

DADOS LANDSAT-TM E AGROMETEOROLÓGICOS NA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE
DA CULTURA DO TRIGO AO NÍVEL DE PROPRIEDADES RURAIS

Bernardo F.T.Rudorff
Getúlio T.Batista
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Visto que a cultura do trigo vem se situando entre as principais culturas agrícolas da economia brasileira, é de grande importância que sejam desenvolvidos métodos objetivos e confiáveis para estimar a produtividade desta cultura. O presente trabalho visou a utilização dos dados digitais do sensor TM do satélite LANDSAT em conjunto com dados de um modelo agrometeorológico, a fim de obter um modelo de estimativa de produtividade do trigo ao nível de propriedades rurais na região sudoeste do Estado de São Paulo. Foram obtidos dados orbitais do satélite nos anos safras de 1986 (3 imagens) e de 1987 (2 imagens), além de informações agronômicas e dados meteorológicos, os quais foram relacionados com as informações de produtividade observada em kg/ha para as diversas propriedades rurais analisadas. Os resultados mostraram que os dados LANDSAT, transformados em índices vegetativos, explicam 64% e 46% da variação da produtividade do trigo respectivamente para os anos safras de 86 e 87. A incorporação destes índices vegetativos a um modelo agrometeorológico fez com que a variação explicada do modelo proposto fosse para 71% e 53%, respectivamente para as safras de 86 e 87. A incorporação dos dados espectrais a um modelo agrometeorológico é altamente desejável, uma vez que os dados agrometeorológicos explicam apenas 33% e 18% da variação da produtividade estimada ao nível de propriedades rurais nos dois anos safras analisados.

ABSTRACT

Wheat plays an important role in the Brazilian commodity production. Therefore, objective and reliable methods for yield estimation are needed especially at the farm level where several management actions have to be taken. LANDSAT TM and agrometeorological data were integrated in order to obtain a model for wheat yield estimation at the farm level for a test site in the south of São Paulo State. LANDSAT data for the crop years of 1986 (three acquisitions) and 1987 (two acquisitions), agronomic and meteorological data were related to yield estimates at the field level (250 fields approximately). Results have shown that vegetation index derived from LANDSAT TM explained 64 and 46 percent of wheat yield variability for the two crop years analyzed. The joint use of both vegetation index and agrometeorological data in a single model improved the results to 71 and 53 percent respectively for the crop year of 86 and 87. The proposed model is to be validated for future crop seasons nevertheless it provided objective and accurate results for wheat estimation on the two crop seasons analyzed.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de informações confiáveis sobre a produção agrícola é fundamental para os mais diversos setores envolvidos na agricultura. A tomada de decisões corretas nos diferentes níveis administrativos depende da qualidade e da época em que a informação está disponível. Os modelos para estimativa da produtividade de culturas agrícolas visam representar de forma simplificada a relação existente entre as culturas e o seu ambiente (Baier 1979). Os modelos até hoje desenvolvidos não são capazes de simular com perfeição o efeito conjunto de diversos elementos meteorológicos e culturais que influenciam a produtividade.

Por outro lado é muito difícil obter informações precisas e rápidas, ao nível de campo, para grandes áreas, a fim de utilizá-las na estimativa de produtividade (Colwell, 1979). Nos últimos anos foram realizadas diversas pesquisas que envolvem o uso de dados digitais do LANDSAT com intuito de estimar a produtividade de culturas agrícolas. A correlação significativa observada entre os dados espectrais de reflectância das plantas e os parâmetros agronômicos, incentivou o uso destes dados em modelos de produtividade (Tucker et al. 1980, 1981, Richardson e Wiegand 1977, Richardson et alii 1982, Wiegand et alii 1979, HaT

field et al. 1981, 1983 entre outros). Embora grande parte destes trabalhos tenham sido realizados em campos experimentais utilizando radiômetros portáteis, Wiegand et al. (1979) apontam o sensoriamento remoto orbital como uma ferramenta viável para relacionar os dados espectrais com a produtividade. Entretanto necessitam de estudos que tornem a relação numérica LANDSAT/produtividade menos dependente das variações da camada atmosférica e dos dados de calibração do sensor. Os diversos elementos meteorológicos e fatores culturais que afetam a produtividade da cultura são observados de forma indireta no índice vegetativo, que é uma transformação de bandas multiespectrais (visível e infravermelho próximo) e expressam as condições de crescimento e desenvolvimento da cultura e, em última análise refletem a produtividade da cultura. Os trabalhos desenvolvidos por Richardson et al. (1982), Barnett e Thompson (1982), Rudorff (1985) entre outros, mostram que a utilização de dados espectrais em conjunto com dados agrometeorológicos fornecem melhores estimativas de produtividade quando comparadas com as estimativas obtidas a partir destes dados isolados.

Com base na linha destes trabalhos o objetivo deste estudo é verificar a melhora da estimativa da produtividade do trigo, ao nível de propriedades rurais, quando se incorpora aos dados de um modelo agrometeorológico os índices vegetativos obtidos do satélite LANDSAT.

2. METODOLOGIA

A área de estudo está localizada na principal região produtora de trigo do Estado de São Paulo abrangendo os municípios de Maracá, Assis e Paraguaçu Paulista. As coordenadas geográficas centrais da área de estudo são 22°30'S e 50°30'W. O clima é úmido, quente e sem estação seca, e a precipitação total média nos meses de abril a setembro é de 350mm. A temperatura média do mês mais quente (janeiro) é superior a 24°C e a do mês mais frio (julho) é inferior a 17°C (Setzer, 1966).

No Brasil o trigo é plantado como cultura de inverno logo após a colheita das culturas de verão. Os principais Estados produtores são: Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo que perfazem em torno de 95% da produção brasileira. Apenas recentemente o Brasil começou a experimentar uma certa auto-suficiência na produção de trigo em função da demanda interna. O Brasil esteve até bem pouco tempo entre os maiores importadores mundiais deste cereal, conforme mostra Fernandes (1983).

O plantio do trigo na região de estudo normalmente é realizado após a colheita da soja e ocorre principalmente entre o final do mês de abril e começo do mês de maio. As variedades mais plantadas são Anahuac BH-1146. A primeira é mais produtiva, porém mais exigente em termos de disponibilidade de água e fertilidade de solo, e a duração do ciclo é em torno de 120 dias. A segunda é menos produtiva, mas apresenta certa resistência à seca e se desenvolve bem em solos de baixa fertilidade natural, e seu ciclo está em torno de 100 dias.

Na área de estudo foram selecionadas 125 e 127 imóveis rurais, respectivamente, nos anos safra de 1986 e de 1987. O tamanho das áreas cultivadas nestes imóveis varia essencialmente entre 10 e 50 ha, e foram obtidas as seguintes informações: data de plantio e de colheita, variedade plantada e produtividade observada em kg/ha, além do limite físico de cada área agrícola sobre a imagem.

Para o ano safra de 1986 foram obtidas as imagens TM correspondentes às passagens de 08/06/86, 24/06/86 e 10/07/86, e para o ano safra de 1987 obtiveram-se as imagens de 27/06/87 e 13/07/87.

As imagens TMs foram tratadas no analisador de imagens multiespectrais IMAGE-100, na escala de 1:50.000, a fim de que cada ponto do visualizador correspondesse a aproximadamente 1 "pixel" da imagem. Dentro do limite de cada área agrícola localizada na imagem foi posicionado o cursor, a fim de obter a média e a variância do nível de cinza das imagens nas bandas 3 e 4 do sensor TM. As médias dos níveis de cinza em cada banda foram transformadas em valores de reflectância utilizando o procedimento apresentado em Brian e Barker (1987). Por sua vez, estes valores foram transformados no índice vegetativo RVI, que é a razão dos valores da banda 4 pela banda 3. O emprego deste índice é recomendado por Turcker (1979) para culturas que cobrem mais de 50% do solo.

Estes índices vegetativos foram correlacionados com a produtividade observada nos imóveis rurais selecionados, considerando todas as áreas e também as diferentes variedades e datas de plantio.

Os índices vegetativos por si só fornecem uma estimativa da produtividade; entretanto, o uso, destes índices em conjunto com estimativas de produtividade obtidas a partir de modelos agrometeorológicos podem melhorar os resultados. Para tal, utilizou-se neste trabalho um modelo agrometeorológico que foi adaptado para a cultura do trigo e desenvolvido a partir do método proposto por Doorembos e Kassam (1979). A descrição do modelo e o programa utilizado para cálculo desta produtividade encontram-se em Rudorff e Batista (1988). Basicamente o modelo calcula a produtividade máxima esperada em função da disponibilidade climática durante o ciclo da cultura, em termos de temperatura e radiação, considerando que fatores tais como fertilidade, sementes e manejo sejam tecnicamente adequados. Esta produtividade máxima é então penalizada em função da disponibilidade de água no solo para a cultura. Visto que neste cálculo não é levado em conta o potencial de produção das diferentes variedades, foi utilizado um fator para ajustar esta estimativa ao potencial de produção das principais variedades encontradas neste estudo.

Finalmente chegou-se ao modelo de produtividade proposto, que foi obtido a partir da regressão dos dados de produtividade estimados pelo modelo agrometeorológico e dos índices vegetativos das imagens TMs, com os dados de produtividade observados, nas áreas agrícolas amostradas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados espectrais obtidos pelo sensor TM apresentam uma alta resolução espacial o que permite observar a variabilidade da energia refletida em pequenas áreas agrícolas. O índice vegetativo visa exprimir de forma simplificada o balanço do fluxo de energia incidente, absorvido, refletido e transmitido pela cultura, o qual é variável de acordo com os estádios fenológicos.

O índice vegetativo RVI obtido pela razão entre as bandas 4 e 3 do TM, será tanto maior quanto maior for a quantidade de energia refletida pela cultura na banda 4 e quanto menor for a quantidade de energia refletida no comprimento de onda da banda 3. Na banda 4 a estrutura celular das folhas é a grande responsável pela quantidade de energia refletida, e na banda 3 os pigmentos da folha são os responsáveis pela absorção da energia incidente, sendo que as folhas refletem apenas uma pequena quantidade de energia. Assim sendo espera-se que quanto maior for o índice vegetativo maior será a atividade fotossintética da planta e, conseqüentemente, maior deverá ser a produção de grãos, podendo-se desta forma estabelecer uma relação entre o índice vegetativo e a produtividade. Todavia não são bem conhecidos quais os períodos durante o ciclo da cultura em que o índice vegetativo melhor se relaciona com a produtividade. Considerando a baixa frequência de passagem do satélite LANDSAT (16 dias) e o ciclo relativamente curto da cultura do trigo (± 100 dias), aliado ao problema de cobertura de nuvens, não se espera que se disponha de muitas imagens para análise.

3.1 - ÍNDICE VEGETATIVO PARA A SAFRA DE 1986

O ano safra de 1986 foi um ano extremamente favorável em termos da aquisição de imagens obtendo-se três passagens durante o ciclo da cultura. Na primeira passagem a maioria das lavouras estavam entre 35 e 45 dias após o plantio, e as duas passagens seguintes eram espaçadas de 16 dias, conforme as passagens do satélite LANDSAT. Para cada uma destas imagens foram obtidos os índices vegetativos sobre as áreas agrícolas selecionadas e feita a regressão com a produtividade observada, cujos resultados são mostrados na Tabela 1. Observa-se que a passagem de 24/06/86 apresenta os melhores resultados, os quais explicam 64% da variação da produtividade. Nesta data a maioria das lavouras estavam entre 50 e 60 dias após o plantio. Visto que o principal período de plantio se deu entre 21 e 25 de abril de 1986 e as variedades mais plantadas foram a Anahuac e BH1146, fez-se também a análise estatística para as duas variedades plantadas neste período a fim de homogeneizar as amostras; os resultados para a melhor passagem são mostrados na Tabela 1. A melhoria acarretada com esta homogeneização é bastante significativa quando comparada com o resultado geral, porém não se justifica fazer estas subdivisões para fins de modelagem pois os demais resultados ficam bem inferiores. Por ter havido um período muito seco

nos meses de junho e julho de 1986, a data de plantio exerceu importante influência na produtividade conforme mostra a Figura 1a. Nesta figura pode-se observar também que os valores médios dos índices vegetativos decresceram também com o avanço do período de plantio e responderam bem à queda de produtividade observada.

3.2 - ÍNDICE VEGETATIVO PARA A SAFRA DE 1987

Este ano safra também foi muito favorável em termos de obtenção de imagens livres de nuvens. Aproveitando a experiência acumulada na análise dos dados do ano safra anterior, foram adquiridas somente as passagens de 27/06/87 e 13/07/87, que são praticamente coincidentes com o período da 2ª e 3ª passagens do satélite no ano anterior.

Os resultados das regressões do índice vegetativo com a produtividade observada no ano safra de 1987 são mostrados na Tabela 1, onde se verificou que a passagem de 27/06/87 apresentou os melhores resultados. Além da regressão geral que considera todas as áreas amostradas, foi feita a estratificação em termos da variedade Anahuac plantada nos períodos de 16 a 20 de abril e 6 a 10 de maio os quais foram os mais frequentes neste ano safra; os resultados também são mostrados na Tabela 1. Para o período de plantio de 16 a 20 de abril houve uma melhoria da relação entre o índice vegetativo e a produtividade; entretanto, para o período de 6 a 10 de maio, o resultado da relação não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Visto que neste ano safra houve uma boa distribuição de chuvas desde o plantio até a maturação da cultura, seguido por um período seco durante toda a colheita, as condições climáticas foram muito favoráveis para as diferentes datas de plantio. Na Figura 1b observamos que houve uma certa variação na produtividade das amostras plantadas em diferentes períodos e que o índice vegetativo médio para estas mesmas amostras corresponde bem às variações na produtividade.

3.3 - ÍNDICE VEGETATIVO PARA AS SAFRAS 86 e 87

EM CONJUNTO

A comparação dos índices vegetativos nos dois anos safra em estudo é bastante favorecida pelo fato de se dispor de imagens em períodos praticamente coincidentes nos dois anos safra e os melhores resultados foram alcançados com as passagens de 24 de junho de 1986 e 27 de junho de 1987. Isto mostra que a melhor data da imagem para a safra de 1986 é considerada também a melhor para a safra de 1987. Entretanto, os valores dos índices vegetativos foram bastante diferentes quando comparados entre si nos dois anos safra, conforme pode ser visto na Figura 1a e 1b, onde o índice vegetativo médio da safra 86 é 11% superior ao da safra de 87 enquanto que a produtividade média da safra 86 é 28% inferior à da safra de 87. Analisando os dados pluviométricos, observou-se que durante o mês anterior à tomada da pas-

TABELA 1
REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA COM O ÍNDICE VEGETATIVO (RVI)
NOS ANOS SAFRA DE 1986 E 1987

ANO SAFRA	Nº DE AMOSTRAS	DATA DA PASSAGEM	COEF. DE CORRELAÇÃO(r)	COEF. DE DETERMINAÇÃO(r ²)	ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) EM TON/HA
86	125 ^a	08/06/86	0,68	0,46	443
		24/06/86	0,80	0,64	366
		10/07/86	0,73	0,54	411
	30 ^b	24/06/86	0,86	0,74	295
	17 ^c	24/06/86	0,89	0,79	166
87	127 ^d	27/06/87	0,67	0,46	290
		13/07/87	0,43	0,19	353
	18 ^e	27/06/87	0,75	0,57	243
	13 ^f	27/06/87	0,55	0,31*	342

- a - amostra com todas as áreas agrícolas da safra 1986
b - amostra da variedade Anahuac plantada no período de 21 a 25 de abril de 1986
c - amostra da variedade BH1146 plantada no período de 21 a 25 de abril de 1986
d - amostra com todas as áreas agrícolas da safra 1987
e - amostra da variedade Anahuac plantada no período de 16 a 20 de abril de 1987
f - amostra da variedade Anahuac plantada no período de 06 a 10 de maio de 1987
* - n.s. ao nível de 5% de probabilidade

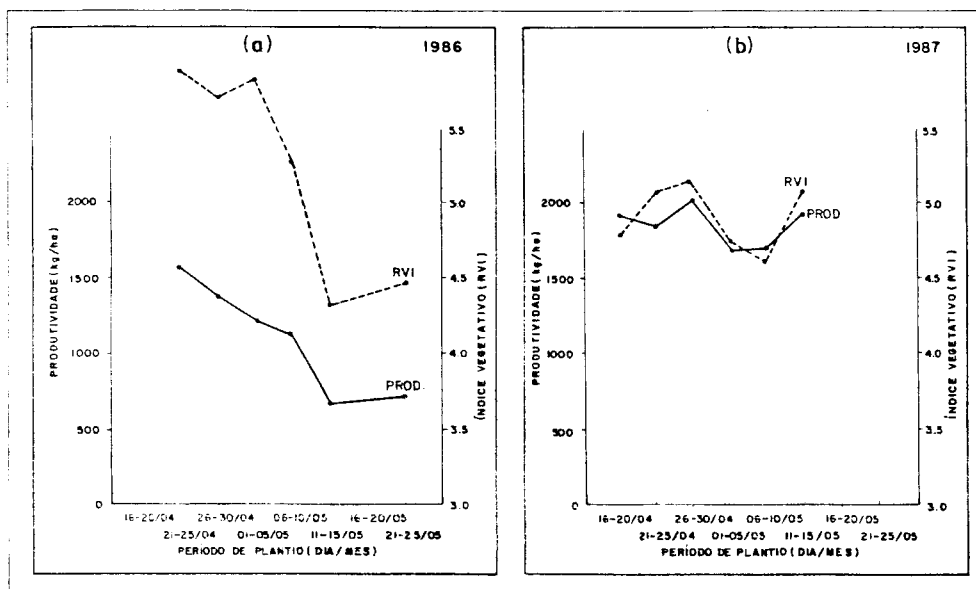


Fig. 1 - Valores médios dos índices vegetativos (RVI) e das produtividades (kg/ha), para os diferentes períodos de plantio das amostras nas safras de 86 (a) e de 87 (b).

sagem de 24 de junho de 86 não foi registrada qualquer precipitação na área de estudo. Já para o ano de 87 foram observadas intensas chuvas em torno de 15 de junho (230mm) e de 23 de junho (36mm). Certamente esta diferença no regime de precipitação entre os dois anos é a grande responsável pela instabilidade da relação índice vegetativo/produzividade. A tentativa de minimizar estas variações não poderia ir muito além de correções nas variações causadas pela camada atmosférica ou pelo sensor, enquanto se observa que a principal diferença entre as imagens é devida à variação na tonalidade do solo em função dos diferentes teores de umidade e que, apesar do avançado estágio fenológico da cultura, esta apresentou uma boa componente de energia refletida captada pelo sensor. Na imagem de 86 o solo apresentou tonalidade clara por estar muito seco e na imagem de 87 o solo apresentou tonalidade escura por estar muito úmido. Apesar da diferença existente entre os índices vegetativos destes dois anos safra, por razões outras que não as da cultura, fez-se a regressão com a produzividade observada, obtendo-se uma variação explicada de 48%, com um erro padrão da estimativa de 414kg/ha.

3.4 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO

Através do modelo agrometeorológico foi calculada a produzividade máxima da cultura do trigo em função da radiação e temperatura disponível para esta cultura desde o plantio até a colheita. Esta produzividade máxima foi então penalizada em função da quantidade de água disponível para a cultura durante o seu período de crescimento e desenvolvimento, obtendo-se a produzividade estimada para uma variedade genérica de trigo. A fim de ajustar esta produzividade aos diferentes potenciais de produção das variedades plantadas na área de estudo foi utilizado um fator multiplicativo, para cada variedade, obtido através de informações no campo, cujos valores são os seguintes: Ana huac = 1,30, BH-1146 = 0,90, IAC-5 = 1,00, IAC-18 = 1,00 e PAR281 = 0,65. Desta forma o modelo agrometeorológico forneceu diferentes valores de produzividade em função da data de plantio, variedade, radiação, temperatura e água no solo.

O modelo agrometeorológico pode ser utilizado tanto numa escala regional quanto local. Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho provêm de um único posto meteorológico disponível na região, exceto para os dados de precipitação que vieram de três postos. Assim sendo, o modelo não pode ser sensível às variações de produzividade que ocorrem entre as áreas agrícolas devido as variações causadas por fatores meteorológicos tal como a precipitação que pode ser bastante significativa.

A regressão dos valores de produzividade estimados pelo modelo agrometeorológico com a produzividade observada mostra que o modelo explica 33% e 18% da variação da produzividade com um erro padrão da estimativa de 495kg/ha e 355kg/ha respectivamente para os anos safra de 86 e de 87. Para a regressão feita com os dois anos safra em conjunto o modelo agrometeo-

rológico explica 43% da variação na produzividade com um erro padrão de 434kg/ha.

3.5 - MODELO PROPOSTO

O modelo agrometeorológico não pode explicar as variações na produzividade causadas por variações meteorológicas ocorridas entre as áreas agrícolas, em especial a precipitação, devido à baixa resolução espacial destes dados. Por outro lado, o índice vegetativo não pode explicar as variações na produzividade que ocorrem ao longo de todo o ciclo da cultura, uma vez que ele é sensível ao efeito indireto de diversos fatores meteorológicos e tecnológicos sobre energia refletida pela cultura em apenas uma ou pouco mais de observações durante o ciclo.

Assim a alta resolução temporal dos dados meteorológicos e a alta resolução espacial dos dados LANDSAT se complementam como pode ser visto nos resultados da Tabela 1. O modelo agrometeorológico e o índice vegetativo explicam em separado respectivamente, 43% e 48% da variação da produzividade, enquanto em conjunto explicam 65% da variação da produzividade observada com um erro padrão da estimativa de 339kg/ha para uma produzividade média de 1581 kg/ha.

Com base nos dados dos dois anos safra (86/87) o seguinte modelo é proposto:

$$P = - 676,0 + 253,5 \times RVI + 0,52 \times AGRO, \quad (1)$$

onde:

P = produzividade estimada pelo modelo,

RVI = índice vegetativo,

AGRO = produzividade estimada pelo modelo agrometeorológico.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados referentes aos dois anos safra (86 e 87) pôde-se concluir o seguinte:

- 1) Das três datas analisadas na safra de 1986, a imagem de 24 de junho de 1986 apresentou resultados significativamente superiores às demais datas;
- 2) Das duas imagens analisadas na safra 1987, a imagem de 27 de junho de 1987 apresentou os melhores resultados;
- 3) Nos dois anos safras analisados, os melhores resultados foram obtidos utilizando apenas uma imagem por ano safra, e o período destas imagens foi coincidente (final de junho, após a floração);
- 4) O modelo agrometeorológico explicou 33% e 18% da variação da produzividade, respectivamente, para os anos safra 86 e 87, e 43% para os dois anos em conjunto;
- 5) O índice vegetativo explicou 64% e 46% da variação da produzividade, respectivamente, para os anos safra 86 e 87, e 48% para os dois anos em conjunto;
- 6) O modelo proposto elevou a variação da produzividade explicada para 71% e 53%, respectivamente, nos anos safra 86 e 87, e para 65% nos dois anos em conjunto.

7) A incorporação dos índices vegetativos a um modelo agrometeorológico melhorou significativamente a estimativa da produtividade ao nível de áreas agrícolas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Fundo o Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica - FIPEC do Banco do Brasil S.A. pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Banco do Brasil S.A. da agência de Assis-SP em especial ao Eng. Agrº Alfredo Carlos Cavedal pela importante contribuição na obtenção das informações de produção junto aos mutuários.

À Eliana Miglioranza, programadora do INPE, no suporte às atividades computacionais que sempre realizou com muita dedicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIER, W. Note on the terminology of crop-wether models. *Agricultural Meteorology*, 20(2):137-145, Apr., 1979.
- BARNETT, T.L.; THOMPSON, D.R. The use of large-area spectral data in wheat yield estimation. *Remote Sensing of Environment*, 12(6):509-518, Dec. 1982.
- BRAIN, L.M.; BARKER, J.L. *Landsat MSS and TM post - calibration dynamic ranges, extratospheric reflectances and at-satel lite temperatures*. Greenbelt, MD, NASA/GSFC, 1987.
- COLWELL, J.E. Possible future directions in crop yield forecasting. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979, p. 1781-1788.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.J. *Yield response to water*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO-Plant Production and Protection, Paper nº 33).
- FERNANDES, D.P.L. Aspectos econômicos e estatísticos do trigo no Brasil. *Informe Agropecuário*, ano 9, nº 97: p. 3-9, jan. 1983.
- HATFIELD, J.L. Remote sensing estimators of potential and actual crop yield. *Remote Sensing of Environment*, 13(4):301-311, 1983.
- _____ Spectral behavior of wheat yield variety trials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 47(10):1487-1491. Oct. 1981.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552, Dec. 1977.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L.; ARKIN, G.F.; NIXON, P.R.; GERBERMANN, A.H. Remotely-sensed spectral indicators of sorghum development and their use in growth modelling. *Agricultural Meteorology*, 26(1): 11-23, 1982.
- RUDORFF, B.F.T. *Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-acucar*. São José dos Campos, INPE, dez. 1985 (INPE-3744-TDL/202).
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. *Relatório da Fase I do projeto Estima - Desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados LANDSAT e agrometeorológicos*. São José dos Campos, INPE, fev., 1988 (INPE-4466-RPE/560).
- SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interstadual da Bacia do Paraná-Uruguaí, 1966, 66p.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2):127-150, 1979.
- TUCKER, C.J. HOLBEM, B.N.; ELGIN, J.H.; McMURTEY, J. Relationship of spectral data to grain variation. *Photogrammetric and Remote Sensing*, 46(5):657-666, May 1980.
- _____ Remote Sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11(3):171-189, 1981.
- WIEGAND, C.L.; RICHARDSON, A.J.; KANEMASU, E.T. Leaf index area estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop modelling. *Agronomy Journal*, 71(2):336-342, Mar/Apr. 1979.