

# JTIMESAT: uma ferramenta para a visualização de séries temporais de imagens de satélite

Fernando Luiz Prochnow Ramme<sup>1</sup>  
Rubens Augusto Camargo Lamparelli<sup>2</sup>  
Jansle Vieira Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI / UNICAMP  
Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - Distrito de Barão Geraldo - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
framme@hotmail.com, jansle.rocha@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI / UNICAMP  
Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - Distrito de Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
rubens@cpa.unicamp.br

**Abstract.** This paper describes the development of a tool for viewing time series MODIS NDVI 8-day in sugarcane fields in São Paulo State. The data obtained from sugarcane farms consisted of historical data about yields, soil and variety at field level, cartesian location of the each pixel for each subregion monitored, pixel value from red surface reflectance, nir surface reflectance and quality control bands from MODIS images, geographical boundary box for each subregion. All data were integrated in a database. The tool was implemented using *Java Standard Edition* language in a client/server software architecture. The client software connects in server database over *Java Database Connectivity* protocol. The curve shape from MODIS NDVI 8-day is cleaned from noises and smoothed with the *Savitzky-Golay* filter. The software developed allowed a fast and automatic way of analysing sugarcane phenological patterns.

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

## 1 Introdução

Índices de vegetação podem ser definidos como a combinação de dados de duas ou mais bandas espectrais, selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação. Na prática, a importância dos índices de vegetação está em sua estreita correlação com vários parâmetros biofísicos da vegetação, ou seja, na possibilidade de se estimar parâmetros como o índice de área foliar (IAF), biomassa vegetal, produtividade e atividade fotossintética. Pode-se acrescentar, ainda, a correlação dos índices de vegetação com outros parâmetros, como a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PAR) ou a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel ( $fAPAR$ ) (EPIPHANIO e HUETE, 1994), e a porcentagem de cobertura verde (COV) (ELVIDGE e CHEN, 1995). A biomassa verde de uma comunidade de plantas pode ser diretamente relacionada ao índice de área foliar (TURNER et al., 1999) que por sua vez é positivamente correlacionado com a quantidade de clorofila por unidade de área e, também, com o grau de recobrimento do solo.

A normalização proposta por ROUSE et al. (1973) visou eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica e o problema das interferências do solo na resposta da vegetação, observados para dados multitemporais. Com esta normalização, a partir dos valores de refletância de superfície obtidos da composição das bandas do vermelho (RED) e infravermelho-próximo (NIR), obtém-se o índice NDVI que está contido em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1. Para esse índice, adota-se a seguinte expressão:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Este artigo tem o objetivo de obter o perfil temporal NDVI de forma automática, através de um software, a fim de analisar os padrões de formato das curvas existentes na fenologia da cultura da cana-de-açúcar.

## 2 Material e Métodos

A região monitorada no trabalho compreende algumas fazendas localizadas em torno dos municípios Irapuã e Borborema, no estado de São Paulo. A área de estudo possui coordenadas geográficas dos cantos: inferior direito LAT/LONG ( $-23,22^\circ$  ;  $-46,86^\circ$ ) e superior esquerdo LAT/LONG ( $-20,69^\circ$  ;  $-49,62^\circ$ ), na projeção Geográfica, *datum WGS-84* (Figura 1). A cana-de-açúcar (Dillewijn, 1952) é a cultura utilizada como estudo de caso no trabalho.



Figura 1: Localização da área de estudo do trabalho

O banco de dados do trabalho é constituído de 3 esquemas: 1) *schUsina*; 2) *schRegião*; e 3) *schPixel*. No esquema *schUsina*, os dados das safras de 2004/05 e 2005/06 foram obtidos da usina de cana-de-açúcar (Usina São Martinho Açúcar e Álcool S/A) para cada talhão: identificação do talhão, variedade, solo, fazenda, data de plantio, data de corte, produtividade e estágio da cana. No esquema *schRegião*, os dados de localização (cartesiana, expressa em X e Y) dos pixels selecionados para o monitoramento temporal estão armazenados. No esquema *schPixel*, a evolução temporal dos dados das bandas de refletância de superfície do vermelho (*RED*), de refletância de superfície do infravermelho próximo (*NIR*) e de controle de qualidade (*QC*) estão disponíveis para que a ferramenta (software cliente) realize consultas via linguagem *Structured Query Language (SQL-92)* ao servidor onde encontra-se o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) *PostgreSQL*.

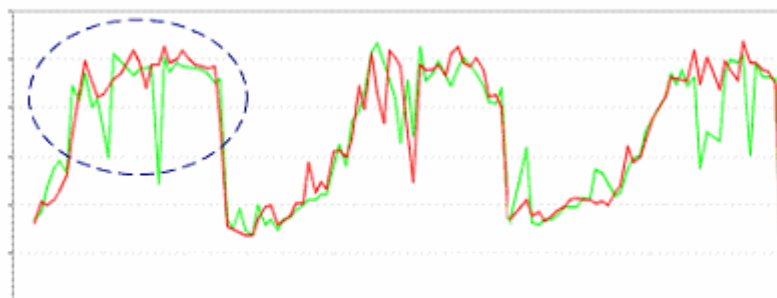
O esquema *schPixel* é constituído pelos conceitos: imagem e imagem\_qc. A entidade imagem é responsável por armazenar o valor de cada pixel para cada banda da imagem MODIS, e relacioná-lo: ao identificador único da micro-região, ao código do produto-imagem, a um identificador incremental de seqüência do pixel na micro-região e a data da imagem MODIS. A entidade imagem\_qc é responsável por armazenar os valores de controle de qualidade (*Quality Control - QC*) avaliados posteriormente de cada pixel da banda QC das imagens MODIS. As seguintes características de qualidade do pixel são armazenadas na entidade imagem\_qc para posterior utilização em filtragem dos ruídos: avaliação da qualidade de imageamento do pixel da superfície da terra, qualidade referente a presença de nuvens, qualidade de imageamento do pixel na banda vermelho, qualidade de imageamento do pixel na banda infravermelho próximo, qualidade da correção atmosférica e a qualidade da correção dos efeitos provocados pelos pixels da adjacência.

Durante a consulta aos dados do perfil temporal NDVI contidos no banco de dados, esquema *schPixel*, é requerido realizar uma filtragem dos dados e posterior suavização da forma de curva obtida com os dados da série temporal. A filtragem dos dados consiste em remover ruídos, pixels com valores de NDVI espúrios, de forma a promover uma evolução suave do perfil temporal NDVI MODIS. Neste trabalho, são considerados ruídos os distúrbios ou deformações bruscas e isoladas temporalmente no comportamento do alvo em estudo (cana-de-açúcar), ao longo do ciclo da cultura no perfil NDVI analisado. Estes ruídos podem

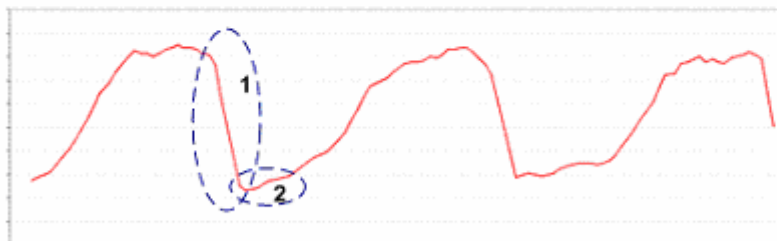
ocorrer na evolução do perfil NDVI devido a diversos fatores, tais como a presença de nuvens no imageamento do pixel, sombra provocada pelas nuvens nos pixels da adjacência, qualidade ruim no imageamento do pixel nas bandas RED e NIR, fumaça, chuva e ventos fortes.



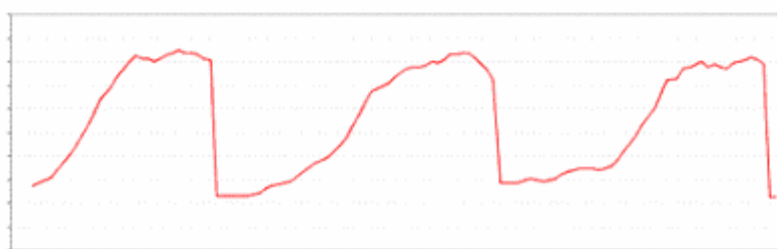
(a) Dados brutos NDVI MODIS/TERRA e NDVI MODIS/AQUA



(b) Dados NDVI MODIS/TERRA e NDVI MODIS/AQUA, filtrados com QC



(c) Dados NDVI MODIS/TERRA, filtrados com QC, remoção *Outliers*, suavização com Savitzky-Golay



(d) Dados NDVI MODIS/TERRA, filtrados com QC, remoção *Outliers*, suavização com Savitzky-Golay, correções 1 e 2

Figura 2: Suavização de ruídos presentes no perfil temporal NDVI MODIS

A fim de alcançar uma forma de curva que traduza o comportamento do alvo (cana-soca) em estudo, minimizando a influência de ruídos, as seguintes etapas são empregadas: 1) emprego de um limiar superior (0.92) e inferior (0.20) para o NDVI, a fim de descartar a influência da saturação do NDVI e do solo/palha; 2) uso da banda de controle de qualidade (QC), a fim de descartar valores de pixels com incertezas de qualidade, referente ao imageamento e correção atmosférica, não imageados e contaminados com nuvem; 3) eliminação de valores discrepantes (*outliers - hikes e drops*), possivelmente provocados por eventos naturais, tais como a influência da chuva sobre a resposta espectral da planta e ventos fortes, do meio-ambiente ou provocados pelo ser humano, tal como a fumaça; e 4) suavização

do perfil temporal NDVI MODIS em cada safra através do filtro *Savitzky-Golay* (Chen et al. 2004; Savitzky & Golay, 1964). A ilustração (a) da Figura 2 apresenta o perfil temporal NDVI MODIS, satélites AQUA e TERRA, de três safras para a cana-soca, caracterizados pela presença de ruídos. A ilustração (b) da Figura 2 apresenta o perfil temporal NDVI MODIS após o emprego da filtragem com os dados da banda *QC*, evidenciando que ainda há ruídos na forma de curva. O corte da cana-de-açúcar nos talhões ocorre de forma gradual (ao longo de vários dias), portanto, também é necessário identificar o período de início e término de corte (identificação '1' da ilustração 'c' da Figura 2) a fim de representar adequadamente a forma de curva. Da mesma forma, logo após o corte da cultura da cana-de-açúcar, o solo exposto e a presença de palha da cana-de-açúcar no solo (identificação '2' da ilustração 'c' da Figura 2) influenciam os valores de NDVI e conseqüentemente, também é importante representar adequadamente a forma de curva neste período. A ilustração (d) da Figura 2 apresenta o resultado final obtido com a forma de curva do perfil temporal NDVI MODIS após o emprego de todas as etapas de filtragem e suavização dos dados.

Durante a etapa de identificação de valores discrepantes, os quais influenciam negativamente no aspecto da forma de curva pela técnica de suavização dos dados pelo filtro *Savitzky-Golay*, uma janela temporal percorre os valores de NDVI de uma safra de cana-soca e ao identificar uma variação significativa no valor corrente analisado, em função dos dados anteriores, do ciclo fenológico da cultura e da tendência dos próximos valores, descarta-se o dado corrente caso este apresente uma variação percentual superior a 20% no valor NDVI no período de 8 dias (tempo entre uma imagem e outra neste trabalho). Este dado descartado é classificado como um valor contendo ruído, provavelmente provocado por algum fenômeno natural pontual naquela data de imageamento, e não é atribuído destaque para fins de análise do perfil NDVI ao longo do ciclo fenológico de uma safra da cana-de-açúcar. Como a data de corte é um dado que é conhecido (dado obtido da usina de cana-de-açúcar), é possível, temporalmente, detectar variações representativas nos valores individuais dos pixels, na data de imageamento anterior e posterior a data de corte da cultura da cana-de-açúcar. A partir da variância entre os pixels dos valores NDVI no período (data anterior e data posterior) entre a data de corte, é possível identificar quantos dias, efetivamente, a composição NDVI dos talhões, agrupados em uma determinada micro-região foram influenciados durante o corte da cana-de-açúcar.

### **3 Resultados e Discussão**

A exibição gráfica do perfil temporal NDVI MODIS, ilustrado na Figura 2, é realizada de forma automática, através de programa desenvolvido no trabalho em linguagem de programação *Java Standard Edition*, nomeado *JTIMESAT* ou *Java Time Series of Satellite Images*, a partir dos dados refletância de superfície na banda do vermelho e refletância de superfície na banda do infravermelho próximo, do produto MOD09Q1, contidos no esquema *schPixel* do banco de dados do trabalho. O software realiza a filtragem de ruídos detectados no perfil temporal NDVI e suaviza a respectiva forma de curva representativa de um ciclo fenológico da cana-soca. Neste trabalho não são consideradas as influências da declividade do terreno, da luz solar e do clima, tais como a temperatura, a precipitação, e os ventos.

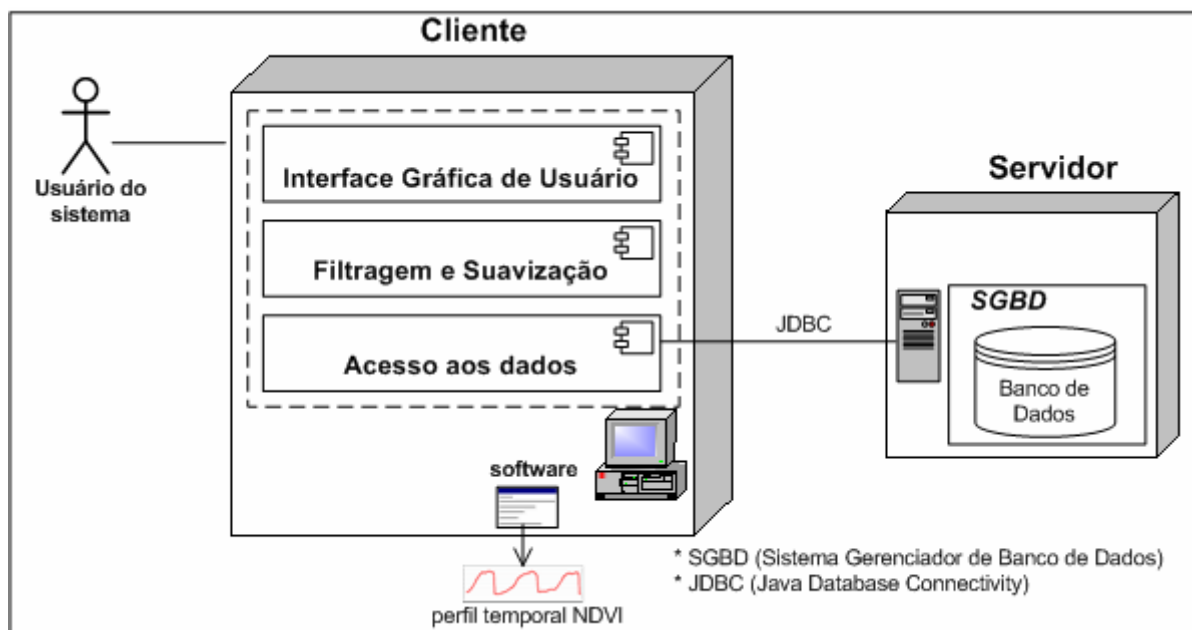


Figura 3: Arquitetura do software para a exibição gráfica do perfil temporal NDVI MODIS

A arquitetura do software (*Client/Server*), ilustrada na Figura 3, compreende o aplicativo *TIMEMODIS-SV* utilizado para a visualização do perfil temporal NDVI a partir dos dados obtidos do sistema gerenciador de banco de dados relacional (*Relational Database Management System – RDBMS*). O aplicativo *TIMEMODIS-SV* foi desenvolvido de forma modular em componentes de software (adoção de *design patterns* tais como *Data Access Object*, *Transfer Object*, *Abstract Factory*, *Factory Method*, *Facade*, *Model-View-Controller*) e é constituído de três camadas de software: 1) visualização gráfica; 2) filtragem de ruídos e suavização da forma de curva; e 3) acesso aos dados do banco de dados. A comunicação entre o cliente (*TIMEMODIS-SV*) e o servidor (*RDBMS PostgreSQL*) ocorre através do protocolo de comunicação *Java Database Connectivity* (sobre *TCP/IP*). As consultas são enviadas ao servidor através da linguagem de consulta *SQL-92*, que as processa e retorna apenas os dados solicitados, deixando a carga maior do processamento ao servidor. A consulta a uma determinada forma de curva requer como parâmetros básicos: a identificação da micro-região desejada e o ano (safra) da cultura. Através do software, também é possível selecionar se as filtragens dos dados são requeridas, se é desejável a suavização da forma de curva com o filtro *Savitzky-Golay* e se é desejável obter uma sub-assinatura (um determinado período interno ao ciclo fenológico da cultura da cana-de-açúcar).

A utilização da banda *QC* na filtragem dos dados demonstrou não ser o suficiente para capturar todos os ruídos presentes nas imagens NDVI MODIS na resolução temporal 8 dias, para a cultura da cana-de-açúcar. Portanto, para obter uma forma de curva que represente de maneira suave a evolução do perfil NDVI na cultura da cana-de-açúcar, é necessário combinar várias etapas de filtragem, conforme apresentadas neste trabalho. O filtro *Savitzky-Golay* demonstra-se ser uma eficiente abordagem para a suavização dos dados, contudo, valores discrepantes significativos influenciam na forma de curva e, portanto, devem ser previamente tratados para possibilitar a apresentação de uma forma de curva mais natural ao comportamento do alvo em estudo neste trabalho – a cultura da cana-de-açúcar.

O corte da cana-de-açúcar nos talhões, ocorre de forma gradual, ao longo de vários dias, portanto, também é necessário identificar o período de início e término de corte a fim de representar adequadamente a forma de curva. Da mesma forma, logo após o corte da cultura da cana-de-açúcar, o solo exposto e a presença de palha da cana-de-açúcar no solo influenciam os valores de NDVI e conseqüentemente, também é importante representar

adequadamente a forma de curva neste período. Os autores Jönsson e Eklundh (2004) desenvolveram um programa para analisar dados de séries temporais de sensoriamento remoto orbital, no entanto, o software não incorpora as particularidades específicas da fenologia da cultura da cana-de-açúcar. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos pelos autores Jönsson e Eklundh (2004) com o método *Savitzky-Golay* para a suavização dos dados de uma região de vegetação de ciclo anual. Como pode ser observado na Figura 4, uma suave queda do formato da curva ocorre durante a fase de corte da cultura, e portanto, os autores Jönsson e Eklundh (2004) não fazem considerações ao período de corte e a influência do solo exposto ao formato da curva no período de colheita.

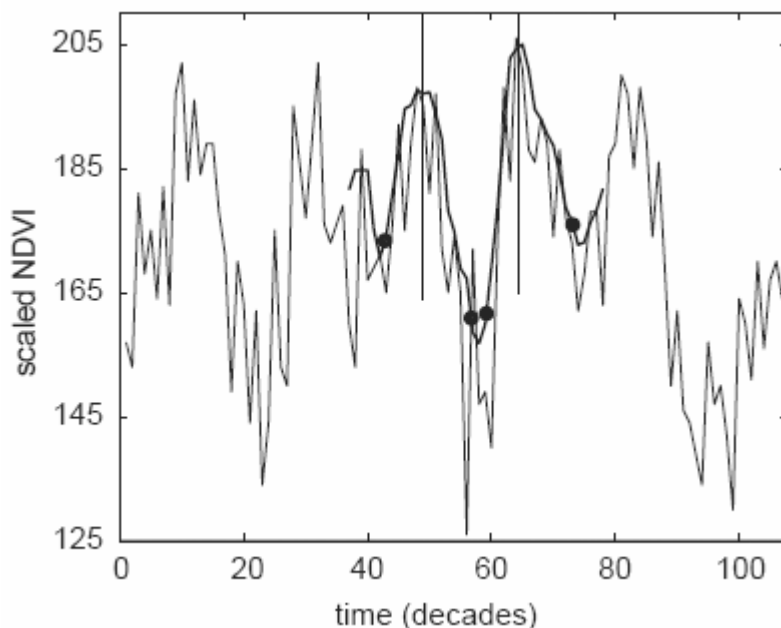


Figura 4: Ruídos na série temporal de uma região de vegetação de ciclo anual e o respectivo método Savitzky-Golay para a suavização dos dados  
 Fonte: Jönsson e Eklundh (2004)

#### 4 Conclusões

O software *JTIMESAT* desenvolvido com o objetivo de obter formas de curvas (perfil temporal NDVI), possibilitou de maneira automática e rápida inspecionar padrões existentes na fenologia na cultura da cana-de-açúcar.

#### Referências Bibliográficas

- CHEN, Jin; et al. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n.3-4, p. 332-334, 2004.
- DILLEWIJN, Cornelis Van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botânica Co., 1952.
- ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. **Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v. 54, n.1, p. 38-48, 1995.
- EPIPHANIO, J. C. N.; HUETE, A. R. Influence of sun-view geometries on the relationships among vegetation indices, LAI, and absorbed PAR. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Surface and Atmospheric Remote Sensing, Pasadena, 1994. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, v.3, p.1455-1457, 1994.

GSFC/NASA. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS):** technical specifications. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: 5.nov. 2008.

Java Standard Edition (JSE). Disponível em: <<http://www.java.sun.com/>>. Acesso em: 5.nov.2008.

JÖNSSON, Per; EKLUNDH, Lars. TIMESAT: a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 8, p. 833-845, 2004.

PostgreSQL. **PostgreSQL 8.2 documentation.** Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>. Acesso em: 18.jan.2008.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309-317, 1973.

SAVITZKY, Abraham; GOLAY, Marcel J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627-1639, 1964.

TURNER et al., 1999. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, n.1, p. 52-68, 1999.

Usina São Martinho Açúcar e Álcool S/A. Disponível em: < [www.usinasaomartinho.ind.br](http://www.usinasaomartinho.ind.br) >. Acesso em: 5.nov. 2008.

USGS/LPDAAC. **Imagens dos satélites MODIS/TERRA e MODIS/AQUA, disponibilizadas por U.S. Geological Survey / Land Processes Distributed Active Archive Center.** Disponível em: < <http://lpdaac.usgs.gov/modis/dataproducts.asp>>. Acesso em: 16.abr.2007.