

O “Cinturão” de Soja e Milho em Mato Grosso nos mosaicos IVDN/AVHRR

MAURÍCIO DERENNE^{1,*}, ALBERTO SETZER², HELENA FRANÇA²

¹ Instituto de Estudos Avançados (IEAv), Centro Técnico Aeroespacial (CTA)
C. Postal 6044, 12201-970, S. J. Campos, SP, Brasil - derenne@ieav.cta.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
C. Postal 515, 12201-970, S. J. Campos, SP, Brasil - asetzer@met.inpe.br

Abstract This paper shows that the expansion of soy beans and corn plantations in the State of Mato Grosso are detected in bi-weekly mosaics of AVHRR images from the NOAA satellites. Data from ground assessments were analyzed with an AVHRR mosaic of the growing season in a Geographical Information System for 117 counties. The determination coefficient was $r^2 = 0,87$, indicating a good potential for the NDVI mosaics in initial estimates of size and location of the crops.

1. Introdução

O advento do geoprocessamento digital deu grande impulso às metodologias de tratamento e integração de dados diversos, como os geográficos e os censitários. Em particular, os sistemas de informação geográfica (SIGs) permitem a integração e análise de planos de dados distintos (Burrough e McDonnel, 1998 e Câmara et al., 2000). Na região Centro-Oeste do país têm-se verificada acentuada expansão agropecuária, com aumento da área plantada e da produtividade associadas às melhorias tecnológicas (Embrapa, 2000 e WWF, 1995). O monitoramento destas alterações é relevante para os setores produtivos e ambientais, e neste escopo se enquadra o uso de SIGs, censos e imagens de satélites. Fontana et al. (2000) mostraram a evolução temporal do IVDN em regiões produtoras de soja no Sul do Brasil.

Este trabalho analisou preliminarmente, através de análise espacial em um SIG, a existência de correlação entre dados do Censo Agropecuário de 1995/96 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (1998) para cultivos de soja e milho, e imagens dos satélites meteorológicos da série NOAA (“National Oceanic and Atmospheric Administration”). Tal correlação, como aqui evidenciado, abre novas perspectivas de monitoramento de produção e expansão agrícola em tempo-quase-real.

* Aluno de pós-graduação em Sensoriamento Remoto no INPE.

2. Materiais e Métodos

Produção de soja e milho em Mato Grosso. Neste trabalho usaram-se os dados de área de plantio de soja e milho por município do Estado de Mato Grosso (MT) gerados pelo IBGE, para fins de comparação com dados de satélite; os dados foram levantados em pesquisas nas propriedades rurais em 1995 e 1996 (IBGE, 1998). Na safra de 1998/99, MT foi um dos maiores produtores de soja no Brasil, só sendo superado pelo Rio Grande do Sul e Paraná. MT possuía cerca de 2,3 milhões de hectares plantados, e produziu 6,3 milhões de toneladas deste grão - **ver tabela I**. No contexto mundial, de 154 milhões de toneladas-ano, 31 milhões, ou seja, 20 %, foram colhidas no Brasil. Este volume coloca o país como segundo maior produtor de soja, atrás apenas dos Estados Unidos (Embrapa, 2000). Outras culturas também são encontradas na região, cabendo destacar o milho, segundo em área plantada (IBGE, 1998; **ver Tabela II**), e mais recentemente o algodão. Na última safra (1999/2000), MT superou o Paraná na produção de soja, colhendo 8,75 milhões de toneladas (Cardoso, 2000).

Tabela I - Área plantada, produção e produtividade de soja nos estados na safra de 1998/99

Fonte: Embrapa, 2000

Estado	Área plantada (1000 ha)	Produção (1000 t)	Produtividade (kg/ha)
Distrito Federal	35	88	2514
Goiás	1130	3325	2500
Maranhão	160	350	2188
Mato Grosso	2250	6300	2800
Mato Grosso do Sul	1080	2650	2500
Minas Gerais	550	1320	2400
Paraná	2750	7425	2700
Piauí	32	70	2188
Rio Grande do Sul	3050	6400	2098
Rondônia	14	42	3000
Santa Catarina	245	590	2408
São Paulo	580	1480	2552
Tocantins	46	94	2283
Brasil	12682	31480	2482

Imagens AVHRR/NOAA. Dentre os vários produtos de sensoriamento remoto operacionais, as imagens AVHRR, "Advanced Very High Resolution Radiometer" dos satélites NOAA apresentam características favoráveis ao monitoramento contínuo de grandes regiões: são geradas diariamente, cobrem milhões de km², seu processamento é feito em tempo real com

custo relativamente baixo, e têm sido disponibilizadas por várias décadas. No caso da vegetação, elas apresentam três intervalos espectrais particularmente úteis: o canal 1 (0,58 a 0,68 um) no "vermelho", o 2 (0,72 a 1,1 um) no infra-vermelho próximo, e o 3 (3,55 a 3,93 um) no infra-vermelho médio. Sua restrição principal é a resolução espacial limitada, de 1,1 km no nadir, e que chega até 5 km nas bordas. O imageamento é feito de 840 km de altura, em órbitas polares com 98° de inclinação (Kidwell, 1998). As imagens são rotineiramente recebidas e processadas pelas estações do INPE em Cachoeira Paulista, SP, e Cuiabá, MT.

Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN). Várias combinações entre as bandas espectrais, chamadas de Índices de Vegetação, foram propostas para estudos temporais de variação de fitomassa (Tucker, 1979); isto porque folhas verdes têm reflectância baixa, em torno de 20% no canal 1 do AVHRR, e alta, com cerca de 50% no canal 2 deste sensor. Um dos mais utilizados, e em particular para regiões semi-áridas ou com ciclos fenológicos marcantes, é o de diferença normalizada, ou IVDN (Holben, 1986; Malingreau, 1986, entre outros) que, para as imagens AVHRR, é calculado conforme a equação: $IVDN = (\text{Canal 2} - \text{Canal 1}) / (\text{Canal 2} + \text{Canal 1})$. A utilização deste índice apresenta várias vantagens. Segundo Kidwell (1990), o IVDN compensa parcialmente as mudanças nas condições de iluminação e de topografia; a maior reflectância das nuvens, água e neve no intervalo espectral do visível do que no infravermelho próximo, resulta em IVDNs negativos para estes alvos; a reflectância similar das rochas e dos solos nus nas duas bandas resulta em IVDNs próximos de zero; efeitos atmosféricos tais como espalhamento Rayleigh e nuvens de dimensões menores que o píxel tendem a aumentar mais os valores no canal 1 do que no 2, reduzindo o IVDN. Assim, para vegetação, esse índice varia de 0,1 a 0,6, sendo que os valores mais elevados são associados à maior atividade fotossintética.

Para o caso específico do Cerrado, o trabalho de Assad et al. (1988) já havia demonstrado o potencial da resposta do IVDN nesta região. França (2000), em seu estudo temporal, constatou que regiões notórias pelo cultivo de soja apresentaram significativa variação do IVDN em função do ciclo de plantio como constatado nos estados de MT e GO. Devido ao grande aumento do plantio de soja em MT, e a partir dos resultados de França (2000), este estado foi selecionado para os testes realizados neste trabalho.

Mosaicos IVDN. Visando minimizar, ou mesmo eliminar a cobertura de nuvens das imagens AVHRR, é comum a utilização de mosaicos gerados a partir de imagens diárias. Eles podem ser

produzidos em intervalos semanais, quinzenais ou mensais, conforme a persistência de cobertura de nuvens. Dessa forma, os píxeis equivalentes quanto à localização geográfica em várias imagens são comparados, selecionando-se aqueles que apresentam os maiores valores de IVDN. Assim, gera-se uma imagem final, composta de píxeis de várias imagens diárias, na qual a cobertura de nuvens é reduzida ou inexistente. A NOAA gera esse produto regularmente, com resolução degradada para 4 Km, cobrindo globalmente a superfície terrestre. No Brasil, a partir dos estudos de Figueiredo (1990), desenvolveu-se no INPE, a técnica para gerar mosaicos IVDN utilizando as imagens AVHRR em sua máxima resolução (1,1 Km). Desde 1996, mosaicos IVDN quinzenais e também das bandas individuais 1, 2 e 3 vêm sendo gerados pelo INPE (Setzer, 2000), a partir dos níveis radiométricos brutos (Setzer e Barbosa, 1998).

Exemplo recente com qualidade de registro geográfico notável destes mosaicos encontra-se em França (2000), do qual selecionou-se para este trabalho o do período de 15/dez/1998 a 14/fev/1999 (4 quinzenas). Ele foi obtido a partir de IVDNs máximos das passagens vespertinas do NOAA-14, geo-referenciados em projeção cilíndrica eqüidistante, com resolução espacial de 1,5 km, compreendendo as latitudes de 1° S a 27° S e as longitudes de 37° W a 63° W.

Uso do "Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas", SPRING. O SPRING (INPE/DPI, 2000) foi utilizado na análise espacial e na sobreposição dos seguintes planos de informação: mosaico IVDN/AVHRR de dez/98 a fev/99 (França, 2000), mapa digital da malha municipal de MT em 1994 e censo de produção de soja e milho dos municípios de MT em 1995 e 1996 (IBGE, 1998). Primeiramente, a partir dos dados do IBGE (1998), foi gerado um mapa de produtividade, com três classes: baixa, média e alta, correspondentes aos municípios com valores abaixo de 0,5 t/km², entre 0,5 e 5,0 t/km² e acima de 5,0 t/km², respectivamente. Um segundo mapa temático, da Malha Municipal, foi gerado atribuindo-se uma classe diferente a cada um dos 117 polígonos, de modo que cada classe representasse um município.

3. Resultados e Discussão.

Fatiamento do Mosaico IVDN. Os valores digitais do mosaico IVDN foram divididos em quatro classes, obtendo-se um mapa temático. Admitiu-se que os altos IVDNs retrataram principalmente as culturas de soja e milho pois, segundo o Censo Agropecuário de 1995/96 (IBGE, 1998), elas corresponderam a cerca de 82% dos plantios anuais no estado – **Tabela II.** Na época de imageamento, de 15/dez/98 a 14/fev/99, no período de chuvas em MT, estas

culturas possivelmente apresentavam maior atividade fotossintética em relação a pastagens, florestas e Cerrado, pois estavam em sua fase mais intensa de crescimento.

Tabela II – Área colhida de culturas anuais no Estado de Mato Grosso em 1996

Fonte: IBGE, 1998

Cultura	Área Colhida (hectares)	Porcentagem
Soja	1.740.400	64,7 %
Milho	471.300	17,5 %
Arroz	341.700	12,7 %
Cana de Açúcar	118.400	4,4 %
Feijão	17.500	0,7 %
Total:	2.689.300	100 %

A separação das classes, ou "fatiamento", resultou da aplicação da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico, uma das ferramentas de análise espacial do SPRING. A **Figura 1** mostra o resultado deste fatiamento. Foi a seguinte a correspondência das quatro classes de IVDN: “baixo” para corpos de água, nuvens e solos expostos, com IVDNs de -1 a 0,17; “médio” para pastagens, florestas e cerrados, com IVDNs de 0,18 a 0,38; “alto” para áreas de interesse em nosso estudo, ou seja, culturas agrícolas anuais de forte atividade fotossintética, com IVDNs de 0,39 a 0,56; na quarta classe, de ruídos da imagem, ficaram os IVDNs de 0,57 a 1.

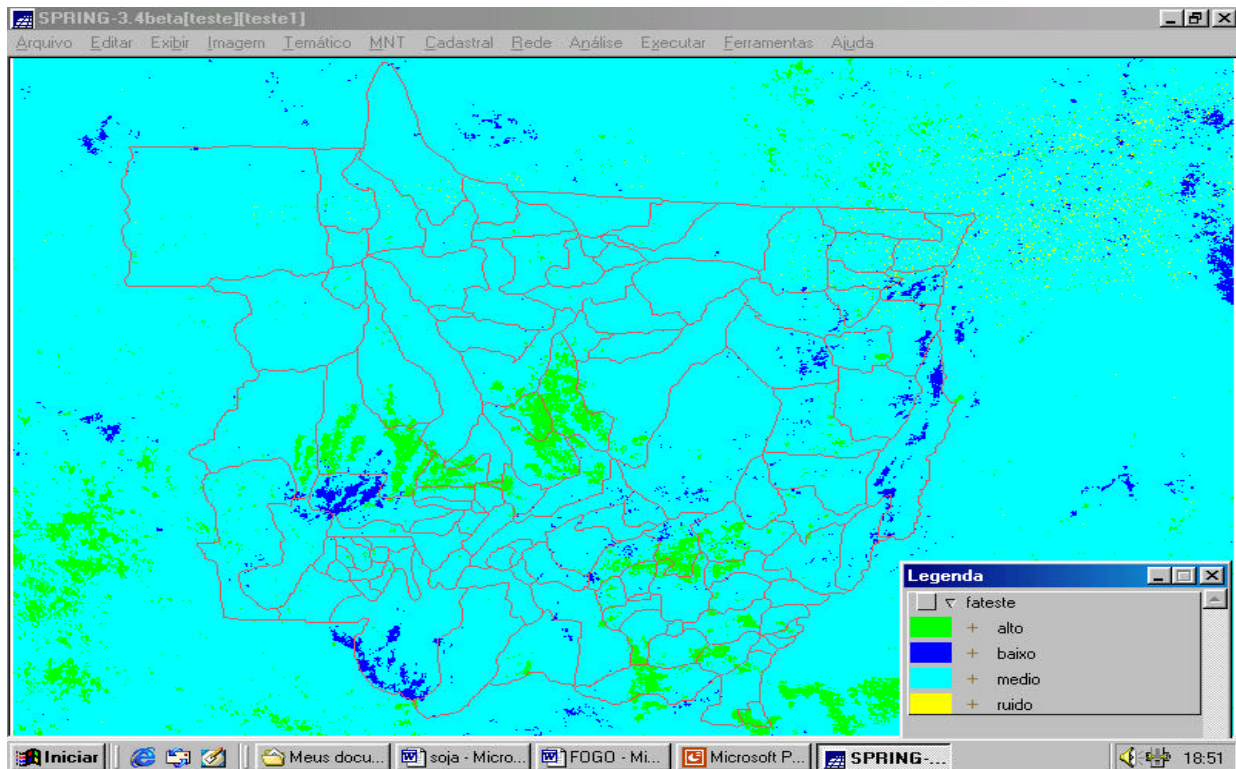


Figura 1 – Mapa Temático resultante do fatiamento do mosaico IVDN

Análise Espacial. Após o fatiamento da imagem foi necessário converter os mapas temáticos (IVDN, malha municipal e produtividade) da representação vetorial para a matricial, a fim de realizar as operações booleanas e assim sobrepor e intercomparar dois ou mais planos de informação, através de operadores lógicos. Primeiramente, foi realizado o "cruzamento" do mapa de IVDN com o de Produtividade para determinar visualmente uma possível relação do IVDN com os dados do Censo Agropecuário do IBGE. Outra operação foi aplicada, efetuando o cruzamento do Mapa de IVDN com o da Malha Municipal, obtendo-se as áreas de IVDN "alto" por município.

Caracterização do "Cinturão da soja e milho". O resultado da primeira operação foi um mapa temático no qual observamos boa correspondência entre as áreas de cultivo de soja e milho obtidas do fatiamento do mosaico IVDN com os municípios de alta produtividade ($> 5,0 \text{ t/km}^2$) - **ver Figura II**. Assim, foi justificada a realização da segunda operação booleana, a obtenção das áreas de IVDN alto por município, para posterior comparação com os dados de área colhida de soja e milho do Censo Agropecuário do IBGE.

Correlação IVDN x IBGE. Utilizando-se uma planilha eletrônica, foi realizada a comparação das áreas de IVDN alto com as de soja e milho colhidas segundo o Censo Agropecuário, abrangendo os 117 municípios. O coeficiente de correlação "r" resultou em $r = 0,93$ ($r^2 = 0,87$), indicando boa correlação entre as duas variáveis. Desprezando dois municípios (Campo Novo do Parecis e Sorriso) com valores muito altos no diagrama de dispersão apresentado na **Figura 3**, o coeficiente de correlação permaneceu alto ($r = 0,87$; $r^2 = 0,76$). Podemos concluir que o IVDN apresentou boa correlação com a área de soja e milho colhida.

Os resultados apresentados possuem, no entanto, algumas limitações: diferença de três anos entre o mosaico IVDN de imagens de 1998/99 e os dados do Censo Agropecuário de 1995/96, e a falta de pesquisas de campo. Cabe também observar que a área calculada a partir do mosaico IVDN superestimou em aproximadamente duas vezes a área colhida de soja e milho calculada no Censo do IBGE, o que é interpretado como decorrência da limitada resolução espacial de 1,1 km (no nadir) do sistema AVHRR/NOAA, do aumento da produção nos últimos anos e do processo de "mosaicagem", que devido às imperfeições no registro inicial da imagem, tende a aumentar as áreas de alto IVDN.

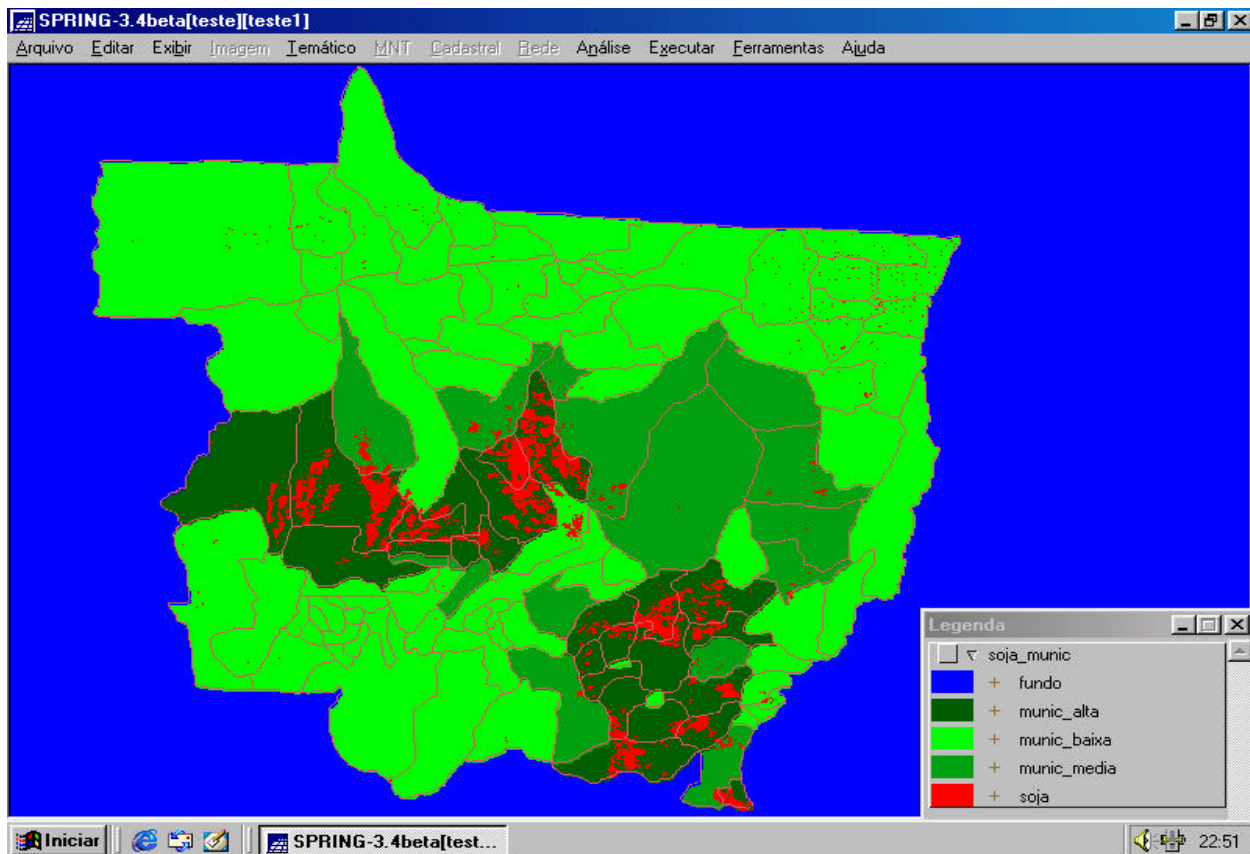


Figura 2 – Caracterização do “cinturão” da soja e milho no Estado de Mato Grosso pelo cruzamento do mapa de IVDN com o mapa de produtividade no SPRING.

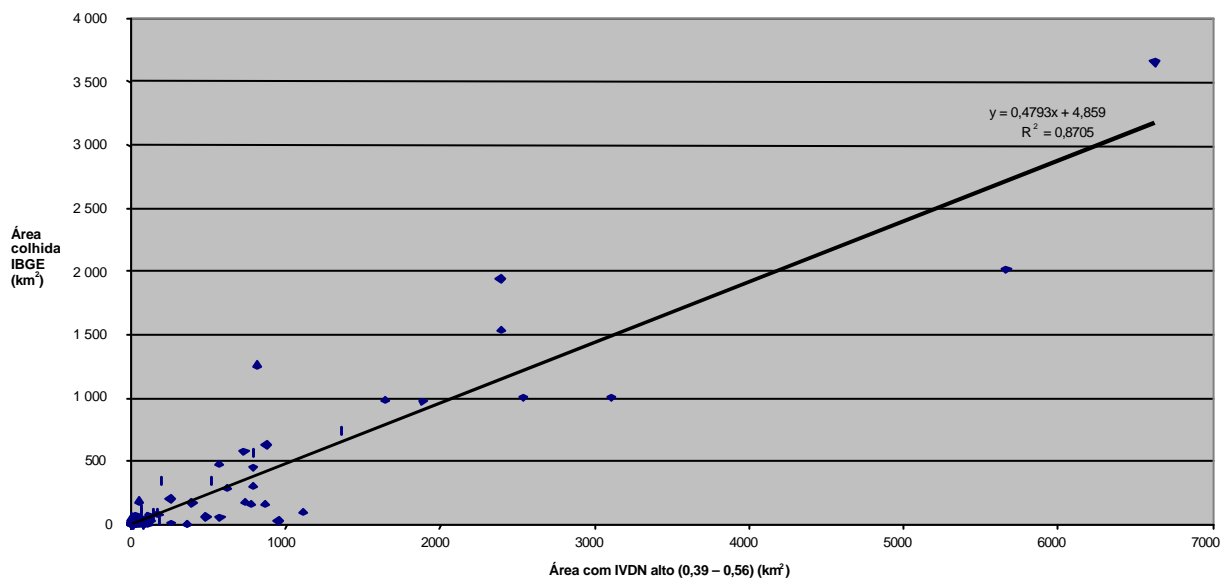


Figura 3 – Diagrama de dispersão para os dados de área colhida de soja e milho do IBGE e de IVDN nos 117 municípios de Mato Grosso.

4. Conclusões

Este trabalho mostrou que as plantações de soja e milho no estado de Mato Grosso são identificadas em mosaicos quinzenais do sistema AVHRR/NOAA-14. Dados de área colhida obtidos do censo agropecuário de 177 municípios foram relacionados, num SIG, com a área de altos valores de IVDN (0,39 a 0,56) da estação chuvosa. O coeficiente de determinação encontrado foi $r^2 = 0,87$, indicando um bom potencial do IVDN para estimativas preliminares de tamanho e localização dessas culturas.

Agradecimentos

Este trabalho resultou das atividades da disciplina "Introdução ao Geoprocessamento" no INPE. Agradecemos a seus responsáveis, os Drs. Gilberto Câmara Neto e Antônio Miguel V. Monteiro, assim como ao curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto.

Referências

- Assad, E.; Setzer, A. W.; Moreira, L. Estimativa da precipitação através de Índices de Vegetação do Satélite NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. p. 425-429.
- Burrough, P. A.; McDonnel, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 1998.
- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V.; Paiva, J. A.; D'Alge, J. C. L. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. [on line]. < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro> >. Maio, 2000.
- Cardoso, F. **Meio-oeste transforma-se em celeiro do País**. O Estado de São Paulo – Economia, p. B1, 08/out/2000.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Situação Mundial e Brasileira da Soja**. [on line]. < <http://www.embrapa.gov.br/> >. Nov. 2000.
- Figueiredo, D. C. **Sistema de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR**. São José dos Campos. 71 p. (INPE-5068-TDI/407) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- Fontana, D.C.; Weber, E.; Guasselli, L.A.; Martins, R.L.; Gusso, A. Perfil espectral da soja no sul do Brasil na safra 2000. In: Simpósio Latino-Americano de Percepción Remota, 9, Puerto Iguazú, Argentina, 2000. **Anais**.

- França, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese de Doutorado – IB/USP, Nov. 2000.
- Holben, B. N. Characteristics of maximum value composites images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing** , 7 (11) 1417-1434, Sep. 1986.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de Informações Municipais**. [CD-ROM] – dados do Censo Agropecuário de 1995/96. Rio de Janeiro, 1998.
- INPE/DPI - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Processamento de Imagens. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING)**. [on line]. < <http://www.dpi.inpe.br/spring/> >. Mai, 2000.
- Kidwell, K. B. **Global vegetation index user's guide**. Washington, DC, NOAA, 1990.
- Kidwell, K. B. **NOAA polar orbits data: user guide: Tiros-N, NOAA-6 through NOAA-14**. National Climatic Data Center, Washington, D. C., NOAA, 1998.
- Malingreau, J. P. Global Vegetation Dynamics: satellite observations over Asia. **International Journal of Remote Sensing** , 7 (9) 1121-1146, Sep. 1986.
- Setzer, A. W. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Comunicação pessoal, 2000.
- Setzer, A. W.; Barbosa, H. A. Índice de Vegetação AVHRR: melhor simplificar seu cálculo! [CD-ROM] In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, Brasília, 1998. **Anais**.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8 (2) 127-150, May 1979.
- WWF - Fundo Mundial para a Natureza. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço**. Brasília, 1995. p. 66.