

INTERPRETAÇÃO VISUAL DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR AO NÍVEL DE
PROPRIEDADE AGRÍCOLA UTILIZANDO IMAGENS MSS/LANDSAT
E INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Valdete Duarte, Bernardo F.T. Rudorff e Getulio T. Batista

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

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho da interpretação visual de imagens do sensor MSS do satélite LANDSAT, visando o mapeamento de áreas plantadas com a cultura de cana-de-açúcar, ao nível de propriedade agrícola, nos municípios de Araçatuba e Guararapes, no Estado de São Paulo. Para melhorar a identificação da cana-de-açúcar desenvolveu-se uma abordagem que envolve o acompanhamento da cultura canavieira desde a época do preparo do solo, bem como usou-se informação complementar de campo. Foram utilizadas sete imagens do satélite LANDSAT, sendo três nos períodos de março, abril e maio de 1982 e quatro nos períodos de fevereiro, maio, julho e setembro de 1983. As imagens multitemporais de satélite foram usadas para delimitar e confirmar as áreas de cana-de-açúcar. Primeiramente, delimitaram-se as áreas de solo preparado para plantio e as possíveis áreas de cana-de-açúcar. Posteriormente, estas áreas foram confirmadas ou não como áreas canavieiras em imagens subsequentes. Todavia, esta confirmação nem sempre pôde ser feita apenas através das imagens LANDSAT. Neste caso, usou-se informação complementar de campo. Na presente pesquisa o trabalho de campo foi substituído por fotografias aéreas infravermelhas coloridas atualizadas, disponíveis em escala adequada. Normalmente, a metodologia desenvolvida usa trabalho de campo para a confirmação destas áreas. Do total das áreas canavieiras mapeadas, cerca de 35% necessitam de confirmação através de informações complementares. A principal causa desta elevada percentagem é atribuída a alguns fatores de ordem agrônômica e meteorológica que ocorreram na região que introduziam dificuldades para a caracterização da cultura nas imagens do LANDSAT. A avaliação do desempenho do mapeamento da cultura canavieira foi feita utilizando como referência uma carta temática obtida a partir de fotografias aéreas infravermelhas e chegou-se a um resultado de 91,8% de cana interpretada corretamente.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the usual interpretation performance of MSS-LANDSAT imagery for mapping sugarcane plantations at the farm level in the municipalities of Araçatuba and Guararapes of São Paulo State. To improve the sugarcane identification, an approach, involving the continuous monitoring of the crop from soil plowing to harvesting together with complementary field information, was developed. Three LANDSAT acquisitions of 1982 in the months of March, April and May, and four acquisitions of 1983 in the months of February, May, July and September were used. Multitemporal MSS-LANDSAT images were used to outline plowed soils which might be for sugarcane plantation at the beginning of the crop season; afterwards, these possible sugarcane areas were confirmed using sequential images. However, sugarcane identification could not always be ascertained based on LANDSAT data only in this case, complementary field information was used. In this research the field was substituted for CIR aerial photographs that were available in a suitable scale. Normally the developed methodology uses field work for ascertaining the identification of these areas. From the total area of sugarcane mapped 35% needed to be assigned by complementary information. The main cause of this high percentage is attributed to some agronomic and meteorological factors that occurred in the region which introduced difficulties for the sugarcane characterization on the LANDSAT imagery. A thematic chart obtained from CIR aerial photographs was used for the evaluation of sugarcane mapping accuracy which was found to be 91.8 percent correct.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido considerada como um dos setores prioritários do governo e participa significativamente da economia do País. Considerando a extensão territorial do Brasil, aliada à necessidade de aumento de produção devido ao crescimento populacional, verifica-se uma acentuada tendência de expansão da fronteira agrícola. Assim sendo, torna-se necessária a adoção de técnicas eficientes para o controle e o monitoramento dos processos de produção agrícola.

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), através do seu Departamento de Sensoriamento Remoto (DSR), vem dando ênfase às pesquisas que utilizam técnicas de sensoriamento remoto para identificar e estimar áreas ocupadas com culturas agrícolas, principalmente aquelas de expressão econômica (Batista et alii, 1978a e b; Mendonça et alii, 1980 e 1981). Neste contexto, diversas culturas foram estudadas e ênfase especial tem sido dada ao mapeamento de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar (Mendonça et alii, 1984) devido à sua grande importância, face à política do Programa Nacional do Alcool (PROALCOOL). Várias metodologias de interpretação

visual e automática foram desenvolvidas para a identificação da cultura canavieira, entretanto torna-se difícil comparar os resultados obtidos por essas metodologias de interpretação devido aos diferentes critérios adotados na análise dos seus respectivos desempenhos.

O presente trabalho é parte de um projeto de pesquisa realizado pelo INPE em convênio com o Banco do Brasil S.A. (Batista et alii, 1984) e tem o objetivo de apresentar a metodologia desenvolvida e os resultados obtidos, visando melhorar a identificação visual da cultura da cana-de-açúcar ao nível de propriedade agrícola, nas imagens de satélite.

No desenvolvimento deste trabalho aprimorou-se a metodologia de interpretação visual desenvolvida por Mendonça et alii (1981) que enfatiza a utilização de dados de sensoriamento remoto ao nível orbital para o mapeamento regional de cana-de-açúcar.

Como área de estudo, foram escolhidos os municípios de Araçatuba e Guararapes, situados na região noroeste do Estado de São Paulo, os quais ocupam uma área de 3.583km². A região é, por tradição, de exploração pecuária, embora apresente acentuada e rápida expansão agrícola, da cultura da cana-de-açúcar a qual foi implantada no ano de 1980 para fornecer matéria prima para cinco destilarias produtoras de álcool.

A identificação da cana-de-açúcar a partir de imagens do LANDSAT foi realizada em propriedades agrícolas que receberam financiamento do Banco do Brasil S.A. para a implantação desta cultura.

2. METODOLOGIA

A interpretação e mapeamento das áreas canavieiras, utilizando as imagens do satélite MSS/LANDSAT foi realizada para 80 propriedades agrícolas que receberam crédito agrícola do Banco do Brasil S.A. para implantação da cultura. Os limites destas propriedades agrícolas foram obtidos a partir de fotografias aéreas pancromáticas, resultantes das coberturas aerofotográficas realizadas em 1972 pela FAB 1/6º GAV, para o Instituto Brasileiro do Café (IBC), e em 1978, pela Terrafoto S.A., para a Companhia de Eletrificação de São Paulo (CESP). As fotografias aéreas de 1978 e 1972 foram obtidas na escala de 1:20.000 e 1:25.000, respectivamente, e foram utilizadas para a delimitação das propriedades agrícolas dos municípios de Araçatuba e Guararapes. A obtenção dos limites deu-se em trabalho de campo realizado em meados do ano de 1983.

A transferência dos limites das propriedades agrícolas, contidas nas fotografias aéreas, para as bases cartográficas, na escala 1:50.000, foi feita através do equipamento Zoom Transfer Space (ZTS) que permite um ajuste de escala e de distorções das fotografias aéreas através da superposição de acidentes geográficos. Tendo sido lançado os limites das propriedades agrícolas sobre as cartas topográficas na escala de 1:50.000, procedeu-se ao preparo do desempenho cartográfico sobre um poliéster de base estável. Posteriormente, este produto foi reduzido fotograficamente em papel litográfico para a escala de 1:250.000. Finalmente, este papel litográfico foi sobreposto nas imagens do LANDSAT na escala de 1:250.000

e ajustado sobre elas através de pontos de referências (drenagem, estradas, etc.). Obtiveram-se, desta maneira, os limites das propriedades agrícolas sobre as imagens do satélite LANDSAT.

A identificação visual da cana-de-açúcar em imagens MSS/LANDSAT, empregando a chave de interpretação desenvolvida por Mendonça et alii (1981), não apresentou bons resultados na região. Esta chave de interpretação baseia-se em aspectos espectrais e temporais das imagens dos canais 5 e 7 em dois períodos distintos. O primeiro período situa-se próximo ao início da safra canavieira (abril/maio) e o segundo, durante o inverno, coincidindo com o período seco da região, objetivando discriminar a cultura dos demais alvos cuja resposta espectral possa assemelhar-se com a da cana (por exemplo, a pastagem).

O insucesso da utilização desta chave para a identificação das áreas canavieiras nas imagens MSS/LANDSAT, na região, deve-se principalmente a alguns fatores de ordem agrônômica (por exemplo, a cana bisada e a incidência de ervas daninhas nos canaviais) e meteorológica (por exemplo, o excesso de precipitação por ocasião da colheita) que prejudicaram o desenvolvimento normal da cultura. Consequentemente, a resposta espectral típica da cultura ficou descaracterizada, dificultando sua identificação nas imagens MSS do satélite LANDSAT.

Para contornar este problema foi desenvolvida uma outra chave de interpretação de cana que utiliza imagens do satélite obtidas por ocasião da época do plantio da cultura. A identificação das áreas de solo preparado foi feita utilizando imagens MSS/LANDSAT do canal 5, onde se delimitaram as áreas de solo exposto das propriedades financiadas (áreas claras) sobre as imagens do satélite referentes às passagens mostradas na Tabela 1.

TABELA 1

DADOS MSS/LANDSAT UTILIZADOS PARA MAPEAR ÁREAS DE SOLO PREPARADO

ÓRBITA 222 PONTOS 79 E 74 CANAL 5 ESCALA 1:250.000	
DATA DAS PASSAGENS	
1982	1983
18 de março	16 de fevereiro
23 de abril	07 de maio
29 de maio	10 de julho

A Figura 1 mostra a percentagem média mensal de plantio de cana-de-açúcar efetuado nos anos de 1980 a 1983. Estes dados foram obtidos no Banco do Brasil S.A., nas agências locais e junto às destilarias da área de estudo. Deve-se ressaltar que a implantação da cultura na região teve início no ano de 1980, embora tenha sido mais intensa no ano de 1981. Entretanto, não se dispões de imagens, devido à cobertura de nuvens, para os anos de 1980 e 1981 por ocasião da principal época de preparo do solo e plantio da cultura canavieira.

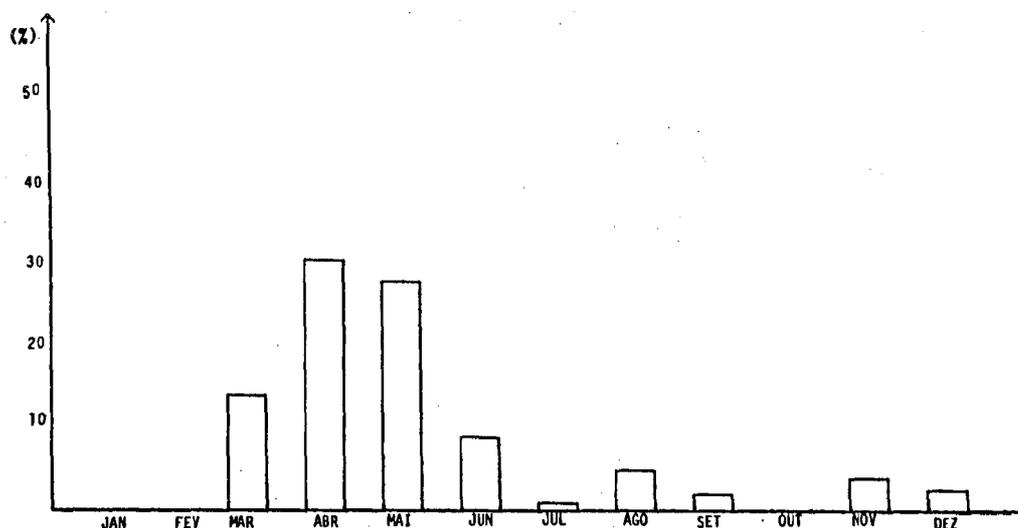


Fig. 1 - Percentagem média mensal de plantio de cana-de-açúcar para os anos de 1980 e 1983.

As áreas delimitadas como solo exposto sobre as imagens do canal 5 foram observadas em passagens subsequentes, no canal 7. Quando estas áreas apresentavam uma tonalidade clara neste canal estava confirmado que a área de solo exposto realmente havia sido destinada ao plantio de cana-de-açúcar. A Tabela 2 mostra os dados utilizados para a confirmação da cultura. Todavia, nem sempre foi possível confirmar a presença de cana-de-açúcar nas áreas mapeadas como solo exposto, ficando estas áreas para ser confirmada em trabalho de campo.

TABELA 2

DADOS MSS/LANDSAT UTILIZADOS PARA CONFIRMAR AS ÁREAS DE SOLO PREPARADO
DESTINADAS AO PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR

ÓRBITA 222 PONTOS 74 E 75 CANAL 7 ESCALA 1:250.000
DATA DAS PASSAGENS
16 de fevereiro de 1983 07 de maio de 1983 10 de julho de 1983 28 de setembro de 1983

Devido a inexistência de imagens tomadas em 1980 e 1981 para delimitar áreas de solo preparado por ocasião da época de plantio da cultura, as imagens da Tabela 2 foram também utilizadas para a delimitação de áreas potenciais de cana (áreas claras no canal 7). Após esta delimitação, outras datas (Tabela 3) foram examinadas para a confirmação da cana.

TABELA 3

DADOS MSS/LANDSAT UTILIZADOS PARA DELIMITAR POSSÍVEIS ÁREAS CANAVIEIRAS

ÓRBITA 222 PONTOS 74 E 75 CANAL 7 ESCALA 1:250.000	
DATA DAS PASSAGENS	
1982	1983
18 de março 23 de abril 29 de maio	7 de maio 10 de julho 28 de setembro

Tal como no caso do solo exposto, nem sempre foi possível confirmar todas as áreas delimitadas como prováveis áreas de cana-de-açúcar, ficando estas para ser confirmadas em trabalho de campo.

A figura 2 resume a sistemática de interpretação utilizada para delimitar e confirmar a existência das áreas canavieiras sobre as imagens nas diversas datas de passagens do MSS/LANDSAT.

Uma vez concluída toda a interpretação sobre as imagens do satélite, teria seqüência o trabalho de campo para verificação das áreas delimitadas sobre as imagens que não puderam ser confirmadas pelo uso delas. O trabalho de campo foi substituído pelo uso de fotografias aéreas dada a disponibilidade de fotografias aéreas infravermelhas coloridas em falsacor na escala de 1:30.000, resultantes da cobertura aerofotográfica realizada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), na segunda quinzena de junho de 1983, abrangendo integralmente a área de estudo.

As áreas canavieiras que não puderam ser identificadas nas imagens, nem como áreas potenciais de cana, através de metodologia descrita, constituíram o erro de omissão do mapeamento. Por outro lado, as áreas identificadas como cana-de-açúcar, nas imagens, mas que na realidade são de outras classes de uso do solo, constituíram o erro de inclusão. A avaliação destes dois tipos de erro foi feita utilizando o mapa temático da cultura canavieira, confeccionado a partir das fotografias aéreas infravermelhas coloridas.

O cálculo da área mapeada como cana-de-açúcar e das áreas omitidas e incluídas no mapeamento foi feito através da contagem de pontos de uma grade milimetrada superposta ao mapa temático obtido a partir das imagens MSS/LANDSAT após o "trabalho de campo". As percentagens de cana interpretadas corretamente e as percentagens dos erros de inclusão e omissão foram obtidas através das seguintes fórmulas:

$$Pa(\%) = \frac{ACC}{ACR} \times 100, \quad EI(\%) = \frac{ACI}{ACR} \times 100, \quad EO(\%) = 100 - Pa,$$

onde:

- Pa - Cana interpretada corretamente (%),
- EI - Erro de Inclusão (%),
- EO - Erro de Omissão (%),
- ACC - Área de Cana Interpretada Corretamente (ha),
- ACR - Área de Cana Real (ha),
- ACI - Área de Cana Interpretada incorretamente (ha).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total das áreas de cana-de-açúcar mapeadas através de imagens do satélite na 80 propriedades analisadas, cerca de 35% necessitou de confirmação em trabalho de campo. Em torno de 57% das áreas que foram previamente delimitadas como prováveis áreas de cana puderam ser confirmadas nas próprias imagens de satélite em datas subseqüentes.

ESTRATEGIA DE INTERPRETAÇÃO

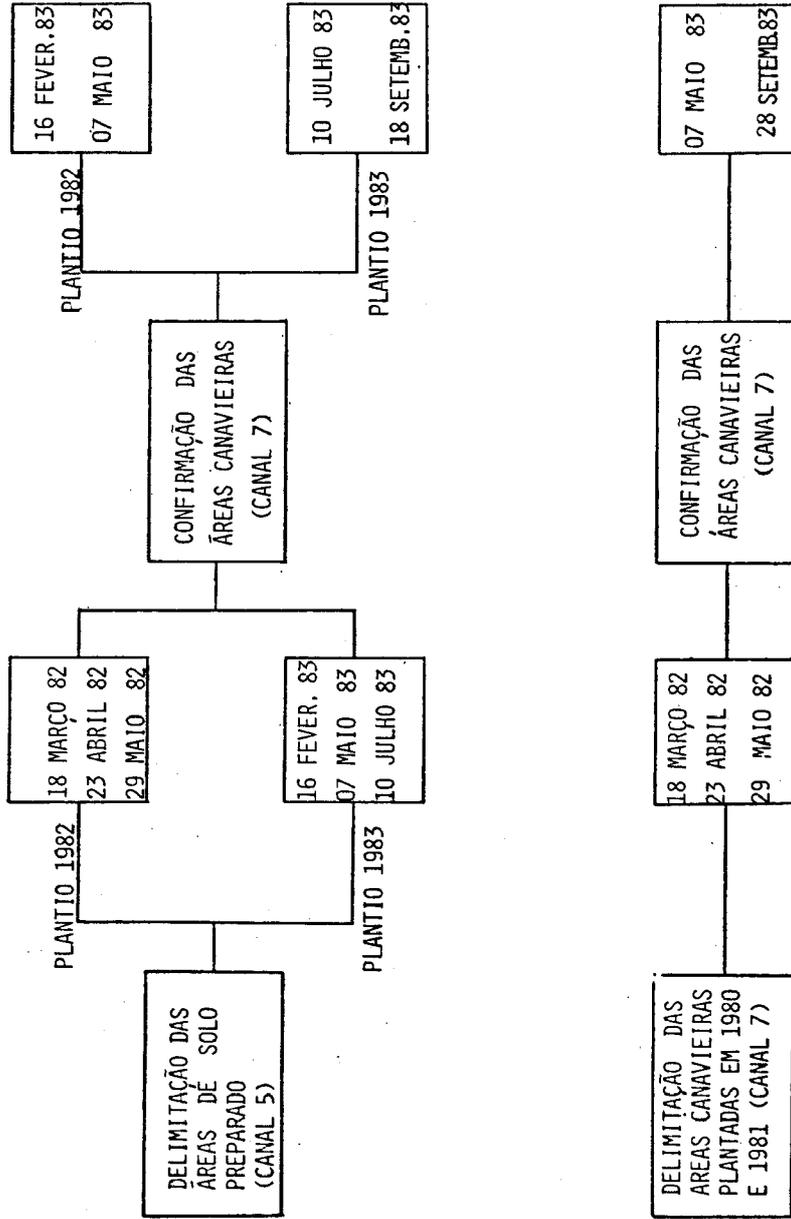


Fig. 2 - Esquema da sistemática de interpretação utilizada.

TABELA 4

PERCENTAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR INTERPRETADA CORRETAMENTE E PERCENTAGEM DE ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO DO MAPEAMENTO, POR DESTILARIA

DESTILARIA	NÚMERO DE PROPRIEDADES	PERCENTAGEM DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE	PERCENTAGEM DE CANA OMITIDA	PERCENTAGEM DE CANA INCLUÍDA
Alcoazul	20	89,9	10,1	2,4
Aralco	22	91,4	8,6	6,2
Cruzalcool	10	88,9	11,1	4,8
Destivale	13	97,5	2,5	6,0
Unialco	15	91,3	8,7	18,8
TOTAL	80	91,8	8,2	6,6

A Tabela 4 mostra os resultados do mapeamento da área canavieira nas propriedades agrícolas de cada uma das cinco destilarias existentes na área de estudo. Os percentuais são relativos à verdade terrestre obtido do mapa temático confeccionado a partir das fotografias aéreas infravermelhas coloridas.

Os resultados obtidos por Batista et alii (1984) referentes à interpretação visual de cana-de-açúcar, nesta mesma área de estudo, através de imagens MSS/LANDSAT, empregando a chave de interpretação desenvolvida por Mendonça et alii (1981), foi de 63,1% de cana-de-açúcar interpretada corretamente com 20,5% de erro de inclusão.

Comparando estes dois resultados verifica-se que houve uma melhora substancial tanto na percentagem de cana-de-açúcar interpretada corretamente quanto na percentagem do erro de inclusão. Esta melhoria deve-se à abordagem empregada no presente trabalho que alia a interpretação das imagens ao "trabalho de campo" direcionado (*para tirar as dúvidas*) nas áreas previamente delimitadas sobre as imagens do MSS/LANDSAT.

A destilaria Aralco foi a primeira a ser implantada na região e boa parte de suas áreas canavieiras foram plantadas nos anos de 1980 e 1981, dos quais não se dispõe de imagens. Estas, provavelmente, é a principal causa do erro de omissão observado para esta destilaria. Algumas propriedades agrícolas que fornecem cana-de-açúcar para a destilaria Cruzalcool têm em seus canaviais uma considerável infestação de ervas daninhas, especialmente o capim colônia. Este fato descaracteriza a cana-de-açúcar nas imagens do satélite, dificultando sua identificação e causando o elevado erro de omissão observado para esta destilaria. As causas dos erros de

omissão discutidos para as destilarias Aralco e Cruzalcool são válidas também para as outras destilarias.

Fatores agronômicos, tais como cana bisada e cana com florescimento, influem negativamente na caracterização da cultura canavieira em imagens MSS/LANDSAT. As chuvas que ocorreram por ocasião da safra 82/83 prejudicaram muito a rebrota das soqueiras, e também os seus tratamentos culturais, dada a dificuldade de trânsito de caminhões e máquinas agrícolas nos canaviais, o que impediu o desenvolvimento normal da cultura.

Na região da destilaria Unialco, no município de Guararapes, são cultivadas diversas outras culturas, cujo preparo do solo coincide com o plantio da cana-de-açúcar. Isto fez com que algumas áreas delimitadas como solo preparado fossem posteriormente confirmadas, erroneamente, como área canavieiras. Tal fato está associado ao elevado erro de inclusão (18,8%) observado para esta destilaria.

4. CONCLUSÕES

- 1) A abordagem metodológica desenvolvida e empregada neste trabalho requer várias datas de aquisição de imagens do LANDSAT, além de um intenso trabalho de campo. Entretanto, a melhoria na qualidade do mapeamento e consequente estimativa de áreas plantada é considerável (de 63,1 para 91,8% de interpretação correta da cana e de 20,5% para 6,6% de redução no erro de inclusão), cabendo ao usuário decidir sobre a relação entre a qualidade do mapeamento e o custo de sua execução.
- 2) As chaves de interpretação anteriormente usadas são rigorosas do ponto de vista de identificação da cultura canavieira e não prevêem a ocorrência de fatores que alteram a resposta espectral característica da cana.
- 3) A nova chave de interpretação desenvolvida neste trabalho conferiu maior flexibilidade à sistemática de interpretação de cana, através da utilização de informações complementares.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Banco do Brasil S.A. através do seu Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico-Científica (FIPEC) pelo suporte financeiro.

Aos companheiros de trabalho: Ângela, Tardin, Francisco Sérgio e Sherry, do Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE, pela contribuição dada; aos colegas Gurgel, Jairo, Eliana Mello e Eliana Barbosa, do Laboratório de Aplicações Cartográficas (LAC) do Departamento de Geração de Imagens do INPE, pelo apoio na parte cartográfica deste trabalho; ao grupo de levantamento aéreo do INPE pela realização do voo aerofotográfico da área de estudo.

À Companhia de Eletrificação de São Paulo (CESP) e à FAB 1/69 GAV pela cessão de fotografias aéreas de arquivo; às agências do Banco do Brasil S.A em Araçatuba e Guararapes pelo apoio aos trabalhos de campo; à

Superintendência do Banco do Brasil S.A. em São Paulo pelo acompanhamento técnico do projeto; às destilarias Cruzalcool, Alcooazul, Aralco, Destivale e Unialco e seus fornecedores pelo fornecimento de informações valiosas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, G.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A.. *Uso de sensores remotos a bordo do satélite e aeronave na identificação e avaliação de áreas de culturas para fins de previsão de safras*. São José dos Campos, INPE, abr. 1978a. (INPE-1229-NTI/103).
- BATISTA, G.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A. *Uso de dados orbitais para identificação e avaliação de áreas de cana-de-açúcar*. São José dos Campos, INPE, abr, 1978b. (INPE-1228-NTE/116).
- BATISTA, G.T.; LIMA, A.M. de; TARDIN, A.T.; RUDORFF, B.F.T.; MENDONÇA, F.J.; PINTO, S.A.F.; CHEN, S.C.; DUARTE, V. *Desenvolvimento e teste de um sistema de fiscalização das operações de crédito agrícola ao nível de município e de propriedades agrícolas utilizando técnicas de sensoria-mento remoto*. São José dos Campos, INPE, ago, 1984. (INPE-3239-RPE/462).
- MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; TARDIN, A.T.; NOVAES, R.A.; CHEN, S.C. *Utilização de dados do Landsat para inventário da cana-de-açúcar do Estado de São Paulo*. São José dos Campos, INPE, Jan, 1980. (INPE-1668.NTE/157).
- MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.; TARDIN, A.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CHEN, S.C.; LUGHT, L.A.M.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M. de; MAIA, F.C.S. *Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo, utilizando dados do Landsat-ano safra 1979/80*. São José dos Campos, INPE, mar. 1981, v. 2. (INPE-2021-RPE/288).
- MENDONÇA, F.J.; TARDIN, A.T.; BATISTA, G.T. Projeto CANASATE: sensoria-mento remoto aplicado ao levantamento da cultura canavieira. Aceito para apresentação no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 3., Rio de Janeiro, 28-30 nov. 1984.