metodologia para downscaling, visando o monitoramento contínuo do NDVI para o nível de pequenas bacias hidrográficas remotas.*

Palavra Chave: *sensoriamento remoto, pequena bacia hidrográfica, regressão linear*

Abstract - *This study evaluates a downscaling method to combination of images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and images from Landsat 8. The images MODIS is available very often (i.d. some products is dearly like indices normalized difference vegetation –NDVI). Unlike, the MODIS the images Landsat have 16 day or longer of temporal resolution. However, Landsat satellite scenes own 30 m of special resolution, while MODIS keep 250m, 500m and 1000m. The use both images combined with downscaling method can produce a gallery with high temporal and high special resolution. The application of the method was done in Piabanha River Watershed. For this we used two scenes MODIS, product MYD09, of dates September 25/2014 and October 11/2014, and two scenes Landsat 8 OLI/TIRSS from of the same date. The methodology is based on a linear regression, acknowledging that a linear relationship occurs between larger and smaller scale maps of a region, provide that both are in the same atmospheric conditions. Thus, imagery MODIS and an image Landsat 8(September 25/2014) was generating an image synthetic the NDVI to day October 11/2014. The image Landsat 8 of the October 11/2014 was used to validate the image synthetic. The results find a coefficient of determination (R^2) of 0,62. This value suggested that the downscaling method has the potential to use in continuously monitoring NDVI for level of small watersheds.*

Keywords: *remote sensing, small watershed, linear regression.*

1 Introdução

Dados suas características espectrais, muitas informações podem ser registradas sobre a vegetação a partir de sensores remotos orbitais. O principal artifício usado neste contexto são os índices de vegetação, definidos como medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (Jensen 2009). O Índice de Vegetação Normalizada - NDVI é o índice mais conhecido dentre todos os índices de vegetação (Meneses e Almeida, 2012), sendo utilizado pela primeira vez por Rouse et al. (1973).

Com o advento de satélites como NOAA/AVHRR, SPOT/VEGETATION, TERRA/MODIS, SeaWiFS e a missão Landsat, foi possível produzir séries temporais do NDVI para a maior parte da superfície terrestre, oferecendo assim bases para uma infinidade de trabalhos ao redor do mundo. Estes englobam estudos em agricultura (Balaghi et al. 2006), estudo de biomas e ecossistemas (Barbosa et al. 2006, Beck et al. 2005; Atkinson et al., 2011), meteorologia (Grist et al. 1996; Plessis 1997), tratamento das séries históricas de NDVI (Brown et al. 2006; Gu et al. 2009; Wang et al. 2009; Hidr. et al. 2008), entre outras. As técnicas de sensoriamento remoto, no entanto, apresentam diversas limitações. Uma delas é a pobre distribuição temporal das estimativas baseadas em satélites (Mohamed et al. 2005).

O Landsat 8, por exemplo, possui uma resolução temporal de 16 dias. Conforme as circunstâncias, este intervalo pode ser ampliado, pois muitas vezes a superfície está coberta com nuvens na hora de coleta, o que torna a imagem inapropriada para utilização, aumentando assim a periodicidade dos dados (Hong et al. 2009). Sensores como o MODIS/Terra possui uma escala temporal mais refinada, com coleta de dados diariamente. No entanto, sua resolução espacial (250, 500 e 1000 metros) é consideravelmente menor que de outros sensores de média resolução, como o próprio o Landsat 8 (30m). Isto pode restringir seu uso em determinadas áreas, como é o caso de plantios agrícolas e estudos em pequenas bacias hidrográficas.

Uma alternativa apresentada para mitigar estas limitações do sensoriamento remoto são as técnicas downscaling. Downscaling é definida como um aumento da resolução espacial a partir da desagregação do conjunto de dados originais (Hong et al. 2009). Este processo de dimensionamento realiza uma restauração da variação em uma escala específica, assumindo que os valores da maior escala são a média dos valores da menor escala e que existem mais incertezas nos produtos em escala reduzida do que nos produtos de maiores escalas, pois é infinitamente grande o número possível de produtos na escala reduzida. Tradicionalmente, os procedimentos downscaling foram testados nas áreas de meteorologia e climatologia para obter informações de climas locais a partir de imagens de sensoriamento remoto com resolução grosseira (Liang 2004).

Neste contexto, o presente trabalho analisa uma metodologia simples apresentada por Hong et al. (2009) para fusão e refinamento de escalas. Duas imagens MODIS e uma imagem Landsat 8 foram utilizadas para construir uma imagem sintética do NDVI para bacia do Piabanha – RJ. A proposta apresentada visa abrir um caminho para produção de séries históricas de NDVI com resolução espacial do Landsat 8 (30m) e resolução temporal do MODIS (diário).

2 Materiais e Métodos

2.1 Imagens Landsat e MODIS

O Espectroradiômetro Imageador de Resolução Moderada – MODIS é um sensor criado por uma equipe interdisciplinar de cientistas no final dos anos noventa. Ele surgiu no intuito de suprir uma carência de dados orbitais para o monitoramento da superfície terrestre, sendo um auxiliar do sensor AVHRR. A motivação para execução deste projeto foi às mudanças drásticas e rápidas sofridas na superfície do planeta durante as décadas antecessoras (Mas et. Al 2011).

Para aplicação da metodologia foram utilizadas as imagens MODIS, cenas h13v11 e h14v11, do produto MYD09, coletadas no dia 24 de setembro e 11 de outubro de 2014. Este produto oferece dados de refletância da superfície diariamente e possuem uma resolução de 500 metros. Apesar dos produtos MYD13 e MOD13 oferecerem diretamente o NDVI, optou-se por utilizar os dados de refletância pela maior proximidade das datas de coleta das imagens Landsat, isto é, assegurar que as imagens de ambos os sensores foram coletadas nas mesmas condições atmosféricas.

O programa Landsat se constitui em uma série de sensores orbitais enumerados conforme a sequência de lançamento, iniciada em 1972. O Landsat 8, qual será utilizado neste estudo, é o último satélite dessa série, sendo lançado em fevereiro de 2013 e começando a disponibilizar dados em maio do mesmo ano (USGS 2015). É equipado com os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) que produz imagens a cada 16 dias, com 8 bandas espectrais de 30m de resolução espacial. Para o presente estudo utilizou-se duas cenas órbita/pontos 217/075, coletadas no dia 25 de setembro e 11 de outubro de 2014. Uma comparação da área de estudos representadas pelas imagens MODIS e Landsat 8 é apresentada na Figura 1. Nota-se a perda de informação por conta da menor resolução espacial do MODIS.

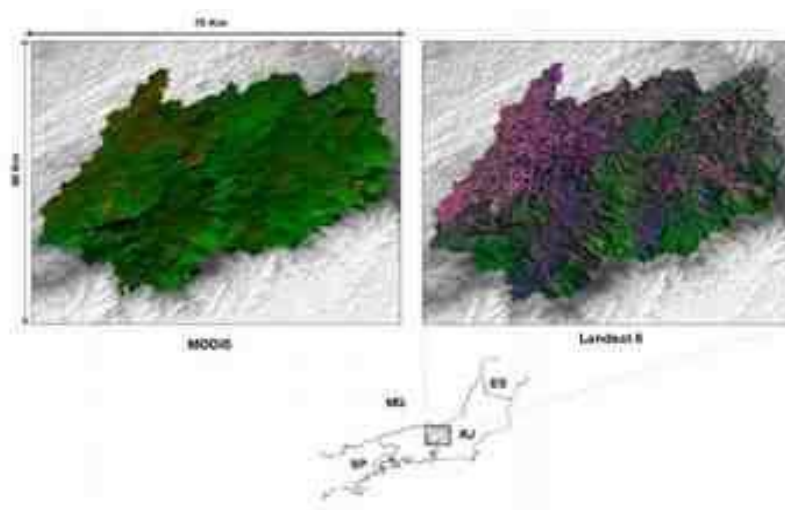


Figura 1 - Bacia do rio Piabanha representada por uma imagem MODIS(RGB – 721) e Landsat 8 (RGB – 654).

2.2 Área de Estudo

A bacia do rio Piabanha é uma sub-bacia do Rio Paraíba do Sul, localizada entre a Região Serrana e a Região Centro-Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Sua área é de aproximadamente 2.050 Km² e compreende os municípios de Petrópolis, Teresópolis, Areal, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, São José do Rio Preto e Três Rios. A Figura 2 representa a bacia hidrográfica do Rio Piabanha.

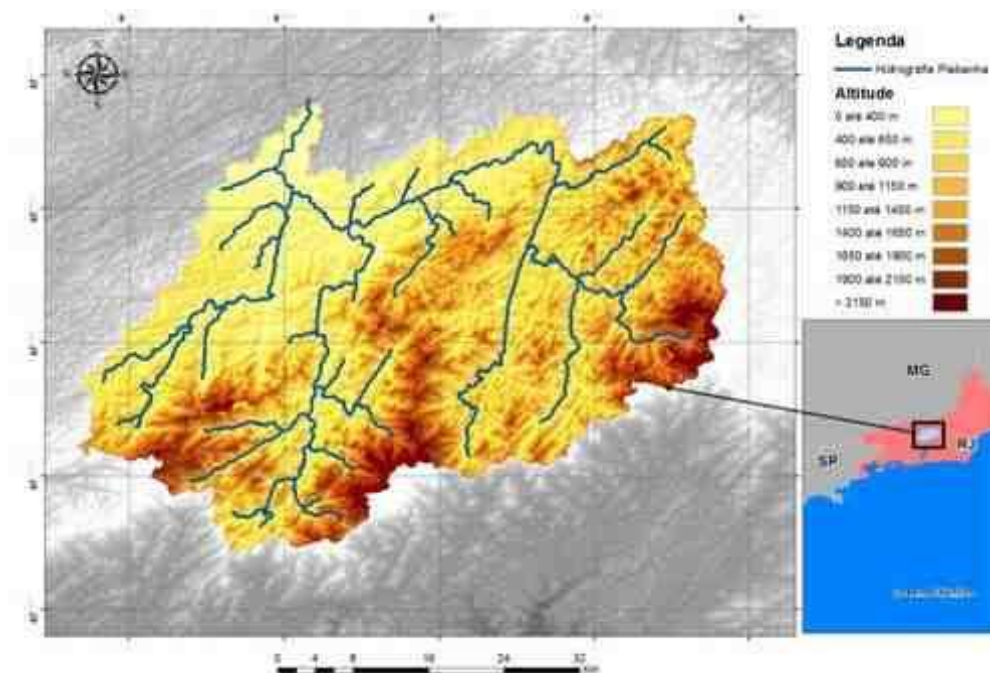


Figura 2 - Localização e representação da bacia do rio Piabanha sobre o mapa de altitude da região.

A bacia apresenta, em sua maior parte, relevo montanhoso e muito acidentado, principalmente no curso médio e superior, com a presença afloramentos rochosos e altitudes que ultrapassam os 2.000 m. As fortes restrições à ocupação dadas pelo relevo são a principal razão do nível relativamente alto de cobertura florestal natural da bacia (mais de 30 %), se comparado com a média das subbacias do Paraíba do Sul (11%). No entanto, por conta das condições de relevo e solos, além de uma elevada pluviosidade, a bacia possui uma alta vulnerabilidade à erosão em sua maior parte (Fundação COPPETEC 2010). Os tipos de solo predominantes na bacia são Latossolos, Podzólicos, Cambissolos e litossolos, ademais apresenta afloramentos rochosos nas vertentes mais íngremes.

2.3 Índice de vegetação normalizada - NDVI

Apesar de uma simples relação direta entre as bandas espectrais do vermelho visível e do infravermelho próximo ser capaz de quantificar o verdor de uma imagem, pequenas variações podem estar propensas ao erro. Dessa forma, a proposta do NDVI, apresentado na Equação 1, é aumentar o contraste através da normalização dos valores (Jesen 2009).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{ver}}{\rho_{nir} + \rho_{ver}} \quad (1)$$

Onde ρ_{nir} é a banda espectral correspondente ao infravermelho próximo e ρ_{ver} é a banda espectral correspondente ao vermelho. Para o Landsat 8 utilizou como ρ_{nir} e ρ_{ver} as bandas 5 e 4, e para o MODIS as bandas 2 e 1, respectivamente. Teoricamente, os valores de NDVI variam de -1 a 1, sendo que os valores negativos representam lâminas de água, enquanto valores próximos a zero são solos descobertos. Valores maiores

apresentam diretamente o incremento da densidade vegetativa. Asrar et al (1984), aponta como característica NDVI sua rápida saturação, essa peculiaridade lhe torna pouco sensível às detecções de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas.

2.4 Processos de fusão e aumento da resolução (Downscaling)

O processo de fusão e refinamento da escala consiste em usar informações contidas em dados de resoluções menores para derivar dados em resoluções maiores. Dessa forma, o total de pixels da imagem inicial aumenta, gerando uma nova imagem em que cada pixel representa uma área menor, aumentando consequentemente a resolução espacial da imagem.

Neste estudo utilizou-se a metodologia proposta por Hong et al. (2009) para o aumento da resolução dos dados do sensor MODIS(500m) para resolução do Landsat (30m). Esta metodologia tem como base um processo de regressão, admitindo que haja uma relação linear entre mapas de maior e menor escala de uma região, desde que ambas estejam em uma mesma condição atmosférica. Seguindo este princípio, aplicou-se uma regressão linear entre os dois produtos MODIS. A partir dos coeficientes obtidos, gerou-se uma imagem sintética derivada de uma cena Landsat 8. A Figura 3 resume esta metodologia.

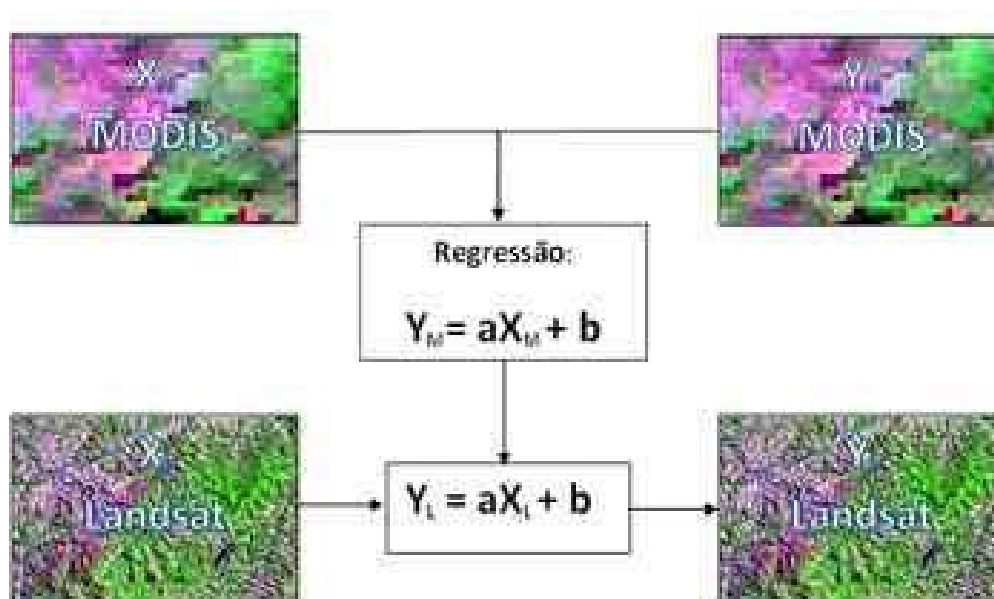


Figura 3 - diagrama da metodologia de downscaling utilizada: Y_M – Imagem MODIS coletada no dia 11/10/2014, X_M – Imagem MODIS coletada no 25/09/2014, X_L – Imagem Landsat 8 do dia 25/09/2014, Y_L imagem sintética para o dia 11/10/2014. A e b são constantes da regressão.

Foram utilizadas duas cenas MODIS (intervalo de 16 dias entre elas) e duas cenas Landsat 8 (intervalo de 16 dias entre elas), obtidas para as mesmas datas. É de grande importância que as imagens de ambos os sensores sejam adquiridos em um mesmo período de tempo, pois é necessário assegurar que todas as coletas possuam uma mesma condição atmosférica. As duas cenas do MODIS (500m), juntamente com a primeira cena do Landsat 8 (30m), foram utilizadas para produzir uma imagem sintética, com resolução espacial de 30 metros e data

correspondente a segunda imagem MODIS. A segunda imagem Landsat foi utilizada para validar a imagem sintética.

Para o tratamento das imagens, construção dos mapas de diferenças e das layers finais foram utilizados os *softwares* Qgis 2.8 (QGIS,2009). O cálculo do NDVI, a aplicação da metodologia, as análises estatísticas e os gráficos foram obtidos através de implementações em linguagem *python*.

3 Resultados

A Figura 4 apresenta os dados os mapas de NDVI da bacia do rio Piabanha – RJ para o dia 11 de outubro de 2014.

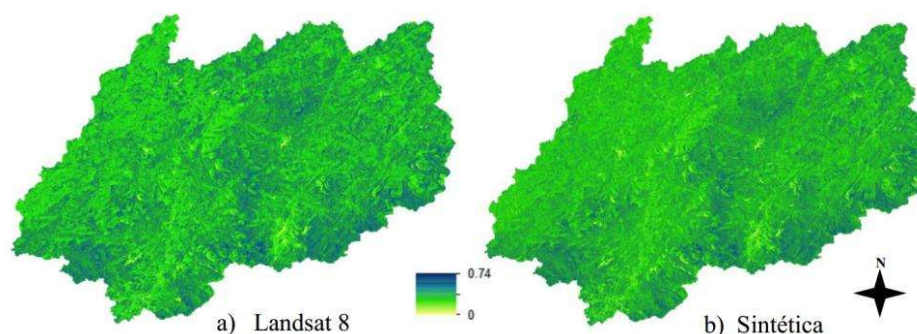


Figura 4 - Mapas de NDVI para a bacia do rio Piabanha: a) Produzido a partir da imagem Landsat 8 coletada no dia 11/10/2014 b) Mapa sintético produzido a partir das imagens MYD09 do dia 25/09 e 11/10/2014 e da imagem Landsat do dia 25/09/2014.

Em uma análise visual da figura 4 é possível verificar uma considerável semelhança entre a imagem NDVI – Landsat 8 e NDVI sintética. Ambas representam as regiões com altos valores de NDVI na parte sudeste da bacia. No entanto, na região noroeste, algumas manchas com um valor mediano de NDVI são negligenciadas pela imagem sintética. Estas diferenças apresentam maior evidência na Figura 5, que retrata os mapas de diferença absoluta e diferença percentual.

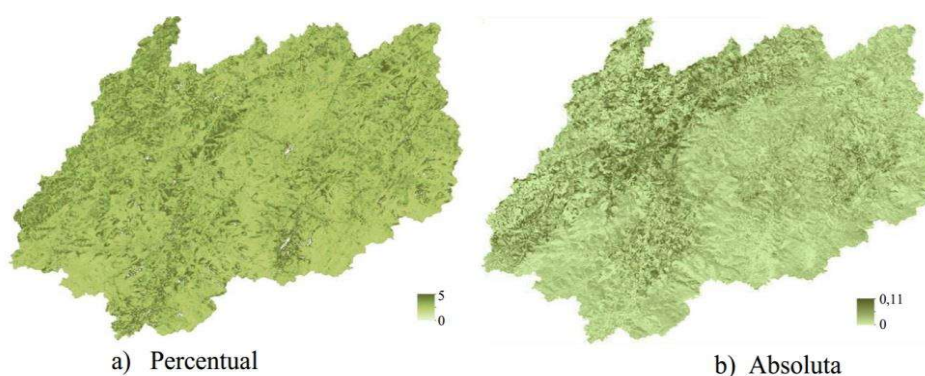


Figura 5 - Diferença percentual (a) e diferença absoluta (b) dos mapas de NDVI-Landsat 8 e NDVI sintético.

Pela figura 5 é possível identificar que as maiores diferenças percentuais ficaram próximas a 5%, e as maiores diferenças absolutas alcançaram 0,11. Em comparação com o mapa de altitudes da figura 2, percebe-se que os maiores erros se encontram nas altitudes mais baixas, onde o terreno possui menores declividades e a cobertura vegetal sofre maior ação antrópica. Isto reflete em valores de NDVI médios e baixos, como pode ser observado na figura 4, sugerindo uma acurácia reduzida do método nessas regiões.

A Figura 6 apresenta o gráfico de dispersão da imagem sintética e da originária do Landsat 8. Nota-se uma maior dispersão nos valores de NDVI entre 0,1 e 0,4, enquanto em valores menores que 0,1 e maiores que 0,5, a dispersão é menor. Estes valores corroboram com a hipótese de menor eficiência do método em regiões de pequenos a médios valores de NDVI. Também é possível notar que a dispersão é relativamente simétrica em relação à linha de tendência, sugerindo que a metodologia não é propensa a sub ou sobre-estimar sistematicamente os valores de NDVI.

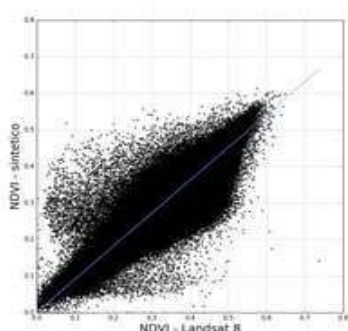


Tabela 1: Descrição estatística dos dados

Valores	NDVI	
	Landsat 8	Sintético
Menor	0,0	0,0
Maior	0,74	0,61
Média	0,22	0,20
Desvio	0,18	0,17
R ²	0,62	

Figura 6 - Dispersão dos valores de NDVI

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas para ambas as imagens. A imagem sintética apresentou um menor desvio padrão e subestimou o valor máximo. Entretanto, os valores médios das duas imagens estão muito próximos. O coeficiente de correlação linear – R² indica uma correlação positiva média a forte. Este resultado é próximo do valor 0,7581 encontrado por Hong et al. (2009) para o NDVI.

4 Conclusão

A metodologia de *downscaling* analisada neste trabalho alcançou um resultado satisfatório, com uma correlação linear de média a forte em relação aos dados de validação. Este resultado demonstra o potencial que a técnica possui, principalmente para estudos em escalas de pequenas bacias hidrográficas, âmbito de estudo deste trabalho. Pesquisas futuras serão realizadas no intuito de construir séries históricas de dados orbitais com resolução espacial do Landsat 8 (30m) e resolução temporal do MODIS (500m). Sendo a próxima etapa analisar a eficiência da metodologia junto a algoritmos para estimação dos fluxos de energia.

5 Agradecimentos

O autor agradece o Serviço Geológico Americano - USGS pela disponibilização gratuita dos dados utilizados neste trabalho.

6 Referências

- Asrar G, Fuchs M, Kanemasu ET, Hatfield SL (1984) Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, *Agronomy Journal*, 76:300-306
- Atkinson PM, Dash J, Jegathan C (2011) Amazon vegetation greenness as measured by satellite sensors over the last decade. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n.19.
- Balaghi R, Tychon B, Eerens H, Jlibene M (2008) Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(4):438–452.
- Barbosa HA, Huete HR, Baethgen WE (2006) A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67(2):288–307.
- Beck PSA, Atzberger C, Hogda KA, Johansen B, Skidmore AK (2006) Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, v. 100(3):321–334.
- Brown ME, Pinzon JE, Didan K, Morisette JT, Tucker CJ (2006) Evaluation of the consistency of Longterm NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and landsat ETM+ sensors.
- Fundação COPPETEC (2010) Estudos Integrados de Bacias Experimentais -Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro: Relatório Técnico Parcial 2. Rio de Janeiro. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE – UFRJ.
- Grist J, Nicholson SE, Mpolokang A (1997) On the use of NDVI for estimating rainfall fields in the Kalahari of Botswana. *Journal of Arid Environments*, 35(2):195–214.
- Gu J, Li X, Huang C, Okin GS (2009) A simplified data assimilation method for reconstructing time-series MODIS NDVI data. *Advances in Space Research*, 44(4):501–509
- Hird JN, Mcdermind GJ (2009) Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques. *Remote Sensing of Environment*, 113(1): 248–258.
- Hong SH, Hendrickx JMH, Borchers B (2009) Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale, *Journal of Hydrology*, 370 (1): 122–138.
- IEEE (2006) *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7): 1787–1793
- Jensen JR (2009) Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 604 p.
- Liang S (2004) Quantitative remote sensing of land surfaces. Hoboken. New Jersey – EUA: John Wiley & Sons, 562p. ISBN: 0-471-28166-2.
- Mas JF (2011) Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio, Morelia, Michoacán – México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 358p
- Meneses PR; Almeida T (2012) Introdução ao processamento de imagem de senso remoto. Brasília: Universidade de Brasília , 276p.
- Mohamed YA, Van den Hurk, BJJM, Savenije HHG (2005) “Hydroclimatology of the Nile: results from a regional climate model”, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2(1):319–364.
- QGIS Development Team. (2009) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>

Plessis WPD (1999) Linear regression relationships between NDVI, vegetation and rainfall in Etosha National Park, Namibia. *Journal of Arid Environments* 42(4):235–260.

Mascarenhas NDD, Correia VRM (1983) Medidas de qualidade de estimadores de proporções de classe dentro de um pixel de imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Rouse JW, Hass RH, Schell, JA, Deering DW, Harlan JC (1974) Monitorin the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation. Maryland – EUA: Texas A&M University. 390p.

USGS. (2015) “Landsat 8 (L8) Data Users Handbook”, *Earth Resour. Obs. Sci. Cent.*, v. 8, n. June, pp. 97. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. Acesso em: 30.out.2016

Wang Q, Tenhunen J, Dinh, NQ, Reichstein M, Vesala T, Keronen P (2004) Similarities in ground- and satellitebased NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. *Remote Sensing of Environment*, 93(1): 225–237.