

## Detecção de áreas agrícolas em tempo quase real (DATQuaR)

Isaque Daniel Rocha Eberhardt <sup>1</sup>

Alfredo José Barreto Luiz <sup>2</sup>

Antonio Roberto Formaggio <sup>1</sup>

Ieda Del'Arco Sanches <sup>1</sup>

Bruno Schultz <sup>1</sup>

Kleber Trabaquini <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

{isaque, formag, ieda, bruno, kleber}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Embrapa Meio Ambiente

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

alfredo.luz@embrapa.br

**Abstract.** Nowadays the challenge in agricultural estimates using remote sensing is to produce the estimates and data across the crop season, in near real-time. The aim of this paper is to build an approach capable to produce the crop maps of soybean+maize in near real-time, for Rio Grande do Sul state, using MODIS images. To generate the near real-time crop maps we used the MODIS 16 days composites vegetation index (VI) images of NDVI and EVI. This new approach was called Near Real-Time Crop Fields Detection (DATQuaR). The MODIS VIs images were aggregated in bimonthly periods using different ways: average, maximum, minimum and median of registered values. After that, the image of the previous period was subtracted from the image of the monitored period, generating the DATQuaR images. These images were classified by slice using as limit the occupied area estimate with soybean+maize produced by random sampling over Landsat image and visual interpretation. The DATQuaR maps were submitted to 3x3 pixel window mode filter. The results showed that the best approach was to aggregate the maximum registered MODIS IVs value in the monitored period and the minimum value registered in the previous period. In this case the EVI images and the 3x3 pixel window mode filter were used. Using this approach the DATQuaR method achieved over 81% (in the worst period, January/February of 2014) of agreement with random sampling Landsat pixels classified by visual interpretation.

**Palavras-chave:** mapas de cultivos de verão, MODIS, sensoriamento remoto, DATQuaR, estatísticas agrícolas.

### 1. Introdução

Atualmente a maior parte das metodologias para estimativa de área com cultivos agrícolas a partir de imagens orbitais geram mapas como produto final. E para alguns fins é necessária a elaboração de um mapa contendo a localização geográfica dos cultivos (MacRobert, 2011). Entretanto, para gerar mapas de cultivos em tempo quase real (no decorrer da safra), deve-se ter claro que será necessário abrir mão da escala *Landsat-like*, especialmente em função da recorrente presença de cobertura de nuvens (Asner, 2001; Sugawara et al., 2008), do volume de dados a processar e do tempo necessário para a geração dos mesmos.

Se admitirmos este conceito como ponto de partida, e além disso, associarmos a obtenção de dados de sensoriamento remoto em tempo hábil de acompanhar a cultura ao longo da safra, é necessário que as imagens estejam disponíveis o mais rápido possível após o imageamento. Assim, estando o registro na imagem o mais próximo possível aos reais estádios fenológicos dos cultivos no campo (Atzberger, 2013). Fica evidente a necessidade do uso de produtos com maior resolução temporal tais como as do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Este sensor detêm uma alta resolução temporal, já que recobre todo o planeta a cada dois dias entre os paralelos 30°, e diariamente, acima destes paralelos (Justice et al., 1999).

O uso dos dados MODIS em metodologias que identifiquem a respectiva resposta espectro temporal dos cultivos agrícolas privilegiam a alta resolução temporal em detrimento da resolução espacial (Bernardes et al., 2011; Gusso et al., 2012; Johann et al., 2012; Brown et al., 2013). Em geral, tem alcançado destaque a utilização de imagens MODIS feita através dos valores de incrementos registrados nas imagens de índices de vegetação (IVs) em períodos específicos (Rizzi et al., 2009; Gusso et al., 2012; Risso et al., 2012; Jonhan et al., 2012).

O *Crop Enhancement Index* (CEI), elaborada por Rizzi et al. (2009) no estado do Mato Grosso (MT), propõe a utilização do *Enhanced Vegetation Index* (EVI; Huete et al., 1997). A partir das imagens EVI são compostas uma imagem de mínimo EVI (MinEVI), compreendendo as fases de preparo do solo, pré-semeadura, semeadura e emergência da cultura. E outra de máximo EVI (MaxEVI) correspondente as fases de desenvolvimento e de pico de presença de biomassa na grande maioria dos talhões agrícolas. Esta metodologia gerou nas condições do MT, mapas de soja com exatidão espacial de 92% (Rizzi et al., 2009).

Nesta mesma linha, Eberhardt et al. (2012) trabalharam no *Crop Enhancement Index-Preview Estimate* (CEI-PE) para gerar uma variante da metodologia CEI com vistas a identificação precoce das áreas cultivadas com soja no MT. Os autores esclarecem que nas condições do MT o trabalho realizado apresentou uma relação direta entre a antecipação da estimativa e a redução da exatidão obtida nos mapas de soja. Contudo, para este caso específico, na calibração do CEI-PE os autores não dispunham de valores de área cultivada de soja para o Estado, na escala regional ou municipal. Para tanto, foram utilizados valores de área estadual oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As metodologias atuais, em geral dispõem de um mapa para a safra, em geral no final da safra. Então, a geração de mapas de cultivos em tempo quase real, que no contexto aqui trabalhado referem-se a intervalos regulares de dois meses, ou seja, durante a safra, constitui-se em um desafio importante em termos da pesquisa de sensoriamento remoto aplicada ao monitoramento agrícola. É necessário considerar ainda que a elaboração de mapas de cultivos nas condições de um estado como o Rio Grande do Sul (RS) sempre foi um desafio, principalmente em termos de exatidão dos mapas (Rizzi e Rudorff, 2005; Gusso et al., 2012). Em virtude das características dos talhões agrícolas, da resposta dos cultivos, da presença de nuvens e sua repercussão no número de imagens de sensoriamento remoto disponíveis, é necessário optar entre: a) maior resolução espacial (usando imagens Landsat-like, e abrir mão de múltiplas observações ao longo do intervalo estudado); ou b) pelo uso de imagens de alta resolução temporal (utilizando imagens MODIS ou similares, abrindo mão da precisão espacial). No caso de um trabalho, que se propõem a gerar mapas de cultivos agrícolas em nível estadual a cada dois meses, é necessário abrir mão da utilização de imagens *Landsat-Like* na elaboração de mapas. Esta decisão está associada principalmente à baixa resolução temporal de imagens (16 dias), que dificulta a geração de mapas em tempo quase real por conta da alta presença de cobertura de nuvens no estado do RS (Eberhardt et al., 2014). Esta característica repercute na possibilidade de dispormos em um período de dois meses de no máximo três imagens Landsat (três imageamentos), dificilmente provendo as três observações livre da cobertura de nuvens sobre todo Estado do RS (Asner, 2001; Sugawara et al., 2008; Eberhardt et al., 2014).

Assim, a partir deste cenário, o objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia operacional de geração de mapas de cultivos de soja+milho, em tempo quase real (a cada dois meses), para o estado do Rio Grande do Sul, por meio de imagens MODIS.

## 2. Metodologia

Primeiramente, devido para obter mapas de cultivos de verão em períodos regulares de dois meses, foi necessário abrir mão da melhor resolução espacial e usar a alta resolução temporal MODIS. Contudo, ao utilizar imagens com as características MODIS, deve estar claro que,

devido a sua resolução espacial de 250 metros, os mapas de cultivos apresentarão em algum momento áreas de misturas espectrais identificadas em uma classe. Isso porque, se a área de um pixel que contiver partes a presença de soja ou milho, este apresentará uma resposta espectral do pixel mais similar à da soja do que à outros alvos (Risso et al., 2012).

A região de estudo é composta pelo estado do Rio Grande do Sul, situado entre as latitudes 27 e 34° S e longitudes 49 e 58° W (Figura 1).

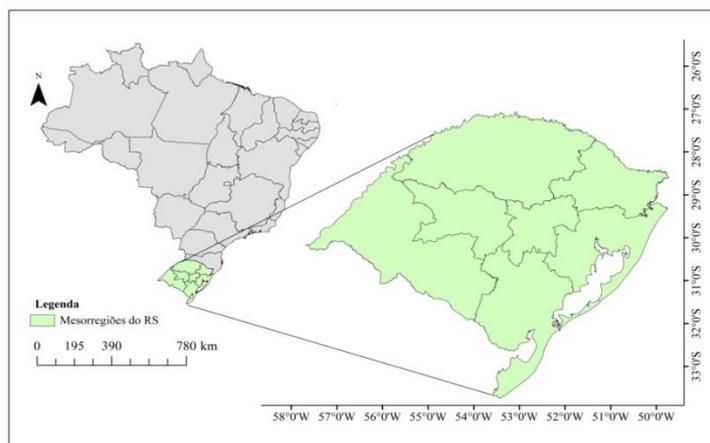


Figura 1. Região de estudo, o Estado do Rio Grande do Sul (RS) (em verde). Subdivisão do RS corresponde às mesorregiões definidas pelo IBGE (IBGE, 1990).

A elaboração dos mapas de cultivos utilizou as imagens MOD13Q1, de composições de 16 dias IVs adquiridas pelo sensor MODIS da plataforma TERRA, de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI; Rouse et al., 1973) e EVI (Huete et al., 1997), disponibilizados pelo programa EOS para identificar as áreas que apresentaram desenvolvimento em biomassa fotossinteticamente ativa entre os períodos de monitoramento (Huete et al., 1999). A metodologia recebeu o nome de Detecção de Áreas Agrícolas em Tempo Quase Real (DATQuAR). Foram delimitados períodos bimensais de monitoramento para identificar as áreas que representam talhões de cultivos de verão. Os períodos escolhidos para identificar a soja e o milho cultivados no RS foram os de setembro/outubro e novembro/dezembro de 2013, e janeiro/fevereiro e março/abril de 2014. Todo o processo de identificação das áreas sob cultivo foi implementado em nível de *script* no *software* R (R Development Core Team, 2014).

O processo de detecção de áreas de cultivo de verão utilizado teve como base os incrementos de IVs entre períodos bimensais. A ideia de tentar identificar as áreas sob cultivo é baseado em uma característica peculiar das culturas agrícolas de verão, de sazonalidade de presença de biomassa, que para o RS começa logo após o início do aumento da temperatura, ao final do mês de agosto. Diversos trabalhos têm demonstrado que a opção por agrupar os valores de IVs de cada período em uma única imagem e uma posterior aplicação de uma métrica para obter a diferença entre dois períodos pode produzir bons resultados (Rizzi et al., 2009; Eberhardt et al., 2012; Eberhardt et al., 2013).

As composições elaboradas com as imagens MOD13Q1, dentro dos períodos bimensais, utilizaram diferentes formas em sua geração. Dentre as formas de agregar as informações identificadas em cada período bimensal estão:

- a) Obtenção do mínimo valor de IVs por pixel (MinIVs);
- b) Obtenção do máximo valor de IVs por pixel (MaxIVs);
- c) Obtenção da média do valor de IVs por pixel (MeanIVs);
- d) Obtenção do valor de mediana de IVs por pixel (MedIVs).

Faz-se necessário ressaltar que foram utilizadas tanto imagens de agregadas de NDVI e EVI, de modo separado para a geração da imagem de cada período, dado que em algumas

circunstâncias a utilização dos dois IVs (um para cada imagem de período) pode produzir resultados superiores (Risso et al., 2012).

A partir das diferentes imagens geradas para cada período de estimativa, foi extraída a diferença simples entre as imagens de cada período de estimativa e a sua anterior. Este procedimento foi utilizado para as 12 diferentes combinações de imagens DATQuaR de cada período. Por exemplo, para o período de estimativa de novembro/dezembro de 2013, foi subtraída da imagem de novembro/dezembro aquela de setembro/outubro anterior.

Posteriormente, as imagens DATQuaR resultantes de todas as combinações possíveis foram submetidas a um processo de classificação baseado em uma operação de fatiamento. O fatiamento foi realizado utilizando um limiar definido de forma que, a área identificada como sob cultivo por mesorregião nos mapas DATQuaR fosse a mais próxima possível aquela indicada para cada mesorregião realizada por meio de uma metodologia amostral de pixel Landsat e interpretação visual de imagens aplicada seguindo os preceitos definidos por Luiz et al. (2012). Este processo foi elaborado em uma rotina interativa implementada em script na linguagem do software R, que reclassifica cada imagem DATQuaR com aumento gradual dos valores de limiar até que a área identificada no mapa de cultivos apresente uma diferença entre  $\pm 0,5$  e 0% em relação ao obtido por meio da amostragem em imagens Landsat. Esta definição foi adotada visto que em algumas situações não pode ser obtida exatamente a área almejada. Isso ocorre quando ao aplicar uma variação de 1 unidade do limiar a área identificada no mapa DATQuaR será maior que o valor de área almejado. Portanto, nesta condição o algoritmo de classificação encerra a busca pelo melhor limiar e é gerado o mapa de cultivos a partir de um limiar que retorna um diferença de área inferior a  $\pm 0,5\%$  a área definida por meio do processo de amostragem em pixel Landsat.

Em virtude de possíveis imperfeições que podem estar inclusas nas imagens DATQuaR, tanto as de origem radiométricas na formação das imagens MODIS, como aquelas que inseridas no processo de elaboração das composições MOD13Q1 (por problemas de seleção de pixel com ruído) ou mesmo para minimizar a seleção de pixels isolados (dada a tendência de que as áreas agrícolas se apresentem cultivadas em *clusters*), foi aplicada filtragem passa baixa de moda com janela móvel 3x3 pixels (Rizzi et al., 2009). Ao final dessa etapa, foram acrescentados aos mapas DATQuaR produzidos sem utilização de filtragem (somente com a classificação da imagem DATQuaR), os mapas DATQuaR que passaram uma filtragem de moda (classificação + filtragem).

O processo de avaliação dos mapas de cultivos foi realizado utilizando quarto conjuntos de 5.000 pixels Landsat (um para cada período de dois meses em monitoramento) aleatorizados para a produção dos valores de área ocupada com soja+milho. Estes pixels foram classificados por meio de interpretação visual na tela do computador e validados por meio de uma campanha de campo. Foram utilizados os pixels que foram classificados com as classes *soja*, *milho* (agrupados em uma única classe *cultivos*) e a classe *outros* (que equivale a todos os demais alvos presentes) nos 5.000 pontos para cada período (exceto os pontos classificados como *nuvem*, que foram descartados tanto do processo de cálculo de área por meio de amostragem probabilística como do processo de avaliação dos mapas DATQuaR). Logo, foi realizada a comparação entre a classe dos pixels aleatorizados e a classe do mapa de cultivos de seus respectivos períodos. Desta forma, sempre que os pixels Landsat interpretados com classe *soja* ou *milho* coincidiram com porções do mapa DATQuaR que eram de *soja+milho* foi considerado um acerto, bem como quando os pontos da classe *outros* coincidirem com as porções não selecionadas no mapa DATQuaR. Já para o erro de omissão foi determinado a partir das às porções do mapa DATQuaR não tenham sido identificadas como *soja+milho* e que nos pixels Landsat interpretados detenham as classes *soja+milho*. Por outro lado, aquelas porções do mapa DATQuaR foram classificadas com cultivo e que os pixels Landsat interpretados apresentam a classe *outros*, foram consideradas como erro de inclusão.

A partir das ocorrências de acerto, omissão e inclusão foi determinada a concordância global entre os mapas DATQuaR e os pixels Landsat interpretados. Cabe destacar que adotou-se a definição de concordância global, dado que a exatidão temática dos pixels Landsat aleatorizados foi checada por meio de uma amostra localizada em uma única região do RS devido ao elevado custo de tempo e recursos financeiros para uma checagem mais profunda. Para selecionar qual das formas utilizadas na geração das imagens DATQuaR produziu os melhores resultados foi utilizada uma ponderação da concordância global em relação a área ocupada com *soja+milho* identificada pelos pixels Landsat aleatorizados por período. De maneira que, foi gerada uma ordem dos diferentes métodos utilizados na geração das imagens DATQuaR em cada período ponderado pela relevância na estimativa de área ocupada com *soja+milho* no período. Logo, com esta ordem para cada método em cada período e dos mesmos em todos os períodos, tornou-se factível determinar a posição ordinal de cada método nos quatro períodos, e a partir deste ranqueamento selecionar o método mais adequado para formação das imagens DATQuaR (Congalton e Green, 1998). Os valores de concordância global foram analisados em nível estadual em cada um dos quatro períodos de monitoramento de área ocupada com *soja* e *milho* no RS.

### 3. Resultados e Discussão

Os mapas DATQuaR gerados foram similares ao apresentado na Figura 2. O vetor em preto representa as áreas identificadas como cultivos. É possível perceber a descontinuidade dos talhões na imagem Landsat que está associada ao vetor. Isso evidencia as misturas espectrais que são contidas nos pixels MODIS e sua repercussão no resultado final.

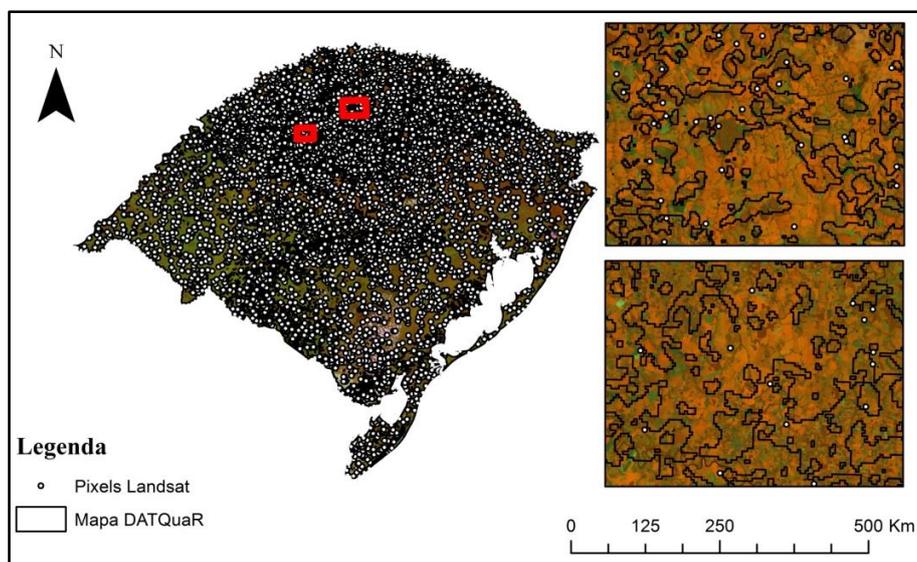


Figura 2. Mapa DATQuaR (vetor preto) para janeiro/fevereiro de 2014 gerado utilizando MinEVI e MaxEVI e filtro de moda com janela 3x3. Pontos (em branco) representam os pixels Landsat aleatorizados e interpretados visualmente que serviram a calibração do método e cálculo de concordância.

Foi identificado que para a elaboração dos mapas DATQuaR sem a utilização de filtragem de moda, o formato que utilizou a diferença simples entre a imagem de máximos valores de EVI para o período monitorado e a imagem de mínimos valores de NDVI do período prévio foi aquele que produziu os melhores valores de concordância global nos três períodos com maior presença de culturas agrícolas (novembro/dezembro de 2013 à março/abril de 2014). (Tabela 1). O resultado deste formato corrobora com o observado por Risso et al. (2012).

Tabela 1. Valores de concordância global em nível estadual, dos mapas DATQuaR sem filtragem com os pixels Landsat classificados via interpretação visual. O sinal entre as imagens de cada período identifica a diferença simples entre as imagens.

<b>Mapas DATQuaR</b>	<b>Set./out. 2013</b>	<b>Nov./dez. 2013</b>	<b>Jan./fev. 2014</b>	<b>Mar./abr. 2014</b>
<b>MaxEVI - MinEVI</b>	99,43	87,10	81,02	80,46
<b>MeanEVI – MinEVI</b>	99,35	87,20	80,73	78,79
<b>MedEVI – MinEVI</b>	99,35	87,11	80,78	79,15
<b>MaxNDVI – MinEVI</b>	99,46	86,69	80,36	79,61
<b>MeanNDVI – MinEVI</b>	99,42	85,92	78,77	72,81
<b>MedNDVI – MinEVI</b>	99,42	86,45	79,52	75,51
<b>MaxEVI – MinNDVI</b>	99,39	90,99	81,63	80,93
<b>MeanEVI – MinNDVI</b>	99,42	91,59	80,94	78,72
<b>MedEVI – MinNDVI</b>	99,39	91,60	80,88	79,14
<b>MaxNDVI – MinNDVI</b>	99,46	87,99	80,61	80,08
<b>MeanNDVI – MinNDVI</b>	99,38	87,78	80,00	77,10
<b>MeanNDVI – MinNDVI</b>	99,46	87,96	80,07	78,37

Por outro lado, quando adotada a utilização de uma filtragem de moda nos mapas DATQuaR o método de formação das imagens DATQuaR de maior concordância global foi aquele que utilizou somente imagens de EVI na configuração de seleção do máximo valor observado por pixel nas imagens MODIS do período em monitoramento e os mínimos valores para o período prévio (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de concordância global em nível estadual, dos mapas DATQuaR com filtragem de moda de janela 3x3 e os pixels Landsat classificados via interpretação visual. O sinal entre as imagens de cada período identifica a diferença simples entre as imagens.

<b>Mapas DATQuaR</b>	<b>set./out. 2013</b>	<b>nov./dez. 2013</b>	<b>jan./fev. 2014</b>	<b>mar./abr. 2014</b>
<b>MaxEVI – MinEVI</b>	99,53	89,22	81,24	81,38
<b>MeanEVI – MinEVI</b>	99,46	88,81	80,92	80,13
<b>MedEVI – MinEVI</b>	99,42	88,94	80,77	80,54
<b>MaxNDVI – MinEVI</b>	99,63	88,78	80,12	81,37
<b>MeanNDVI – MinEVI</b>	99,53	87,66	79,45	75,20
<b>MedNDVI – MinEVI</b>	99,63	87,79	79,69	77,71
<b>MaxEVI – MinNDVI</b>	99,60	91,39	80,88	80,89
<b>MeanEVI – MinNDVI</b>	99,63	91,26	77,58	77,83
<b>MedEVI – MinNDVI</b>	99,63	91,37	78,27	78,33
<b>MaxNDVI – MinNDVI</b>	99,59	89,25	80,27	81,23
<b>MeanNDVI – MinNDVI</b>	99,59	90,45	80,15	80,14
<b>MedNDVI – MinNDVI</b>	99,56	90,50	80,64	80,86

Analisando os resultados de concordância global obtidos entre os mapas DATQuaR e os pixels aleatorizados sobre imagens Landsat, cabe reforçar que para o período de setembro/outubro de 2013 somente três mesorregiões apresentaram *soja+milho* cultivada (Noroeste Rio-grandense, Centro Ocidental Rio-Grandense e Sudeste Rio-grandense). E que os valores de concordância apontados nas Tabelas 1 e 2 para esse período foram calculados

somente as ocorrências dessas mesorregiões. Os valores de concordância global apresentaram uma tendência de redução em relação ao crescimento dos valores de área identificados em cada período de monitoramento via processo de amostragem de pixels Landsat, dada que a sequência decrescente de valores de área ocupada com *soja+milho* foi: janeiro/fevereiro, março/abril, novembro/dezembro e setembro/outubro.

Por fim, analisando os valores de concordância entre os mapas DATQuAR ficou demonstrado que de modo geral, os mapas que passaram pelo processo de filtragem de moda detiveram valores de concordância mais elevados quando comparados aqueles não filtrados (Tabelas 1 e 2). Dado que para os períodos com maior presença de cultivo de *soja+milho* (janeiro/fevereiro de 2014 e março/abril de 2014). Os valores de concordância global oscilaram entre 72,81 e 99,46% para os mapas elaborados sem filtragem, e 75,20 e 99,63% para os mapas que passaram pelo processo de filtragem de moda com janela 3x3.

#### 4. Conclusões

A metodologia DATQuAR demonstrou potencial de identificação da presença de *soja+milho* nas condições do Estado do RS, que a concordância entre os mapas DATQuAR e os pixels Landsat interpretados foi acima do observado em outros trabalhos (ao redor de 70%). Porém, mesmo com algumas limitações as imagens IVs MODIS nas condições do RS, estas são uma fonte de dados de sensoriamento remoto capaz de prover mapas de cultivos a cada dois meses.

Os resultados demonstram que com a aplicação da metodologia DATQuAR, é possível identificar a localização dos cultivos de verão com uma concordância em geral acima de 81% entre mapas gerados somente a partir de imagens de EVI e o conjunto de dados de referência. A abordagem de melhor resultado foi aquela que usou a diferença simples entre uma imagem dos máximos valores de EVI ocorridos no período em monitoramento e a imagem dos mínimos valores de EVI ocorridos no período anterior. Entre as diferentes configurações, a utilização da filtragem de moda com janela móvel de 3x3 pixel foi a que produziu os melhores resultados de concordância global.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo provimento da bolsa de mestrado que possibilitou a elaboração desta pesquisa.

#### Referências Bibliográficas

Asner, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.

Atzberger, C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013. doi:10.3390/rs5020949.

Bernardes, T.; Adami, M.; Formaggio, A. R.; Moreira, M. A.; França, D. de Azevedo.; Novaes, M. R. Imagens mono e multitemporais Modis para estimativa da área com soja no Estado de Mato Grosso. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.11, p.1530-1537, nov. 2011.

Brown, J. C.; Kastens, J. H.; Coutinho, A. C.; Victoria, D. DE C.; D, Bishop, C. R. Classifying multiyear agricultural land use data from Mato Grosso using time-series MODIS vegetation index data. **Remote Sensing of Environment**, n. 130, p. 39-50, 2013.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. CRC Press, Taylor & Francis Group®, 1998.

Eberhardt, I. D. R.; Rizzi, R.; Risso, J. Identificação prévia de talhões de soja no Mato Grosso a partir de imagens MODIS avaliação do mapeamento. In: Sociedade de Especialistas Latino-Americanos em Sensoriamento Remoto (SELPER), 15, 2012. Cayenne. **Anais...** Cayenne: SELPER, 2012.

Eberhardt, I. D. R.; Rizzi, R.; Risso, J.; Santos, F. J.; Fernandes, S. L. Mapeamento e estimativa prévia das áreas de soja no Mato Grosso a partir de imagens EVI. XVI SBSR. **Anais**. Foz do Iguaçu, PR, BR. INPE p.356-366, 2013. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.10.54>>. Acesso em: 1 dez. 2014.

Eberhardt, I. D. R.; Mello, M. P.; Rizzi, R.; Formaggio, A. R.; Atzberger, C.; Foschiera, W.; Schultz, B.; Luiz, A. J. B.; Trabaquini, K.; Goltz, E. Assessment of Suitable observation conditions for a monthly operational crop monitoring system based on satellite images. **Proceedings of the 2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2014)**, p.2126-2129, Quebec, CAN, 2014.

Gusso, A.; Formaggio, A. R.; Rizzi, R.; Adami, M.; Rudorff, B. F. T. Soybean crop area estimation by Modis/Evi data. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 3, p. 425-435, 2012.

Huete, A.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n.59, p.440-451, 1997.

Huete, A.; Justice, C.; Leeuwen, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**, 1999. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)>. Acesso em: 1 nov. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro, 1990. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/DRB/Divisao%20regional\\_v01.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf)>. Acesso em: 1 nov. 2014.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J.R.G.; Defries, R.; Roy, D.P.; Hall, D.K.; Salomonson, V.V.; Privette, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Running, S.W.; Nemani, R.R.; Zhengming, W.; Huete, A.R.; Van Leeuwen, W.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.; Lewis, P.; Barnsley, M.J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p.1228-1249, 1998.

Johann, J. A.; Rocha, J. V.; Daniel Garbellini Duft, D. G.; Lamparelli, R. A. C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n. 9, p.1295-1306, 2012.

Luiz, A. J. B.; Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Arenas-Toledo, J. M.; Goltz, E.; Brandão, D. Estimativa amostral objetiva de área plantada regional, apoiada em imagens de sensoriamento remoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.9, p.1279-1287, 2012.

MacRoberts, R. E. Satellite image-based maps: Scientific inference or pretty pictures? **Remote Sensing of Environment**, n.115, p.715-724, 2011.

R Development Core Team, R: **A Language and Environment for Statistical Computing**, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

Risso, J.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E.; Formaggio, A. R.; Epiphanyo, R. D. V. Índices de vegetação MODIS aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1317-1326, set., 2012.

Rizzi, R.; Risso, J.; Epiphanyo, R. D. V.; Rudorff, B. F. T.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Fernandes, S. L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. XIV SBSR. **Anais**. Natal. INPE p.387-394, 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.18.50.57/doc/387-394.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2014.

Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Deering, D. W.; Schell, J. A. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Type II Report for the Period**. Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland, 20771, October, 1973.

Sugawara, L. M.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M. Viabilidade de uso de imagens do Landsat em mapeamento de área cultivada com soja no Estado do Paraná. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n.12, p.1777-1783, 2008.