

## Mapeamento do fluxo de CO<sub>2</sub> em lavouras de soja usando imagens orbitais landsat TM5

Anderson Rafael Gerhardt<sup>1</sup>  
Celso Pinheiro Rodrigues<sup>1</sup>  
Gilca Alves<sup>1</sup>  
Denise Cybis Fontana<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/CEPSRM  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale  
CEP - 91501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil  
meninoandi@yahoo.com.br,  
py.correio@gmail.com,  
gil\_alves\_mami@hotmail.com

<sup>2</sup> Faculdade de Agronomia – Departamento de Agrometeorologia e Plantas Forrageiras  
Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100 – Porto Alegre – RS – Brasil  
dfontana@ufrgs.br

**Abstract.** Nowadays it is increasing the number of discussions and studies related to the carbon sequestration issue. This topic is very important to the understanding of the anthropogenic and natural causes associated with the intensification of the natural greenhouse effect due to the increasing of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. Having as a premise the fact that remote sensing can contribute to the extrapolation of information taken at experimental sites, specific to large areas, the objective was to analyze the relationship between atmospheric CO<sub>2</sub> capture and indicators derived from remote sensing data (NDVI). The study was focused on an area in the city of Cruz Alta, located in the center of the main soybean-producing region in the state of Rio Grande do Sul, including the crops from 2008/09. The CO<sub>2</sub> flux data were provided by the Federal University of Santa Maria in an experimental soybean plantation during the period from November 2008 to April 2009. The spectral vegetation (NDVI) image indicators were obtained from Landsat TM5, 223-080 point-orbit corrected geometrically and radiometrically. The still preliminary results, point to the existence of a relationship between CO<sub>2</sub> flux data and spectral indices, which indicates the possibility of mapping and quantification of municipal sequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> for soy farming.

**Palavras-chave:** remote sensing, carbon flow, vegetation index, NDVI/MODIS, digital classification, sensoriamento remoto, fluxo de carbono, índice de vegetação, NDVI/MODIS, classificação digital

### 1. Introdução

Atualmente, é crescente o número de discussões e estudos relacionados ao tema seqüestro de carbono, assunto importante para o entendimento das causas naturais e antrópicas associadas à intensificação do efeito estufa natural em função do incremento de CO<sub>2</sub>.

Nesse sentido, a agricultura brasileira pode ser uma atividade de destaque, pois possui duas das três maiores fontes de estoque de carbono: o solo e a planta. Embora a atividade agrícola seja responsável por uma grande emissão de gases estufa, também pode ser responsável por reduzir esse problema, mitigando parte do excesso de gás carbônico do ambiente.

Estudos recentes salientam a possibilidade da utilização dos índices espectrais de vegetação para o mapeamento, monitoramento e estimativa da biomassa verde. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) é considerado, por muitos autores, como um bom estimador de biomassa, sendo o índice mais utilizado em pesquisas relacionadas à dinâmica da cobertura vegetal e como consequência pode ser relacionado ao estoque e seqüestro de carbono nas plantas.

O IVDN ou NDVI do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*, proposto por Rouse et al. (1973), utiliza o evidente contraste da refletância da vegetação entre a região do visível,

especificamente no vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for o contraste, haverá maior vigor da vegetação da área imageada. (Equação 1):

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

Onde,

$\rho_{IVP}$  = energia refletida na região do infravermelho próximo

$\rho_V$  = energia refletida na região do vermelho

Na Figura 1 podemos visualizar a assinatura espectral para 3 (três) alvos, solo, vegetação e água.

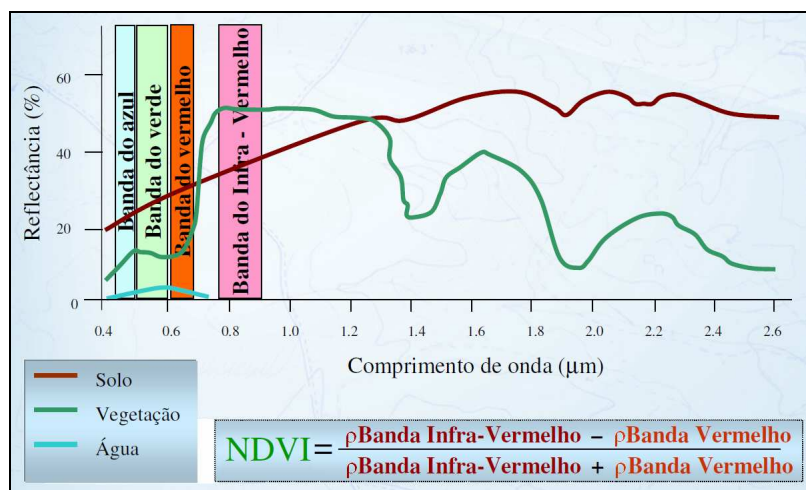


Figura 1. Assinatura espectral para 3 (três) alvos, solo, vegetação e água.

No contexto da vegetação, o CO<sub>2</sub> apresenta um fluxo cíclico levando em consideração as 24 horas do dia. Durante o período diurno o fluxo é negativo devido a assimilação do CO<sub>2</sub> através da fotossíntese e durante a noite o fluxo inverte-se e torna-se positivo pela emissão de CO<sub>2</sub> através da respiração da planta. Na Figura 2 podemos observar o fluxo de CO<sub>2</sub> ao longo de 24 horas em lavoura experimental de soja, no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul.

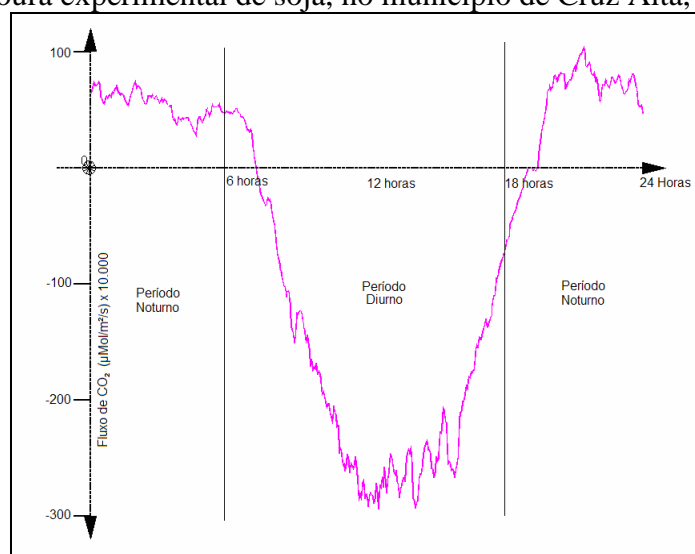


Figura 2. Fluxo de CO<sub>2</sub> ao longo de 24 horas em lavoura experimental de soja, 21.01.2009.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi verificar a relação entre a captura de CO<sub>2</sub> atmosférico e o NDVI em lavouras de soja. Tendo como premissa que técnicas de sensoriamento remoto podem contribuir na extrapolação, para grandes áreas, de informações tomadas em locais experimentais específicos.

## 2. Material e Métodos

O estudo concentrou-se no território pertencente ao município de Cruz Alta, com uma área aproximada de 1.360 km<sup>2</sup>, o qual está localizado no centro da principal região produtora de Soja no Estado do Rio Grande do Sul. Citando Wagner, A. P. (2007) “No Caso do Rio Grande do Sul, a cultura da soja é um setor representativo da economia regional, segundo dados do IBGE, aproximadamente 80% destas lavouras concentram-se na metade norte do Estado.” Figura 3

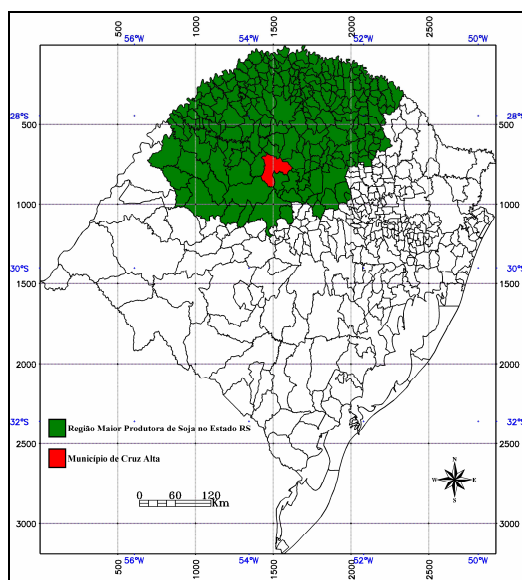


Figura 3. Estado do Rio Grande do Sul, com destaque para Região Produtora de Soja e Município de Cruz Alta.

Os dados de fluxo de CO<sub>2</sub> foram obtidos, através da técnica de covariância de vórtices, usando anemômetro sônico em torre micrometeorológica (Figuras 5 e 4), instalada pela Universidade Federal de Santa Maria em lavoura experimental cultivada com soja, cujas dimensões eram 40 x 60 metros, no município de Cruz Alta.



Figura 4. Torre micrometeorológica. Figura 5. Anemômetro sônico.

A torre micrometeorológica foi instalada no dia 19/11/2008 pela equipe do Grupo de Física da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a qual fez a definição dos sensores, a montagem do equipamento e todo o acompanhamento e coleta de dados (Figura 4). A localização da torre, no sistema de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), datum WGS84, foi nas coordenadas 238728, 6833336, obtida com um GPS Garmin modelo 76CSx e antena externa, com sinal de 12 satélites, estava inserida na parcela experimental.

As medidas de turbulência foram feitas pelo anemômetro sônico *Campbell-3D*, flutuações turbulentas de vapor d'água e CO<sub>2</sub> pelo analisador de gás de caminho aberto LICOR 6556 (figura 5), a uma frequência de 16 Hz. Também foram obtidas medidas de temperatura e umidade do ar pelo HMP45C (*Campbell*), velocidade e direção do vento através do Young 8100, precipitação pelo TB4 *Rain Gauge*, e onda curta (piranômetro CM6B – *Kipp e Zonen*), coletados a 1 Hz.

O método da covariância dos vórtices (“eddy covariance”) foi utilizado para medir o fluxo de CO<sub>2</sub> resultante da interação entre atmosfera e o ecossistema local (soja e solo), assim como o fluxo de calor latente e sensível. Esta técnica permite determinar o fluxo vertical de CO<sub>2</sub> (fotossíntese-respiração), da temperatura do ar (fluxo de calor sensível) e da umidade do ar (fluxo de calor latente), usando o cálculo da covariância entre as flutuações da velocidade vertical do vento e das concentrações de CO<sub>2</sub>. Esse método está baseado nos redemoinhos (turbilhões) que acontecem na atmosfera. Os turbilhões mais aquecidos e mais úmidos gerados próximos à superfície são deslocados verticalmente, sendo substituídos por turbilhões menos aquecidos. Assim, estes movimentos são responsáveis pelo transporte vertical (fluxos) das propriedades da atmosfera.

A estação meteorológica permaneceu conectada a uma rede de abastecimento elétrica durante todo o período de coleta de dados, sendo que todos os sensores estão conectados a um módulo de aquisição de dados (*datalogger*), onde se registram e armazenam as medições efetuadas, por vez, ligado a um computador.

Os dados brutos foram armazenados em tempo real, posteriormente processados em arquivos de 30 minutos. Para isso, tiveram que ser unidos em arquivos de 24h. Então, foram feitas médias de 30 min em janela móvel com avanço de 3 min, permitindo assim, para um período de 24h, 480 registros. As variáveis turbulentas foram calculadas com auxílio de linguagem computacional Fortran-77, desenvolvido pelo grupo de pesquisa da UFSM, utilizando o método da covariância de vórtices.

Para este trabalho utilizamos 5 (cinco) Imagens Landsat TM5, órbita-ponto 223-080 (Figura 6), já corrigidas geométrica e radiométricamente, referentes a safra 2008/2009, dezembro a abril, período este de cultivo do soja no estado do Rio Grande do Sul.



Figura 6. Grade de localização das Imagens Landsat, destaque para órbita-ponto 223-080.

As imagens foram obtidas de forma gratuita diretamente do site (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A escolha das imagens considerou a melhor visibilidade, menor influência de brumas pouca ocorrência de nuvens e disponibilidade dos dados da torre micrometeorológica.

Assim, foram utilizadas as imagens com as respectivas datas:

- 20 de dezembro de 2008
- 05 de janeiro de 2009
- 21 de janeiro de 2009
- 26 de março de 2009
- 11 de abril de 2009



No intuito de caracterizar a resposta espectral da cultura da soja, foram geradas imagens de índices de vegetação, baseado na razão de bandas, mais especificamente o índice NDVI.

Para a lavoura experimental, foram extraídos os dados de NDVI dos *pixels* correspondentes a localização da estação micrometeorológica adotando-se 2 *pixels* para a realização de médias do NDVI.

A fim de definir as áreas de soja no município de Cruz Alta, utilizou-se o método de Classificação Digital Não-Supervisionada ISODATA, Duda e Hart (1973).

Neste tipo de classificação o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificadas no espaço de atributos as nuvens (clusters) formadas por “pixels” com características similares. Neste tipo de classificador, é comum especificar o número destas nuvens, isto é, o número de classes possíveis de serem encontradas na área de estudo e de interações do algoritmo, Galvão e Meneses (2005).

O *Software* utilizado para o processamento das imagens, geração do índice de vegetação, recorte e classificação digital foi o ENVI 4.3

### 3. Resultados e Discussão

Primeiramente fez-se necessário o “recorte” da área de estudo, no caso o município de Cruz Alta, para todas as 5 (cinco) datas-imagem, exemplo esquema abaixo, figura 7.

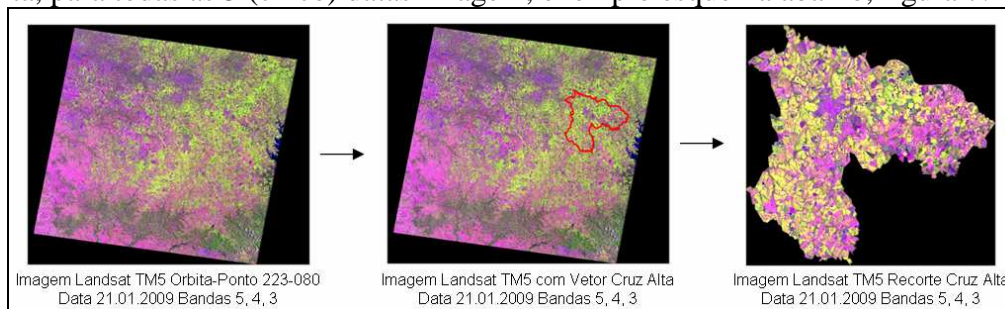


Figura 7. Imagem Landsat TM5, Data 21.01.2009, Bandas 3, 4, 5.

O próximo passo foi a geração dos índices de vegetação (NDVI), utilizando a equação proposta por Rouse et al. (1973). Figura 8

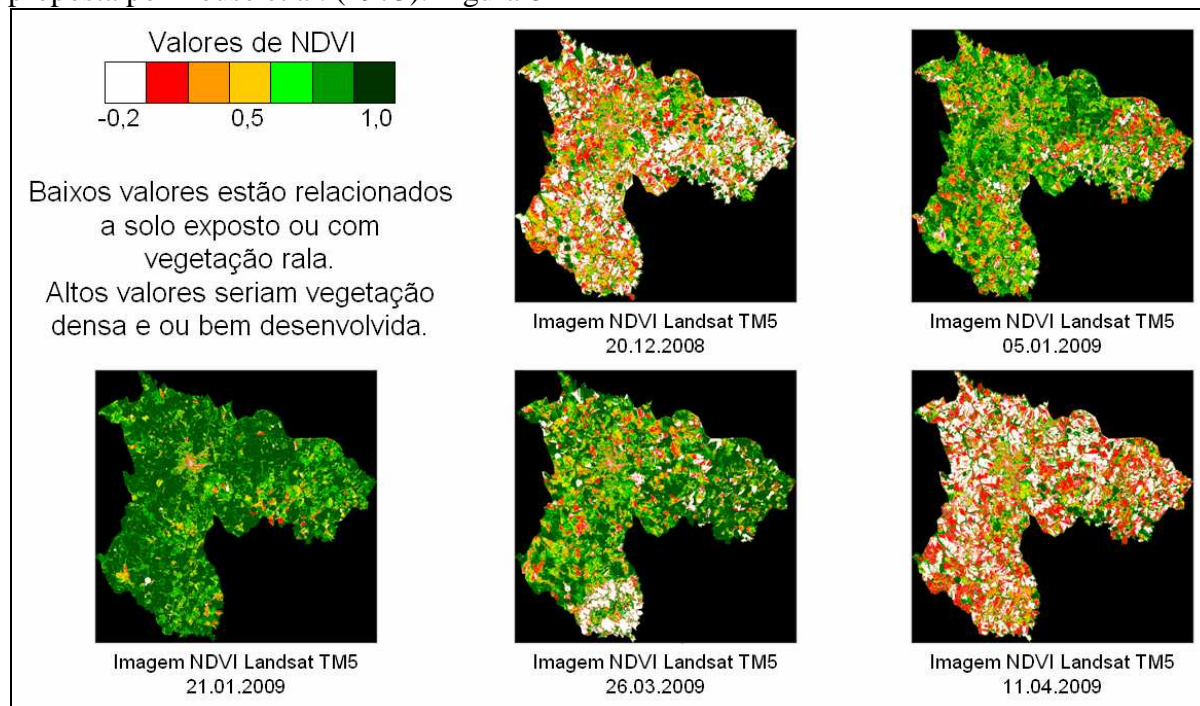


Figura 8. Evolução temporal do NDVI para o município de Cruz Alta – Rio Grande do Sul.

Analisando as imagens da Figura 8, podemos perceber a evolução temporal do NDVI para o município de Cruz Alta, a qual está relacionada às diferentes fases do ciclo fenológico da soja. Baixos valores no início e fim do ciclo, com valores mais elevados concentrando-se na data 21.01.2009, período em que a soja já está bem desenvolvida na região.

Assim sendo, a data-imagem 21.01.2009, foi a escolhida para classificação digital com intuito de delimitar as áreas com o padrão soja no município de estudo.

A classificação digital gerou 30 classes espectrais, as quais foram combinadas finalizando 3 classes temáticas, Soja, Não-Soja e Corpos d'água. Figura 9

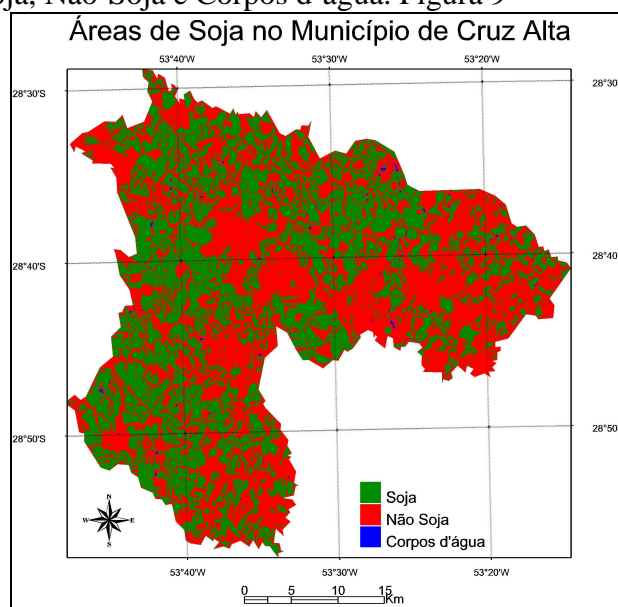


Figura 9. Áreas de soja no município de Cruz Alta – Rio Grande do Sul.

Feita a classificação, foi possível criar a máscara delimitando as áreas de soja no município. Esta foi aplicada nas 5 (cinco) data-imagem de NDVI, possibilitando a extração dos valores de NDVI apenas das áreas de soja no município de Cruz Alta. Figura 10.

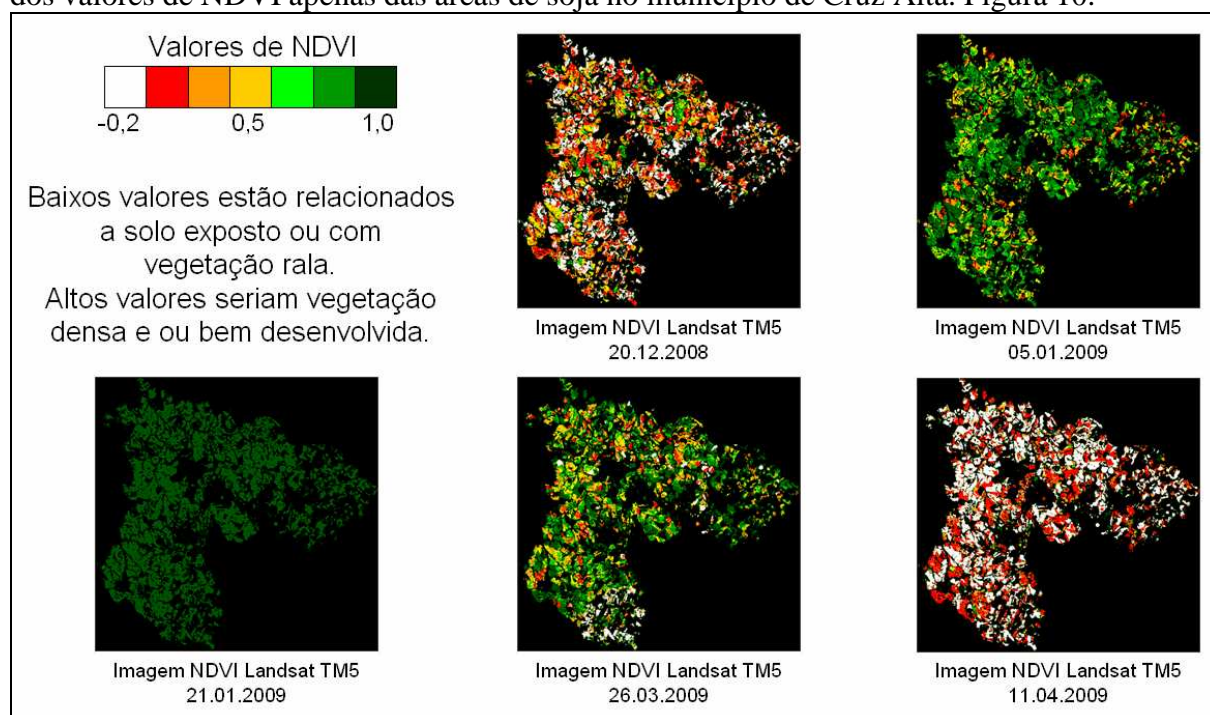


Figura 10. Evolução temporal do NDVI para o município de Cruz Alta – Rio Grande do Sul. com a aplicação da máscara delimitando as áreas de soja.

Em seguida geramos o gráfico relacionando os três parâmetros (Gráfico 1):

- NDVI do pixel onde se encontra a Lavoura Experimental;
- NDVI médio das áreas de soja no município de Cruz Alta;
- Total diário de CO<sub>2</sub> absorvido na Lavoura Experimental;

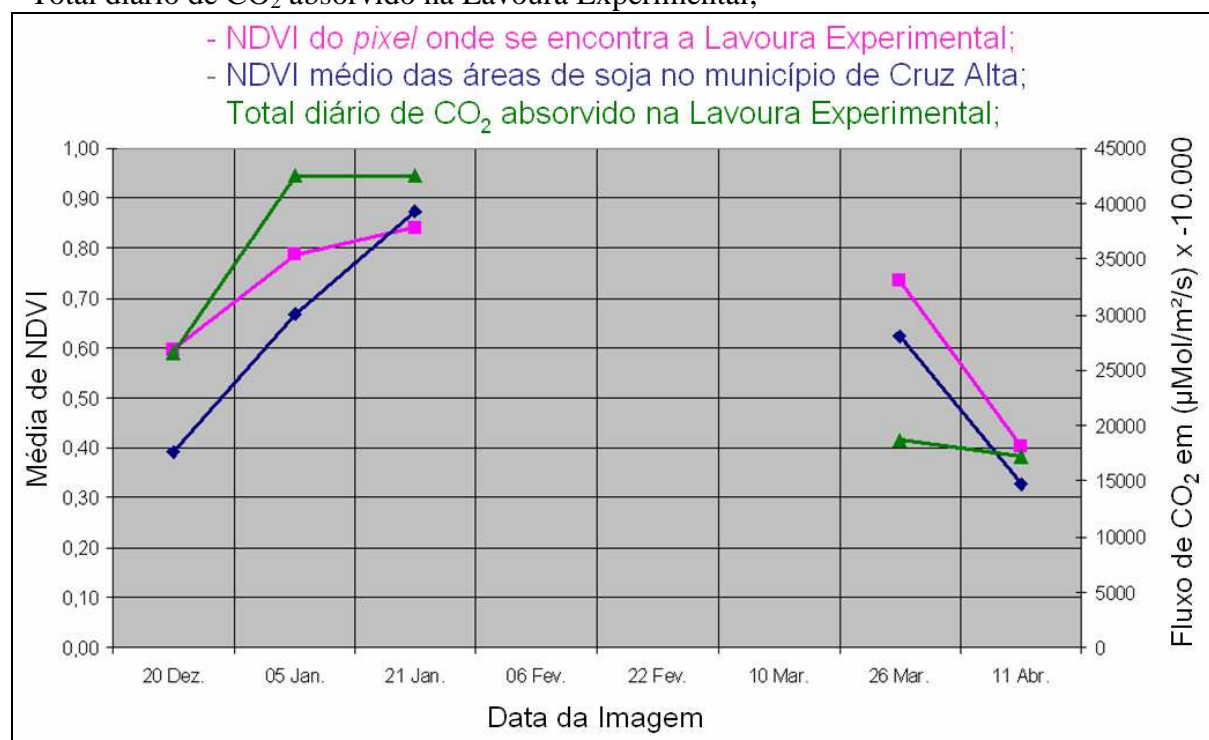


Gráfico 1.

Analisando o gráfico 1, podemos perceber que a evolução temporal do NDVI para a lavoura experimental foi semelhante àquela observada para toda a área cultivada com soja no município de Cruz Alta e ambas mostram associação a evolução temporal dos valores de CO<sub>2</sub>.

Também é possível observar que os dados de CO<sub>2</sub> do dia 26.03.2009 possui um padrão distinto, provavelmente devido a oscilação micrometeorológica no local da extração do parâmetro.

#### 4. Conclusões

O NDVI, obtido de imagens Landsat TM5 é um bom indicador da evolução do ciclo fenológico da soja. Também foi possível observar, a relação entre o índice de vegetação NDVI e os fluxos de CO<sub>2</sub>, portanto técnicas de sensoriamento remoto demonstram potencialidades na geração de informações úteis sobre as trocas de CO<sub>2</sub> entre a superfície e a atmosfera.

#### 5. Referencias Bibliográficas

Baptista, G. M. M.; Munhoz, C. B. R. Comportamento do seqüestro florestal de carbono, do conteúdo de CO<sub>2</sub> atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1071-1078.

Carneiro, J. V. Fluxos turbulentos de CO<sub>2</sub> em uma área de arroz irrigado no RS. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Física, UFSM, Santa Maria, RS, 55p. 2007

Coltri, P. P; Ramirez, G. M; Walter, M. K. C; Junior, J. Z; Pinto, H. S.; Nascimento, C. R.; Gonçalves, R. R. V. Utilização de Índices de Vegetação Para Estimativa Não-Destrutivas da Biomassa, Estoque e Seqüestro de

Carbono do Cafeeiro Arábica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 121-128.

Debiasi, P.; Eckhardt, R. R.; Castolli, G.; Madruga, R.; Coutinho, A. Fusão de imagens MODIS com NDVI do Landsat para classificação de áreas de cultivo de Soja. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5707-5714.

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

Galvão, W. S.; Meneses, P. R. Uso de SIG e do classificador ISODATA na geração do mapa de regiões geoambientais homogêneas na bacia do rio São Francisco, como um produto estratégico de apoio às ações de planejamento de redes fluviométricas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2177-2184.

Junges, A. H.; Alves, G.; Fontana, D. C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 241-248.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p.

Rodrigues, C. P. Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, CEPSSRM, UFRGS, Porto Alegre, RS, 97p. 2010

Wagner, A. P. L.; Weber, E.; Fontana, D. C.; Ducati, J. R.; Klering, E. 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. Artigos, p. 457-464.

Weber, E.; Fontana, D. C.; Ducati, J.; Silva, T. R.; Saraiva, T. S.; Freitas, L. A. S.. Comparação entre resultados de classificação de imagens Landsat e CEBERS para estimativa de área cultivada com soja no planalto do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 321-328.