

## Expansão do cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Cerrado brasileiro, por meio de séries temporais de dados MODIS

Marcio Roberto da Silva Melo <sup>1</sup>

Jansle Vieira Rocha <sup>1</sup>

Victor Danilo Manabe <sup>1</sup>

Walter Rossi Cervi <sup>1</sup>

Rubens Augusto Camargo Lamparelli <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FEAGRI

Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil

{marcio.melo, jansle.rocha, victor.manabe, walter.cervi}@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE/UNICAMP

Caixa Postal 6166 - 13083-896 - Campinas - SP, Brasil

rubens.lamparelli@gmail.com

**Abstract.** The soybean crop is configured as the primary oilseed produced in Brazil. Driven by the increase in grain prices and growing demand, mainly international, soy production has expanded to more regions to the northeast of Brazil, the example of the *MATOPIBA* region, comprised of the Cerrado biome and formed by the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia. In recent years, the use of remote sensing techniques has been of fundamental importance in agricultural planning. The use of vegetation indices combined with the temporal analysis allows identifying the spatial dynamics of cultures, featuring its phenological cycle, at different temporal scales. This study aimed to examine the evolution of agricultural soybean cultivation in the municipality of Campos Lindos, state of Tocantins, through temporal series of MODIS data. The results showed that the proposed methodology was able to map the expansion of soybean cultivation during the period of analysis. The expansion of soy farming occurred in the northeast of the municipality. The values of cultivated areas, obtained by the proposed method, showed good consistency in relation to official data, the coefficient of determination ( $R^2$ ) equal to 0.94.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, NDVI, MATOPIBA.

### 1. Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), se configura na principal oleaginosa produzida no mundo. Além da sua indiscutível importância no mercado internacional de commodities agrícolas, seu valor se justifica por se tratar de um produto bastante utilizado no arraçamento animal, onde farelo da soja constitui na principal e mais barata fonte de proteína para alimentação de aves e suínos, e por assumir papel fundamental na alimentação humana (IBGE, 2008).

Atualmente, o Brasil ocupa o posto de maior produtor mundial de soja com um incremento da produção de quase 10% na safra de 2013/2014, passando de 82 milhões de para 90 milhões de toneladas, superando a safra dos Estados Unidos, cuja estimativa, para esta mesma safra, é de 89,5 milhões de toneladas. De acordo com Campânia Nacional de Abastecimento, a expectativa é que o Brasil ultrapasse os 92 milhões de toneladas, em uma área de aproximadamente 32 milhões de hectares, na safra de 2014/2015 (CONAB, 2014).

Apesar da produção de soja no Brasil ter iniciado nos estados da região Sul, atualmente o cultivo da soja se apresenta em quase todos os estados da federação, com destaque para a região centro-oeste, região onde se concentra boa parte do bioma de cerrado, e onde a soja encontrou clima e relevo favoráveis ao seu cultivo, a exemplo do estado do Mato Grosso, principal produtor nacional, que na safra de 2013/2014, atingiu cerca de 264 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

No entanto, a sojicultura, impulsionada pelo aumento nos preços dos grãos e pela crescente demanda, principalmente internacional, tem se expandido para regiões mais ao nordeste do país. A região denominada de MATOPIBA, compreendida por áreas de Cerrado e formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia representa muito bem este processo de expansão. No período entre 2011 e 2013, o cultivo dessa oleaginosa cresceu 15,6%, alcançando uma área de 2,7 milhões de hectares no último ano (IEA, 2013). Somente no cerrado de Tocantins, por exemplo, a área cultivada com soja passou de 1,2 milhão, na safra 2010/11, para pouco mais de 2 milhões de hectares no ano safra 2013/14 (CONAB, 2014).

Contudo, devido a sua elevada importância socioeconômica, entender a dinâmica da cultura da soja constitui uma importante estratégia para um melhor planejamento e desenvolvimento desta atividade nos municípios produtores. Deste modo, o uso de técnicas de sensoriamento remoto tem sido de fundamental importância no fornecimento de informações relevantes do uso e cobertura da terra (Adami et al. 2012). O uso dessas técnicas permitem analisar, por meio de imagens, a distribuição espacial de áreas cultivadas, e identificar as possíveis modificações ocorridas na cobertura vegetal em diversas épocas, de forma rápida, precisa e com custos relativamente baixos quando comparado às metodologias convencionais (Ponzoni et al., 2012; Jensen, 2009).

A análise de séries temporais corresponde a uma das técnicas mais utilizadas em estudos voltados ao monitoramento da vegetação. Esta técnica, que consiste na análise do comportamento espectral de um determinado alvo, em um conjunto de imagens escalonadas no tempo, tem sido largamente utilizada por permitir monitorar o desenvolvimento da vegetação estudada, principalmente em áreas com elevada dinâmica espectro-temporal, a exemplo de cultivos agrícolas (Wardlow et al., 2007). Segundo Esquerdo et al., (2013), o uso de índices de vegetação aliado às análises temporais, permite identificar a dinâmica da vegetação em distintas escalas temporais, caracterizando o ciclo fenológico da cultura ao longo do período de análise.

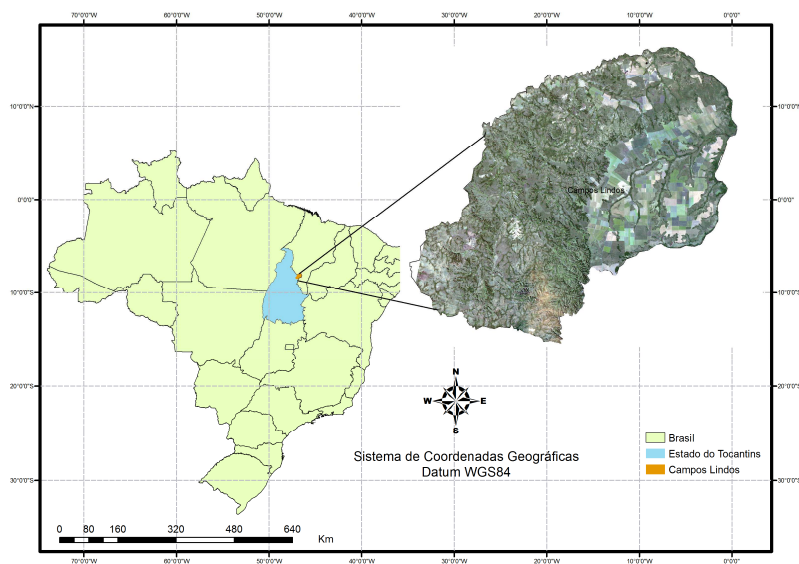
Dentre os inúmeros índices de vegetação conhecidos na literatura, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Após o lançamento do sensor MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo do satélite Terra e Aqua, o emprego deste índice acabou sendo estimulado uma vez que, imagens deste índice foram disponibilizadas de forma gratuita no produto MOD13Q1, o qual é formado por imagens adquiridas e filtradas ao longo de 16 dias (*composities* de *pixels* com menor cobertura de nuvem possível), sendo um dos produtos mais utilizados para o monitoramento agrícola (Wu & Li, 2012).

Assim, este trabalho teve como objetivo verificar a evolução do cultivo agrícola de soja no município de Campos Lindos, estado do Tocantins, por meio de series temporais de dados MODIS.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Campos Lindos (Figura 1), pertencente na mesoregião Oriental do Tocantins e à microregião do Jalapão, do estado do Tocantins. Distante a 491 km da capital do estado, Palmas, este município, localizado nas coordenadas geográficas de Latitude: 7° 59' 40" Sul e Longitude: 46° 52' 6" Oeste, está situado aproximadamente a 328 metros acima do nível do mar, compreendendo uma área de 3.253 km<sup>2</sup>. O município apresenta clima tropical úmido, com duas estações bem definida, o período das chuvas e outro de seca, sendo classificado como clima Aw, segundo a Köppen e Geiger, com temperatura média variando em torno dos 26,1 °C, e a pluviosidade média anual atingindo 1287 mm.



**Figura 1.** Mapa de localização do município de Campos Lindos, estado do Tocantins, Brasil.

O município de Campos Lindos tem sua economia sustentada pela produção agrícola de grãos, onde o cultivo da soja constitui na principal na fonte geradora de emprego e renda para a população local.

### 2.2 Materiais e Métodos

Com o propósito de mapear as áreas de cultivadas com soja por meio de análise de perfis temporais, foram utilizadas imagens do índice de vegetação NDVI, do sensor MODIS, lançado no satélite Terra, disponíveis no banco de dados da Embrapa Informática Agropecuária - CNPTIA, na projeção geográfica e no formato GeoTIFF, adquiridas de forma gratuita no site: <http://www.modis.cnptia.embrapa.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Estas imagens são derivadas do produto MOD13Q1, e apresentam resolução espacial de 250 m, com composição de 16 dias. Também, foram utilizadas imagens do satélite Landsat, sensor TM (Thematic Mapper), e Landsat 8, de resolução espacial de 30 metros, correspondentes às cenas das órbitas e ponto 221/66 nos anos de 2001 e 2013, respectivamente. Devido a sua melhor resolução espacial, 30 m, em comparação à resolução espacial das imagens do sensor MODIS, estas imagens foram utilizadas ainda como referência na escolha e determinação das áreas de controle para extração dos dados e geração dos perfis temporais de NDVI. Foram

utilizados ainda arquivos vetoriais correspondentes à base digital do Brasil que dispõem dos polígonos delimitadores de cada município do país no formato *shapefile*, disponibilizado no portal eletrônico IBGE.

Como procedimentos metodológicos, com auxílio do software Envi. 4.5., inicialmente, as imagens de NDVI, para os anos de 2000 a 2012, foram empilhadas separadamente, de acordo com o calendário agrícola, ou seja, cada ano agrícola inicia em julho de um determinado ano com termina em junho do ano seguinte, e recortadas pelo limite geográfico do município observado. Em seguida, as imagens foram submetidas ao processo de suavização com intuito de reduzir os efeitos de ruídos decorrentes, por exemplo, da presença de nuvens, falhas do detector, geometria de visada, utilizando o filtro de Savitzky–Golay, que se baseia em regressão polinomial de grau  $n$  (SAVITZKY e GOLAY, 1964).

Posteriormente, utilizando as cenas Landsat, foram determinadas as áreas de controle do monitoramento, sendo cada uma delas constituída por um conjunto de pixels localizados em áreas onde foi possível identificar o cultivo de soja, de onde, em seguida, foram extraídos os dados para a construção dos perfis temporais de NDVI.

Baseando-se na análise do comportamento espectro-temporal dos índices, a seleção e classificação dos pixels das máscaras de soja, foi realizada utilizando a metodologia de métricas fenológicas em séries temporais de Máximos e Mínimos, que consiste na obtenção da uma imagem de diferença, a qual é resultante de operações matemáticas, subtração, *pixel a pixel*, da Imagem de Máximo Valor pela Imagem de Mínimo Valor dos índices de vegetação, selecionadas de acordo com o perfil espectral multi-temporal de NDVI. Por meio da análise da imagem da diferença será possível identificar pixels de área que apresentem comportamento de áreas agrícolas, excluindo áreas onde o perfil se mantém relativamente estável ao longo do período de análise.

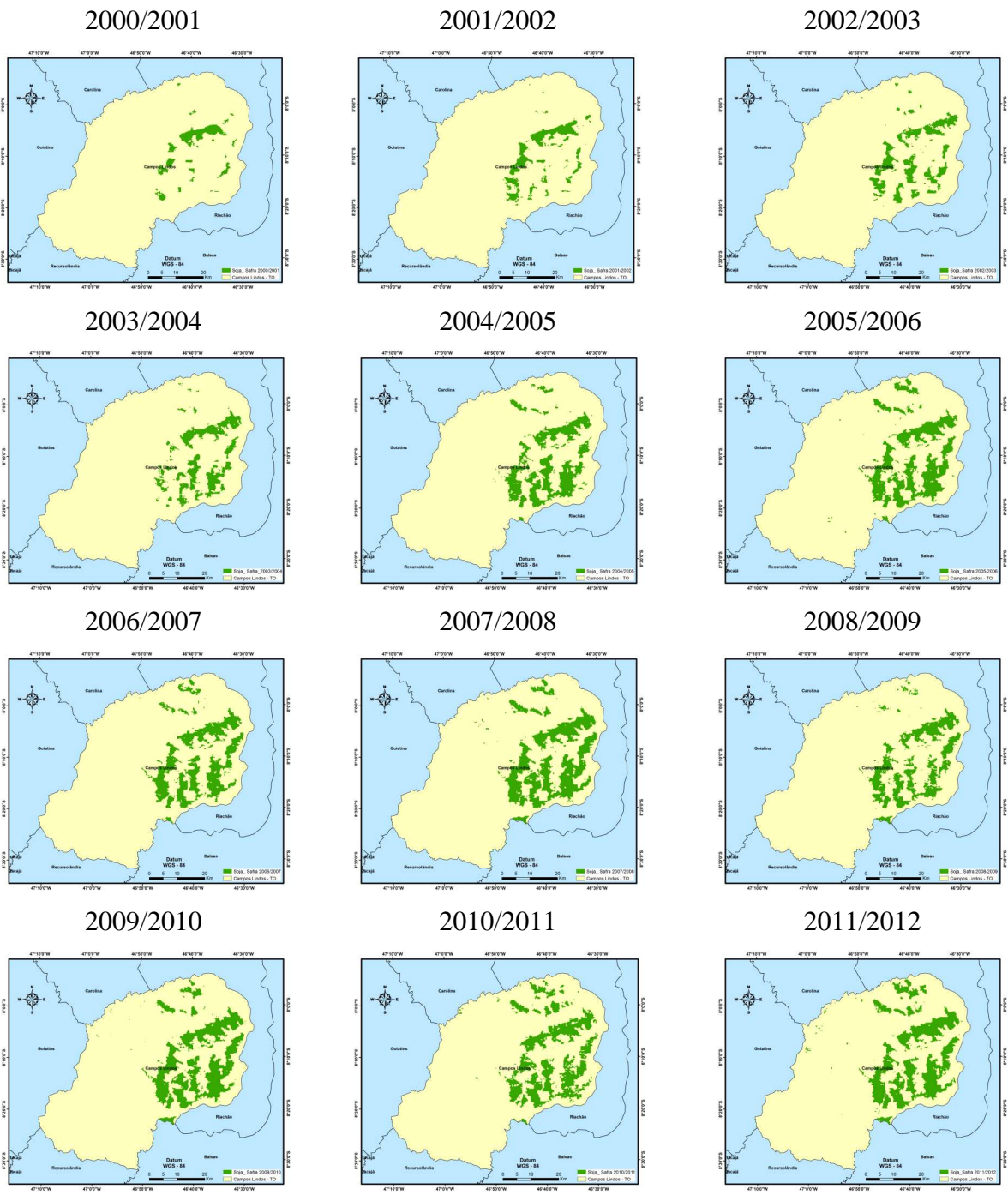
Tanto o procedimento de filtragem, extração dos dados e classificação de pixels ocorrerão de forma automatizada através da implementação de script em linguagem IDL (*Interactive Data Language*).

Assim, de posse das máscaras de soja, as mesmas foram vetorizadas, formato *shapefile*, e em seguida avaliadas, confrontando os valores das áreas de soja, estimada pela metodologia, com os valores referentes à área plantada desta cultura no município em questão, provenientes do banco de dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE, que são adquiridos por meio de levantamentos direto com o produtor. Em seguida, foi realizado o cálculo da diferença entre a máscara de soja da safra 2011/2012, e a máscara da safra 2000/2001, com o propósito de obter uma imagem com os locais onde houve expansão deste cultivo agrícola ao longo do período de análise.

### 3. Resultados e Discussão

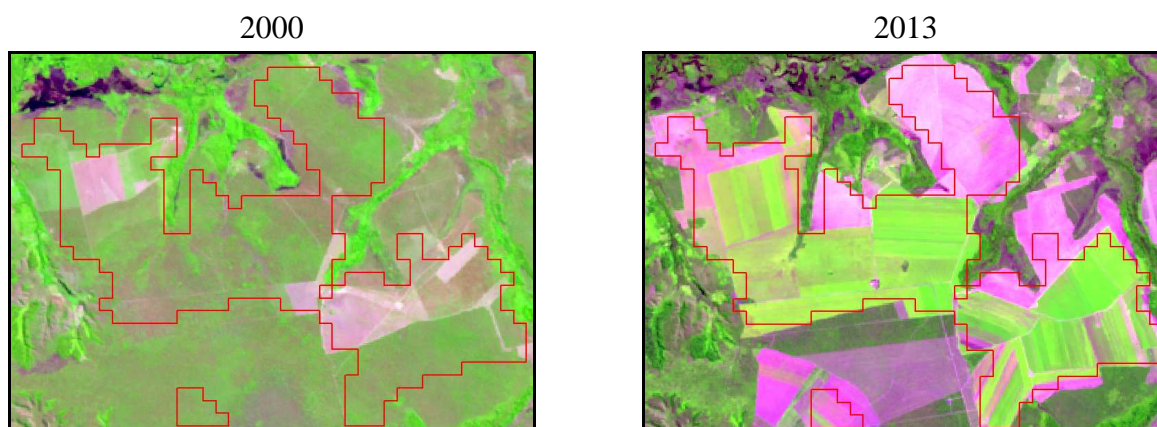
A partir da análise dos mapas, gerados pela metodologia proposta, tornou-se possível observar a dinâmica espaço-temporal de ocupação do cultivo agrícola de soja, no município de Campos Lindos.

Por meio da análise visual dos mapas, figura 2, foi possível notar que houve acentuado crescimento da atividade agrícola, principalmente na região nordeste do município, onde a ocupação ocorreu, preferencialmente, nas áreas de relevo mais planas e que dispõem de um volume de precipitação pluviométrica adequadas para atividade agrícola (SEPLAN, 1997).



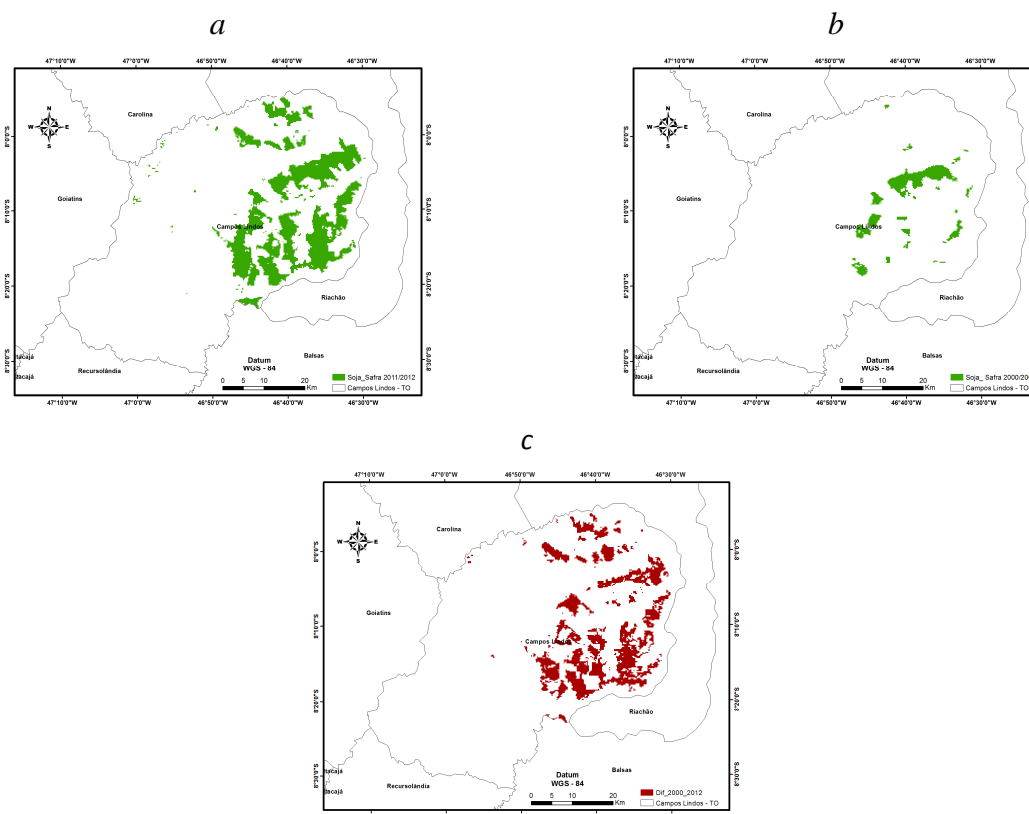
**Figura 2.** Máscara das áreas cultivadas com soja da safra 2000/2001 a safra de 2011/2012 no município de Campos Lindos, estado do Tocantins.

Esta análise permitiu observar ainda que o principal salto no quantitativo de área cultivada com soja ocorreu na safra de 2004/2005, onde a área passou de 30,9 mil hectares, na safra 2003/2004, para 45 mil hectares na safra seguinte, o que representou um incremento de 45% na atividade. Este aumento pôde ser observado em recortes de cenas landsat, onde é possível perceber a evolução da atividade assim como a conversão de áreas de vegetação natural em cultivo agrícola (Figura 3).



**Figura 3.** Recortes de cenas Landsat do ano de 2000 e 2013, evidenciando a substituição da vegetação natural por atividade agrícola.

A expansão acumulada do cultivo de soja, no período de análise, pôde ser observada analisando a imagem da diferença entre as máscaras das safras de 2011/2012 e 2000/2001 (Figura 4). Neste período, a área agrícola passou de 9,8 mil hectares para 49,4 mil hectares, resultando em uma diferença de aproximadamente 39,5 mil hectares, valor este muito próximo aos dados oficiais, oriundos do IBGE, que apontam uma diferença aproximada de 40 mil hectares, o que corresponde a um aumento 298% na área cultivada.



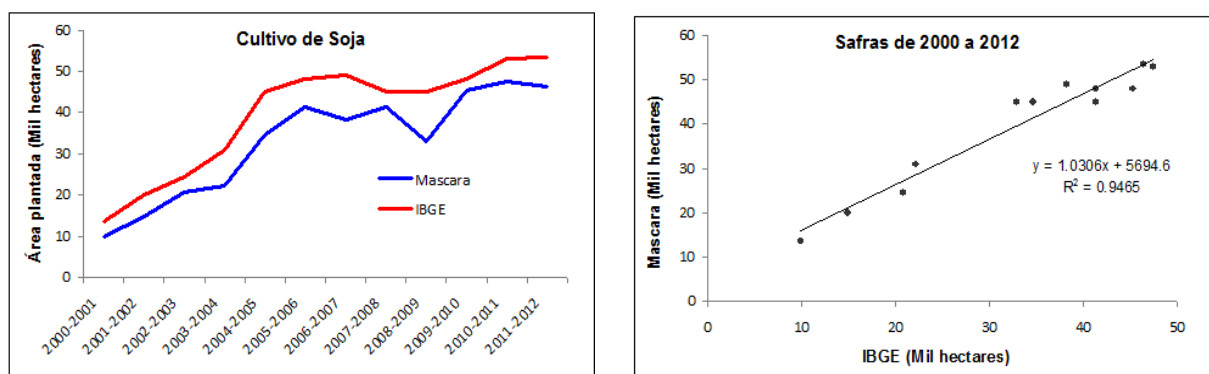
**Figura 4.** Imagem diferença (c), entre a máscara da safra 2011/2012 (a) e 2000/2001 (b), correspondente a expansão do cultivo agrícola de soja no município de Campos Lindos – TO .

A comparação entre os dados obtidos pelo método de classificação com os dados oficiais da Produção Agrícola Municipal permitiu observar que o perfil, gerado a partir dos valores



das mascaras, apresentou comportamento bem semelhante ao perfil dos dados oficiais, demonstrando considerada coerência entre as informações, o que confere boa correlação entre os dados analisados, com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), igual a 0.94 (Figura 5).

Porém, as estimativas de área das mascaras apresentaram valores sempre menores aos dados oficiais, com uma diferença média no período de 15%. Este fato pode ser atribuído a resolução espacial das imagens NDVI/MODIS, as quais apresentam mistura espectral entre diferentes alvos em regiões de borda das áreas agrícolas, podendo subestimar as áreas classificadas como agricultura.



**Figura 5.** Comparação entre a máscara gerada e dados do IBGE da evolução do cultivo da soja em Campos Lindos – TO.

A expansão da cultura da soja em Campos Lindos está associada a um conjunto de medidas que estimularam o desenvolvimento desta atividade. Fatores como incentivos fiscais proporcionaram condições favoráveis para que empresas multinacionais, como a Cargill, a Bünge, a Multigreen, a Agreco, se instalassem no município, fornecendo aos produtores de soja crédito fácil e mercado garantido. Além disso, fatores como a disponibilidade áreas com topografia adequada à mecanização, baixo custo de aquisição das mesmas, atrelado às características edafoclimáticas favoráveis à atividade agrícola, permitiram a inserção deste município no mercado internacional de commodities agrícolas a exemplo da soja e do milho.

Atualmente, Campos Lindos é considerado como um dos principais produtores de grãos da região, contemplado mais de 30% da produção de soja do Estado, sendo o segundo município com maior volume de receita em 2013, US\$ 40.067.342,00, com a comercialização de 81.970 toneladas de soja para países como China, Espanha e Tailândia (SECEX, 2014).

#### 4. Conclusões

A análise por sensoriamento remoto, utilizando séries temporais de NDVI, mostrou que a expansão do cultivo agrícola de soja no município de Campos Lindos, nos últimos anos.

Os resultados mostraram que a expansão do cultivo de soja ocorreu na região nordeste do município, havendo um aumento 298% no período de análise.

Os valores das áreas cultivadas, obtidos pela metodologia, foram bem semelhantes aos dados oficiais o que resultou em boa correlação entre os dados analisados, com o coeficiente de determinação igual a 0.94, indicando uma estimativa coerente com os dados oficiais.

## Referências Bibliográficas

Adami, M.; Rudorff, B. F. T.; Freitas, R. M.; Aguiar, D. A.; Sugawara, L. M.; Mello, M. P. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. **Sustainability**, v. 4, n. 4, p. 574-585, 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2014). **Soja - Brasil. Série histórica de área plantada**. <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/ SojaSerieHist.xls](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/SojaSerieHist.xls)>. Acesso em: 17 de Setembro de 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas Agropecuárias, **Indicadores IBGE – Estatísticas da produção agrícola – 2008**.

IEA - Instituto de Economia Agrícola. Expansão regional da cultura da soja no Brasil. **Análises e Indicadores do Agronegócio**. Vol. 8, n. 7, julho. 2013.

Esquerdo, J. C. D. M.; Coutinho, A. C.; Antunes, J. F. G. Uso combinado de dados NDVI/MODIS dos satélites Terra e Aqua no monitoramento multi-temporal de áreas agrícolas. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. 0431-0437p. 2013.

Jensen, J. R. 1949. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2ed. por: Ephiphany, J. C.; Formaggio, A. R.; Santos, A. R.; Rudorff, B. F. T.; Almeida, C. M.; Galvão, L. S. São José dos Campos/SP: Parêntese, 598p. 2009.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. 2 ed. Atualizada e ampliada. São José dos Campos: Parêntese, 160 p, 2012.

Wardlow, B. D.; Egbert, S. L.; Kastens, J. H. Analysis of time-series Modis 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 209-310, 2007.

Wu, B.; Li, Q. Crop planting and type proportion method for crop acreage estimation of complex agricultural landscapes. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.16, p.101-112, 2012.

Secex. Secretaria de Comércio Exterior – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Sistema de Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegocio Brasileiro. Disponível em: [http://dw.agricultura.gov.br/dwagrostat/seg\\_dwagrostat.principal\\_dwagrostat](http://dw.agricultura.gov.br/dwagrostat/seg_dwagrostat.principal_dwagrostat). Acesso em: 16/09/2014.

Savitzky, A. Golay, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures, Anal. Chem. 36 (8),1627–1639. 1964.

SEPLAN. **Anuário Estatístico do Estado do Tocantins**. Palmas:SEPLAN, 1997.