

Geração automática de perfis temporais de NDVI a partir de imagens AVHRR/NOAA e SPOT/Vegetation.

Júlio César Dalla Mora Esquerdo ^{1,2}
Jurandir Zullo Júnior ²

¹ Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP (Doutorando)
Caixa Postal 6011 – 13083-875 – Campinas-SP, Brasil

² Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CEPAGRI/UNICAMP
Cidade Universitária “Zeferino Vaz” – 13083-970 – Campinas-SP, Brasil
{julio, jurandir}@cpa.unicamp.br

Abstract. Vegetation Indices are a product of remote sensing and have been used for vegetation and crop monitoring. High temporal resolution satellites have enabled the acquiring of such indices very often, allowing to generate the temporal NDVI profiles, describing the crop biomass status throughout its phenological cycle. The objective of this work was to develop a method for the automatic generation of temporal NDVI profiles from several crop areas, trying to make such acquiring faster, more accurate and less labor-intensive. The methodology was applied to 29 municipal districts in the soybean crop monitoring. AVHRR/NOAA and SPOT/Vegetation data were used to the system evaluation. The results showed that this methodology allowed the total automation of the NDVI values extraction and the development of temporal profiles from a high amount of crop areas. Some quantitative parameters retrieved from the NDVI profiles showed correlation with the official municipal yield, essentially when the whole crop season was considered.

Palavras-chave: remote sensing, automation, soybean, sensoriamento remoto, automação, soja.

1. Introdução

As imagens de satélite são fontes importantes de informações para modelos de previsão da produção agrícola. Um produto largamente utilizado são os índices de vegetação, sendo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*), proposto por Rouse et al. (1973), o mais comumente utilizado. Por apresentar estreita correlação com parâmetros biofísicos das plantas, como biomassa (Justice e Hiernaux, 1986; Holben et al., 1980) e índice de área foliar (Price, 1993), o NDVI tem sido utilizado no monitoramento de vegetações naturais e de áreas agrícolas. A existência de sensores presentes em plataformas orbitais com elevada resolução temporal (ex. AVHRR/NOAA, Terra-Aqua/MODIS, SPOT/Vegetation) permite a geração desses índices com maior regularidade, o que favorece a análise e o monitoramento de culturas anuais de ciclo curto, com elevada dinâmica espectral. Essa análise pode ser realizada por meio da construção de gráficos que descrevem o perfil temporal do NDVI, ou seja, o comportamento do índice de vegetação ao longo de todo o ciclo produtivo, mostrando a emergência da cultura, seu desenvolvimento, maturação e senescência (Labus et al., 2002). Parâmetros quantitativos podem ser extraídos dos perfis temporais, ou de parte deles, e correlacionados com valores de produtividade agrícola (Hill & Donald, 2003). Entretanto, quando este monitoramento é realizado num número excessivo de áreas agrícolas, torna-se trabalhoso, demanda tempo e nem sempre é feito de maneira precisa. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um sistema para a geração automática dos perfis temporais de NDVI, produzindo saídas gráficas e tabulares do comportamento deste índice em um elevado número de áreas agrícolas, com a finalidade de gerar informação para modelos de previsão agrícola que considerem a informação espectral. Imagens AVHRR/NOAA (*Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration*) e SPOT/Vegetation (*Satellite*

Pour l'Observation de la Terre) serviram como fonte de dados para a avaliação do sistema, que utilizou como alvo a cultura da soja numa das maiores regiões de produtoras do Brasil.

2. Material e Métodos

A metodologia proposta é baseada em informações em nível municipal e foi aplicada no monitoramento da cultura da soja na região oeste do estado do Paraná (**Figura 1**), segundo maior produtor do Brasil e responsável por cerca de 18% da produção nacional. A safra analisada foi a dos anos 2003/2004.

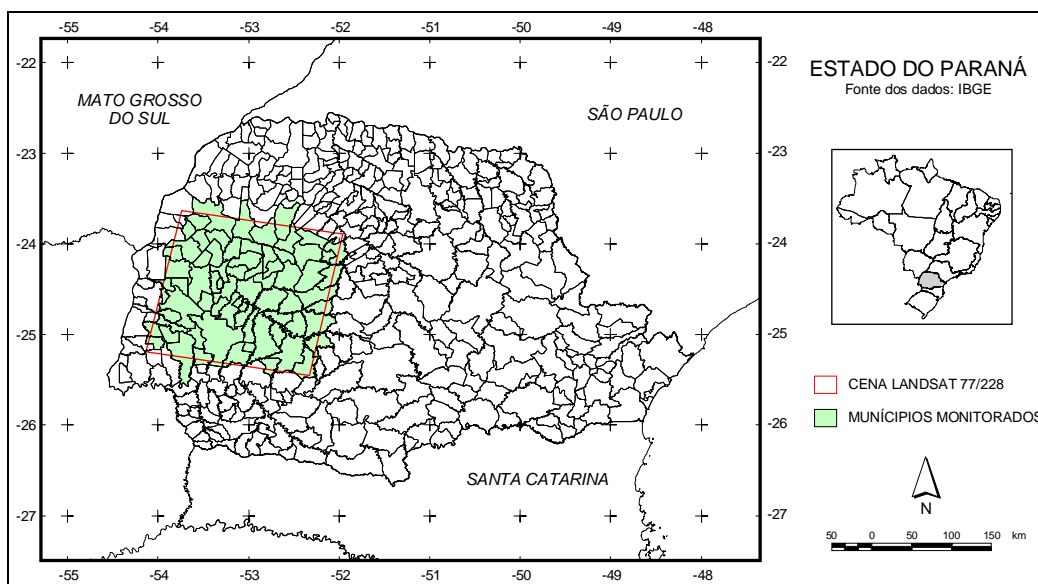


Figura 1. Estado do Paraná e a área monitorada na avaliação do sistema.

A **Figura 2** mostra um fluxograma simplificado do sistema proposto, onde os valores de NDVI são coletados a partir de imagens de alta resolução temporal sobre áreas de soja de um dado município, delimitadas por meio de uma imagem de média ou alta resolução espacial. Todas as rotinas do sistema foram desenvolvidas em linguagem IDL (*Interactive Data Language*).

Para a extração dos valores de NDVI foram utilizadas imagens dos sensores AVHRR/NOAA e SPOT/Vegetation, ambos com cobertura diária e resolução espacial próxima a 1 km. As imagens AVHRR/NOAA foram obtidas em seu estado bruto do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), sendo necessário o seu processamento para a geração dos valores diários de NDVI, que incluiu calibração radiométrica, georreferenciamento preciso, recorte da área de estudo e a geração de produtos, sendo utilizado o sistema automático proposto por Esquerdo et al. (2006). Composições máximas decendiais de NDVI foram geradas por meio de uma rotina IDL, a fim de reduzir os efeitos da atmosfera e das sombras (Holben, 1986).

As imagens SPOT/Vegetation, cobrindo toda a América do Sul, foram obtidas do VITO (*Flemish Institute for Technological Research*) já em valores de NDVI, escalonados em 256 níveis. Foram utilizados dois tipos de composições decendiais: VGT-S10 (imagem síntese incluindo o pixel de “melhor” refletância no período) e VGT-D10 (imagem síntese de composição bidirecional). Maiores informações sobre o produto VGT-D10 podem ser obtidas em Duchemin et al. (2000). Ambos produtos foram recortados para o estado do Paraná e os valores digitais foram convertidos em valores físicos de NDVI.

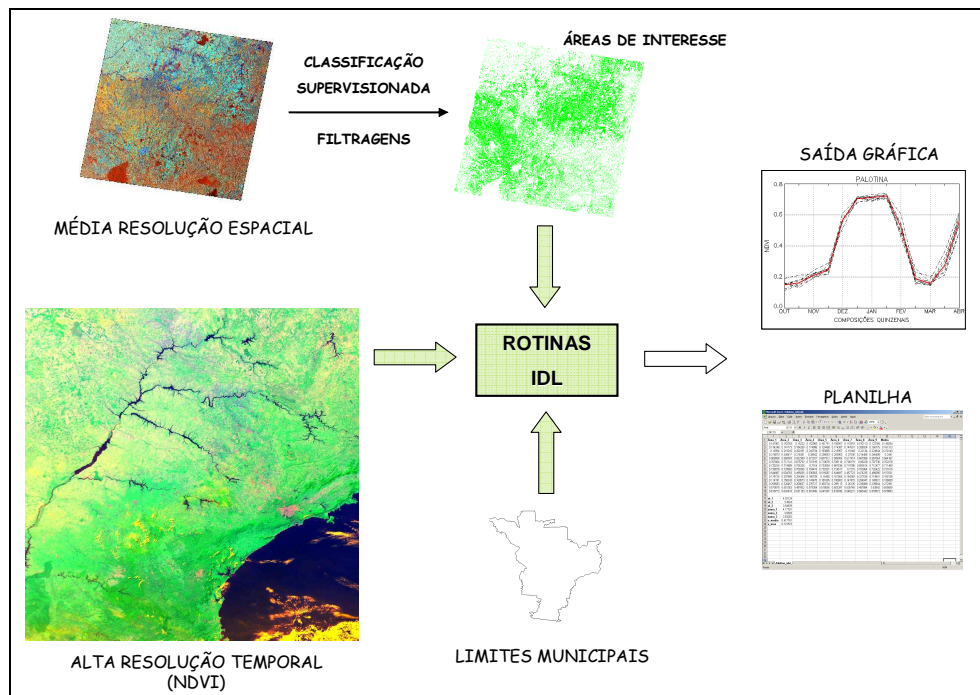


Figura 2. Fluxograma resumido do sistema para geração automática dos perfis temporais de NDVI.

Para a localização das áreas de soja foi utilizada a classificação supervisionada da cena Landsat-TM 223/77, com 30 metros de resolução espacial. Para a extração de áreas com tamanhos compatíveis às imagens de baixa resolução espacial, foi aplicado à imagem classificada um filtro passa-baixas numa janela de 37 x 37 pixels, dando origem a uma imagem com valores flutuantes entre 0 e 1 (fazendo com que a parte central das grandes áreas de soja apresentasse valor 1). A **Figura 3** mostra um exemplo de como as áreas significativas de soja dentro do município de Toledo foram delimitadas.

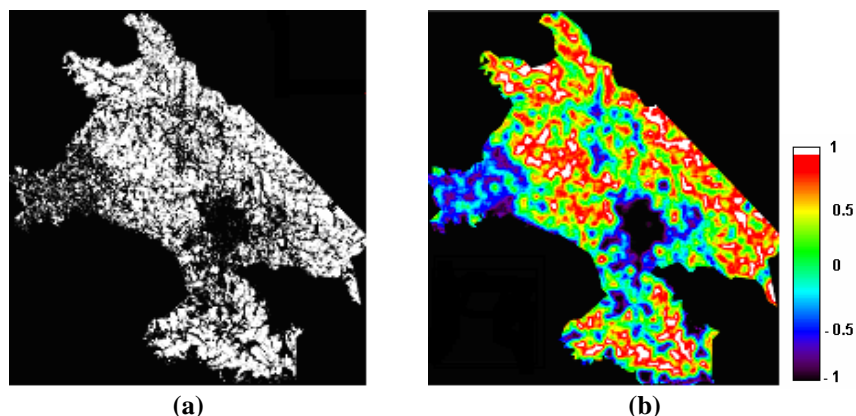


Figura 3. Exemplo da extração das áreas de soja no município de Toledo: imagem booleana com as áreas de soja (a) e filtrada (b), com valores entre 0 e 1. As regiões em branco de (b) representam as grandes áreas de soja.

Para cada município de entrada (representados por arquivos de máscaras municipais), uma rotina IDL verifica a existência de áreas de soja dentro de seus limites. Se existirem, a rotina faz a busca dos valores de NDVI dessas áreas em cada uma das composições máximas decendiais, gerando os perfis temporais. Em cada município é gerado um perfil médio, no qual são calculados parâmetros quantitativos, como área integrada, valor médio, somatório e valor máximo, que são exportados para uma planilha. Estes parâmetros foram então correlacionados aos valores oficiais de produtividade municipal, gerados pelo SEAB/DERAL (Departamento de Economia Rural da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná).

3. Resultados e Discussão

Foram monitorados os 29 municípios de maior produção de soja na região oeste do estado do Paraná, coberta pela cena Landsat 223/77. A **Figura 4** mostra um exemplo da saída gráfica do município de Assis Chateaubriand. As linhas pontilhadas representam os 95 perfis individuais gerados no município, enquanto que a linha vermelha representa o perfil temporal médio. As regiões preenchidas abaixo do perfil representam o período de cultivo, que na região acontece entre o final do mês de outubro e meados de março. Devido ao curto período entre as datas (10 dias), verificou-se a presença de nuvens nas composições máximas, cujos pixels foram marcados e seus valores de NDVI substituídos pela média das composições adjacentes. Este procedimento favoreceu a geração de perfis mais suaves e com menores oscilações decorrentes de fatores não relacionados à cultura.

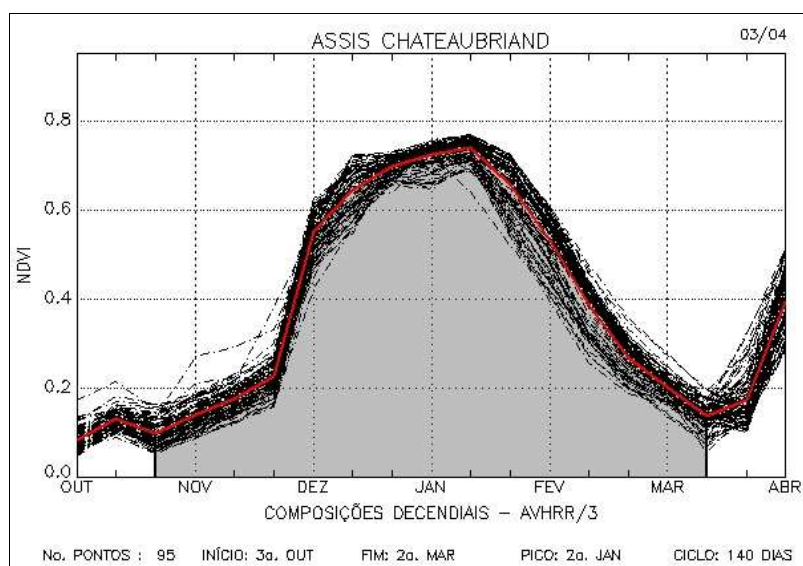


Figura 4. Saída gráfica do município de Assis Chateaubriand.

A **Figura 5** mostra um comparativo entre os três gráficos da evolução temporal do NDVI no município de Assis Chateaubriand, gerados a partir dos dados AVHRR, VGT-S10 e VGT-D10. Verificou-se nas três fontes de dados que existe pouca variação entre os perfis individuais e o perfil médio, o que mostra que as datas de semeadura e cultivares adotados no município são semelhantes.

Analisando-se as três curvas, nota-se que as composições AVHRR (**Figura 5a**) apresentam valores de NDVI menores em relação às composições SPOT/Vegetation (**Figuras 5b e 5c**), numa diferença média de 0,15. Esse fato pode estar relacionado à diferenças entre os sensores, como por exemplo as faixas espectrais, que são mais estreitas nos canais do visível e infravermelho próximo do SPOT/Vegetation. Outra causa dessa diferença pode estar

relacionada ao nível de processamento das imagens, que no caso do sensor SPOT/Vegetation apresenta correção atmosférica, o que atenua o efeito de gases e aerossóis, aumentando os valores de refletância nos canais que dão origem ao NDVI. Os dados AVHRR não receberam essa correção.

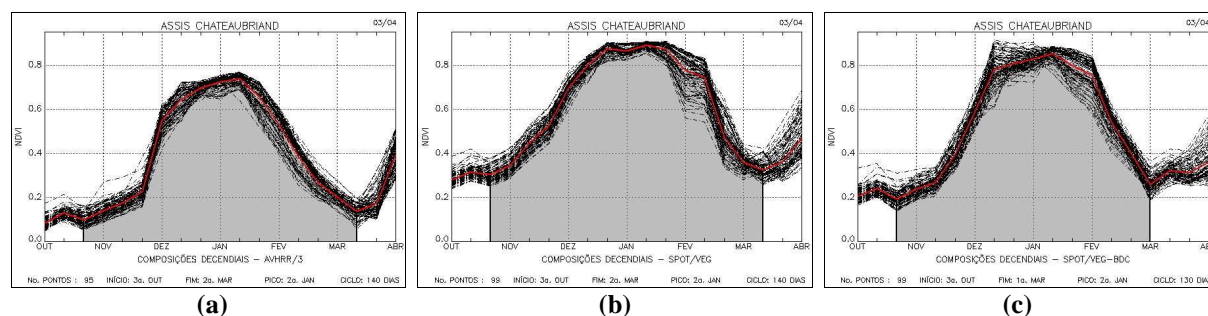


Figura 5. Perfis temporais de NDVI do município de Assis Chateaubriand, gerados a partir dos dados AVHRR (a), VGT-S10 (b) e VGT-D10 (c).

Apesar da diferença entre a escala de valores dos sensores AVHRR e SPOT/Vegetation, verificou-se um mesmo comportamento do NDVI entre as três curvas geradas, com valores baixos no início do desenvolvimento, aumentando conforme a cultura ganhava biomassa até um pico vegetativo, a partir do qual os valores decresceram até os patamares iniciais, de solo exposto ou palhada. Os pontos de início e fim do ciclo foram definidos automaticamente através da análise do crescimento/redução dos valores do NDVI. Nos três casos, o início se deu no terceiro decêndio de outubro e o fim no segundo decêndio de março, com exceção dos dados VEG-D10 (c), que mostraram o término da safra no primeiro decêndio de março.

Os parâmetros quantitativos foram mensurados em cinco períodos distintos ao longo da curva do NDVI: durante todo o ciclo e entre o início até 10, 20, 30 e 40 dias antes do término da safra. As correlações entre tais parâmetros e os valores de produtividade municipal são mostrados nas Tabelas 1, 2 e 3, para os dados AVHRR, VGT-S10 e VGT-D10, respectivamente.

Tabela 1. Correlação r e (r^2) entre os parâmetros quantitativos extraídos dos perfis municipais e a produtividade municipal, em diferentes períodos do ciclo, utilizando dados AVHRR.

Parâmetros	Períodos				
	Ciclo inteiro	10 dias antes	20 dias antes	30 dias antes	40 dias antes
Área Integrada	0,78 (0,61)	0,75 (0,57)	0,70 (0,49)	0,59 (0,34)	0,50 (0,21)
Somatório	0,79 (0,62)	0,78 (0,60)	0,74 (0,54)	0,65 (0,42)	0,56 (0,31)
V. Médio	0,83 (0,68)	0,79 (0,62)	0,73 (0,54)	0,70 (0,49)	0,57 (0,33)
V. Máximo	0,38 (0,14)				

Tabela 2. Correlação r e (r^2) entre os parâmetros quantitativos extraídos dos perfis municipais e a produtividade municipal, em diferentes períodos do ciclo, utilizando dados VGT-S10.

Parâmetros	Períodos				
	Ciclo inteiro	10 dias antes	20 dias antes	30 dias antes	40 dias antes
Área Integrada	0,74 (0,55)	0,69 (0,48)	0,60 (0,36)	0,54 (0,29)	0,49 (0,24)
Somatório	0,75 (0,57)	0,73 (0,54)	0,66 (0,44)	0,57 (0,33)	0,53 (0,28)
V. Médio	0,79 (0,62)	0,75 (0,56)	0,63 (0,40)	0,50 (0,25)	0,43 (0,18)
V. Máximo	0,40 (0,16)	-	-	-	-

Tabela 3. Correlação r e (r^2) entre os parâmetros quantitativos extraídos dos perfis municipais e a produtividade municipal, em diferentes períodos do ciclo, utilizando dados VGT-D10.

Parâmetros	Períodos				
	Ciclo inteiro	10 dias antes	20 dias antes	30 dias antes	40 dias antes
Área Integrada	0,80 (0,63)	0,76 (0,58)	0,72 (0,52)	0,69 (0,48)	0,67 (0,45)
Somatório	0,79 (0,62)	0,78 (0,61)	0,75 (0,56)	0,71 (0,50)	0,68 (0,47)
V. Médio	0,81 (0,66)	0,73 (0,54)	0,67 (0,45)	0,61 (0,37)	0,61 (0,37)
V. Máximo	0,38 (0,14)	-			

Em todos os casos analisados, as correlações NDVI x produtividade diminuem na medida em que menores partes da curva são analisadas (períodos mais curtos). As maiores correlações ocorreram quando se considerou o ciclo todo, alcançando o valor máximo de $r=0,83$ ($r^2=0,68$), no caso das composições AVHRR. Isto mostra que a avaliação do comportamento do NDVI ao longo de todo o ciclo vegetativo pode gerar informações indicativas do potencial produtivo da soja na região estudada. Quando considerado o perfil todo, verificou-se que o parâmetro valor médio foi o que apresentou melhor correlação, embora os parâmetros área integrada e somatório tenham apresentado valores similares. Já o parâmetro valor máximo apresentou as piores correlações e não deve ser proposto para análises deste tipo.

Considerando o menor período analisado, correspondente ao início da safra até 40 dias antes da colheita, os dados do sensor VGT-D10 foram os que apresentaram os melhores resultados. Entretanto, as correlações verificadas foram baixas e não representam potencial para servirem de entrada em modelos de previsão de safra. De modo geral, pode-se dizer que os dados NOAA/AVHRR e SPOT/Vegetation apresentaram semelhanças nos resultados obtidos, cujas correlações com os dados de produtividade oficiais foram muito próximas.

O sistema desenvolvido permitiu a automatização da coleta da informação espectral de um elevado número de áreas. Considerando as três fontes de dados utilizadas, foram gerados cerca de 2400 perfis temporais, economizando tempo e trabalho caso essa coleta fosse feita de forma manual.

4. Conclusões

A metodologia proposta mostrou-se eficiente na extração de perfis temporais de NDVI sobre áreas agrícolas em nível municipal, mostrando-se totalmente automática na extração dos valores espectrais, assim como no desenvolvimento dos perfis temporais de um elevado número de áreas.

O monitoramento da evolução temporal do NDVI, considerando todo o ciclo fenológico da soja, pode gerar informações indicativas do potencial produtivo da cultura na região estudada. Tais dados podem servir de entrada em modelos de previsão que considerem a informação espectral proveniente das imagens de satélite.

Os dados AVHRR/NOAA e SPOT/Vegetation apresentaram resultados semelhantes na avaliação da correlação NDVI x Produtividade da soja.

5. Agradecimentos

Ao IPSC/AGRIFISH (*Institute for Protection and Security of the Citizen, Agriculture and Fisheries Unit*) do JRC (*Joint Research Centre*) por ceder as imagens SPOT/Vegetation processadas pelo VITO (*Flemish Institute for Technological Research*).

6. Referências

- Duchemin, B., Maisongrande, P., Dedieu, G., Leroy, M., Roujean, J. L., Bicheron, P., Hautecoeur, O., Lacaze, R., A 10-days compositing method accounting for bidirectional effects. **Proceedings of the VEGETATION 2000**, Belgirate, Italy (3 – 6 April 2000), p.313-318, 2000.
- Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G.; Emery, W. J.; Zullo Jr, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.
- Hill, M.J.; Donald, G.E. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, 84, p.367-384, 2003.
- Holben, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 7, 11, p.1417-1435, 1986.
- Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Cheng-Jeng, F. Spectral assessment of soyabean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.46, n.5, p.651-656, 1980.
- Justice, C.O.; Hiernaux, P.H.Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger, 1983. **International Journal of Remote Sensing**, 7, 11, p.1475-1498, 1986.
- Labus, M.P.; Nielsen, G.A.; Lawrence, R.L.; Engel, R.; Long, D.S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 23, 20, p.4169-4180, 2002.
- Price, J.C. Estimating leaf area index from satellite data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 31, 3, p.727-734, 1993
- 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., NASA, 1, p.309-317, 1973.