

## Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo.

Ana Maria Heuminski de Ávila<sup>1</sup>  
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves<sup>2</sup>  
Hilton Silveira Pinto<sup>1</sup>  
Jurandir Zullo Junior<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura - CEPAGRI  
Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{avila, hilton, jurandir}@cpa.unicamp.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEAGRI  
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
renaribeiro@yahoo.com.br

**Abstract.** Brazil is the first world producer of sugar cane, with a potential suitable area for growing more than six million hectares that can supply the needs of world sugar and alcohol in next decades. The main objective of this work was compare the monthly rainfall data estimated by radar and the monthly precipitation measured by weather stations with the monthly NDVI values obtained through AVHRR / NOAA images to monitor the sugar cane development at ten municipalities in the state of Sao Paulo. The AVHRR / NOAA images were processed by NAVPRO system to generate radiometric and geometrically corrected images. The rainfall radar data were calculated from a series of reflectivity images available at intervals of up to 7 minutes. The statistical analysis showed significant correlations between NDVI and rainfall data at the municipalities. The NDVI was sensitive to the events of rainfall, with a delay of two months, with high spatial variability. The weather radar can be an auxiliary tool in rainfall monitoring at points of the 1x1km grid, improving the spatial resolution, given the small number of meteorological stations available.

**Palavras-chave:** cross correlation, meteorological radar, correlação cruzada, radar meteorológico.

### 1. Introdução

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área potencialmente apta para o cultivo de mais de seis milhões de hectares. Por ser uma cultura de ciclo semi-perene, sofre a influência das variações climáticas durante todo o ano. Para alcançar altos índices de produção de sacarose, é necessário à cultura que as variações de temperatura e umidade ocorram em condições adequadas para permitir o crescimento máximo na fase vegetativa, seguida de um período com restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose no colmo próximo ao corte. Ou seja, a cana-de-açúcar encontra suas melhores condições quando ocorre um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante a fase de crescimento, seguido de um período seco, durante as fases de maturação e colheita. (Camara e Oliveira, 1993)

O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas, reduzindo a área foliar (por crescimento ou morte das folhas), diminuindo a fotossíntese (devido à menor área foliar, ao murchamento e enrolamento das folhas e ao fechamento dos estômatos), afetando vários outros processos, tais como brotação, polinização e absorção de nutrientes (Bergamaschi, 1992).

Além das justificativas acima citadas, a variabilidade climática não prevista é uma das principais fontes de risco e insucesso à atividade agrícola. A elevada taxa de sinistralidade na agricultura brasileira, na maioria devido a causas de natureza climática, sendo a principal delas a seca ou o excesso de chuva, levou o Ministério da Agricultura a criar o Programa de

Zoneamento Agrícola (Cunha e Assad, 2001). Um dos principais fatores para o sucesso desse programa é o desenvolvimento de modelos matemáticos que associem as características da cultura às condições climáticas locais, tendo como base os dados de temperatura e de chuva. Considerando-se a deficiente rede de estações meteorológicas existentes e a alta variabilidade espacial da precipitação, justifica-se a utilização de dados de radar para a estimativa de precipitação, uma vez que a utilização dessa ferramenta pode ser adequada monitoramento agrícola e a estimativa de quebra de safras do país.

Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisões é o acompanhamento das condições de tempo ocorridas durante o ciclo da cultura, pois em países em desenvolvimento, como o Brasil, não há uma rede de estações meteorológicas bem distribuídas. Nesse caso, o radar fornece medidas contínuas de refletividade que pode ser convertida em valores de precipitação por meio de modelos matemáticos. Essas informações podem ser obtidas em pontos de grade com resolução espacial de 1km x 1km em intervalos de minutos, o que torna a utilização de radares meteorológicos extremamente úteis para o monitoramento agrícola (Ávila, 2006).

As plantas interceptam a radiação solar incidente, conforme seus parâmetros biofísicos, tornando possível o acompanhamento da vegetação por meio do sensoriamento remoto orbital. Satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e seu sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) são especialmente úteis para o monitoramento da cobertura vegetal em escala global e para o monitoramento de culturas agrícolas extensas, apresentando resolução espacial de 1km x 1km, monitorando a mesma região do globo em intervalos de 12 horas.

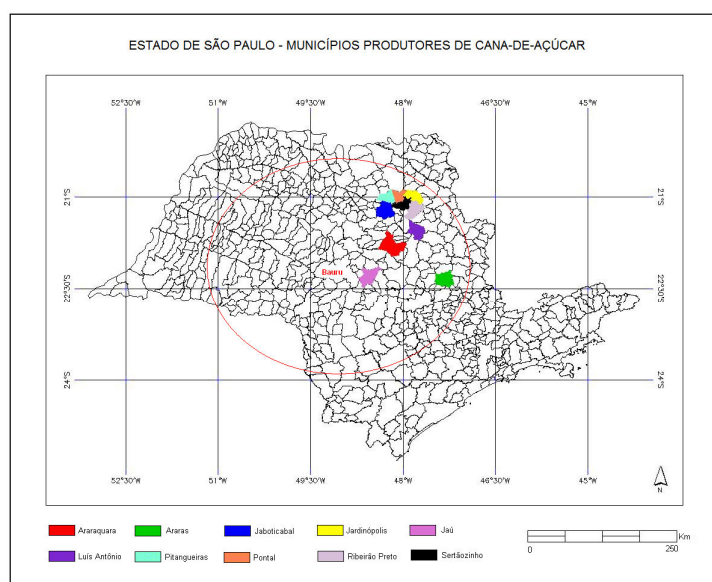
Um produto das imagens do AVHRR/NOAA é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), que utiliza um canal na banda correspondente ao vermelho e outro no infravermelho próximo, que são adotados em estudos de cobertura vegetal. Valores altos de NDVI estão diretamente associados ao maior vigor e densidade da cobertura vegetal. A vegetação fotossinteticamente ativa absorve a maior parte da luz visível que é incidida sobre ela e reflete a luz infravermelha. Por outro lado, a vegetação fotossinteticamente inativa ou vegetação esparsa reflete mais luz visível e menos luz infravermelha. Assim, altos valores de NDVI são associados a altas densidades de vegetação sadia (Esquerdo, 2007).

Este trabalho teve como objetivo comparar os dados mensais de precipitação estimados por radar e dados mensais de precipitação medidos por pluviômetros (estações meteorológicas) com o NDVI mensal obtido nas imagens AVHRR/NOAA, no monitoramento da cana-de-açúcar, para dez municípios do Estado de São Paulo.

## **2. Metodologia de Trabalho**

O estudo foi desenvolvido para dez municípios produtores de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, sendo eles: Araraquara, Araras, Jaboticabal, Jardinópolis, Jaú, Luís Antônio, Pitangueiras, Pontal, Ribeirão Preto, Sertãozinho, que estão dentro da área de cobertura quantitativa, de 240km, do Radar Meteorológico do IPMet/UNESP (Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho) instalado no município de Bauru (22° 21' 30" S / 49° 01' 38" W), conforme ilustrado na Figura 1. Utilizou-se, nesse trabalho, dados mensais de precipitação, no período de abril de 2006 a março de 2008, correspondentes a dois anos-safra de cana-de-açúcar, calculados a partir de uma série de imagens de refletividade disponível em intervalos de até sete minutos. Foram extraídos nove pixels em torno da coordenada central de cada município e calculada uma média. Os valores de refletividade, obtidos de imagens tipo CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*), foram convertidos em valores de precipitação pelo método de Marchall e Palmer (1948). Para

fins de comparação, utilizaram-se dados de precipitação de seis estações meteorológicas da região estudada. Keller et al. (2005) relata que o Brasil está dividido em regiões homogêneas quanto à distribuição de probabilidades de chuva e os municípios selecionados estão localizados em uma dessas regiões pluviometricamente homogênea. Os dados das estações meteorológicas (Araraquara, Jaboticabal, Jaú, Limeira, Ribeirão Preto e São Carlos) foram obtidos no site [www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/](http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/), do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO - IAC).



**Figura 1:** Municípios selecionados produtores de cana-de-açúcar e em vermelho a área de cobertura do radar meteorológico. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2008).

Para o cálculo do NDVI, utilizou-se imagens dos satélites AVHRR/NOAA do banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri/Unicamp). O processamento das imagens AVHRR/NOAA realizado, pela metodologia de Gonçalves (2008), foi efetuado pelo sistema automático de navegação NAVPRO, desenvolvido por pesquisadores do *Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR), Aerospace Engineering Sciences*, da Universidade do Colorado (Boulder/EUA), e implementado por Antunes (2005) e Esquerdo (2006). Este sistema gerou imagens corrigidas radiométrica e geometricamente. O cálculo do NDVI foi feito a partir de imagens diárias do AVHRR/NOAA, utilizando as bandas 1 e 2, que correspondem ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Neste processo, foram excluídos os pixels com ângulo zenital solar maior que  $70^\circ$  e ângulos de varredura maiores que  $42^\circ$ . Estes pixels receberam o valor -1,1. Para amenizar o efeito da atmosfera nas imagens, geraram-se Composições de Valor Máximo (MVC) mensais de NDVI por meio de rotinas IDL elaboradas por Esquerdo (2007).

Finalmente, avaliou-se o grau de relacionamento existente entre a precipitação obtida pelo radar meteorológico e pelas estações meteorológicas e o NDVI mensal de cada um dos dez municípios selecionados de 2006 a 2008 pelo grau de correlação cruzada existente entre elas.

### 3. Resultados e Discussão

Utilizando análise estatística baseada no método de correlação cruzada para a comparação entre a precipitação e o NDVI observou-se que houve uma grande variabilidade temporal e espacial dos resultados. De forma geral, as correlações entre a precipitação e o NDVI foram

maiores para o segundo mês após a ocorrência de precipitação, tanto para os dados das estações meteorológicas, quanto para os dados do radar meteorológico (Tabela 1).

O maior valor de correlação encontrado entre os valores mensais de NDVI e os valores de precipitação obtidos pelo radar foi de  $R=0,688$ , e os valores de precipitação obtidos pela estação meteorológica foi  $R=0,664$  para Araras. Esta correlação cruzada apresentou o NDVI com dois meses de defasagem em relação à precipitação, isto é, o NDVI respondeu à precipitação depois de dois meses de sua ocorrência. Os municípios de Ribeirão Preto e Sertãozinho apresentaram o NDVI com três meses de defasagem em relação à precipitação.

Estudos realizados, como por exemplo, por Lucas e Schuler (2007), Fontana et al. (2005) e Wang et al. (2003), relataram em seus resultados que o comportamento do NDVI foi semelhante ao da precipitação e o tempo da defasagem da precipitação influenciou fortemente o NDVI. Segundo Gonçalves (2008), os valores de NDVI e precipitação responderam de maneira semelhante, ou seja, quando houve aumento da precipitação o mesmo ocorreu com o NDVI, principalmente nos meses de outubro a março que corresponde ao período chuvoso e ao crescimento vegetativo da cana-de-açúcar na área de estudo. Nos anos com os menores registros de precipitação, no período de abril a setembro, o NDVI apresentou o valor mínimo em setembro ou outubro. Neste trabalho, o NDVI e a precipitação responderam de maneira semelhante, pois a resposta espectral da cana-de-açúcar foi sensível à ocorrência de precipitação em todos os locais estudados (Figura 2).

As Tabelas 1 e 2 mostram o resultado da correlação cruzada entre os dados obtidos pelo radar, a estação meteorológica e o NDVI mensal. Na Tabela 1 os dados de precipitação do radar foram calculados com base na média de nove pixels em torno da coordenada central do município e na Tabela 2 é o valor do pixel central do município. De forma geral, as maiores correlações ocorreram quando foi calculado o valor médio dos nove pixels em torno do ponto central (Tabela 1) em relação aos dados obtidos no ponto central do municípios (Tabela 2). Possivelmente esses resultados estão associados à precisão na localização da coordenada da estação meteorológica na imagem do radar. Quando é utilizado o valor médio em torno do pixel, pode haver uma suavização dos extremos, mas aumentam as chances de localização do ponto na imagem. Os valores das correlações cruzadas entre a precipitação obtida pelas estações meteorológicas e pelo radar, em relação ao NDVI foram similares (Tabela 1), indicando que é possível utilizar este último, como ferramenta auxiliar para monitorar a precipitação, em safras agrícolas.

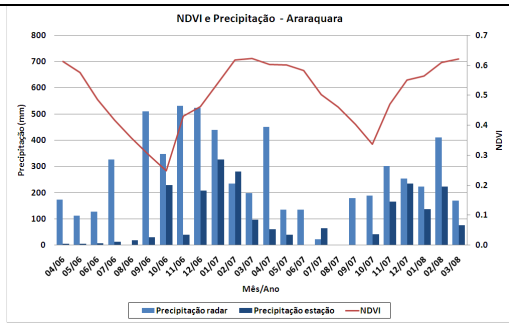
**Tabela 1:** Dados de correlação cruzada entre os dados do radar (média nove pixels) e a estação meteorológica e o NDVI mensal.

Município	Radar x NDVI Defasagem (Mês)				Estação Meteorológica x NDVI Defasagem (Mês)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
Araraquara	-0,153	0,157	0,479	0,440	0,139	0,552	0,608	0,601
Araras	0,074	0,533	0,688	0,644	0,229	0,530	0,664	0,609
Jaboticabal	0,109	0,451	0,617	0,520	0,271	0,556	0,569	0,462
Jardinópolis	-0,180	0,295	0,522	0,500	0,157	0,484	0,626	0,520
Jaú	0,079	0,461	0,547	0,524	0,164	0,488	0,612	0,550
Luís Antônio	-0,111	0,259	0,490	0,491	0,162	0,547	0,591	0,492
Pitangueiras	0,065	0,452	0,632	0,521	0,282	0,543	0,584	0,467
Pontal	0,051	0,441	0,564	0,513	0,321	0,576	0,600	0,465
Ribeirão Preto	-0,063	0,235	0,494	0,527	0,101	0,457	0,623	0,538
Sertãozinho	-0,034	0,289	0,530	0,567	0,060	0,427	0,616	0,548

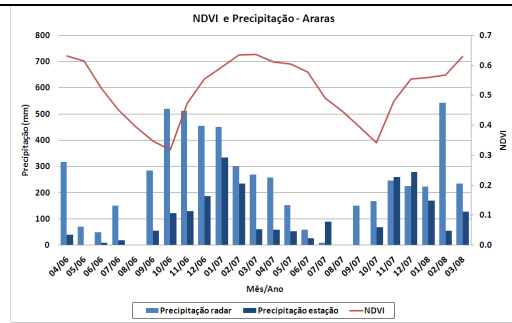
**Tabela 2:** Dados de correlação cruzada entre os dados do radar, a estação meteorológica e o NDVI mensal.

Município	Radar x NDVI Defasagem (Mês)				Estação Meteorológica x NDVI Defasagem (Mês)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
Araraquara	0,202	0,202	0,105	-0,039	0,139	0,552	0,608	0,601
Araras	0,041	0,527	0,632	0,608	0,229	0,530	0,664	0,609
Jaboticabal	0,048	0,359	0,431	0,351	0,271	0,556	0,569	0,462
Jardinópolis	-0,234	0,199	0,429	0,474	0,157	0,484	0,626	0,520
Jaú	0,146	0,441	0,443	0,337	0,164	0,488	0,612	0,550
Luís Antônio	-0,200	0,166	0,466	0,489	0,162	0,547	0,591	0,492
Pitangueiras	0,031	0,418	0,503	0,425	0,282	0,543	0,584	0,467
Pontal	0,195	0,531	0,639	0,538	0,321	0,576	0,600	0,465
Ribeirão Preto	-0,177	0,149	0,562	0,599	0,101	0,457	0,623	0,538
Sertãozinho	0,050	0,297	0,562	0,553	0,060	0,427	0,616	0,548

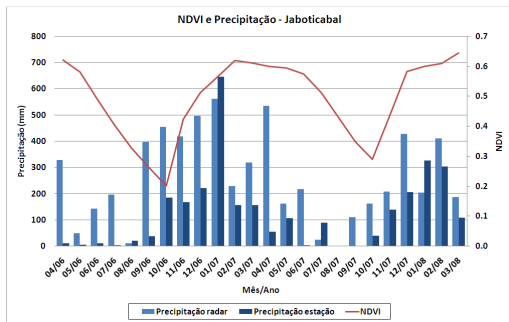
Para os valores de correlação nas duas Tabelas, o P-valor foi igual a zero, com alto nível de significância, pois P-valor maior que 0,05 corresponde a correlações não-significativas para o nível de confiança igual a 95%.



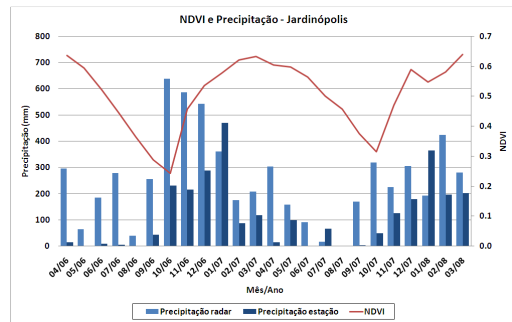
a



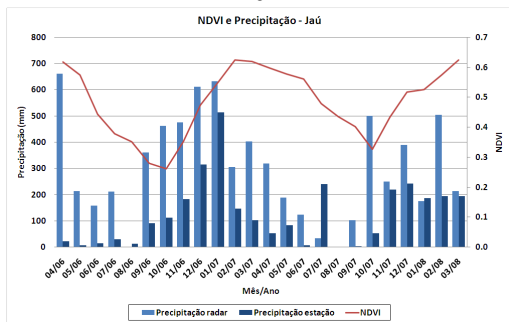
b



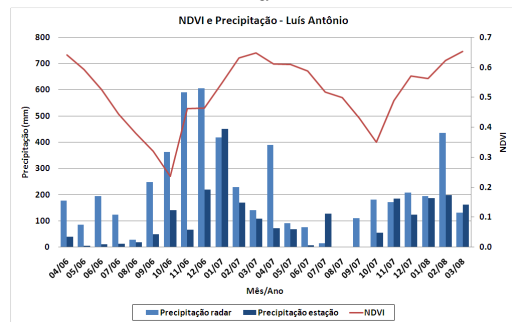
c



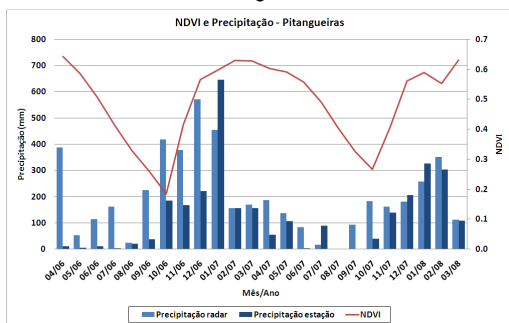
d



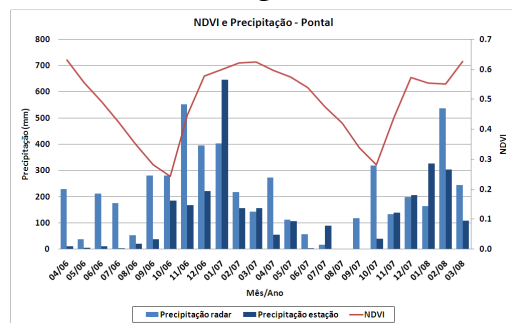
e



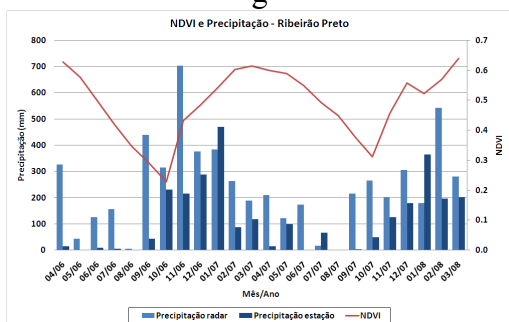
f



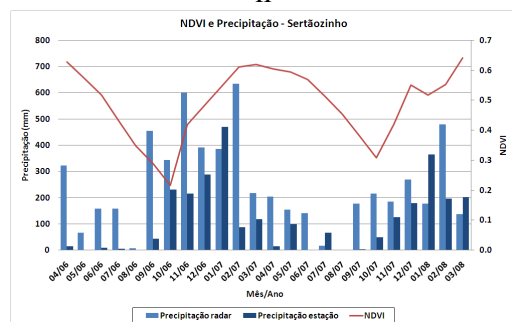
g



h



i



j

**Figura 2:** Gráficos de precipitação observada e NDVI para os dez municípios selecionados.

#### 4. Conclusões

Com base nos casos estudados, observou-se que o NDVI foi sensível aos eventos de precipitação, com uma defasagem de dois meses, com alta variabilidade espacial. Esses resultados enfatizam a necessidade de se trabalhar com outras variáveis, além da precipitação.

O radar meteorológico pode ser uma ferramenta auxiliar no monitoramento da precipitação em pontos de grade de 1x1km, melhorando a resolução espacial, dada a pequena quantidade de estações meteorológicas disponíveis.

#### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro.

Ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) pela disponibilização das imagens do satélite AVHRR/NOAA.

À Divisão de Satélites Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/INPE) pelo processamento das imagens de radar.

#### 5. Referências Bibliográficas

Antunes, J. F. G. **Aplicações de lógica fuzzy para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR/NOAA**. 2005. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

Ávila, A. M. H. **Estimativa da precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite Goes 12**. 2006. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

Bergamaschi, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: Bergamaschi, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre, Editora da Universidade/ UFRGS. 1992. p.25-32.

Camara, G. M. S.; Oliveira E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP/Departamento de Agricultura/FEALQ, 1993. 242p.

Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO - IAC). Disponível em <[www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/](http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/)> Acesso em: 15 jan 2008.

Cunha, G. R.; Assad, E. D. **Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil**. Rev. Bras. Agromet. V.9, n. 3 (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.377-385, 2001.

Esquerdo, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. 2007. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G; Emery, W.; Zullo Júnior, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.

Fontana, D. C.; Potgieter, A.; Apan, A. Relação entre a precipitação pluvial e índice de vegetação em imagens multitemporais MODIS. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO), 16, 2005, Campinas. **Anais XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Campinas, 2005, CD-ROM.

Gonçalves, R. R. V. **Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008**. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

Keller, T.; Assad, E.D.; Lima, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005.

Lucas, A. A.; Schuler, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.6, p. 607-614, 2007.

Marshall, J. S.; Palmer, W. M. K.. The distribution of raindrops with size. **Journal of Meteorology**. v. 5, p. 165-166, 1948.

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, 1973. **Proceedings...** Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

Wang, J.; Price, K. P.; Rich, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.11, p.2345-2364, 2003.