

Visualização Instantânea de Séries Temporais EVI2-MODIS na América do Sul

Ramon Morais de Freitas ¹
Egidio Arai ¹
Marcos Adami ¹
Arley Ferreira de Souza ¹
Yosio Edemir Shimabukuro ¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff ¹
Fernando Yuzo ¹
Reinaldo Roberto Rosa ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ramon,yosio,adami,egidio,bernardo,yuzo}@itid.inpe.br
reinaldo@dpi.inpe.br
arley@lac.inpe.br

Abstract. This work presents a methodology that uses EVI2 and wavelets transform from MODIS images for instantaneous time-series view and land cover change analysis at South America. Our approach uses MOD13 16 day, 250 meters, surface reflectance images acquired from 2000 to 2009 time period. The EVI2 was computed based on surface reflectance images of red surface reflectance band (620-670 nm bandwidth) and near infrared surface reflectance band (NIR, 841-876 nm bandwidth). In the next step, the Daubechies (Db8) orthogonal Discrete Wavelets Transform was used for de-noising MODIS EVI2 time-series. The filtered signal was reconstructed excluding high frequencies for each pixel in the EVI2 series. This computational procedure allows observing the original signal without clouds and other noises. The time-series were integrated at virtual globe for instantaneous and geographical visualization. The results show that time-series analysis integrated at virtual globe can provide a gain in multitemporal Land Use Land Cover- LULC change analysis and visualization on inter-annual EVI2 variability patterns.

Palavras-chave: MODIS, wavelets, time-series analysis, virtual globe, transformada wavelets, análise de séries temporais, globos virtuais.

1. Introdução

Ao longo da última década a utilização de dados multi-temporais em sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta eficaz e cada vez mais necessária para o monitoramento dos recursos naturais da Terra. Os conjuntos de séries temporais derivadas de sensoriamento remoto têm permitido o monitoramento espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo em escalas temporais antes não possíveis. Recentemente, tais estudos vêm ganhando maior atenção da comunidade científica, uma vez que os ecossistemas terrestres exercem um controle nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, que por sua vez influenciam significativamente os sistemas climáticos através de propriedades radiativas dos gases de efeito estufa e outros gases reativos (Defries et al., 2004).

O lançamento de novos sensores orbitais e a aquisição contínua de imagens da superfície terrestre tem forçado a comunidade de sensoriamento remoto a um novo paradigma no tratamento de dados. Plataformas orbitais e missões multisensores têm proporcionado cada vez mais fontes e volume de dados a esta comunidade. As séries temporais de imagens que antes se limitavam a sensores de baixa resolução espacial como, por exemplo, as dos sensores Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR, a bordo dos satélites da série National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, sensor Vegetation a bordo do satélite SPOT, apresentaram uma revolução com o lançamento em 1999 do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS a bordo dos satélites Terra (EOS-AM1) e Aqua (EOS-PM1) da National Aeronautics and Space Administration-NASA. Além do projeto do sensor a NASA e um consórcio de pesquisadores se preocuparam em fornecer

produtos de imagens validados com melhoria na resolução espacial e radiométrica, qualidade geométrica dos dados e série temporal padronizada de todos seus produtos desde o ano de 2000 (Justice et al., 2002).

A análise de séries temporais em sensoriamento remoto que antes era restrita aos estudos globais em oceanografia e atmosfera hoje são uma realidade no sensoriamento da superfície terrestre, principalmente relacionadas as questões de mudança no uso e cobertura da terra (Lambin e Linderman, 2006). Uma variedade de técnicas de análise de séries temporais tem sido empregada na área de observação da Terra. Na literatura da área de sensoriamento remoto a nomenclatura de análise de séries temporais aplica-se desde visualização e classificação multi-temporal imagens até ao emprego de técnicas de dinâmica não linear em séries históricas de dados. No campo ecológico, a análise de séries temporais tem permitido novas especulações sobre padrões fenológicos da vegetação, como por exemplo, o crescimento da floresta amazônica no período seco (Huete et al., 2006). Em escalas globais programas como o Global Land Cover Facility (GLCF, glcf.umiacs.umd.edu) são provedores de dados de sensoriamento e produtos para quantificação da mudança de uso e cobertura do solo no globo. Em escalas regionais, programas do INPE como o DETER (<http://www.obt.inpe.br/deter>) e PRODES (<http://www.obt.inpe.br/prodes>) tem auxiliados políticas de governo no combate e quantificação da área desflorestada na Amazônia brasileira. Novas abordagens utilizando ferramentas como transformada wavelets permitiram estudos da variabilidade inter-anual da vegetação e sua relação com anos de El-Niño (Li e Kafatos, 2002) e determinação de padrões fenológicos em culturas agrícolas (Sakamoto et al., 2005).

Embora vários trabalhos tratem da análise de séries temporais MODIS, a disponibilização dessas séries para grandes áreas ainda envolvem etapas de pré-processamento e recursos computacionais que nem sempre estão ao alcance do usuário final. A integração de séries temporais de uso e cobertura do solo com globos virtuais como o GoogleMaps (<http://maps.google.com/>), Google Earth (<http://earth.google.com/>) and Microsoft Virtual Earth (<http://www.microsoft.com/maps/>) ainda não são comuns dada restrições no armazenamento de dados e a falta de uma arquitetura computacional específica para integração de séries temporais. Nesse contexto esse trabalho tem o objetivo de mostrar a potencialidade da análise de séries temporais de produtos MODIS integradas a um globo virtual como ferramenta de suporte a problemas de uso e cobertura da terra.

2. Materiais e Métodos

Este trabalho envolve a aquisição de imagens MODIS para toda América do Sul, uma área de superfície de aproximadamente 18.000.000 km² que corresponde a 12% da superfície terrestre. A região é caracterizada por diversos biomas desde florestas tropicais, caatinga, campos. No campo do uso e cobertura da Terra destacam-se processos antrópicos de conversão de áreas de floresta natural para pastagem e agricultura nos biomas cerrado e amazônico, bem como a intensificação da agricultura em região sub-tropicais para produção de alimentos e biocombustível.

As imagens MODIS utilizadas neste trabalho foram adquiridas no portal Warehouse Inventory Search Tool WIST da NASA (<https://wist.echo.nasa.gov>). O produto selecionado foi o MOD13Q1 Índice de vegetação composição de 16 dias com 250 metros de resolução espacial adquirido de julho de 2000 a dezembro de 2009.

Um total de 29 Tiles foi utilizado para cobertura de toda América do Sul. Todos os produtos são da coleção 5 de processamento, pois, são algoritmos já validados. As imagens estão na projeção sinusoidal com datum WGS84 e no formato HDF. Todas as bandas foram reprojatadas para projeção geográfica com o mesmo datum, porém no formato Geotiff. Esta conversão visa à portabilidade dos dados entre os demais softwares utilizados. O total aproximado de 116 Gb para o armazenamento de cada série temporal por banda espectral.

Com o objetivo de ressaltar as variações da vegetação, foi calculado o índice de vegetação EVI2 (Jiang et al., 2008) utilizando as bandas do vermelho e infravermelho próximo dado por:

$$EVI2 = 2,5 * \frac{NIR - Red}{(NIR + 2,4 * Red + 1)} \quad (1)$$

Onde NIR é a refletância na banda do infravermelho próximo (banda 2 do MODIS) e Red (banda 1 do MODIS) a refletância na banda do vermelho. Este índice apresenta comportamento similar ao tradicional índice EVI que possui melhor sensibilidade em área com alta biomassa como a região da floresta amazônica. Além das bandas de refletância foram processadas as bandas de ângulo de visada e refletância da banda do azul. Essas últimas duas foram utilizadas como máscara para uma pré-filtragem das séries MODIS.

Seguindo as metodologias propostas por Sakamoto et al. (2005) e Wardlow et al. (2007) foi elaborada uma regra de filtragem para a série de imagens MODIS, para cada valor de refletância na banda do azul maior que 10% ou ângulos de visada maiores que 30° foram eliminados da séries. Esse processamento é fundamental uma vez que a série de imagens apresenta ruídos dado o algoritmo de composição e principalmente a presença de nuvens e sombra de nuvens dada pela intensa cobertura de nuvens em determinadas épocas do ano. Ângulos de visada maiores que 30° representam uma área na superfície muito grande o que causa grande mistura espectral na resposta do pixel.

Antes do procedimento de filtragem as séries foram interpoladas utilizando a informação da data do pixel de cada imagem composição, esse procedimento permitiu elaborar séries igualmente espaçadas no tempo, procedimento necessário na maioria dos métodos de filtragem de séries temporais. Para filtragem das séries de cada série temporal MODIS, foi utilizada a transformada wavelets seguindo a metodologia proposta por Freitas e Shimabukuro (2008). A decomposição do sinal por wavelets permite eliminar as altas frequências, normalmente associadas à presença de ruídos.

A transformada waveltes é dada por (Meyer, 1992) :

$$Wf(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (2)$$

Onde a é o parâmetro de escala e b o parâmetro de translação, $f(x)$ a função a ser transformada, no caso deste trabalho a série temporal e Ψ a função ondaleta mãe. Dado que a função não é contínua é necessário trabalharmos na forma discreta, em que assumimos valores discretos de $(a,b)=(2^m,2^n,k)$, onde m,n e k são valores inteiros e limitados pelo comprimento da série e que permitem a expansão da wavelet mãe em outras escalas.

A Transformada Wavelet Discreta (TWD) decompõe um sinal discretizado em diferentes níveis de resolução. A TWD é definida na equação 3 é uma função de mapeamento de um sinal digital discreto em uma seqüência de coeficientes.

$$TWD(m,k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n^k x(n) \psi\left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3)$$

Em que $\psi(\cdot)$ é a wavelet-mãe e os parâmetros de escala a e de translação b são funções de um parâmetro inteiro m , em que, $a = a_0^m$, e $b = nb_0 a_0^m$, isto permite a expansão da família originada pela wavelet-mãe, gerando wavelets filhas. Nesta equação 3, k é uma variável inteira que se

refere ao número de amostras de um determinada sinal de entrada, dependendo então do comprimento do sinal.

A implementação da função discreta é realizada através de algoritmos recursivos de filtros passa baixa e passa alta frequência. Para cada sinal decomposta na J ésima escala o sinal é uma relação de coeficiente de detalhes (D), dado por filtros passa-alta e aproximações (A) dado por filtros passa-baixa.

$$f(t) = A(t) + \sum_{i=1}^J D_i(t) \quad (4)$$

A wavelets discreta mãe de Daubechies (Figura 1) foi utilizada nesta etapa, esta função é ortogonal, o que garante que o sinal decomposto seja reconstruído sem a presença de resíduos devida assimetrias da função mãe. Neste procedimento cada conjunto de pixels da imagem no vetor t , em que t é a data de cada imagem e varia 1 a 256, foi decomposto em 8 escalas diferentes. A série foi reconstruída utilizando as 5 maiores escalas, ou seja, os sinais decompostos que apresentam as menores frequências. As altas frequências foram eliminadas por estarem geralmente associadas à presença de ruídos e respostas espectrais contaminadas por nuvens e sombras.

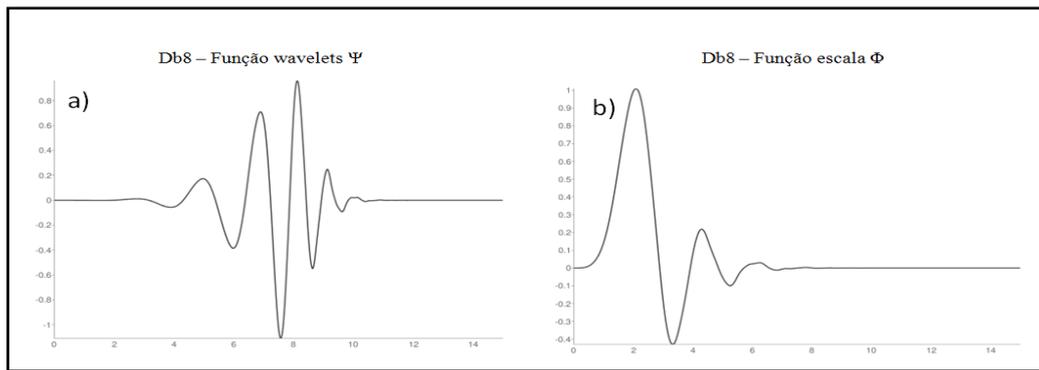


Figura 1 – Wavelets utilizada na decomposição das series. a) Função wavelets mãe Db8; b) Função de escala Db8.

Mais 250 milhões de series temporais foram filtradas para toda a America do sul, o que envolveu um esforço computacional considerável, com mais de 60 dias de processamento em 3 computadores pessoais com sistema linux. Cada série filtrada foi integrada a globo virtual (GoogleMaps) através de ferramentas de programação web e um servidor de dados específico. A partir disso foi construído um portal para acesso as séries temporais de EVI2 processadas (<http://www.dsr.inpe.br/laf/series.html>). Para cada chamada no globo virtual é recuperada instantaneamente duas séries temporais de EVI2 mais próxima a coordenada geográfica, a série original e a série filtrada. Além da recuperação das séries temporais, utilizando o modelo de elevação do globo virtual, foi construída uma ferramenta para avaliar a anisotropia do relevo a partir da coordenada geográfica selecionada. Esta ferramenta consiste em um simples gráfico polar da elevação em torno de dois raios amostrais, isso permite ter uma rápida visualização do relevo ao redor do ponto selecionado.

3. Resultados e Discussão

Nessa seção são exemplificadas algumas das potencialidades da visualização instantânea das séries temporais MODIS caracterizando processos de desflorestamento e dinâmica do uso e cobertura do solo.

A Figura 2 apresenta uma série de EVI2 para uma região amazônica de grande pressão antrópica, trata-se de uma área no município de Feliz Natal-MT que foi desflorestada no ano de 2004. Nesta Figura é possível observar várias regiões desflorestadas em uma região de floresta (Fig. 2-a). Na Figura 2-b observa-se a elevação média ao ponto escolhido, no caso variando entre 354 a 360 metros, sem variação brusca desta elevação, caracterizando uma área plana. Na Figura 2-c apresenta o comportamento do EVI2 ao longo do tempo, o processo de desflorestamento ocorreu no ano de 2004 em que o índice detecta a perda de biomassa devido ao processo de desflorestamento, valores de EVI2 decrescem. No período de 2005 a 2007 não ocorreu recuperação da vegetação, com uma baixa resposta durante esse período. Nos anos de 2007 e 2008 ocorre uma resposta espectral típica de áreas agrícolas, com um rápido incremento no valor do índice de vegetação e ciclos curtos bem definidos. A série azul representa os dados originais e a série vermelha é a filtrada usando a transformada wavelets. Essa última série representa a suavização da série original eliminando assim altas frequências que possivelmente estão associadas a ruídos.



Figura 2 - a) Imagem híbrida do GoogleMaps; b) Gráfico polar da elevação no entorno do ponto selecionado; c) Série temporal do EVI2 da coordenada selecionada;

A Figura 3 mostra o comportamento de uma região desflorestada em 2004 na região do Parque Nacional do Xingu-MT cujo comportamento posterior o EVI2 não indicam o uso agrícola, tratando-se de um comportamento similar a áreas de pastagem, com ciclos fenológicos bem definidos e valores não muito elevados de EVI2 < 0,6. Também é possível verificar que o processo de desflorestamento iniciou-se no primeiro trimestre de 2004 com rápido corte raso da floresta.

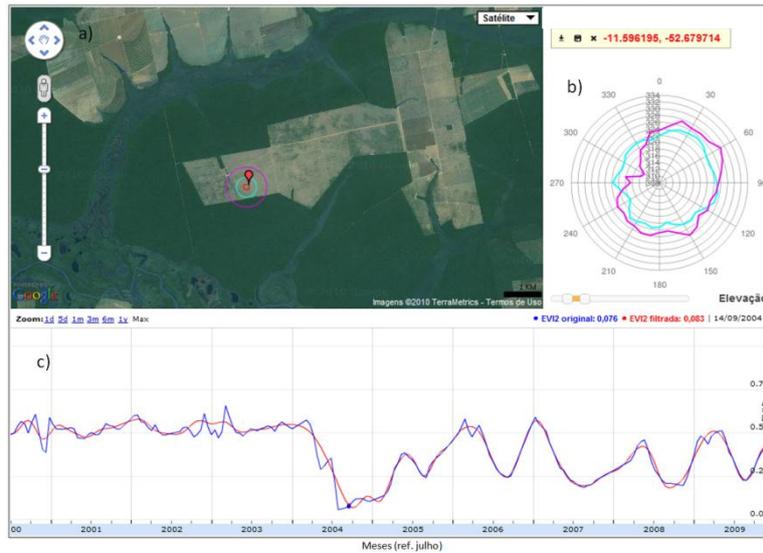


Figura 3 - a) Imagem híbrida do GoogleMaps; b) Gráfico polar da elevação no entorno do ponto selecionado; c) Série temporal do EVI2 da coordenada selecionada;

A Figura-4 apresenta uma região do estado de São Paulo típica da cultura de cana-de-açúcar, pelo gráfico (Fig. 4-c) é possível perceber a dinâmica de 9 anos-safra do uso e cobertura do solo dessa área. Nos anos de 2001-2002 ocorre o plantio de uma cana-de-açúcar de ano e meio, com duração do ciclo fenológico de 1,5 anos. A partir do primeiro corte em 2002 essa cana tem o ciclo possui o ciclo de 1 ano, quando entre os anos de 2007 e 2008 é substituída por outra cultura, um manejo típico para correção do solo e melhora da produtividade. No ano seguinte em 2008 ocorre novamente o plantio da área de cana, dessa vez com o ciclo de apenas 1 ano.

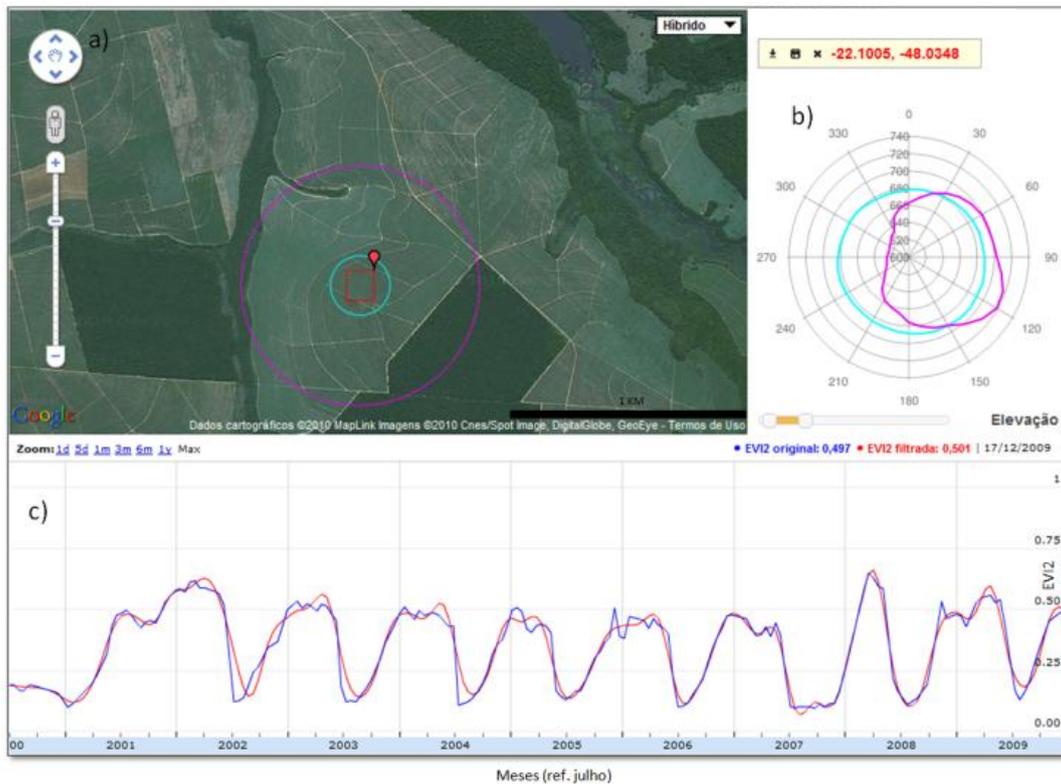


Figura 4 - a) Imagem híbrida do GoogleMaps; b) Gráfico polar da elevação no entorno do ponto selecionado, ponto 1; c) Série temporal do EVI2 para área de cana-de-açúcar;

A Figura 5 apresenta um exemplo de cobertura do oeste da Bahia, uma fronteira agrícola na área de cerrado caracterizada por grandes propriedades e o plantio de soja, milho, algodão e café. Nesta figura, observamos o comportamento típico de 3 séries temporais (Fig- 5-c a 5-e). Na Figura 5-c o comportamento típico de uma área de cerrado dessa região, com valores de EVI2 baixos e pequenas amplitudes na fenologia. A Fig. 5-d apresenta uma área cujo cerrado foi convertido para agricultura na safra de 2007-2008. Nesse período há o incremento na amplitude do índice dado pela homogeneidade e aumento da biomassa da área agrícola. Na Figura 5-e, a substituição da área de cerrado por agricultura ocorre entre os anos de 2002 e 2003. A partir desses anos existem safras agrícolas com variabilidade na amplitude no índice EVI2, fato que pode está associados ao tipo e manejo do solo e da cultura, bem como pelo regime hídrico no período.

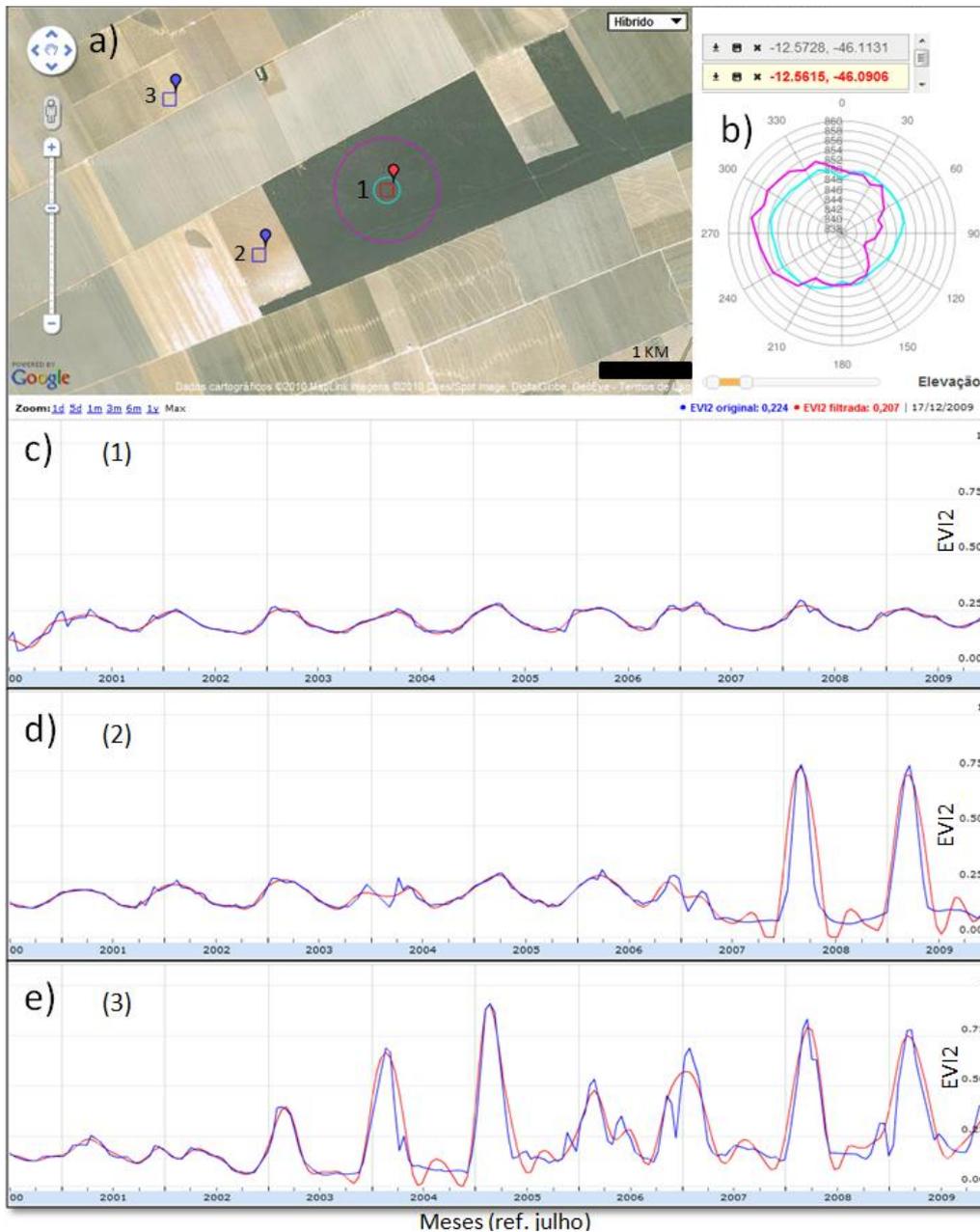


Figura 5 - a) Imagem híbrida do GoogleMaps; b) Gráfico polar da elevação no entorno do ponto selecionado, ponto 1; c) Série temporal do EVI2 para área de cerrado ponto 1; d) Série temporal do EVI2 para área de cerrado desmatada em 2007, ponto 2; e) Série temporal do EVI2 para área de cerrado desmatada em 2003 ponto 3;

4. Conclusões

Esse trabalho apresentou os resultados preliminares de um projeto proposto para visualização instantânea de séries temporais de índice de vegetação EVI2 MODIS para toda região da América do Sul. O resultado de filtragem de séries EVI2 usando a transformada wavelets representa um potencial uso para extração de novas métricas que explorem fase e amplitude ao longo de um ciclo fenológico dada a eliminação de ruídos de alta frequência. Este trabalho apresentou possíveis aplicações da metodologia, como a verificação da data de desflorestamento bem como estudo da dinâmica do uso e cobertura do solo após uma conversão do uso do solo. Aplicações por exemplo na área de mapeamento da cultura de cana-de-açúcar podem ajudar a entender a dinâmica dessas áreas bem como o histórico do uso e cobertura de áreas de recém convertidas. No que tange a integração com globos virtuais como o Googlemaps, o trabalho apresentou uma inovação, pois permite o acesso público e instantâneo a uma série temporal de 10 anos de dados MODIS em qualquer coordenada geográfica da América do Sul. Trabalhos futuros se concentraram em fornecer parâmetros de qualidades associados a cada curva, bem como a construção de um laboratório virtual de análise de séries temporais MODIS, com ferramentas e algoritmos customizados para cada tipo de aplicação.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências CAPES, FAPESP e CNPq por suporte parcial ao trabalho, bem como ao INPE (Coordenação de Observação da Terra -OBT, Divisão de Sensoriamento Remoto-DSR e Laboratório de Agricultura e Floresta-LAF) pela infraestrutura e suporte computacional.

Referências Bibliográficas

- DeFries, R. S. , Asner G. P., Houghton R. A., **Ecosystems and Land Use Change**. American Geophysical Union, Washington, DC. 2004
- Freitas R. M., Shimabukuro, Y. E.. Combining wavelets and linear spectral mixture model for MODIS satellite sensor time-series analysis, **JCIS - Journal of Computacional Interdisciplinary Sciences**, v. 1, p. 51-56, 2008.
- Huete, A. R.; Didian K.; Shimabukuro Y. E.; Ratana P.; Saleska S. R.; Hutyrá L. R.; Yang W.; Nemani R. R.; Mynemi R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season, **Geophys. Res. Lett.**, v33, 2006.
- Jiang Z. , Huete A. R., Didan K., Miura T. Development of a two-band Enhanced Vegetation Index without a blue band, **Remote Sensing of Environment**, 112(10), p 3833-3845. 2008.
- Justice, C. O.; Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F.; Masuoka, E.; Wolfe, R.E.; Saleous, N.; Roy, D.P.; Morisette, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3-15, 2002.
- Lambin, E.F.; Linderman, M. Time series of remote sensing data for land change science. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n.7, p. 1926–1928, July 2006.
- Li Z.; Kafatos M.. Interannual Variability of Vegetation in the United States and Its Relation to El Niño/Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, n. 3, p. 239-247, 2000.
- Meyer Y., **Wavelets and operators**, Cambridge Studies in Advanced Math.,vol. 37, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1992, 223 p.
- Sakamoto T.; Yokozawa M.; Toritani H.; Shibayama M.; Ishitsuka N. ; Ohno H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v, 96, n. 3-4,p. 366-374, 2005.
- Wardlow, B. D., Egbert, S. L., & Kastens, J. H. Analysis of time-series MODIS 250m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p 290–310. 2007.