

UM SISTEMA DE PREVISÃO DE SAFRAS AGRÍCOLAS USANDO
SATÉLITES DE OBSERVAÇÕES DA TERRA

N.J. Parada; M.R. Dias; F.R.D. Velasco; R.A. Novaes;
D.C.M. da Silva e F.C. de Almeida

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

É sabido que estimativas de produção agrícola confiáveis se constituem em informações essenciais para o planejamento agrícola. Satélites de observação da terra do tipo LANDSAT oferecem a possibilidade de se obter estimativas da área plantada com as culturas que podem ser confiáveis e obtidas no prazo devido. Este trabalho descreve um programa do INPE que, aproveitando experiências anteriores, pretende desenvolver um sistema para previsão de safras, a nível nacional, para diversas culturas. Inicialmente o trabalho será dirigido para as culturas de cana-de-açúcar, soja e trigo. A escolha das culturas baseou-se nos critérios de representatividade econômica e/ou experiência anterior do Instituto. A estimativa de safra será feita através da determinação independente de área (usando-se satélites LANDSAT) e produtividade (usando-se dados agro-meteorológicos convencionais e de satélites meteorológicos) da cultura. A determinação da área plantada com determinada cultura, será feita de uma amostragem estratificada, enquanto a determinação da produtividade será feita através de modelos de regressão e/ou modelos de simulação de crescimento da cultura.

ABSTRACT

It is well known that reliable estimates of crop production are essential for agricultural planning. Earth observation satellites of LANDSAT type provide data which can be used in estimating crop acreage in a reliable and timely way. This work describes an institutional program which intends to develop a crop forecasting system for several crops at a national basis. Initially the program will focus on sugar cane, soybean and wheat. The choice of such crops was based on economic important as well as INPE's prior experience. The production estimate for a given crop will be obtained from independent estimates of acreage and yield for that crop. The process of acreage estimation will follow a sampling strategy. As for the yield estimation, regression and/or crop growth simulation models will be used.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentada a descrição de um sistema de previsão de safras agrícolas que utiliza satélites de observação da terra, como meio principal de coleta de informações.

A implantação do sistema objetiva inicialmente o fornecimento de previsões de produção de cana-de-açúcar, soja e trigo, em escala nacional, conforme descrito na Seção 2.

Na Seção 3 são feitas algumas considerações comparativas entre o sistema proposto e os sistemas convencionais existentes. Dentre estas, ressalta-se a possível ampliação do sistema para incluir outras culturas e regiões.

Na Seção 4, o sistema é caracterizado como composto de três subsistemas, a saber: subsistema de estimação de área, subsistema de estimação de produtividade e subsistema de integração e avaliação. A descrição de cada um deles é objeto das Seções 5, 6 e 7 respectivamente.

2. OBJETIVOS

A previsão de safras agrícolas num país como o Brasil, onde as prioridades nacionais envolvem decididamente as áreas da Agricultura e da Energia, torna-se da maior importância, tanto em relação aos aspectos econômicos, como aqueles de interesse estratégico e de segurança envolvidos.

Entretanto, a grande extensão territorial brasileira, ainda hoje desconhecida quanto aos seus recursos naturais e apresentando regiões com clima e características diferentes e ocorrência de fenômenos meteorológicos adversos como secas, geadas e enchentes, torna a previsão nacional de safras agrícolas com uma antecipação e um índice de acerto de seáveis, senão impossível, difícil de ser realizada.

Por outro lado, a necessidade de integração e de obtenção de informações periódicas confiáveis e a baixo custo do vasto território brasileiro, com imensas áreas inóspitas e de difícil acesso, fez com que o Instituto de Pesquisas Espaciais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/INPE) colocasse, como uma de suas metas prioritárias, a recepção, no país, dos dados obtidos pelos denominados satélites de aplicação, notadamente aqueles relativos à observação da Terra (satélites de sensoriamento remoto e meteorológicos) e o desenvolvimento de metodologias de aplicação desses dados no levantamento e acompanhamento da variação de recursos minerais, agrícolas, florestais, hídricos e oceanográficos, no monitoramento do meio ambiente e uso da terra, em aplicações cartográficas e mapeamento temático, em estudos de poluição, planejamento urbano e regional, na previsão de tempo e clima, de flagelos e de safras agrícolas, e o gerenciamento de recursos atmosféricos.

As características de repetitividade, obtenção imediata, custos moderados e cobertura completa do território brasileiro tem tornado os satélites de aplicação em instrumento de grande valia para as aplicações acima apresentadas.

O objetivo primordial do sistema é o de realizar a previsão de safras, consideradas de expressão econômica ou de interesse estratégico para o país, utilizando informação básica para a obtenção dos parâmetros significativos extraída de dados obtidos por satélites de observação da Terra. Levando-se em conta, o estágio atual de desenvolvimento das atividades do Instituto nessa área, conclui-se que o sistema deverá estar inicialmente voltado para a estimativa de produção de cana-de-açúcar, soja e trigo.

Torna-se importante salientar que o sistema aqui apresentado, ao invés de substituir os sistemas de previsão existentes, pretende complementá-los e aperfeiçoá-los, utilizando as características acima apresentadas dos satélites de observação da Terra.

3. SISTEMA DE PREVISÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Os dados históricos referentes à produção agrícola permitem identificar, para a gran-

de maioria das culturas, uma tendência definida de variação, ao longo do tempo, do volume total de produção num dado período. Tal tendência pode ser explicada, fundamentalmente, por um aumento contínuo das áreas cultivadas, em virtude do crescimento do mercado consumidor e por um aumento da produtividade, pela incorporação gradativa de desenvolvimentos tecnológicos às práticas usuais de cultivo e colheita.

A grosso modo, essa tendência histórica poderia ser utilizada para se fazer projeções futuras do volume de produção não fosse a existência de outros fatores que, em qualquer período e de uma forma temporária, podem alterar substancialmente o volume de produção, sem contudo, devido a sua natureza transitória, (fatores climáticos, por exemplo) afetar a tendência observada. Os resultados, então, seriam previsões totalmente desprovidas da precisão requerida para esse tipo de informação.

Parece claro, portanto, que qualquer investigação acerca do modelo mais adequado de previsão da produção agrícola deve incluir também, e essencialmente, a influência de tais fatores, de efeitos transitórios ou permanentes na produção final. Assim, um modelo para previsão de safras fornecerá resultados mais precisos na medida em que melhor conseguir explicar tal influência.

Os elementos principais de tal abordagem são discutidos no item que se segue.

3.2 - ELEMENTOS DO SISTEMA

A produção de uma cultura agrícola pode ser vista como o produto de duas variáveis, previamente determinadas mediante métodos específicos. Tais variáveis são: a produtividade (ex: ton/ha) e a área cultivada (ex: ha). Assim,

$$P = Y \cdot A$$

onde:

P = produção total de uma região, referente a uma dada cultura, em ton;

Y = produtividade média da região, em ton/ha; e

A = área cultivada, em ha.

A determinação das variáveis A e Y exige a utilização de métodos específicos que serão tratados a Seções 5 e 6, respectivamente. A integração dos dois subsistemas será descrita em seguida, na Seção 7.

Adicionalmente aos métodos convencionais de coleta de dados, pelas instituições responsáveis pelo levantamento estatístico dos dados agrícolas e meteorológicos, este trabalho se propõe a utilizar, para a medição da área cultivada (A) e das variáveis meteorológicas, informações obtidas da interpretação das imagens fornecidas pelos satélites LANDSAT, e os das famílias TIROS-N e GOES, sobre a região de interesse.

O sistema assim construído contará com um subsistema de produtividade no qual atuam fatores meteorológicos, fitossanitários, pedológicos, topográficos, hidrológicos, agrônomicos e tecnológicos.

A metodologia básica consistirá em estratificar cada região tradicionalmente dedicada a uma cultura, com a finalidade de definir sub-regiões (estratos) homogêneos com respeito àquelas características que têm influência na produção total. Essa estratificação deverá ser feita separadamente para cada uma das culturas consideradas.

Os resultados consistirão de estimativas de área cultivada, produtividade e, consequentemente, produção total, para cada uma das culturas e em cada um dos estratos considerados.

4. SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE ÁREA

A estimativa da área de uma determinada cultura será baseada, principalmente, na informação sob a forma de imagem obtida por sistemas sensores a bordo de satélites e aeronaves. O processamento desta informação será feito semi-automaticamente usando-se computador e especialistas (engenheiros-agrônomo).

A primeira tentativa, em larga escala, de utilização do computador na classificação de dados multi-espectrais obtidos por sensoria-mento remoto, aconteceu em 1971 no "Corn Blight Watch Experiment" [Mac Donald et alii 1972] antes mesmo, portanto, do lançamento do satélite LANDSAT-1 com o sensor MSS (multi-spectral scanner). Com dados LANDSAT houve, de 1973-1975, o projeto CITARS [Bizzel, et alii, 1975] (Crop Identification Technology Assessment for Remote Sensing) para levantamento de milho e soja para os estados de Indiana e Illinois. Em 1974 começou o experimento LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) [Mac Donald e Hall, 1980] para estimativa da produção de trigo em escala mundial e que, terminado em 1978, demonstrou a exequibilidade de sistemas baseadas em satélites para previsão de safras agrícolas.

No INPE, já foram estudadas as culturas de cana-de-açúcar e trigo nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. Por duas vezes, em 1978 e 1979, foi feito o levantamento de São Paulo ([Mendonça et alii, 1978], [Mendonça et alii, 1981]), e em 1979, foram estudadas áreas pilotos de grande concentração de trigo, cada uma com 20 km x 40 km no estado do Rio Grande do Sul [Chen et alii, 1981].

A metodologia proposta no presente trabalho-amostragem estratificada - para a estimativa de área de uma dada cultura, se assemelha à usada na LACIE [Heydorn et alii, 1978] e envolverá, para cada cultura, os seguintes passos:

- 1) estratificação: divisão da região em estratos homogêneos;
- 2) alocação, de maneira aleatória de unidades amostrais, chamadas *segmentos*;
- 3) determinação de *proporção* da cultura em cada segmento;
- 4) *Agregação* das proporções estimadas para os segmentos para cada estrato e estimação da área do estrato.

Com o intuito de aumentar o poder discriminatório dos procedimentos de determinação de proporção das culturas, a área correspondente a cada segmento será adquirida de várias passagens de satélite durante as diversas fases de crescimento da cultura. Estas áreas serão então registradas.

A determinação da proporção nos segmentos será feita através de um procedimento interativo com a participação de especialistas (agrônomo) e computador. O procedimento consistirá de cinco fases distintas:

- 1) classificação não-supervisionada;
- 2) rotulação e treinamento;
- 3) classificação supervisionada;
- 4) estimativa da proporção;
- 5) avaliação e aprovação.

Na primeira fase, classificação não supervisionada, todos os pontos do segmento são agregados, em um número variável de classes, usando-se, possivelmente, informação espacial em adição à informação espectral/temporal.

Na segunda fase, o especialista rotulará (cultura/não-cultura) amostras (pontos ou regiões) extraídas aleatoriamente do segmento. Para esta rotulação o especialista levará em conta principalmente informação espectral sobre o crescimento da cultura e o calendário agrícola para aquela região. Parte dos rótulos obtidos serão, então, usados para treinar o módulo classificador a ser usado na próxima fase.

Todo o segmento é classificado em cultura e não-cultura através de um classificador, possivelmente gaussiano, durante a quarta fase.

A proporção da cultura no segmento será estimada levando em conta a classificação feita na quarta fase e dados de rotulação da segunda fase, dados estes que servirão para eliminar a tendência do classificador.

Na quinta fase todos os resultados obtidos são apresentados aos especialistas que comparará com outras informações (históricas, por exemplo) e com uma avaliação própria. Esta comparação fornecerá ao especialista elementos para aprovar ou não a estimativa de proporção obtida.

Se, na última fase, o especialista considerar o resultados como não-satisfatórios, os pas-

so são refeitos a partir do segundo. A rotação de amostras retiradas do segmento (2º passo), será feita usando-se um mínimo de informações de verdade terrestre sejam usadas so mente para avaliação e aferição do subsistema de estimativa de área.

Há vários fatores que ditaram a escolha da metodologia de amostragem. O primeiro deles refere-se aos recursos computacionais ne cessários não só para a classificação como para o registro de imagens. Uma classificação exaustiva de toda a área da cultura demandaria recursos computacionais consideravelmen te maiores. Outro fator é que, considerando só alguns segmentos, evitam-se as complicações técnicas, ainda não inteiramente resol vidas, relativas à extensão de assinaturas espectrais. Finalmente, há o problema de cobertura de nuvens, que pode inviabilizar ou tras metodologias que não a da amostragem.

5. SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

5.1 - INTRODUÇÃO

Na estimativa da produtividade agrícola, a utilização de modelos matemáticos incorporando a influência de várias variáveis, entre elas as variáveis tecnológicas e meteorológicas, fornecem uma alternativa aos métodos de censos e amostragem estatísticas. Note-se que esta metodologia não inviabiliza ou compete com os procedimentos convencionais. Aliás, ela depende, durante o seu desenvolvimento, desses resultados. A vantagem da utilização desses modelos, com respeito aos métodos convencionais, está refletida na objetividade, na rapidez, cobertura espacial e antecipação da resposta em relação às datas de colheita da cultura.

A possibilidade de uso dos satélites, da série meteorológica, para o levantamento de dados relativos à radiação, temperatura e precipitação se constitui numa poderosa ferra menta para o aperfeiçoamento do produto final de previsão de safras.

Em seguida, é apresentada uma breve discução dos modelos descritos na literatura, voltados para a estimação de produtividade agrícola.

Baier (1979) apresenta uma classificação dos tipos de modelos de previsão de produtividade utilizados por diversos autores. Se gundo ele, esses tipos são:

a) Modelos Estatísticos Empíricos, que são aqueles em que fatores climatológicos e características do solo são relacionados estatisticamente com a produtivi dade (modelos de produtividade de regressão múltipla.

b) Modelos de Simulação de Crescimento, que são uma representação matemática simplificada dos mecanismos físicos, químicos e fi siológicos que regulam o crescimento de uma planta (simuladores do crescimento da cultura, tipo mecanicista).

c) Modelos Climatológicos, que são aqueles que consideram a resposta da cultura com respeito a um conjunto de variáveis agrometeorológicas (modelos agrometeorológi cos de análise, construídos estatísticamente).

Os modelos estatísticos empíricos são de uso mais difundido sendo o trabalho de Thompson (1962) pioneiro neste tipo de abordagem. Em outro trabalho, Thompson (1969) construiu um modelo de regressão múltipla, considerando como variável dependente a produtividade do trigo por hectare e, como variáveis independentes, a precipitação pluviométrica, a temperatura nos me ses críticos da cultura e duas variáveis que representam a tendência tecnológica em dois perío dos: 1920/45 e 1945/68. O modelo é constituído de uma componente linear e de uma componente quadrática. O trabalho conclui que as variáveis independentes explicam de 80 a 92% da variabilidade da produtividade.

Alguns trabalhos mais recentes seguem uma metodologia semelhante à de Thompson. Pitter (1977), apresenta um modelo de regressão múltipla para a estimação de produtividade relacio nada linearmente a variáveis meteorológicas, tendência tecnológica e unidade do solo no Estado de Oregon. O modelo considera a área geográfica de estudo dividida em 5 distritos agrícolas e 7 divisões climáticas, que são reorganizadas para corresponderem aos distritos agrícolas. Os resultados apresentam um $R^2 = 0,956$, porém os coeficientes de correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes são con sideravelmente baixos, o mesmo ocorrendo com os valores da estatística t , salvo poucas exceções. Os valores mais significantes ocorrem com as variáveis tecnológicas.

Quanto aos modelos de simulação do crescimento da classe b da descrição de Baier, alguns deles são apresentados a seguir.

Baier (1977) apresenta um resumo de trabalhos feitos na Holanda e nos Estados Unidos so bre modelos de simulação do crescimento.

Na Holanda foi construído um modelo dinâmico de crescimento de cultivo mediante o uso de um simulador (ELCROS), descrito por Wit et alii (1971). O modelo supõe que uma planta ou um cultivo contenha reservas fotossintéticas na forma de carboidratos. Os processos básicos na planta, simulados pelo programa, são: fotosíntese, respiração, circulação e transpiração. O modelo calcula a produção total de matéria seca e a transpiração da folhagem em crescimento

a partir de propriedades físicas, fisiológicas e químicas básicas da planta e dados macro-meteorológicos provenientes de estações meteorológicas.

Nos Estados Unidos, na Universidade de Cornell, desenvolveu-se um modelo de interação solo-planta-atmosfera, chamado SPAM. Lemon et alii (1973) descrevem o desenvolvimento e os componentes deste modelo, para simular interações básicas entre a planta e o meio ambiente. Os autores ilustram, mediante um esquema, as entradas necessárias, os submodelos e as previsões do clima e das atividades da planta. O SPAM poderia ser considerado mais uma ferramenta para testar a sensibilidade de certos fatores, do que um modelo para prever crescimento ou produtividade. No entanto pode também ser considerado como um submodelo integrante de um modelo de crescimento ou de produtividade.

No INPE, especificamente, alguns trabalhos já foram desenvolvidos relacionados à produtividade; entre outros, Chen e Fonseca (1980), Celaschi e Almeida (1981), Almeida (1981), e Chen (1981).

Em virtude da complexidade do problema, o objetivo proposto será perseguido de forma a se elaborar um modelo que represente o processo real de produção da forma mais aproximada possível. Para tal serão desenvolvidos:

- a) modelos do tipo estatístico-empíricos, onde novas técnicas serão implementadas para torná-los mais confiáveis e
- b) modelos do tipo de simulação de crescimento que, embora mais complexos que os anteriores, poderão produzir estimativas mais confiáveis, tendo em vista a filosofia dinâmica que os caracteriza.

Para a implementação no Brasil destes modelos agrometeorológicos de produtividade, a utilização dos satélites de observação da terra, no caso específico a família de satélites meteorológicos, se torna, pela cobertura e precisão já existentes, uma ferramenta indispensável.

5.2 - ESTIMATIVA DE TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E INSOLAÇÃO USANDO DADOS DE SATELITES METEOROLÓGICOS

Existe uma correspondência bem determinada entre o nível do sinal do satélite em cada elemento de uma imagem no infravermelho e a temperatura da superfície. A simples consulta a uma tabela de calibração permite, assim, estimar a temperatura da superfície e cada meia hora, pelo uso das imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários. O método pode ser aplicado a qualquer hora do dia ou da noite, pois independe da luz so-

lar, sendo limitado apenas pela eventual cobertura de nuvens.

Embora a precipitação seja um dos elementos meteorológicos mais intensamente observados, as determinações convencionais são inadequadas para alguns propósitos, devido a sua grande variabilidade temporal e espacial, em relação à densidade da rede de amostragem.

O acesso a dados de satélites meteorológicos permite a estimativa da precipitação através do uso de indicadores como a temperatura do topo de nuvens, sua taxa de crescimento, modelos matemáticos específicos, entre outros. A relativa imprecisão absoluta do método é, de modo geral, compensada pela abrangência sinótica dos dados de satélite, bem como pela elevada frequência de observação.

Na realidade, para a previsão de produtividade agrícola, o parâmetro derivado umidade do solo seria o principal fator climático a ser considerado. Embora, no momento, ainda não possa ser determinada diretamente por satélites, a umidade do solo pode ser estimada como auxílio de determinações frequentes de precipitação.

Os dados obtidos das imagens de satélites meteorológicos, especialmente os do canal visível nos satélites geossíncronos (SMS), aliados a modelos de transferência radiativa na atmosfera, permitem a utilização desses sensores remotos do parâmetro radiação.

Devido à pequena densidade da rede solarimétrica do Brasil à grande extensão de seu território, o uso dos satélites para a medida de radiação e especialmente atrativo. Sua aplicação na região aqui considerada permitirá a verificação da influência desta variável na produtividade, embora não se espere que, nas latitudes relativamente baixas do Brasil, sua influência seja comparável, por exemplo, à da umidade do solo. No INPE, pesquisas já se desenvolvem no sentido de viabilizar a utilização destas técnicas num sistema de estimativa de produtividade agrícola.

6. SUB-SISTEMA DE INTEGRAÇÃO E AVALIAÇÃO

Este sub-sistema é responsável, em linhas gerais, pela estratificação, alocação de segmentos (unidades amostrais), pelas estimativas finais de produção e respectivos limites de confiança, e avaliação através de testes independentes, do desempenho do sistema.

Especificamente, a este subsistema é atribuída a responsabilidade pelo desenvolvimento das seguintes atividades:

- Divisão das regiões produtivas em estratos homogêneos, que servirão tanto para a estimativa da área, quanto da produtividade.

- Determinação do número de segmentos por estrato, bem como a localização de cada segmento dentro do estrato.
- Agregação das estimativas de áreas cultivadas e produtividade na geração das estimativas de produção para os diversos estratos.
- Geração de índices de confiança associadas a cada estimativa.
- Estabelecimento de procedimento de avaliação de desempenho do sistema. Esta avaliação objetiva fornecer uma realimentação aos subsistemas de estimação de área e de produtividade, implicando, possivelmente numa redefinição dos critérios de estratificação, seleção de amostras em cada estrato, alocação de segmentos de imagens a serem analisados e indicação de áreas necessitando maior volume de dados de campo.

7. CONCLUSÃO

Prevê-se a duração de quatro anos (1982-1985) para a obtenção de um sistema de previsão de safras utilizando-se, tanto quanto possível, os satélites de observação da terra. Espera-se ter, ao fim do período (1985), um sistema operacional tanto para a estimativa de área, quanto de produtividade para as culturas em estudo. Este sistema estará, então, pronto para ser transferido para uma instituição que se encarregue de operá-lo.

A estratégia para a obtenção deste sistema envolverá duas fases:

- 1) Desenvolvimento e testes;
- 2) Operacionalização a nível nacional.

Na primeira fase, que compreenderá dois anos (1982-1983), a metodologia será desenvolvida e testada (tanto para área quanto para produtividade) em regiões restritas (São Paulo para cana-de-açúcar, Paraná para a soja, Paraná e Rio Grande do Sul para o trigo). No caso específico do subsistema de estimação de área, no primeiro ano (1982), serão usados dados (imagens de satélites e de avião) obtidos em anos anteriores; enquanto que, no segundo ano (1983), o estudo será feito com dados obtidos no próprio ano.

Os dois últimos anos (1984 e 1985) serão destinados ao aperfeiçoamento dos sistemas e sua extensão às demais regiões produtoras (para as culturas em estudo) do país.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.C. de Modelos matemáticos das interações variáveis meteorológicas/ produtividade de agrícola, objetivos, usos e problemas operacionais. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2., Pelotas, 5-10 julho, 1981.
- BAIER, W. *Crop-water models and their use in yield assessments* Geneve, WMO, 1977. (WMO Technical Note nº 151).
- Note on the terminology of crop weather models. *Agricultural Meteorology*, 20:137-145, 1979.
- BIZZELL, R.; HALL, F.; FEIVESON, A.; BAUER, M. E.; DAVIS, B.; MALILA, W.; RICE, D. Results from the crop identification technology assessment for remote sensing (CITARS) project. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING ENVIRONMENTAL, 10., Ann Arbor, 1975. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1975, V.2, p. 1189-1196.
- CELASCHI, W.; ALMEIDA, F.C. de Um modelo para estimar a produtividade do milho no Estado de São Paulo. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2., Pelotas, 5-10 julho, 1981.
- CHEN, S.C. Estimativas de rendimento de soja, baseadas na tendência tecnológica e nas variáveis climáticas. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 2., Pelotas, 5-10 julho 1981.
- CHEN, S.C.; FONSECA, L.B. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo state, Brazil. *Agricultural Meteorology*, 22:341-349, 1980.
- CHEN, S. C.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M. *Comparison of wheat classification accuracy using different classifiers of the Image-100 System*. São José dos Campos, INPE, junho 1981. (INPE-2125-RPE/349).
- LEMON, E.R.; STEWART, D.W.; SHAWCROFT, R.W.; JENSEN, S.E. *Experiments in predicting evapotranspiration by simulation with a soil-plant-atmosphere model (SPAM), in Field Soil Water Regime*. Medson, Soil Sci. Soc. Am., 1973. p. 57-74.
- MacDONALD, R.B.; BAUER, M.E.; ALLEN, R.D.; ERIKSON, J.D.; LANDGREBE, D.A. Results of the 1971 corn blight watch experiment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1972, v.1, p. 157-190.
- MacDONALD, R.B.; HALL, F.G. Global crop forecasting. *Science*, 208(4445):670-679, May 1980.

- MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.
Estudo comparativo de interpretação automática e visual em imagem LANDSAT visando a identificação da cultura da cana-de-açúcar. São José dos Campos, INPE, maio 1978. (INPE-1265-NTI/104).
- MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CHEN, S.C.; LUCHT, L.A.M.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M.; MAIA, F.C.S. *Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo, utilizando dados do LANDSAT ano safra 1979/1980.* São José dos Campos, INPE, março 1981. 2v. (INPE-2021-RPE/288).
- PITTER, R.L. The effect of weather and technology on wheat field in Oregon. *Agricultural Meteorology*, 18:115-131, 1977.
- THOMPSON, L.M. Evaluation of weather factor in the production of wheat in the United States. *J.P. Soil Water Conservation*, 17:219-221, 1962.
- Weather and technology in the production of wheat in the U.S. *J.P. Soil Water Conservation*, 24:219-224, 1969.
- WIT, C.T. de; BROVWER, R.; PENNING DE VRIES, R. A dynamic model of plant and crop growth. In: WAREING, P.P.; COOPER, J.R. ed. *Potential crop production: a case study.* London, Heinemann Educational Books, 1971. p. 117-142.

