

# Análise de perfis espectrais e mapas de diferença de NDVI para o monitoramento da evolução temporal da cultura de cana-de-açúcar no estado do Paraná

Kauem Simões<sup>1</sup>  
Flavio Deppe<sup>1</sup>  
Marciel Lohmann<sup>1</sup>  
Emílio Graciliano Ferreira Mercuri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR  
Caixa Postal 19.100 - 81.531-980 - Curitiba - PR, Brasil  
{kauem, deppe, marciel, emilio}@simepar.br

**Abstract.** Remote Sensing technologies are used in several knowledge fields. Specifically, in agriculture, Remote Sensing is used for crop mapping, monitoring and yield estimates, due to the possibility of imaging and synoptic coverage in near real time. Normalized Difference Vegetation Indexes (NDVIs), produced using land surface reflectance, are used as a basis for phenological characterization and evolution analysis. This is allowed because of the use of red and near infrared imagery bands which represent the interaction between soil, plant and atmosphere. The main objective of this work was to analyze the surface reflectance temporal evolution, using NDVIs, for sugar cane crop during the 2005 to 2008 crop season in Paraná state, Brazil. It was concluded that the phenological evolution monitoring and characterization was achieved using TERRA/MODIS IVDN images, based upon a regional analysis. Results indicated the possibility of obtaining qualitative and quantitative data about sugar cane crops in near real time (after the availability of MODIS data), and before harvest. Vegetation indexes profiles proved to be useful for crop monitoring and for the next crop season will be crossed with precipitation data. Future work will include the use of TERRA/MODIS EVI (Enhanced Vegetation Index) and comparisons with NDVI data, as well as calibration campaign to establish vegetation indexes with related sugar cane fenology.

**Palavras-chave:** land surface reflectance, NDVI, crop monitoring, reflectância de superfície, IVDN, monitoramento de culturas.

## 1. Introdução

Dados oriundos de tecnologias de Sensoriamento Remoto, aliados a técnicas e metodologias digitais de processamento e tratamento de imagens, são utilizados atualmente tanto para gerar estimativas de área, estimativas de produtividade, bem como para o monitoramento e caracterização do desenvolvimento fenológico de cultivos.

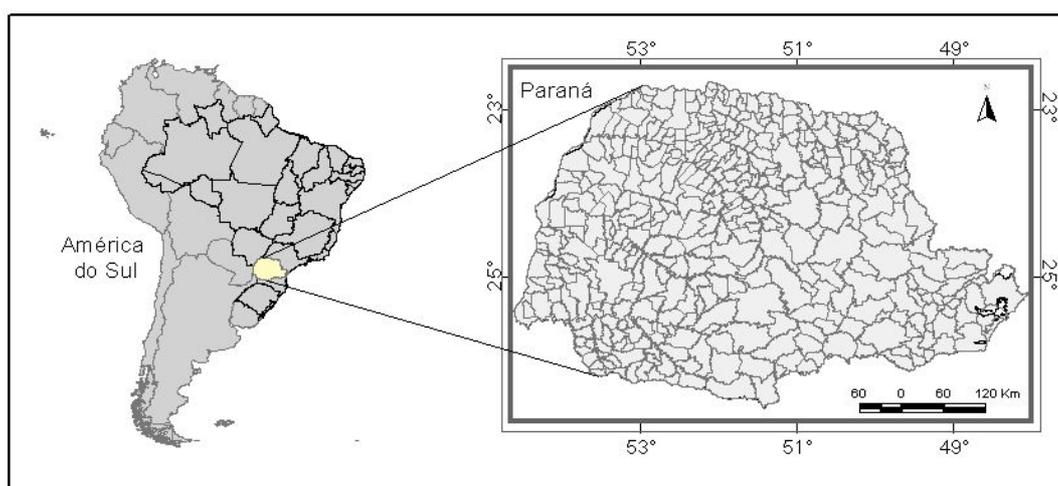
Moreira et al. (2005) estabeleceram um procedimento de previsão de estimativa de área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de técnicas de amostragem probabilística através do método estatístico de expansão direta, testando procedimentos computacionais de estratificação e alocação da amostra. Wagner et al. (2007) desenvolveram uma metodologia de estimativa de área cultivada de soja no estado do Rio Grande do Sul com base em informações espectrais dadas pelo IVDN (*Índices de Vegetação por Diferença Normalizada*) obtido através de imagens orbitais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer*), a bordo do satélite TERRA. Já Picoli et al. (2005) estimaram a área plantada de cana-de-açúcar na micro-região de Ribeirão Preto, SP por meio de um sistema de amostragem por segmentos quadrados.

Quanto à estimativa de produtividade, Machado et al. (2002) avaliaram o potencial de utilização de dados orbitais, referentes a imagens multiespectrais do sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+) do satélite Landsat 7, no direcionamento do processo de amostragem, de forma a diminuir os erros de estimativa de produção; e determinou o potencial de produção da cana-de-açúcar, através do tratamento digital de imagens em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Daamen et al. (2003) analisaram a utilização de imagens de satélite Landsat 7/ETM +, tratadas por operações algébricas entre bandas e análise por componentes principais (ACP), para dar suporte à estimativa de safra de cana-de-açúcar,

como objetivo de diminuir os erros destas previsões. Pontes et al. (2005) desenvolveram uma análise da evolução temporal de índices de vegetação, relativos a imagens captadas pelo satélite Landsat 7/ETM +, em áreas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, para dar subsídio na construção de modelos estatísticos que forneçam um suporte a previsões de safras subsequentes. Já Prado et al. (2007) testaram a aplicação de um modelo matemático-espectral para estimativa da biomassa de cana-de-açúcar, tomando como parâmetro de comparação a produtividade estimada pelo censo agropecuário do IBGE.

Uma das várias aplicações em que os IVDNs (*Índices de Vegetação por Diferença Normalizada*) são utilizados, se refere ao monitoramento de culturas através de perfis espectrais. Vários trabalhos realizados no Brasil nesta linha mostraram resultados bastante promissores. Fontana et al. (1998) mostraram a possibilidade de monitoramento da evolução temporal da cobertura vegetal no Estado do Rio Grande do Sul. Schroeder et al. (1999) analisaram os perfis temporais do IVDN de alguns tipos de vegetação na região nordeste do Brasil. Fontana et al. (2000) analisaram o comportamento do IVDN obtido de imagens NOAA/AVHRR sobre lavouras de soja no Rio Grande do Sul e Paraná, evidenciando as diferenças de manejo e de condições de crescimento entre os dois estados. Lucas e Schuler (2006) analisaram o comportamento do IVDN, também obtido de imagens NOAA/AVHRR durante um ciclo da cana-de-açúcar e correlacionaram a resposta com a precipitação do mês anterior e atual. Arvor et al. (2007) desenvolveram uma análise dos perfis temporais de EVI (Enhanced Vegetation Index), MODIS para o monitoramento da soja no estado do Mato Grosso. Lohmann et al. (2007) analisaram a evolução temporal de NDVI/MODIS para monitoramento do desenvolvimento fenológico da cultura da soja para a safra de 2005/06 no estado do Paraná. Já Deppe et al. (2007) analisaram a evolução temporal de cultivos de cereais de inverno (trigo e aveia), na safra 2006 no estado do Paraná, bem como geraram estimativas de área, a partir de IVDNs gerados pelo sensor MODIS (satélite TERRA).

Este trabalho tem o objetivo de analisar a evolução temporal de IVDN extraídos das imagens TERRA/MODIS para monitoramento do desenvolvimento fenológico da cultura da cana-de-açúcar nas safras 2005/06, 2006/07, 2007/08 no estado do Paraná (**Figura 1**). Para tanto foi necessária a geração de máscaras de cultivo de cana-de-açúcar, perfis espectrais de IVDN médio e máximo e mapas de diferença de IVDN.



**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo (Estado do Paraná)

## 2. Metodologia de Trabalho

Para a caracterização da evolução fenológica de cana-de-açúcar no estado do Paraná foram utilizados dados de índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI), extraídos das imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA. Das imagens de NDVI foram

extraídos dados e informações referentes ao vigor vegetativo e conseqüentemente podem ser utilizadas para a caracterização e monitoramento da evolução fenológica.

Salienta-se que o vigor vegetativo é diretamente proporcional ao valor de índice de vegetação. Estes índices de vegetação fornecem comparações consistentes do ponto de vista espacial e temporal, das condições da vegetação, as quais podem ser utilizadas para monitorar a atividade vegetal. Assim apoiando atividades de detecção de mudanças e interpretações biofísicas e fenológicas.

Um dos produtos MODIS se refere ao MOD13, o qual inclui IVDN (Equação 1) além das imagens de reflectância de superfície nas bandas do Azul, Vermelho, Infravermelho Próximo e Infravermelho Médio.

$$IVDN = \frac{pNIR - pRED}{pNIR + pRED} \quad (1)$$

Onde  $p$  é a reflectância da superfície nas bandas NIR (Infravermelho Próximo) e RED (Vermelho).

Esse produto pode ser obtido com uma resolução temporal de 8 ou 16 dias. O produto final é uma imagem composição contendo os valores máximos de IVDNs. Para o propósito desse trabalho foram utilizadas as composições de 16 dias e com resolução espacial igual a 250m.

Foi necessária a elaboração de um recorte nas imagens do produto MOD13, já que o tile em que se encontra o estado do Paraná (MOD13Q1 h13v11) abrange praticamente todo o sul do país. Foram então utilizadas 80 imagens do produto MOD13-NDVI 16 dias, do estado do Paraná no período entre o Dia Juliano 001 do ano de 2005 ao Dia Juliano 161 do ano de 2008. Estas imagens foram convertidas do formato HDF (Hierarchical Data Format) para o formato GEO-TIFF e da projeção Integerized Sinusoidal (ISIN) para a projeção WSG 84. As imagens foram padronizadas para um intervalo de IVDN de  $-1,0$  a  $+1,0$ .

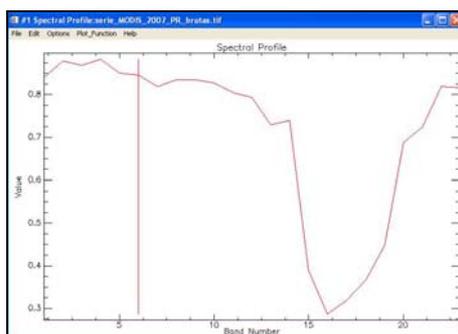
Em seguida recortou-se as imagens de IVDN do Paraná utilizando como base uma máscara da área de estudo do estado. Esta máscara foi gerada a partir dos vetores (shapes) dos municípios que plantam acima de 400ha de cana-de-açúcar. Assim recortou-se cada uma das composições de NDVI dos anos 2005, 2006, 2007 e 2008. As composições de imagens de NDVI se referem às composições em períodos de 16 dias. Estas são denominadas composição 001, 017, 033, 049 e assim sucessivamente até a composição 353. Assim, perfazendo 23 composições de imagens de índices de vegetação TERRA/MODIS por ano. Todos os procedimentos foram executados utilizando os softwares ENVI 4.3 e ArcGIS 9.3.

Com o objetivo de eliminar das imagens recortadas os alvos permanentes (classes de floresta, pastagem, solo urbano, solo exposto e corpos de água), gerou-se uma máscara com as referidas classes e denominou-se de máscara de alvos permanentes. Esta máscara trata-se de uma imagem binária com valores 0 (zero) e 1 (um). O valor 0 foi atribuído para os alvos permanentes.

Para a geração da máscara de alvos permanentes foi utilizado o método de somatória de bandas. Isto envolveu procedimento de somatório das imagens de NDVI de 2005 até 2008, criando uma imagem composição. Aplicou-se limiares para definir e/ou separar as classes, assim gerando uma imagem de uso e ocupação do solo. Em seguida extraiu-se as classes que apresentaram pouca variação (em termos de valores de NDVI) no período de 4 anos. Para cada classe (floresta, pastagem, solo urbano, solo exposto e corpos de água), foram estabelecidos limites de corte (inferior e superior), gerando assim a máscara de alvos permanentes que serviu para eliminar possíveis interferências com os índices de vegetação de cultivos de cana-de-açúcar.

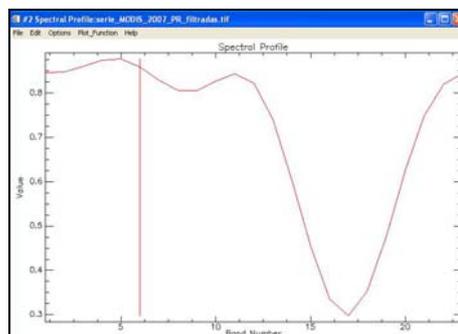
A partir de técnicas de multiplicação de imagens utilizando a máscara de alvos permanentes (com valor de 0 (zero)) e as imagens recortadas na área de estudo, foi possível retirar das imagens feições não desejáveis (floresta, pastagem, solo urbano, solo exposto e corpos d' água). Estas imagens foram utilizadas para gerar uma série temporal para cada ano.

As séries temporais para os anos 2005, 2006, 2007 e 2008, foram geradas a partir da junção das imagens recortadas em um único arquivo por meio de uma rotina IDL. A série temporal possibilitou a visualização e geração dos perfis de NDVI ao longo do ano. A Figura 02 é um exemplo de perfil de NDVI para ano de 2007 de um pixel representativo de cultura de cana de açúcar. Estes perfis foram utilizados para a identificação e escolha das imagens a serem utilizadas na geração das máscaras de açúcar.



**Figura 02:** Perfil de NDVI para ano de 2007 de um pixel representativo de cultura de cana de açúcar

Cada série temporal foi então filtrada utilizando o filtro HANTS (*Harmonic Analysis of NDVI Time-Series*), por meio da rotina IDL. Este filtro utiliza o princípio de série harmônica, com frequência pré-definida, para eliminar os ruídos em uma série temporal de dados. A Figura 03 é um exemplo de perfil de NDVI filtrado para ano de 2007 de um pixel representativo de cultura de cana de açúcar

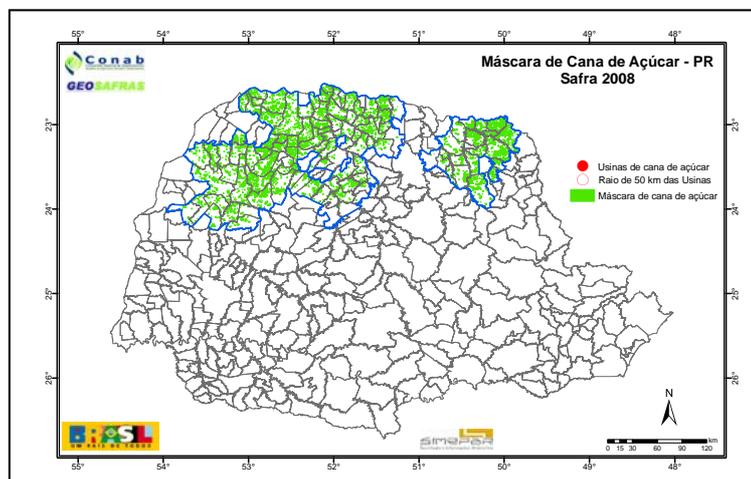


**Figura 03:** Perfil de NDVI filtrado para ano de 2007 de um pixel representativo de cultura de cana de açúcar

De posse da série filtrada, elaborou-se uma análise dos valores dos perfis de NDVI, com o objetivo de observar o comportamento destes valores para os cultivos de cana-de-açúcar. Após a análise dos gráficos, foram selecionadas para cada safra as imagens que seriam utilizadas na geração das máscaras. Observou-se que as melhores imagens para identificar a cana-de-açúcar no Paraná são as composições Dia Juliano 065 e 081 (mês de março). Foi então realizada a média entre estas imagens, gerando uma imagem média 065-081 para cada safra.

A partir das imagens médias 065\_081 aplicou-se limiares de valores de NDVI que permitissem separar os cultivos de cana-de-açúcar. Verificou-se que para o mês de março a cultura de cana-de-açúcar tem uma fenologia que varia de 0.7 a 1.00, enquanto culturas como soja estão abaixo de 0.7. Depois de aplicar os limiares gerou-se uma máscara preliminar de culturas de cana-de-açúcar, mas que ainda possui alguns ruídos (pixels isolados não

significativos). Assim foi necessário aplicar um filtro de média para retirar estas imperfeições. Em seguida exportou-se a máscara para o formato shape (vetor) e calculou-se a área total. Para avaliar a qualidade da máscara final de cana-de-açúcar, o valor calculado da área total de cada máscara foi comparado com os dados do IBGE. A Figura 04 mostra a máscara de cana-de-açúcar gerada para ao ano de 2008 no Paraná



**Figura 04:** Máscara de cana-de-açúcar- Safra 2008- Paraná

Para a análise e interpretação dos índices de vegetação, um procedimento já adotado pela comunidade científica se refere aos perfis espectrais. Estes perfis nada mais são do que gráficos onde são plotados no eixo x as datas das composições de NDVI e no eixo y, os respectivos valores de NDVI. Neste caso, valores médios e máximos. Para tanto, os índices de vegetação foram extraídos somente da área das máscaras de cana-de-açúcar geradas anteriormente.

Assim foram confeccionados gráficos de perfis espectrais dos valores de NDVI médio e máximo de cada composição TERRA/MODIS (correspondente aos Dias Julianos), para os anos 2005, 2006, 2007 e 2008.

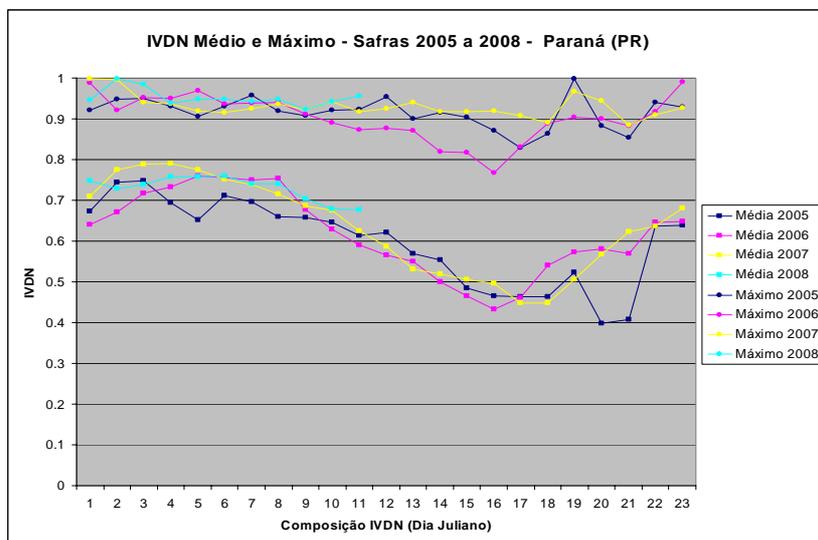
Uma outra forma de observar o comportamento da evolução de cultivos de cana de açúcar é utilizar-se de dados de diferença de NDVI de uma safra para outra. Desta maneira confeccionou-se mapas de diferença de NDVI extraídos na máscara de cana-de-açúcar de 2008, nos quais pode ser observado o acréscimo ou o decréscimo do vigor vegetativo. Foram realizadas operações de diferenças de imagens, considerando como referência o ano de 2008. Ou seja, diferenças de NDVI entre 2008 e 2007, 2008 e 2006, 2008 e 2005.

### 3. Resultados

Na Figura 05 pode-se observar o comportamento, ao longo dos anos, a partir dos valores de NDVI médio e máximo das imagens TERRA/MODIS, extraídos na máscara de cana-de-açúcar gerada para cada ano no estado do Paraná. Pode ser observada uma queda do NDVI médio nas composições 20 (dia Juliano 305) e composição 21 (dia Juliano 321). Neste caso, possivelmente a presença e interferência de nuvens fazem com que os valores de NDVI sejam menores.

No entanto, de maneira geral os perfis estão coerentes, ou seja, demonstrando valores elevados de NDVI médio no período de janeiro a março (dia Juliano 017 a dia Juliano 065). Estes NDVIs registram e representam o vigor vegetativo da cultura. Valores baixos de NDVI médio no período de agosto a setembro, mais especificamente na composição 16 (dia Juliano 241), representam áreas que sofreram intervenções de manejo, ou seja, plantio, colheita e/ou reforma. Salienta-se que a partir da comparação das curvas dos NDVIs (valores máximos e

médios), as curvas dos valores máximos apresentam similaridade quando comparadas com os valores médios. Isto representa um indicador de homogeneidade da máscara de cana-de-açúcar.

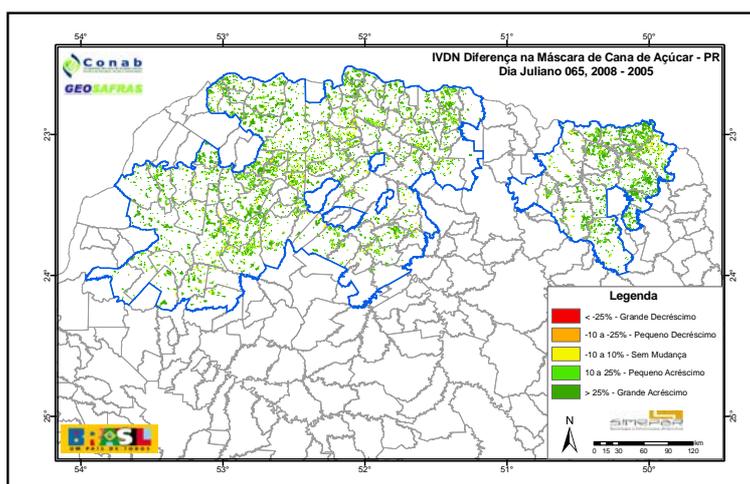


**Figura 05:** Perfil Espectral - Paraná (2005 a 2008)

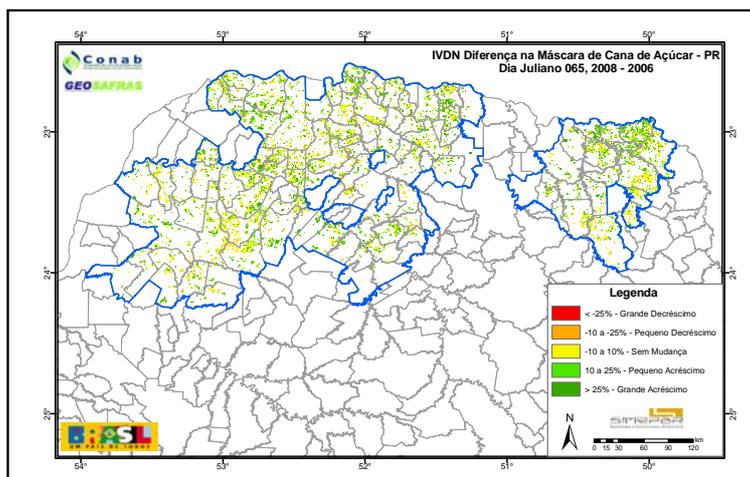
Para análise foram confeccionados mapas de diferença de NDVI para o Dia Juliano 065. Para orientar a interpretação espacial e qualitativa/quantitativa, foi gerada uma legenda de diferença com 05 classes, ou seja, para representar e classificar as diferenças de NDVI.

As classes representam as variações de diferenças negativas (representando decréscimos nos valores de NDVIs), a diferenças positivas (representando acréscimos nos NDVIs).

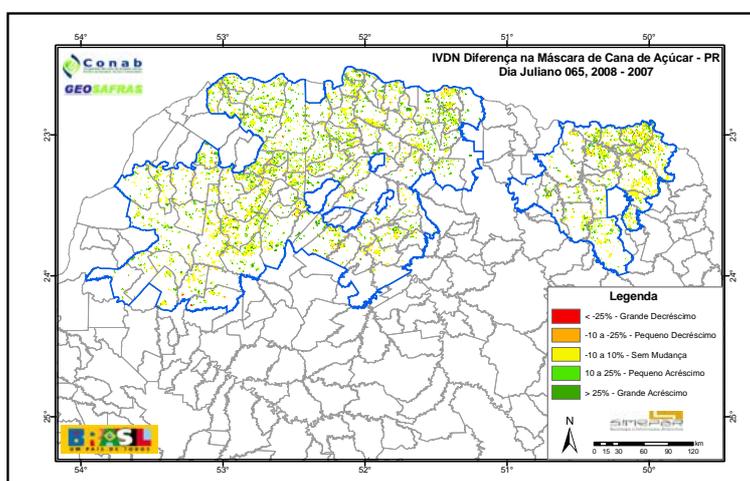
Nas Figuras 06, 07 e 08, observa-se as diferenças de NDVI na máscara de cana-de-açúcar 2008 do Paraná, para a composição Dia Juliano 065, sendo respectivamente, 2008-2005, 2008-2006 e 2008-2007.



**Figura 06:** Mapa de diferença de IVDN 2008-2005 (dia Juliano 065) - Paraná



**Figura 07:** Mapa de diferença de IVDN 2008-2006 (dia Juliano 065) - Paraná



**Figura 08:** Mapa de diferença de IVDN 2008-2007 (dia Juliano 065) - Paraná

#### 4. Conclusões

A utilização de imagens de NDVI possibilita a geração de máscaras de plantios, bem como a caracterização e monitoramento do desenvolvimento fenológico ao longo das safras, em tempo quase real. Sendo assim, os resultados indicaram a possibilidade de obter avaliações qualitativas e quantitativas dos plantios, durante o período das safras e anteriormente às colheitas. Estas avaliações são cruciais para o manejo da cultura e planejamento de novas safras.

A metodologia utilizada possibilitou o monitoramento fenológico da cultura da cana-de-açúcar para a safra de 2005, 2006, 2007 e 2008. Sugere-se estudos futuros que incluam avaliação e/ou validação, principalmente no que se refere a geração de máscara de cultivos utilizando como base imagens TERRA/MODIS.

Desenvolvimentos futuros deverão incluir às comparações com imagens TERRA/MODIS, índices EVI (Enhanced Vegetation Index). Este índice minimiza as variações de substrato (abaixo das coberturas de copa) e mantém a sensibilidade em coberturas de vegetação densas. O EVI também utiliza a banda azul para remover contaminação residual da atmosfera causada por aerossóis e nuvens. Sendo assim, a utilização de índices EVI deverá revelar características fenológicas e/ou variações fenológicas que provavelmente não são reveladas nos índices NDVI.

## Referências Bibliográficas

- Arvor, D.; Sant' Anna Neto, J. L.; Dubreuil, V.; Almeida, I. R.; Meirelles, M. S. P. Análise dos perfis temporais de EVI/MODIS para monitoramento da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 51-58.
- Daamen, M. L. J.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. C.; Zullo Junior, J. Comparação entre estimativa de produção de cana-de-açúcar auxiliada por processamento digital de imagens de satélite e métodos tradicionais de observação de campo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 47-49.
- Deppe, F.; Lohmann, M.; Martini, L.; Adami, M.; Faria, R. T. Monitoramento da evolução temporal de cultivos agrícolas através de imagens TERRA/MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 145-152.
- Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, 1399-1405, 1998.
- Fontana, D. C.; Weber, E.; Ducati, J. R.; Figueiredo, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. A case study of crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. Proceeding of the 28<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing for Environment, Março de 2000. **Anais...**, Cape Town, África: ICRSE, 2000. p. 91-94.
- Lohmann, M.; Martini, L.; Deppe, F. Monitoramento da evolução temporal da cultura da soja no estado do Paraná utilizando imagens do sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 263-269.
- Lucas, A. A.; Schuler, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 607-614. 2007.
- Machado, H. M.; Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V.; Zullo JR, J.; Pereira, V. H. Utilização de dados orbitais (Landsat 7) e sistemas de informações geográficas (SIG) na estimativa do potencial de produção da cana-de-açúcar. 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, **Anais...**, Viçosa, MG, 12 a 14 de junho de 2002.
- Moreira, M. A.; Rosa, V. G. C.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Duarte, V. Estimativa da área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de sistema de amostragem de área e imagens de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 197-204.
- Picoli, M. C. A.; Anjos, C. S.; Rosa, V. G. C.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T. Estimativa de área com cana-de-açúcar na micro-região de Ribeirão Preto - SP por meio de amostragem por segmentos quadrados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 213-215.
- Pontes, P. P. B.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 217-224.
- Prado, T. B. G.; Pellegrino, G. Q.; Zullo Junior, J.; Lamparelli, R. A. C. Avaliação de modelo matemático-espectral para estimativa da safra de cana-de-açúcar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 351-353.
- Schroeder, W., França, J. R. de A., Ceballos, J. C. Análise da Evolução Temporal da Cobertura Vegetal Usando dados AVHRR/NOAA. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: SBA, 1999. 1 CD-ROM.
- Wagner, A. P. L.; Weber, E. J.; Fontana, D. C.; Ducati, J. R.; Klering, E. V. Estimativa de Área de Soja no Rio Grande do Sul Utilizando Imagens NDVI/MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 457-464.