

General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

(E85-10016 NASA-CR-168573) BASIC
PRINCIPLES, METHODOLOGY, AND APPLICATIONS OF
REMOTE SENSING IN AGRICULTURE (Instituto de
Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 70 p
HC A04/MF A01

N85-11429

Unclas
00016

CSCL 02C G3/43



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

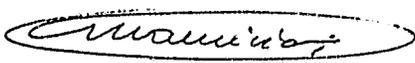
NASA-CR-168573

E85-10016

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: *9-3-84*
DCAF NO.
PROCESSED BY
 NASA STI FACILITY
 ESA - SDS AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº <i>INPE-3199-MD/027</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DDS/DTM</i>	Programa <i>TRANSF</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SENSORIAMENTO REMOTO LANDSAT</i> <i>AGRICULTURA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:63</i>			
8. Título <i>PRINCÍPIOS BÁSICOS, METODOLOGIAS E APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA</i>		10. Páginas: <i>70</i>	
		11. Última página: <i>64</i>	
9. Autoria <i>Maurício Alves Moreira</i> <i>Getúlio Vargas de Assunção</i>		12. Revisada por  <i>Antonio R. Formaggio</i>	
		13: Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas <i>O presente trabalho trata fundamentalmente dos princípios básicos do sensoriamento remoto aplicado à agricultura e da sua metodologia de tratamento dos dados. No Capítulo 1 é enfocada a importância do desenvolvimento de uma metodologia que possa auxiliar na previsão de safras; no Capítulo 2 mostram-se, de modo teórico, os conceitos básicos sobre o comportamento espectral de vegetação; no Capítulo 3 discute-se a metodologia de utilização de dados LANDSAT em áreas agrícolas; e no Capítulo 4 é mostrado a aplicação do programa de sensoriamento remoto do INPE à agricultura.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

This paper deals fundamentally with the basic principles of remote sensing applied to agriculture and the methods for data analysis. Chapter 1 focuses on the importance of developing a methodology that may help crop forecast; chapter 2 provides the theoretical basic concepts of spectral signature of vegetation; chapter 3 discusses the methodology of the LANDSAT data utilization in agriculture; and chapter 4 shows the remote sensing program application of INPE (Institute for Space Research) in agriculture.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS SOBRE O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO</u>	5
2.1 - Introdução	5
2.2 - Estrutura das folhas	6
2.3 - Interação da radiação solar com a planta	8
2.3.1 - Região do visível	11
2.3.2 - Região do infravermelho próximo	16
2.3.3 - Região do infravermelho médio	18
2.4 - Interação da radiação solar com uma cultura	21
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DE DADOS LANDSAT EM ÁREAS AGRÍCOLAS</u>	27
3.1 - Metodologia de tratamento e análise dos dados	28
3.1.1 - Tratamento dos dados terrestres	29
3.1.2 - Tratamento dos dados suborbitais	30
3.1.3 - Tratamento dos dados orbitais	36
<u>CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DO INPE NA AGRICULTURA</u>	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Estrutura de uma folha típica	7
2.2 - Reflectância,absortância, e transmitância de uma folha de <i>Nerium oleander</i>	9
2.3 - Percentagem de energia refletida por uma folha típica do comportamento de onda	11
2.4 - Espectro das radiações eletromagnéticas que enfatiza a região do visível	12
2.5 - Apresentação didática do espectro de ação da luz visível sobre o processo fotossintético	13
2.6 - Efeito da presença de diferentes pigmentos na reflectância de folhas entre 400 a 900 nm	15
2.7 - Efeito da presença de diferentes pigmentos na reflectância da folha entre 400 a 2.600 nm	16
2.8 - Reflectância no infravermelho próximo, de uma folha infiltrada com água.....	17
2.9 - Reflectância de folhas de algodão sobreposta	19
2.10 - Relação inversa entre a reflectância de uma folha e absorção pela água	20
2.11 - Efeito do teor de umidade na reflectância de folhas de milho	21
2.12 - Esquema do efeito da reflectância aditiva	23
3.1 - Ciclo cultural da cana-de-açúcar	30
3.2 - Conceito de levantamento "multiestágios"	37
3.3 - Esquema de desenvolvimento dos elementos para a avaliação dos erros de omissão, inclusão e classificação correta ...	43
4.1 - Mapa de situação que mostra a "área de estudo" representada pela DIRA-RP, e a "área piloto" representada pelo Município de Jardinópolis no Estado de São Paulo	47
4.2 - Localização da área de estudo delimitada na imagem LANDSAT (178/27) na Divisão Regional Agrícola de Ribeirão Preto (DIRA-RP)	49
4.3 - Localização da área de estudo em relação ao Estado de São Paulo	53

4.4 - Distribuição das áreas de treinamento dentro de cada es trato em relação ao Estado de São Paulo	54
4.5 - Área de estudo e os três segmentos de 20 km x 40 km ...	57

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A agricultura pode ser entendida como a arte de planejar, produzir e comercializar alimentos e animais domésticos, bem como os seus derivados. Desta forma, ela integra o rol das Ciências que lidam com recursos naturais.

A moderna agricultura tem como objetivos principais cultivar o solo de modo a produzir alimentos com a maior abundância possível e, ao mesmo tempo, protegê-lo de deteriorações e uso inadequado através de práticas culturais como: rotação de culturas, fertilizações, controle de pragas, irrigação, controle de erosão, etc.

Apesar do avanço tecnológico que tem sofrido a agricultura, a situação quanto à disponibilidade de alimentos, no mundo é séria, se não precária. Nos últimos anos tem havido uma preocupação muito grande por parte de órgãos governamentais de todos os países com a maximização da produção mundial de grãos para suprir o déficit de alimentos que, a cada ano, tem aumentado drasticamente.

Certos fatos são indiscutíveis. A população mundial era de 2 bilhões em 1930, alcançou 3 bilhões em 1960, está em torno de 4 bilhões e caminha para 6 bilhões até o final do século. A taxa de produção de alimentos no mundo tem tido, recentemente, um acréscimo semelhante ao da população: a chamada "revolução verde". A China, por exemplo, atualmente produz alimentos suficientes para suprir sua vasta população. A Índia tem apresentado uma abundante colheita de grãos; no entanto, ano após ano, a maioria das nações consideradas pobres, não tem conseguido alimentar-se com seus próprios estoques de alimentos, com isto, agravando cada vez mais o problema da fome.

Conhecendo estes fatos, existem estudiosos que vislumbam uma fome ameaçadora de proporções internacionais. Por outro lado outros são otimistas, pois esperam que o abastecimento de alimentos aumentará gradualmente com o conhecimento e a tecnologia, amplamente aplicados para melhorar a produtividade agrícola.

O Brasil, país de extensão continental, além de ser potencialmente agrícola, tem sido visto internacionalmente como o celeiro da produção de alimentos para suprir a humanidade. Cabe a nós ligados ao ramo de agricultura otimizar a produção de grãos alimentícios através do uso racional e adequado de novas tecnologias, seja no emprego de variedades mais produtivas e técnicas de cultivo, ou na expansão de novas fronteiras agrícolas.

Nas universidades e instituições privadas, ligadas à área de Agronomia, têm sido abordados com bastante ênfase temas relacionados ao planejamento e à produção de alimentos de maneira racional e econômica.

Dentro do conceito de agricultura, a maximização da produção de grãos aborda apenas parte do problema: *Planejar* e *produzir*. É necessário também que se procure desenvolver técnicas que possibilitem fazer uma previsão de safras, com confiabilidade preestabelecida em tempo hábil, para que se possa de maneira lucrativa *comercializar* o excedente da produção agrícola ou tomar rápidas decisões quanto à importação de determinados alimentos, insuficientes para o suprimento de nossa população.

Para fazer uma previsão de safras, dois aspectos devem ser considerados; primeiro fazer, dentro da estação de crescimento, uma avaliação periódica tanto da área cultivada como da cultura; segundo, uma previsão da variação mais provável das condições de crescimento futuro e dos seus possíveis efeitos sobre a produção. Com relação à determinação da área ocupada com culturas agrícolas, as informações que se têm vêm sendo obtidas por métodos convencionais e, muitas vezes, são subjetivas e insatisfatórias.

No caso do Brasil, onde as culturas de interesse econômico ocupam grandes extensões do território, obter informações de área plantada por métodos convencionais tornaria o processo de previsão de safras dispendioso e demorado.

A partir da década de setenta, com o lançamento dos satélites da série LANDSAT, diversas pesquisas têm demonstrado que as informações acerca de objetivos ou fenômenos da superfície e subsuperfície terrestre, coletadas ao nível orbital, têm sido uma ferramenta muito útil para estudos e pesquisas dos muitos problemas das Ciências, principalmente os referentes aos recursos naturais.

A agricultura, que integra o rol das Ciências que lidam com recursos naturais pode se beneficiar com o uso do Sensoriamento Remoto orbital para estudar e solucionar problemas que necessitam ser tratados harmônica e rapidamente, dentro de uma visão global. Essa técnica apresenta importantes características, como:

- *rapidez* - permite obter informações sobre determinada cultura em curto espaço de tempo;
- *repetitividade* - permite fazer um acompanhamento tanto da área como das condições da cultura;
- *visão global da área levantada* - permite obter informações acerca de grandes áreas agrícolas com uma única tomada de dados; conseqüentemente, reduz o custo de obtenção dessas informações;

Apesar de existir uma vasta literatura sobre o assunto em outros países, no Brasil é ainda muito escassa. Este trabalho tem por objetivos, além de preencher essa lacuna, oferecer os princípios básicos do sensoriamento remoto aplicado à Agricultura e à sua metodologia de tratamento de dados, sejam eles obtidos em terra, por avião ou através de plataforma orbital.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO

2.1 - INTRODUÇÃO

Ao utilizar dados de sensoriamento remoto para o estudo de determinado alvo, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na energia eletromagnética ocasionadas:

- pela fonte de energia;
- pelo meio em que a energia é propagada;
- pelos alvos imageados;
- pelo sistema sensor que capta a energia que sai do alvo.

Neste capítulo será dada ênfase especial ao alvo estudado e às suas variações.

Quando os alvos são áreas agrícolas, o sensoriamento remoto possibilita o seu monitoramento visando, principalmente, uma avaliação rápida e contínua da cultura, dos solos, dos recursos hídricos e dos aspectos correlatos.

O pesquisador, para estes casos, precisa ter um amplo conhecimento da cultura estudada, do solo ali existente e da interação destes alvos com o espectro eletromagnético, pois uma premissa básica quando se propõe a identificar e mapear feições existentes numa área de interesse é que os tipos de cobertura sejam espectralmente separáveis. De nada valeria ter instrumentos de obtenção de dados muito sofisticados e nem as melhores técnicas de processamento se os tipos de cobertura de interesse não fosse espectralmente separáveis.

É evidente que quanto mais sofisticados forem os instrumentos e as técnicas de processamento de dados, maiores serão as pos

sibilidades de discriminar dois alvos entre si, mas isso não vai implicar que, por eles serem diferentes, serão facilmente identificáveis. Um ponto importante é verificar se o instrumento de obtenção dos dados opera na faixa em que os alvos são discriminados. De nada valeria, por exemplo, ter um instrumento sensível nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, se os alvos de interesse são discrimináveis na região do infravermelho termal.

Assim sendo, a utilização de dados de sensoriamento remoto requer o conhecimento das características espectrais das várias feições da superfície terrestre e dos fatores que as influenciam.

2.2. - ESTRUTURA DAS FOLHAS

Dos órgãos vegetativos da planta, a folha merece um destaque especial porque é nela que basicamente se realiza a fotossíntese, responsável pela formação dos compostos de carbono. Toda a organização da folha (forma, posição, estrutura, etc) está adaptada para um melhor aproveitamento dos raios solares, do ar e da água, necessários à fotossíntese. Devido à necessidade de a folha captar o máximo de radiação solar, observa-se uma predominância da área foliar quando comparada à área de outros órgãos de planta. Esta predominância é tão marcante que normalmente a área dos outros órgãos, em contato com a radiação solar, é desprezada; daí a necessidade de estudar a folha e sua estrutura quando se deseja conhecer a interação de plantas e culturas com a radiação eletromagnética.

Um corte transversal (Figura 2.1) mostra que a estrutura de uma folha típica é constituída basicamente de:

- a) epiderme superior;
- b) parênquima paliçádico;
- c) parênquima esponjoso;
- d) epiderme inferior.

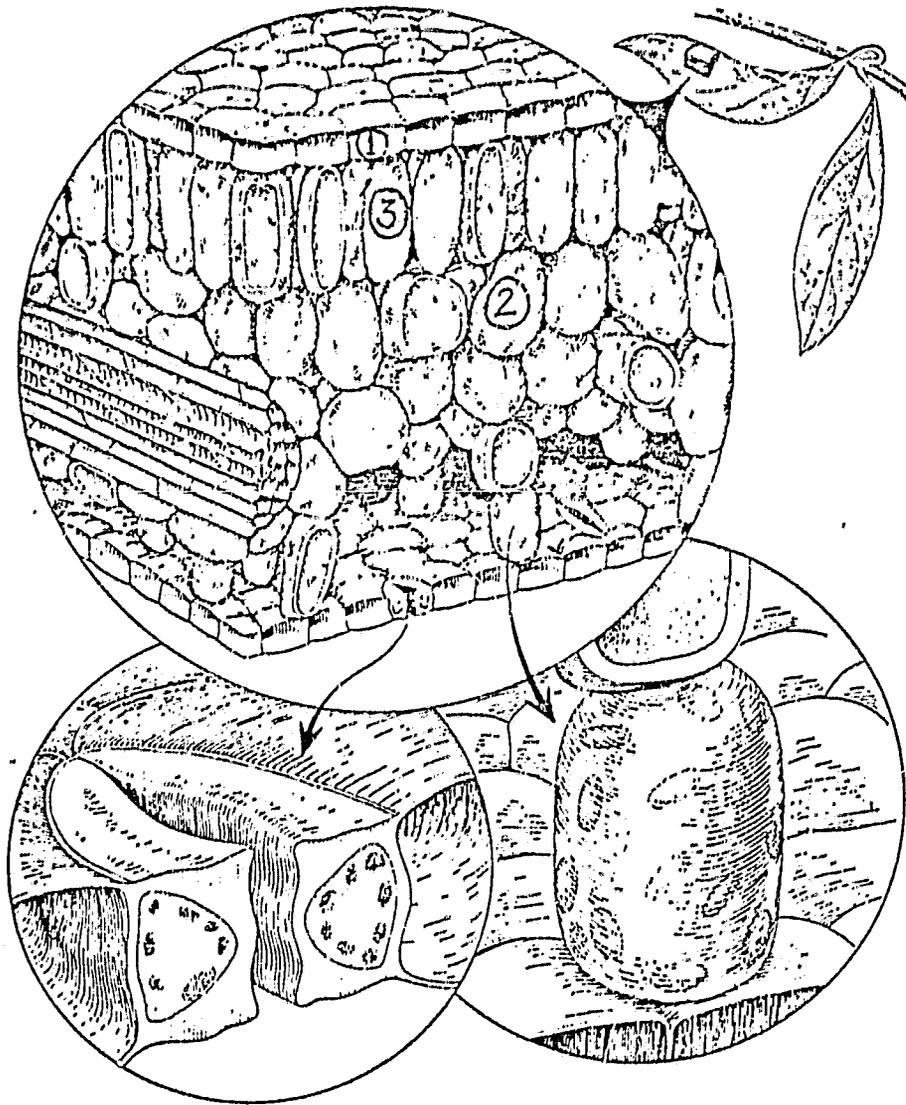


Fig. 2.1 - Estrutura de uma folha típica

FONTE: Kumar (1972), p.4.

A epiderme (superior e inferior) é constituída geralmente por uma camada de células cutinizadas e frequentemente desprovidas de clorofila. Na epiderme inferior (Figura 2.1) ocorre a presença de estômatos, que são células clorofiladas que permitem a permuta de dióxido de carbono e vapor d'água com o ambiente.

Os tecidos parenquimatosos da folha (parênquima paliçádico e lacunoso) são constituídos por células ricas em cloroplastos (Figura 2.1). O parênquima paliçádico situa-se logo abaixo da epiderme superior e é constituído por células alongadas, fortemente unidas entre si e perpendiculares à superfície das folhas. O parênquima lacunoso situa-se abaixo do paliçádico e suas células estão dispostas irregularmente, proporcionando "vazios" entre elas, os quais formam áreas necessárias às trocas gasosas na fotossíntese e na respiração.

Cabe salientar ainda que a estrutura acima apresentada é a de uma folha típica; esta estrutura varia de acordo com a espécie vegetal e com a condição ambiental durante o crescimento. Muitas folhas, por se situarem na planta numa posição vertical, paralela aos raios solares, tem uma diferenciação dos lados dorsal e ventral pouco nítida e, às vezes, nula (Rawtscher, 1964).

2.3 - INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM A PLANTA

O modo como uma planta ou uma comunidade de plantas é vista, seja pelo olho humano ou por um sensor multiespectral, depende fundamentalmente da interação dessa planta ou comunidade de plantas com a radiação. A qualidade e intensidade de energia refletida ou emitida por uma planta depende de uma série de variações tais como: geometria, morfologia e composição química da folha, tipo de solo, influência climática, etc.

Na Figura 2.2, um gráfico mostra a reflectância, a absorptância e a transmitância de uma folha de *Nerium oleander*.

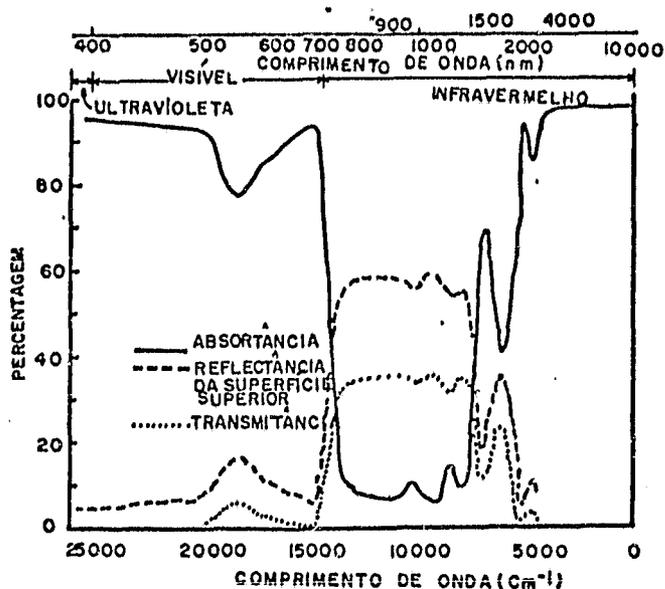


Fig. 2.2 - Reflectância, absorptância e transmitância de uma folha de *Nerium oleander*.

FONTE: Gates (1970).

Conforme pode ser visto neste gráfico, em geral as folhas caracterizam-se por:

- alta absorptância no ultravioleta e no azul;
- diminuição da absorptância no verde;
- novo aumento da absorptância no vermelho;
- aumento da reflectância e transmitância com brusca diminuição da absorptância no infravermelho próximo;
- alta absorptância no infravermelho médio.

Todas as características que ocorrem nos espectros de reflectância, transmitância e absorptância de uma folha são ocasiona

nadas principalmente pelos pigmentos, pela estrutura das folhas e pela água em solução. As relações existentes entre a reflectância, a transmitância e a absorptância podem ser demonstradas utilizando a equação de balanço de energia para comprimentos de onda específicos:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda},$$

onde:

I = energia incidente;

R = energia refletida;

A = energia absorvida;

T = energia transmitida;

λ = comprimento de onda considerado.

Uma vez que a maioria dos instrumentos de sensoriamento remoto que operam na faixa do espectro eletromagnético entre 300 a 3000 nm medem somente a energia refletida, torna-se mais prático enfatizar o espectro da reflectância. O gráfico da Figura 2.3 mostra a percentagem de energia refletida por uma folha típica em função do comprimento de onda (400 a 2600 nm).

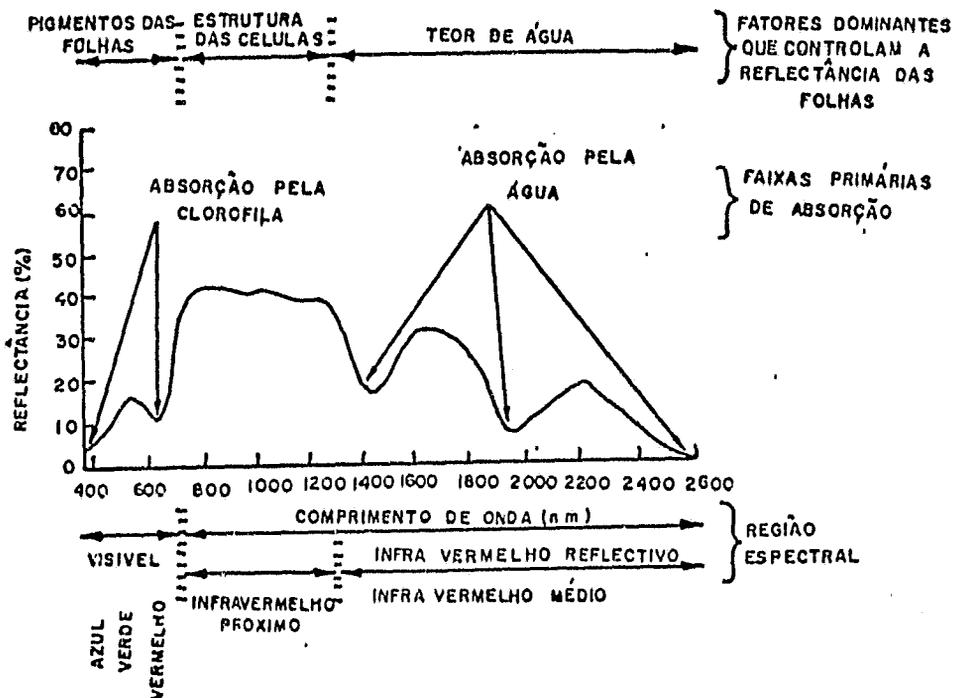


Fig. 2.3 - Percentagem de energia refletida por uma folha típica em função do comprimento de onda.

FONTE: Swain and Davis (1978), p. 232.

A curva característica da reflectância espectral de uma folha, apresentada na Figura 2.3, pode ser dividida em três áreas: a) a região do visível (400 a 750 nm); b) a região do infravermelho próximo (750 a 1350 nm); c) a região do infravermelho médio (1350 a 2500 nm).

2.3.1 - REGIÃO DO VISÍVEL

A Figura 2.4 mostra o espectro das radiações eletromagnéticas a qual enfatiza a região do visível.

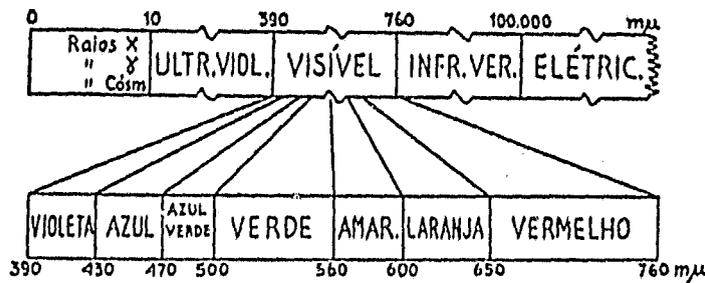


Fig. 2.4 - Espectro das radiações eletromagnéticas que enfatiza a região do visível.

FONTE: Coutinho (1970), p. 69.

Nesta região a resposta espectral das folhas é influenciada, principalmente, pelos pigmentos existentes na planta. Os pigmentos geralmente encontrados nos cloroplastos, embora de percentagem variável, são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%), (Kumar, 1972).

A clorofila, que predomina na planta, é responsável pela fotossíntese, converte a energia das radiações visíveis em energia química que é utilizada pela planta. Entretanto o aproveitamento dessas radiações não é idêntico em toda a sua extensão. Se for traçado um espectro de ação da luz na fotossíntese, isto é, se se determinar a eficiência das radiações que compõem a luz visível, sobre a síntese dos alimentos de uma planta verde, será constatado que as mais eficientes são aquelas compreendidas nas faixas do azul (430 a 470 nm) e do vermelho (650 a 760 nm). As radiações que correspondem ao verde (500 a 560 nm) são as menos aproveitadas na fotossíntese.

Na Figura 2.5 é apresentado, de maneira didática, o aproveitamento das diferentes radiações que compõem a luz branca sobre o processo fotossintético. As radiações mais eficientes são aquelas que a planta consegue absorver melhor, isto é, utilizar melhor na síntese de seus alimentos. A "gordura" ou "magreza" das plantinhas representadas dão uma idéia da eficiência dos diferentes tipos de radiações que compõem a luz branca.

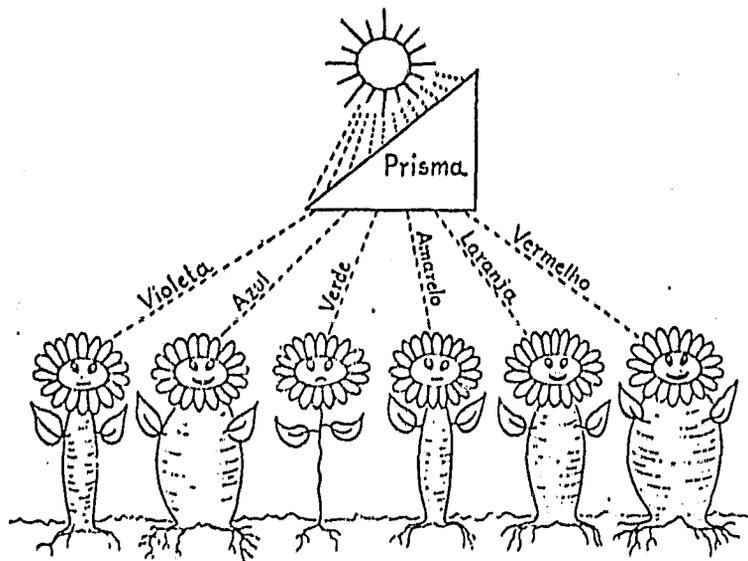


Fig. 2.5 - Apresentação didática do espectro de ação da luz visível sobre o processo fotossintético.

FONTE: Coutinho (1970), p. 69.

O aproveitamento das radiações na região do visível também pode ser observado no gráfico da Figura 2.3. Neste gráfico ocorre uma baixa percentagem de reflectância nas regiões do azul e do vermelho, cujo pico coincide com a região do verde, exatamente onde as radiações são menos aproveitadas.

Uma folha verde e sadia é dominada, principalmente, por pigmentos de clorofila, apresentando uma curva de reflectância típica como mostrado na Figura 2.3. Nesta curva nota-se um pico de reflectância na região verde, em 550 nm, e uma baixa reflectância nas regiões do azul e do vermelho. Estes pigmentos no entanto nem sempre predominam numa folha ou em todo o seu período de vida; quando isto ocorre podem acontecer alterações na curva de reflectância na região do visível.

Hoffer e Johannsen (1969) mostram o efeito da presença de diferentes pigmentos na reflectância de folhas. Eles tomaram folhas de *Coleus* com diferentes pigmentações (Figura 2.6) e fizeram a medida da reflectância de cada uma delas na faixa de 400 a 900 nm. As folhas de *Coleus*, sem pigmentação aparente, apresentaram um nível de reflectância muito alto, principalmente na região de 500 a 900 nm. As folhas com predominância de clorofila apresentaram uma curva de reflectância característica de uma folha verde. As folhas onde predominou a antocianina (pigmentos avermelhados) tiveram uma baixa reflectância no azul e no verde e um aumento marcante na região do vermelho. Nas folhas com clorofila e antocianina a reflectância foi baixa em toda a faixa do visível em razão da absorção diferenciada destes dois pigmentos.

A constatação de que a presença de diferentes pigmentos não altera a reflectância de regiões fora do visível pode ser feita observando a Figura 2.7. Nesta é mostrada uma extensão do experimento anterior (Figura 2.6) para comprimentos de onda até 2,6 μm , utilizando folhas de *Coleus*. Foi verificado que para os 4 tipos de pigmentação houve diferenças pouco significativas na reflectância, principalmente na região do infravermelho reflectivo, apesar das diferenças marcantes nos comprimentos de onda do visível.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

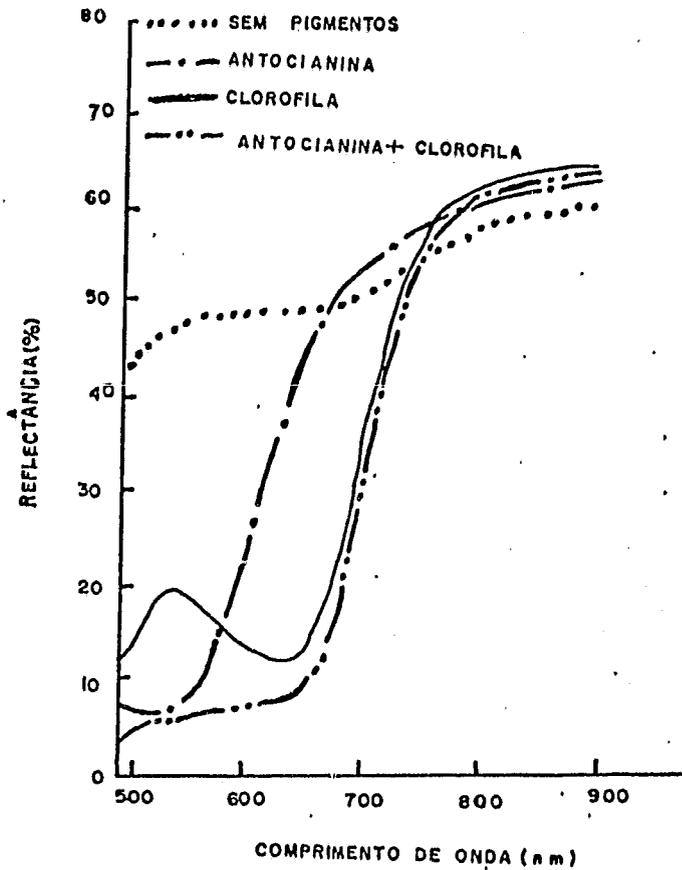


Fig. 2.6 - Efeito da presença de diferentes pigmentos na reflectância de folhas entre 400 a 900 nm.

FONTE: Hoffer e Johannsen (1969).

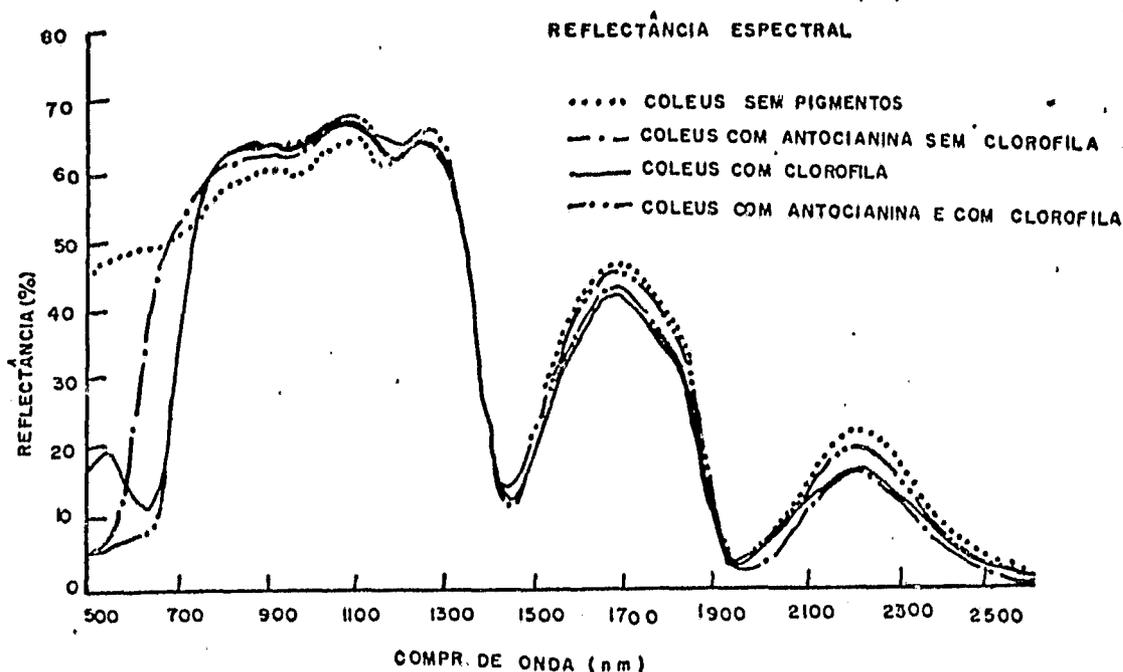


Fig. 2.7 - Efeito da presença de diferentes pigmentos na reflectância da folha entre 400 a 2.600 nm.

FONTE: Hoffer e Johannsen (1969).

2.3.2 - REGIÃO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Ao examinar a resposta espectral de uma folha (Figura 2.3), nota-se um aumento significativo na reflectância ao passar do visível para o infravermelho próximo (700 a 1350 nm). Nesta região uma vegetação verde e sadia é caracterizada por alta reflectância, alta transmitância e baixa absorptância, quando comparada com a região do visível. De fato, na maioria dos tipos de vegetação encontra-se aproximadamente 45 a 50% de transmitância, 45 a 50% de reflectância e menos que 5% de absorptância no infravermelho próximo.

A cutícula de uma folha é praticamente transparente às radiações do visível e do infravermelho; muito pouco da energia solar incidente numa folha é difundida e espalhada através da cutícula e da epiderme, chegando até as células do mesófilo e as cavidades existentes no interior da folha. Nesta região a radiação é espalhada, subme

tendo-se as múltiplas reflexões e refrações ocorridas devido às diferenças entre os índices de refração do ar (1,0) e das paredes celulares hidratadas (1,4).

A evidência do mecanismo de reflexão interna é muito forte. A evidência mais convincente é dada pela drástica redução da reflectância, no infravermelho próximo, de uma folha infiltrada com água (Figura 2.8). A água preenche as cavidades de ar, formando um meio líquido no interior da folha. Com isso ocorre uma diminuição das diferenças no índice de refração na folha, aumentando assim a transmitância.

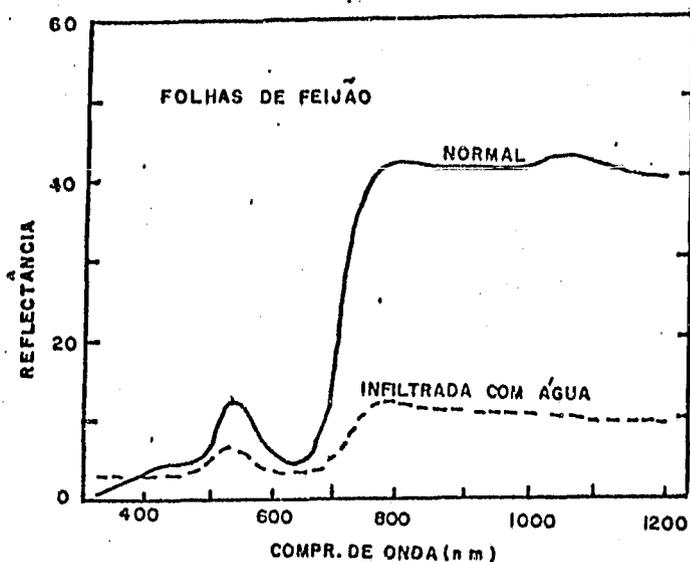


Fig. 2.8 - Reflectância, no infravermelho próximo, de uma folha infiltrada com água.

FONTE: Knipling (1970).

Segundo Knipling (1970), foram Willstatter e Stoll que, em 1913, estudaram e reconheceram pela primeira vez o mecanismo de reflexão interna das folhas. Tanto estes pesquisadores como outros que posteriormente vieram a estudar este assunto sempre enfatizaram que o mecanismo de reflexão interna ocorria, principalmente, no mesófilo esponjoso da folha, devido a seus espaços intercelulares.

Estudos mais recentes sugerem que um parâmetro importante na determinação do nível de reflectância é o número ou a área total de interfaces existentes entre a parede celular e as cavidades de ar dentro da folha, e não o volume de espaços intercelulares. Neste novo ponto de vista, o mesófilo paliçádico de uma folha provavelmente é tão importante quanto o esponjoso para o espalhamento interno da radiação. Existem muitas cavidades pequenas entre células paliçádicas adjacentes; sendo assim, a área de paredes celulares exposta ao ar nesta região provavelmente é tão grande quanto no mesófilo esponjoso que, geralmente, tem muitas cavidades de ar, mas poucas células (Knipling, 1970).

2.3.3 - REGIÃO DO INFRAVERMELHO MÉDIO

Nesta região (1350 a 2550 nm) a resposta espectral de uma folha verde é caracterizada, principalmente, pelas faixas de grande absorção pela água que ocorrem em 1400 e 1900 nm, conforme pode ser visto na Figura 2.3.

Existem no espectro eletromagnético duas principais faixas de absorção pela água (2700 e 6270 nm), denominadas "faixas fundamentais de absorção pela água".

No infravermelho médio, nas regiões de 1400 e 1900 nm, as absorções pela água são bem menos relevantes que nas faixas fundamentais. Porém, estas regiões de absorção dominam a reflectância espectral das folhas no infravermelho médio e são facilmente visíveis (Figura 2.9).

Além destas regiões mencionadas, existem, também no infravermelho próximo duas outras regiões de absorção pela água (960 e 1100 nm). Nestas regiões a absorção é pouco visível no gráfico de reflectância espectral de uma única folha, mas passa ser evidenciada quando se aumenta o número de folhas, conforme pode ser visto na Figura 2.9.

Os picos de reflectância da folha no infravermelho médio ocorrem em 1600 e 2200 nm, entre as regiões de absorção pela água.

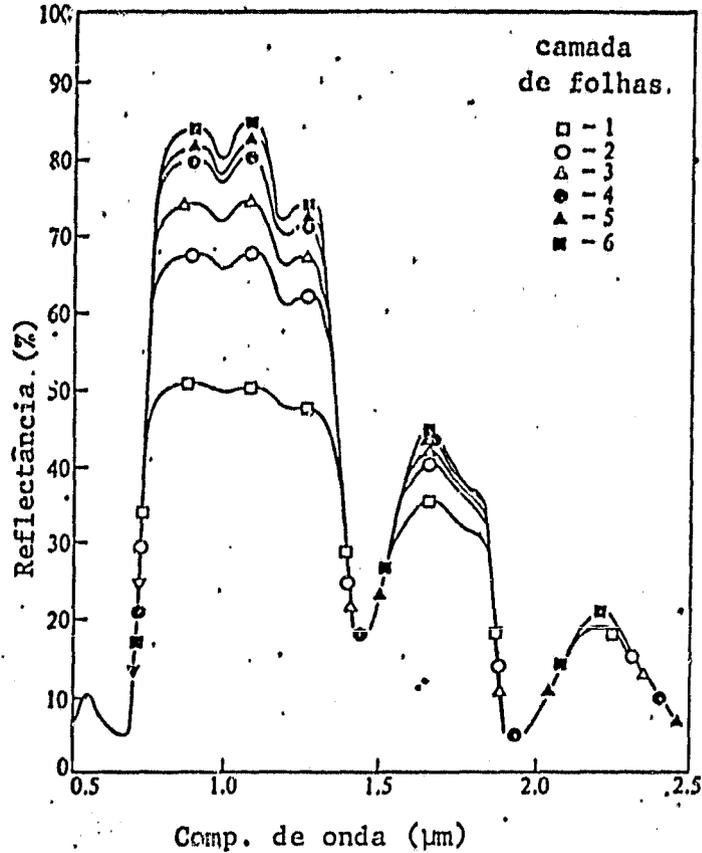


Fig. 2.9 - Reflectância de folhas de algodão sobrepostas.

FONTE: Swain and Davis (1978), p. 237.

A influência da água nos espectros de absorvância, reflectância e transmitância na região do infravermelho médio de uma folha comum é um fato comprovado. O grau em que a energia solar incidente no infravermelho médio é absorvida pela vegetação é uma função da quantidade total de água presente na folha, a qual, por sua vez, é uma função da percentagem de umidade e da espessura da folha.

As Figuras 2.10 e 2.11 demonstram a influência da água na reflectância de uma folha. A Figura 2.10 mostra que a reflectância da folha no infravermelho médio é inversamente proporcional à reflectância de uma lâmina d'água de aproximadamente 1 mm de espessura; já a Figura 2.11 mostra que, com o decréscimo da umidade na planta, ocorre um aumento da reflectância no infravermelho médio. Esta figura apresenta uma série de curvas espectrais de folhas de milho, onde se variou o conteúdo de umidade. O decréscimo na umidade não causou diferenças espectrais significantes até que os níveis de umidade da planta se tornaram muito baixos (abaixo de 54%). Nestes níveis o aumento na reflectância foi substancial em toda a região reflectiva do espectro, em decorrência de as plantas já estarem morrendo ou estarem mortas, ou já terem perdido a maior parte de sua clorofila.

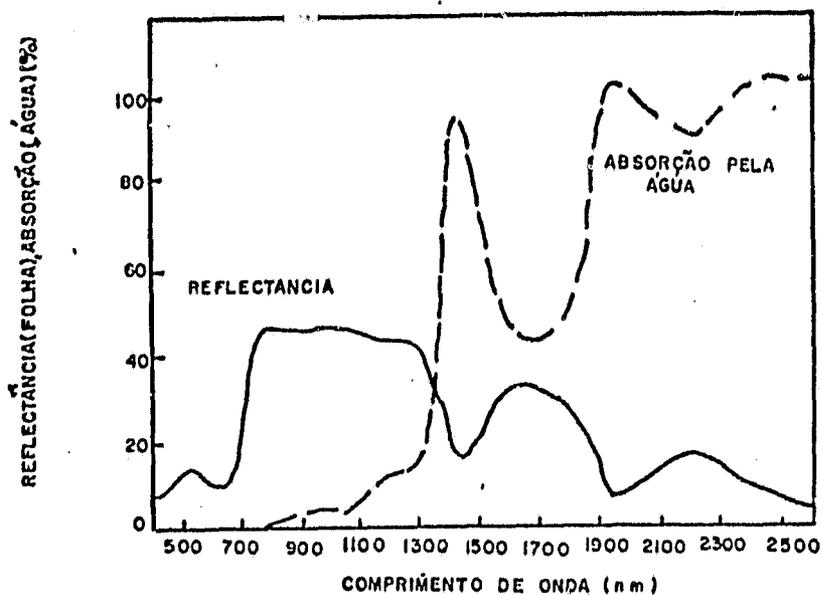


Fig. 2.10 - Relação inversa entre a reflectância de uma folha e a absorção pela água.

FONTE: Swain and Davis (1978), p. 238.

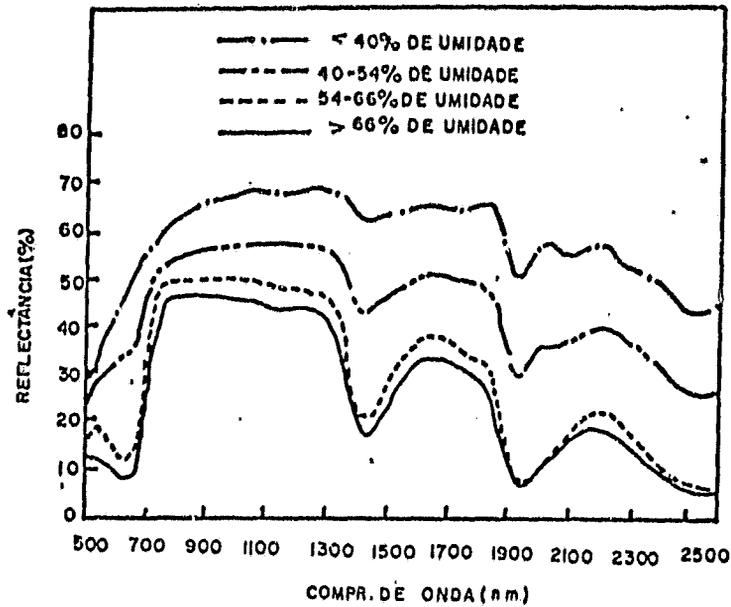


Fig. 2.11 - Efeito do teor da umidade na reflectância de folhas de milho.

FONTE: Swain and Davis (1978), p. 239.

2.4 - INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM UMA CULTURA

O conhecimento das propriedades de reflectância de uma folha é fundamental quando se pretende estudar a reflectância de uma planta ou de uma cultura no campo. Porém, os dados obtidos de uma única folha não podem ser aplicados diretamente sem modificações, pois existem diferenças qualitativas e quantitativas entre os dois tipos de espectros. Em termos de percentagem, a reflectância de uma cultura é consideravelmente menor que a de uma folha devido à atenuação geral da radiação ocasionada por variações no ângulo de iluminação, orientação da folha, sombreamento e influência da superfície de fundo.

A percentagem de energia incidente que é refletida por uma área cultivada, com a cultura em pleno desenvolvimento, pode ser em torno de 3 a 5% para o visível e 35% para o infravermelho próximo, ao passo que os valores correspondentes para uma folha são da ordem de 10 a 50%, respectivamente. As quantidades de energia refletida por uma área cultivada correspondem a 40 e 70% das quantidades de energia

refletida no visível e no infravermelho próximo, respectivamente, por uma folha (Knipling, 1970).

Esta maior percentagem de energia refletida no infravermelho próximo por uma cultura deve-se a um fenômeno denominado por Knipling (1970) de fator de compensação e por Hoffer (1978) de reflexão aditiva. Neste fenômeno, a energia transmitida através da camada superior de folhas é refletida parcialmente pela camada logo abaixo; parte desta energia é transmitida pela camada superior de folhas e somada então à energia refletida. Para exemplificar o processo, considere uma camada de folhas que refleta 50% e transmita 50% da energia no infravermelho próximo que incide sobre ela (Figura 2.12). A energia transmitida atinge a segunda camada de folhas, sendo a metade transmitida (25% da quantidade original) e a outra metade, refletida. Esta então atinge a primeira camada de folhas, onde metade (12,5% da quantidade original) será refletida e a outra metade transmitida. A energia que sairia da camada superior, neste exemplo, corresponderia a 62,5% da energia incidente.

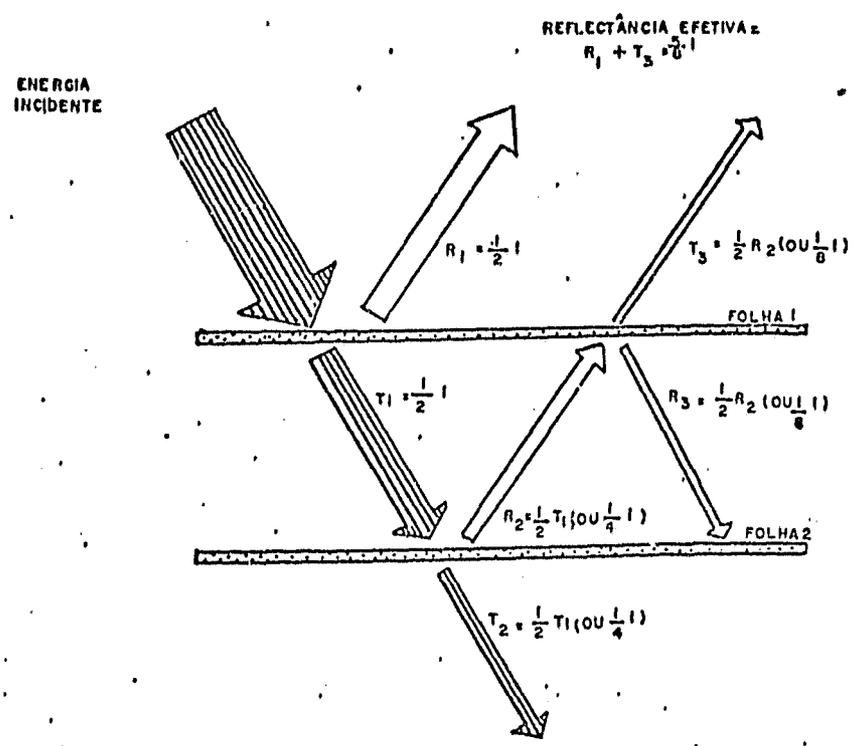


Fig. 2.12 - Esquema do efeito da reflectância aditiva
 FONTE: Swain and Davis (1978), p. 236.

De modo geral, os fatores que afetam a reflectância de uma cultura agrícola são de natureza estrutural e geométrico. Tais fatores como tonalidade, tamanho, forma e orientação das plantas e de suas folhas, aliados às práticas culturais, ao manejo e às condições ambientais, influenciam as propriedades óticas das folhas e da cultura e os padrões de reflectância recebidos pelos sensores.

A energia refletida por uma área cultivada é, na realidade, uma integração dos valores de reflectância da planta e da superfície de fundo. Esses valores de reflectância variam no tempo em função da relação existente entre a área foliar da cultura e a área da superfície de fundo. Esta relação vai variar, para uma mesma área cultivada, desde o momento em que a cultura é plantada até o seu completo desenvolvimento e colheita.

Nas primeiras fases de seu período vegetativo logo após o plantio até a fase de completo desenvolvimento, quando a cultura cobre totalmente o solo, a resposta espectral é grandemente influenciada pela superfície de fundo. Variações nesta superfície de fundo, tais como: tipos de solo, presença de ervas daninhas, diferentes percentagens de umidade do solo, tipos diferentes de aradura e gradagem, etc, vão provocar alterações na energia refletida pela área cultivada. No entanto, a utilização de dados obtidos com sensores remotos nestas fases do desenvolvimento pode ser de grande importância quando se visa separar áreas com culturas perenes de áreas com culturas anuais, ou para detectar áreas cultivadas, em regiões onde há alta percentagem de cobertura de nuvens, durante o período vegetativo da cultura (Assunção e Duarte, 1980).

Quando a cultura atinge o seu completo desenvolvimento, cobrindo totalmente o solo, a influência deste se torna bem menor, havendo uma predominância da energia refletida pela própria vegetação. Nesta fase são de grande importância os fatores que venham a alterar a energia refletida por essa vegetação, afetando a pigmentação, a estrutura da folha ou a quantidade de água existente na planta.

Diferentes variedades de uma mesma espécie agrícola podem apresentar variações na quantidade de pigmentos ou na estrutura de suas folhas, variações estas que podem ser detectadas por certos tipos de sensores. Variedades precoces, médias e tardias podem apresentar num determinado tempo estágios de desenvolvimento diferentes, e mesmo uma única variedade pode apresentar variações nos estágios de desenvolvimento devido a fatores como época de plantio, tipo de solo, umidade do solo, etc.

A detecção de doenças, pragas ou distúrbios fisiológicos em culturas é outra grande aplicação do sensoriamento remoto na agricultura. Esta detecção, quando feita em tempo hábil, tem uma grande importância, permitindo ajustes na previsão de safras agrícolas.

O estado nutricional da cultura é outro fator que determina a normalidade ou anormalidade do crescimento da vegetação. A deficiência de nutrientes numa planta pode causar cloroses, amarelimento prematuro, abscisão de folhas, necroses, "stress" de água e outras anormalidades. Se essas anormalidades ocorrem em um grupo de plantas, podem facilmente ser detectadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto. A deficiência de grande parte dos nutrientes exigidos pela planta, tais como: cálcio, ferro, magnésio, potássio e enxofre, provoca cloroses, afetando assim a quantidade de clorofila existente na folha.

Fatores climáticos como seca, geada e granizo provocam, na maioria das vezes, distúrbios fisiológicos na vegetação, o que pode causar danos irreversíveis, levando-a até à morte. Os danos causados pela ocorrência de um destes fatores climáticos sobre uma região agrícola podem ser facilmente detectados pela mudança do comportamento espectral das culturas, através de dados coletados por sensores colocados ao nível orbital ou suborbital. Tardin et alii (1976) utilizando dados do MSS do LANDSAT, fizeram o levantamento dos danos provocados pela geada ocorrida em 1975 sobre áreas ocupadas por café e trigo no noroeste do Estado do Paraná e em parte do sul do Estado de São Paulo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DE DADOS LANDSAT EM ÁREAS AGRÍCOLAS

Qualquer metodologia de utilização de dados LANDSAT no campo de agronomia deve ser desenvolvida com base nas características espectrais, temporais e espaciais das culturas em estudo.

Além da análise dessas três características, é muito importante observar dois requisitos: um referente aos dados MSS do LANDSAT, ou seja, que eles estejam livres de cobertura de nuvens; e o outro referente à cultura em estudo, isto é, que a extensão dos talhões da cultura seja compatível com a resolução geométrica (59 x 80 m) do sistema LANDSAT.

Para a análise espectral das culturas agrícolas, são normalmente utilizadas informações dos quatro canais do MSS (4,5,6 e 7) quando esta é feita por métodos computacionais e, de dois canais (5 e 7) quando se emprega a metodologia de interpretação visual.

O caráter espectral por si só, é, às vezes, insuficiente para a identificação de uma cultura numa determinada área. Tem-se recomendado associar a variação temporal, espacial às características espectrais. Essa associação (espectral, temporal e espacial) constitui um método bastante eficiente para caracterização de culturas através de dados do LANDSAT.

Para as áreas heterogêneas recomenda-se também estratificar a região de estudo em zonas agrícolas homogêneas (estratos), de tal forma a caracterizar em cada estrato os fatores ambientais e culturais e seus efeitos sobre o comportamento espectral das culturas.

As zonas agrícolas homogêneas, definidas segundo os critérios de densidade e tradição de plantio, tipos de solo, topografia e outros fatores relacionados com a cultura, poderão ser plotadas

sobre os dados do LANDSAT. A partir dessas unidades ou estratos, far-se-á a identificação da cultura, explorando as suas características espectrais, temporais e espaciais.

3.1 - METODOLOGIA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Para que um sistema de identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas utilizando dados orbitais se torne efetivamente operacional, ele requer inicialmente o estudo e a análise de dados obtidos de três fontes de informações; terrestres, suborbitais e orbitais. Este estudo é dividido nas seguintes fases:

Fase 1 - *Estudo dos dados terrestres*: Consiste na aquisição de informações preliminares da região, as quais deverão auxiliar no conhecimento dos fatores ambientais e agrônômicos que podem influir no comportamento espectral da cultura; e, também contribuir para determinar critérios de estratificação, dentro da área de estudo.

Fase 2 - *Estudo dos dados suborbitais*: Compreende a aquisição de informações, ao nível de aeronave, de áreas previamente selecionadas dentro da área de estudo, denominadas áreas de treinamento, com o objetivo de auxiliar na Fase 3 durante o tratamento dos dados orbitais, para a classificação das culturas.

Fase 3 - *Estudo dos dados orbitais*: Este estudo, auxiliado pelas fases 1 e 2, consiste no tratamento visual ou automático dos dados orbitais.

A seguir será discutida detalhadamente cada uma das três fases.

3.1.1 - TRATAMENTO DOS DADOS TERRESTRES

A aquisição de informações preliminares sobre a região é muito importante, pois permite o levantamento de dois tipos de fatores: a) ambientais, tais como clima, tipos de solo e formas de relevo predominantes; b) agronômicos, que compreendem o desenvolvimento do calendário agrícola, práticas culturais, variedades plantadas, extensão dos talhões ocupados com as culturas e sua concentração e distribuição espacial. Com base nestes fatores é, então, definida a área de estudo.

Estabelecida a área de estudo e conhecidos os fatores ambientais e culturais que ocorrem dentro da região, verificam-se as órbitas do LANDSAT que cobrem a área de estudo.

Com relação à escolha da data mais propícia para a aquisição dos dados, tanto suborbitais como orbitais, essa é função, principalmente, do estágio de desenvolvimento da cultura, assim, no caso da cana-de-açúcar (Figura 3.1), para a seleção das passagens mais adequadas do LANDSAT, as melhores épocas correspondem aos períodos de crescimento vegetativo e à colheita da cultura.

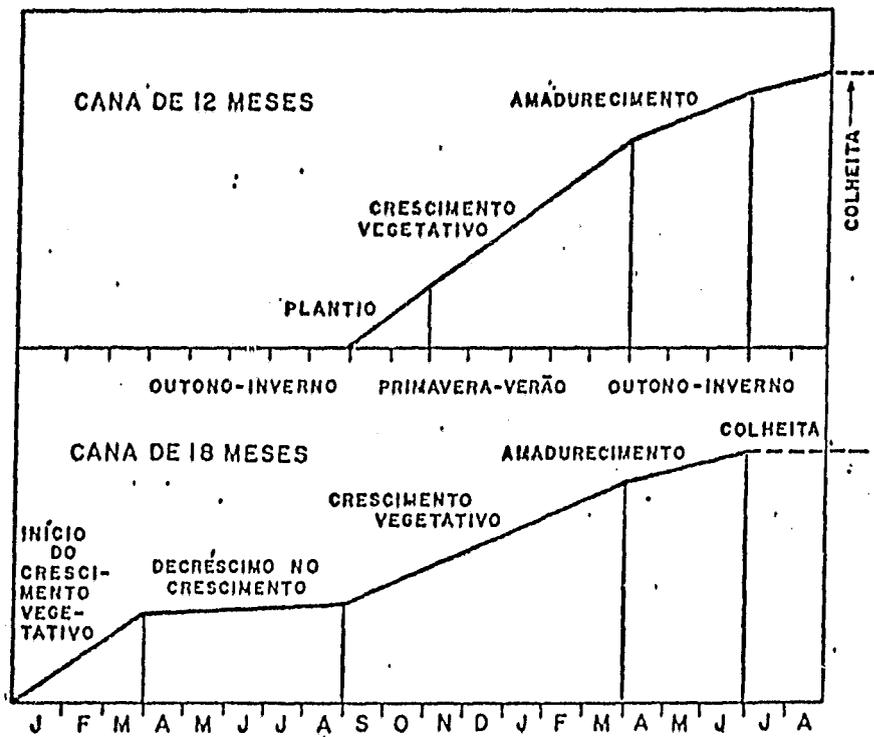


Fig. 3.1 - Ciclo cultural da cana-de-açúcar.

FONTE: Koffler et alii (1979), p. 7.

Dentro destes períodos selecionados, um fator que limita fortemente a escolha das datas de aquisição dos dados é a incidência de nuvens sobre a área de estudo. Tal fato muitas vezes acarreta o mau desenvolvimento das atividades do trabalho e, em certos casos, afeta a previsão do mapeamento devido à falta de informações nas épocas propícias.

3.1.2 - TRATAMENTO DOS DADOS SUBORBITAIS

Como foi mencionado anteriormente, uma área de estudo não é toda homogênea. Fatores ambientais e agronômicos manifestam-se diferentemente, proporcionando a ocorrência de diferentes padrões espectrais, seja entre várias culturas ou dentro de uma mesma cultura. Tal fato dificulta grandemente a análise de dados orbitais.

Verificar, em uma área de estudo, a ocorrência de todos os diferentes padrões espectrais de uma ou mais culturas é uma tarefa que pode ser realizada utilizando apenas informações do LANDSAT. Para isto, selecionam-se nos dados do LANDSAT áreas com diferentes padrões de respostas espectrais e, posteriormente, faz-se uma caracterização dessas áreas através de trabalho de campo.

Porém, outro método utilizado para estudar essas variabilidades é o de definir, dentro da região de estudo, áreas a serem aerofotografadas, as quais são denominadas áreas de treinamento. Tais áreas devem ser em número conveniente para cobrir, tanto quanto possível, o maior número de variações espectrais dentro da área de estudo.

Um fator muito importante que torna viável o recobrimento aerofotográfico dessas áreas de treinamento é que os resultados da fotointerpretação são utilizados como parâmetros de avaliação do desempenho da classificação tanto visual quanto automática dos dados do LANDSAT. Esta avaliação seria de realização muito difícil por métodos convencionais que, muitas vezes, são subjetivos e insatisfatórios.

Para a cobertura aerofotográfica das áreas de treinamento são definidos: o tamanho de cada área a ser sobrevoada, sua localização, o equipamento para aquisição das fotografias aéreas, e os seguintes parâmetros: data de voo, tipo de filme, superposição longitudinal e lateral, e escala de voo.

Durante a realização do voo aerofotográfico, pode ser feito um trabalho de campo com objetivo de levantar informações sobre o estágio da cultura aerofotografada, a ocorrência de outros alvos e informações que auxiliam na elaboração de uma chave de interpretação das fotografias aéreas que estão sendo obtidas.

Após o processamento do filme e de posse das fotografias aéreas, estas são plotadas em cartas topográficas de escala conveniente, que servirão, então, para a verificação da ocorrência ou não de faixas de aerocobertura. As cartas topográficas com as fotografias aéreas plotadas sobre elas servirão também como fotoíndice de localização espacial de cada foto, auxiliando na etapa de fotointerpretação. Os próximos passos para o tratamento dos dados suborbitais são os seguintes:

- Determinação da escala média do voo aerofotográfico

A partir da carta topográfica, onde foram plotadas as fotografias aéreas, é possível determinar a escala média de voo aerofotográfico.

Fatores relacionados com a plataforma, com a movimentação da aeronave no sentido vertical e horizontal, e com o relevo afetam fortemente a escala do voo aerofotográfico. É interessante que se determine a escala média do voo para que os resultados obtidos da fotointerpretação sejam avaliados em função de uma única escala. Por exemplo, se o cálculo da área de determinada cultura fosse obtido considerando todas as escalas determinadas nas fotos aéreas, o processo seria muito demorado e isto não levaria a 100% de precisão de mapeamento.

Um dos métodos para determinar a escala média consiste em selecionar algumas fotografias de cada faixa de voo e identificar pares de pontos comuns tanto na fotografia aérea quanto na carta topográfica. A seguir, mede-se a distância linear entre esses pares de pontos em cada um daqueles dois elementos cartográficos, visando utilizar a seguinte relação:

$$\frac{dc}{1/EC} = \frac{df}{1/EF}$$

onde:

dc = distância do par de pontos na carta topográfica;

df = distância do par de pontos na foto aérea;

EC = escala da carta topográfica;

EF = escala da foto aérea.

Determina-se, então, a escala de cada foto pela seguinte expressão:

$$EF = \frac{dc \times EC}{df},$$

e a escala média do voo aerofotográfico é definida por:

$$EFm = \sum_{i=1}^N EF_i/NF,$$

onde:

EFm = escala média do voo aerofotográfico;

NF = número de pares de pontos medidos nas fotos aéreas.

- Estabelecimento de uma chave de interpretação e legenda

Com base nos objetivos do trabalho definidos anteriormente nas informações de campo coletadas por ocasião do voo aerofotográfico, estabelece-se uma chave de interpretação das fotografias aéreas.

O objetivo da chave de interpretação é auxiliar o fotointérprete a organizar as informações presentes nas fotos aéreas de tal modo que ele possa fazer uma correta identificação de todos os objetos ou alvos presentes na área de estudo.

Colwell e Olson (1966) e Estes e Simonett (1975) comentam que uma chave de interpretação pode ser organizada para identificação de temas através do processo de seleção ou eliminação. No processo da chave de seleção, os fenômenos são ilustrados e descritos pelo fotointerprete, enquanto no processo da chave de eliminação, o analista estabelece, passo a passo, um método de identificação através de uma série de identificações possíveis, eliminando a seguir todas aquelas consideradas como incorretas, de acordo com critérios estabelecidos.

Definidos os temas a serem identificados, estabelece-se para cada um deles uma legenda.

- Interpretação das fotografias aéreas

A interpretação de objetos ou alvos em fotografias aéreas é feita com base em sua forma, dimensão, tonalidade, textura, padrão, localização e formas associadas.

No caso de identificação de culturas utilizando filmes infravermelhos coloridos, o critério básico utilizado é a cor. Evidentemente são associados à cor outros elementos fotointerpretativos, tais como textura, padrão, localização da área, etc para uma completa caracterização da cultura.

A textura, por exemplo, auxilia bastante a identificação dos temas agrícolas, pois enquanto as culturas como o trigo, cevada, cana-de-açúcar apresentam uma textura lisa e homogênea, as áreas ocupadas com vegetação arbórea (mata, cerrado, etc,) apresentam-se com uma textura rugosa e não-uniforme.

Após a aplicação dos critérios de fotointerpretação, res-
tarão situações duvidosas. Para solucionar estes problemas, selecionam-
se aquelas fotos como interpretação duvidosas e faz-se uma verificação
de campo, a fim de se proceder às devidas correções.

Feita a interpretação dos temas e as devidas correções
através da verificação de campo, elaboram-se os mapas temáticos das
áreas de treinamento.

- Avaliação de área

O cálculo da área dos temas identificados pode ser fei-
to através de malha de pontos equidistantes colocados sobre o mapa temá-
tico obtido. Para mapas na escala de 1:20.000, a malha poderá ser forma-
da de pontos equidistantes de 0,5 cm. Neste caso, cada ponto equivale a
1 ha, que multiplicado pelo número de pontos contados, dá a área do te-
ma em hectares. A relação do valor da área utilizando malha de pontos é
a seguinte:

$$A = N \times f,$$

onde:.

A = área do tema;

N = número de pontos encontrados;

f = fator a ser multiplicado pelo número de pontos contados, o qual é
função da escala de trabalho,

3.1.3 -TRATAMENTO DOS DADOS ORBITAIS

A área correspondente a uma cena tomada pelo sensor MSS do LANDSAT é de 3.429.904 ha. Para ter uma idéia da amplitude desta área, na Tabela 3.1 está calculado o número de fotos aéreas que cobrem uma cena do MSS do LANDSAT utilizando diferentes escalas e diferentes superposições longitudinais.

TABELA 3.1

NÚMERO DE FOTOS AÉREAS QUE COBREM UMA CENA DO LANDSAT, ADMITINDO FAIXAS LATERAIS COM 30% DE SUPERPOSIÇÃO LATERAL

ESCALA	SUPERPOSIÇÃO LONGITUDINAL		
	30%	50%	60%
1:10.000	13.225	18.515	23.230
1:20.000	3.364	4.698	5.858
1:25.000	2.116	2.990	3.726
1:30.000	1.521	2.106	2.652
1:40.000	841	1.189	1.479
1:60.000	400	540	680
1:100.000	144	204	252
1:120.000	100	140	170

O número de informações contidas numa cena do LANDSAT é muito grande. Daí a abordagem de interpretação dessas informações, através de uma sistemática denominada "multiestágio", conforme esquematiza a Figura 3.2.

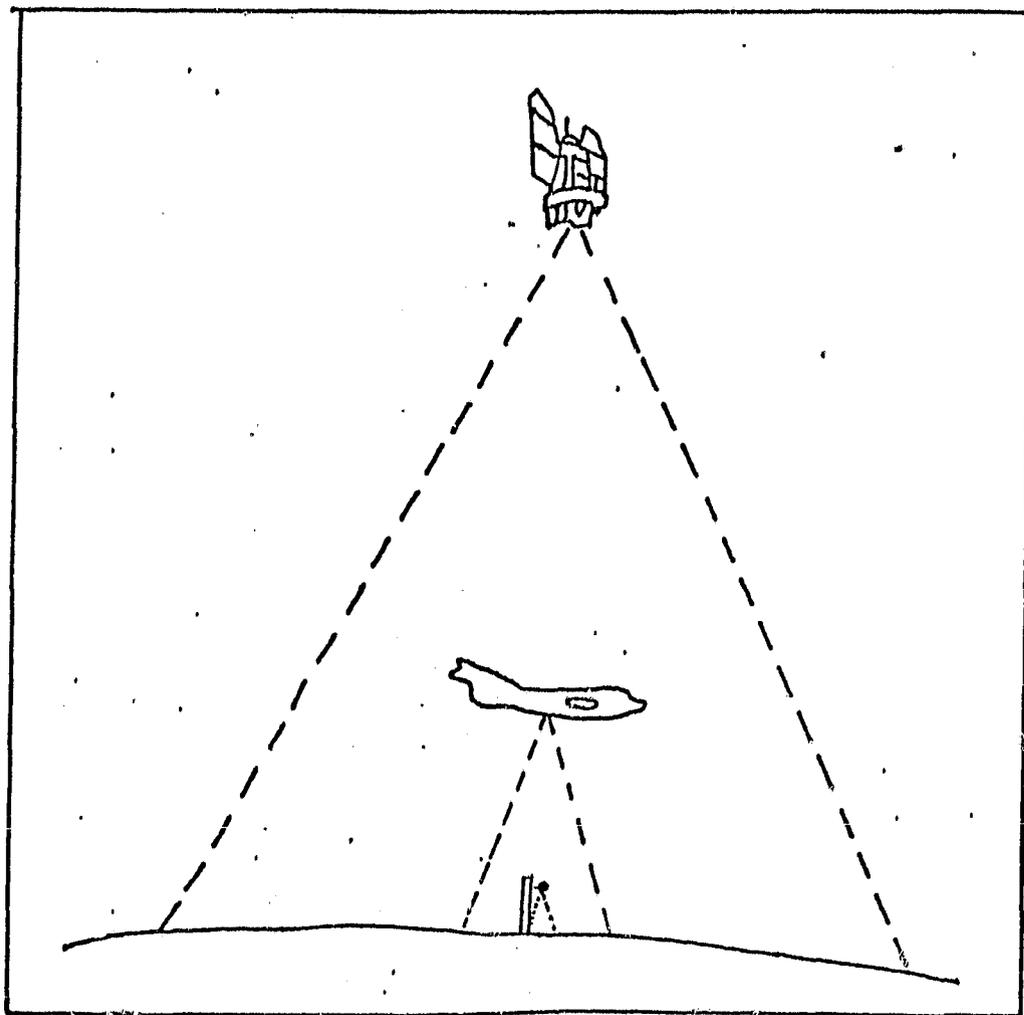


Fig. 3.2 - Conceito de levantamento "multiestágios".

Os produtos do MSS do LANDSAT mais usados para identificação e avaliação de áreas agrícolas são as fitas compatíveis com computador (fitas CCTs) e imagens (nos canais 5 e 7) obtidas a partir de originais em 70 mm na escala aproximada de 1:3.690.000. As imagens podem ser apresentadas em cópias em branco e preto ou em composições coloridas. Geralmente são utilizadas na agricultura imagens nas escalas de 1:500.000 e 1:250.000.

As fases 1 e 2, anteriormente descritas, podem ser consideradas como estágios que auxiliarão a interpretação das imagens orbitais. A fase 3 é o último estágio e refere-se ao tratamento propriamente dito dos dados orbitais, cujos métodos de tratamento podem ser visual e/ou automático.

- Método de análise visual

Para trabalhos de identificação de culturas em imagens LANDSAT empregando o método de análise visual, os critérios básicos utilizados são as características espectrais da cultura (canais 5 e 7) e sua variação temporal.

No caso da análise temporal, para melhor entender a importância dessa característica, consideram-se 3 culturas (A, B e C) que se pretende identificar. Considere-se ainda a seguinte situação:

- 1- as culturas A e B têm comportamento espectral muito semelhante durante a fase de crescimento, porém bastante diferentes na fase de maturação;
- 2- a cultura C difere de A e B na fase de crescimento, porém apresenta resposta espectral semelhante à de A e B na fase de maturação.

Neste caso, uma alternativa favorável à discriminação dessas culturas seria utilizar tanto o critério espectral como o temporal. Para tanto escolhe-se uma data no período de crescimento das culturas, a qual permite a identificação de duas classes: uma constituída pelas culturas A e B e a outra pela cultura C. Posteriormente utiliza-se imagem de uma data no período de maturação, o que permite discriminar as culturas A e B entre si. Desta forma as culturas foram discriminadas.

Além dos critérios espectral e temporal da cultura, utilizam-se também, para auxiliar na identificação das áreas agrícolas, os elementos fotointerpretativos descritos para fotografias aéreas ou seja: padrão, textura, forma de relevo, tonalidade, arranjo espacial, etc.

A interpretação visual de imagens orbitais é feita de modo semelhante à de fotografias aéreas. Para tal, é necessário também que se estabeleça uma chave de interpretação e legenda para facilitar ao fotointerprete ordenar as feições contidas na cena.

A chave de interpretação é subjetiva, porém deve ser coerente com o problema enfocado. Em outras palavras, podem-se elaborar diferentes chaves de interpretação, mas é necessário que elas tenham os mesmos passos metodológicos e levem aos mesmos resultados de interpretação.

Como exemplo, a seguir será discutida a chave de interpretação elaborada para identificar área plantada com culturas anuais, utilizando uma única data de passagem do LANDSAT.

1º PASSO - Com base nos dados obtidos nas fases 1 e 2, delimitar a área de estudo nas imagens do MSS do LANDSAT.

2º PASSO - Se os fatores ambientais e agrônômicos manifestarem-se diferentemente dentro da área de estudo, deve-se fazer uma estratificação de tal modo que cada estrato seja abordado de maneira peculiar.

3º PASSO - Após a delimitação da área é feita a sua estratificação, delimitam-se as cidades e traçam-se os rios e estradas contidos na área de estudo. Isto servirá de ponto de referência para auxiliar o processo de identificação dos alvos sobre as imagens, baseado nos dados de fotografias aéreas e de campo.

- 4º PASSO - Delimitar todas as feições da área de estudo, de acordo com os critérios da chave de interpretação, e agrupá-las em classes com características espectrais semelhantes.
- 5º PASSO - Cada classe deve receber uma rotulação específica de acordo com a legenda preestabelecida.
- 6º PASSO - Confeccionar um mapa que contenha a distribuição espacial das culturas de interesse.
- 7º PASSO - Avaliação da área: O cálculo da área e dos temas identificados é feito conforme o procedimento adotado para os dados suborbitais, isto é, utilizando malha de pontos equidistantes. Para mapas na escala de 1:250.000 utiliza-se uma malha milimetrada, onde cada mm^2 corresponde a 6,25 ha.
- 8º PASSO - Após o cálculo da área deve-se estabelecer um sistema de amostragem, com base em métodos estatísticos, para calcular os erros tanto de identificação como de avaliação de áreas.

- Método de análise automática

A análise automática ou tratamento automático de dados digitalizados do MSS do LANDSAT é vista como a utilização de sistemas eletrônicos, que auxiliam o elemento humano na interpretação das informações contidas na cena. Com isto, a análise automática pode ser considerada mais uma técnica opcional oferecida ao usuário para obtenção de informações sobre as culturas.

A obtenção de informações sobre as culturas pelo processo digital pode ser feita de acordo com as seguintes abordagens de classificação: classificação não-supervisionada, classificação supervisionada e método híbrido.

O procedimento para a classificação de uma determinada cultura agrícola através do sistema I-100 pode, de modo geral, ser assim esquematizado.

- 1) lê-se a fita CCT referente à área de estudo, cuja cena é mostrada no vídeo do I-100;
- 2) delimita-se a área de interesse e, a seguir, armazena-se em disco magnético a cena da área de estudo nas quatro bandas ou canais;
- 3) classificação propriamente dita;

a) Classificação não-supervisionada

Usualmente utiliza-se para a identificação de áreas agrícolas um algoritmo de classificação não-supervisionada implementado no IMAGE-100 do INPE, denominado K-MÉDIAS ("clustering"). O K-MÉDIA não necessita de uma fase de treinamento, pois o classificador age procurando dividir a área de estudo em classes espectrais homogêneas, isto é, agrupando "pixels" de respostas espectrais similares. Para que seja iniciada a classificação, o analista fornece ao sistema o número de centros iniciais (feições diferentes), a precisão e o número de iterações desejada. A partir desses dados é feita a classificação.

b) Classificação supervisada

Nesta abordagem o analista seleciona as amostras de treinamento a partir de áreas previamente conhecidas (áreas de verdade terrestre) que servirão de suporte para a classificação de toda área

de estudo. Para adquirir amostras de treinamento para o computador, podem-se utilizar fotografias aéreas onde as diferentes culturas caracterizadas nas fotos aéreas são associadas na imagem LANDSAT e utilizadas como treinamento pelo computador. Faz-se então a classificação automática de toda a área de estudo, a partir das amostras de treinamento utilizando algoritmo matemático-estatístico.

c) Método Híbrido

O método híbrido consiste inicialmente em uma classificação não-supervisionada para a separação das feições da área de estudo em classes espectrais homogêneas. Posteriormente, áreas de treinamento com "pixels" puros ("pixels" localizados nos centros dos talhões sem influência de falhas de cultura) são adquiridos destas classes espectrais para a obtenção das estatísticas de treinamento utilizadas na abordagem supervisionada.

Realizada a classificação automática é possível obter, através do sistema I-100, um mapa temático da cultura classificada. Esse mapa pode ser gerado de dois modos: através de impressora do sistema IMAGE-100 (mapa alfanumérico), ou através da unidade denominada DICOMED (Digital Color Image Recorder), na forma fotográfica.

Feita a análise digital, deve-se quantificar o desempenho da classificação a fim de ter um parâmetro numérico referente aos apresentados, a ser oferecido ao usuário.

O desempenho da classificação automática de uma cultura obtida através do sistema IMAGE-100, é usualmente analisado mediante a determinação dos erros de omissão (EO) e de inclusão (EI) cometidos, e da percentagem de classificação correta (CC).

Os parâmetros para a determinação dos erros de omissão e inclusão, bem como a percentagem de classificação correta, podem ser estabelecidos como mostra a Figura 3.3.

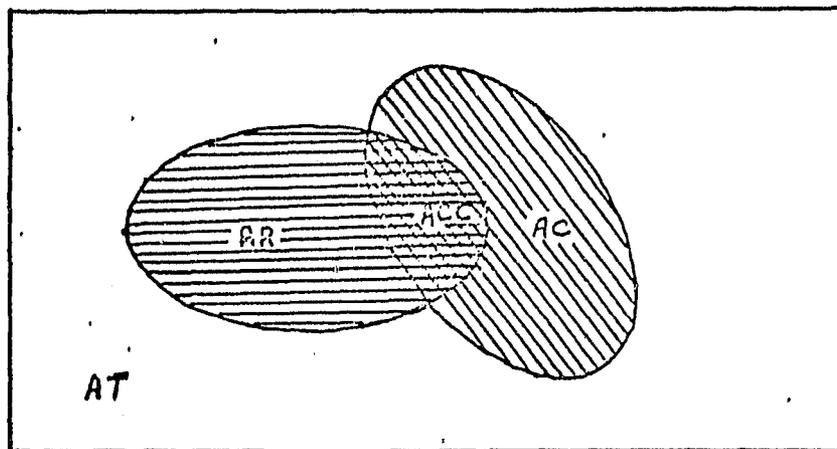


Fig. 3.3 - Esquema demonstrativo dos elementos para a avaliação dos erros de omissão, inclusão e classificação correta.

a) Erro de inclusão (EI)

$$EI (\%) = \frac{AC - ACC}{AT - AR} \times 100,$$

b) Erro de omissão (EO)

$$EO (\%) = \frac{AR - ACC}{AR} \times 100;$$

c) Classificação correta (CC)

$$CC (\%) = \frac{ACC}{AR} \times 100$$

onde:

AC = área classificada automaticamente;

AR = área real;

AT = área total do segmento em estudo;

ACC = área classificada corretamente.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DO INPE NA AGRICULTURA

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) vem, desde 1975, utilizando informações sobre culturas agrícolas, coletadas a níveis orbital, suborbital e terrestre, visando desenvolver e transferir metodologias de utilização de técnicas de sensoriamento remoto que auxiliem nos sistemas de previsão de safras do País.

O município de Jardinópolis, com uma área de 552 km², situado na Divisão Regional Agrícola de Ribeirão Preto (DIRA-RP), no Estado de São Paulo (Figura 4.1), foi a primeira área escolhida para servir de *área piloto*. Segundo Batista et alii (1976), utilizando fotografias aéreas de filme infravermelho colorido falsa cor, na escala de 1:20.000, foram realizados estudos para identificação das culturas de algodão, amendoim, arroz, café, cana-de-açúcar, citrus, milho, pastagem e soja, sendo então gerado para esse Município um mapa temático que contém a distribuição espacial de todas aquelas culturas. A seguir, para essa mesma área piloto foi feita uma classificação automática, usando dados digitalizados do LANDSAT-2 através do I-100, somente para os temas algodão, cana-de-açúcar, soja e pasto. Com relação ao tema cana-de-açúcar, foi feita uma comparação dos resultados obtidos de área utilizando os dois métodos. No levantamento feito a partir de fotografias aéreas, o valor da avaliação de área ocupada com a cultura foi de 2.509 ha. A área obtida através da classificação automática, usando dados do LANDSAT, foi de 2.140 ha, ou seja, uma diferença de 14% em relação à área obtida através de fotografias aéreas.

Em 1976, Batista et alii (1977), dando prosseguimento aos estudos, realizaram no Município de Jardinópolis um experimento que objetivou estudar a viabilidade do uso de amostragem de fotografias aéreas coloridas no infravermelho, na escala de 1:10.000, para identificação e avaliação de áreas de culturas de expressão econômica. A fotointerpretação dos temas algodão, café, cana, soja e pomar teve um in

dice de 100% de acerto. No caso da cana-de-açúcar, a área encontrada foi de 5.237 ha. Tal resultado demonstra que de 1975 a 1976 houve no Município de Jardinópolis um incremento de área de cultura da cana da ordem de 109%.

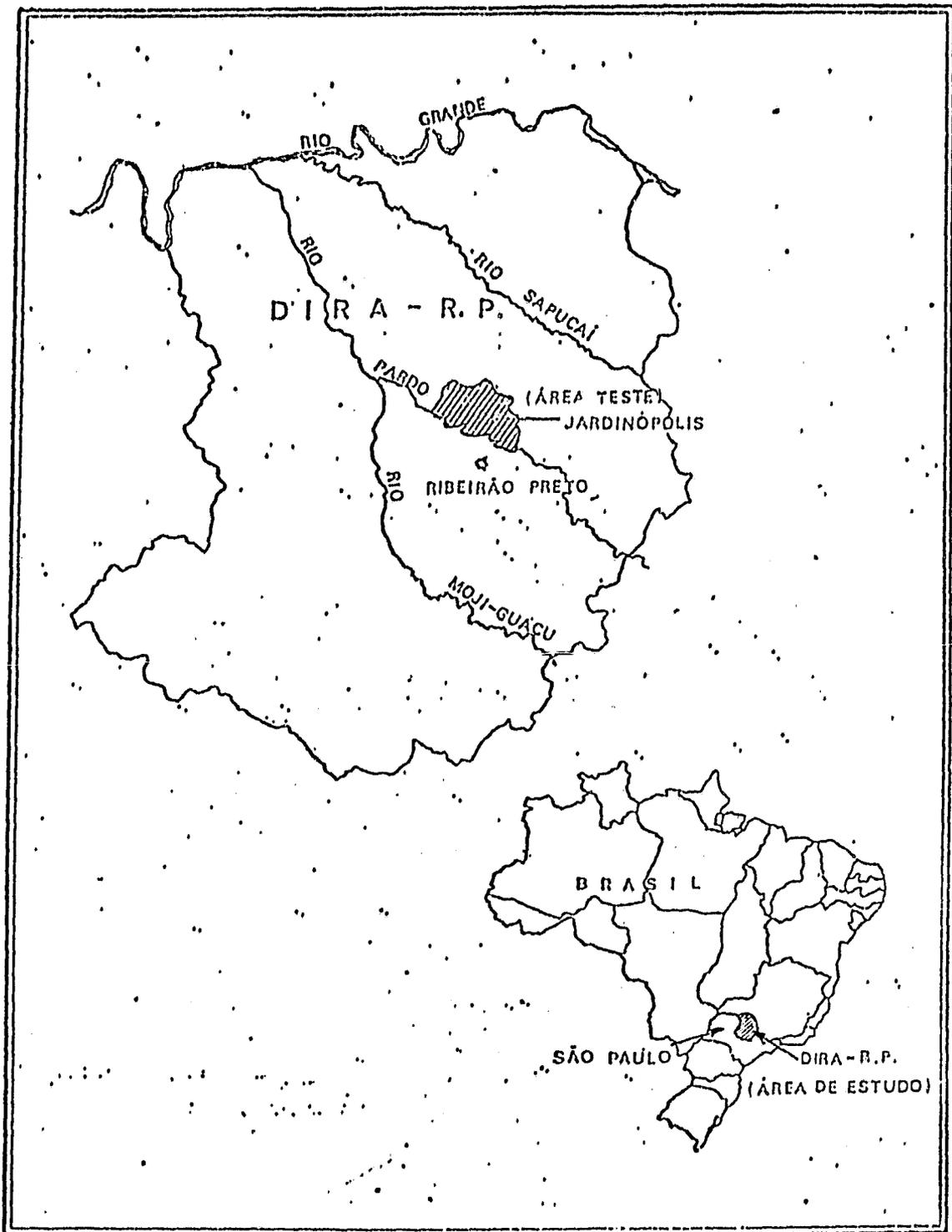


Fig. 4.1 - Mapa de situação que mostra a "área de estudo" representada pela DIRA-R.P., e a "área piloto" representada pelo Mu nicípio de Jardinópolis no Estado de São Paulo.

No ano de 1977, foram desenvolvidas paralelamente duas pesquisas. Na primeira, Mendonça et alii (1978) realizaram um estudo comparativo de identificação da cultura da cana-de-açúcar. Neste estudo, utilizando dados de diferentes datas de passagem do MSS do LANDSAT foi feita a identificação e avaliação da cana-de-açúcar numa área de 1.814,20 ha, situada dentro do Município de Jardinópolis, através dos métodos de análise automática e visual. A Tabela 4.1 compara os resultados obtidos desse estudo com o cálculo da previsão dos dois métodos, em relação à área de 1.563,32 ha, obtida a partir de fotografias aéreas.

TABELA 4.1

RESULTADOS COMPARATIVOS PARA MEDIR A PRECISÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE AUTOMÁTICA E VISUAL DO TEMA CANA-DE-AÇÚCAR, USANDO-SE DADOS DO LANDSAT, EM RELAÇÃO À ÁREA DE 1.563,32 HA, OBTIDA A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

DATA DA PASSAGEM DO LANDSAT	ANÁLISE AUTOMÁTICA (em Ha)	ANÁLISE VISUAL (em Ha)	PRECISÃO DE IDENTIFICAÇÃO (%)	
			ANÁLISE AUTOMÁTICA	ANÁLISE VISUAL
07.FEV.1977	1.263,50	1.356,25	81	87
25.FEV.1977	1.034,60	1.312,50	66	84
15.MAR.1977	1.030,00	1.343,75	66	86
01.JUL.1977	1.297,40	1.393,75	83	89

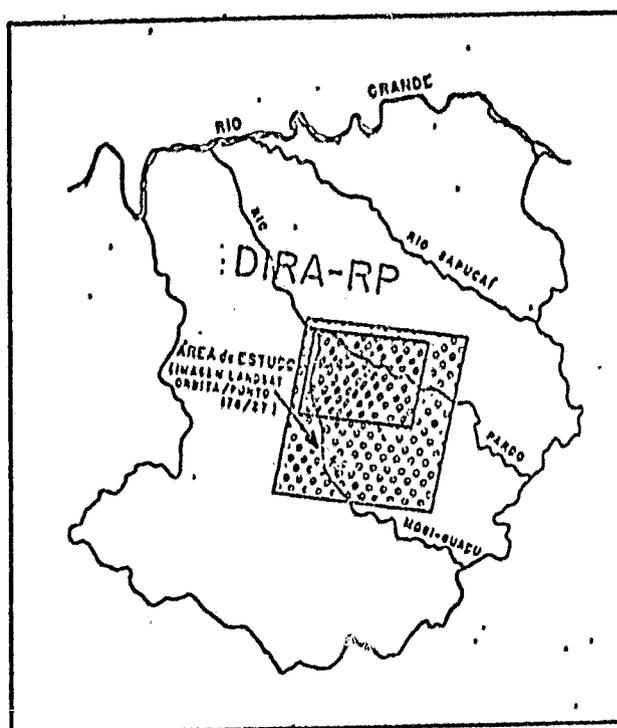


Fig. 4.2 - Localização da área de estudo delimitada na imagem LANDSAT (178/27) na Divisão Regional Agrícola de Ribeirão Preto (DIRA-RP).

A partir de 1978, em função da experiência adquirida e considerando a complexidade desse projeto, foi necessário o estabelecimento de prioridades para a execução das diversas etapas, em função das seguintes considerações:

- 1) O ciclo das principais culturas anuais na área de estudo está, de um modo geral, compreendido entre outubro e maio. Esse período coincide com o de maior precipitação pluviométrica do ano e, conseqüentemente, com o de maior cobertura de nuvens. Tal fato, mesmo considerando a repetitividade de 18 dias do LANDSAT, constitui na prática não um problema insuperável, mas bastante restrito.

A segunda pesquisa do ano de 1977, realizada por Batista et alii (1978), teve as mesmas características da pesquisa desenvolvida por Mendonça et alii (1978), citada anteriormente, com a diferença de que a área de estudo dessa segunda pesquisa abrangia uma área de 400.900 ha cuja localização é mostrada na Figura 4.2.

A realização desse trabalho permitiu aos autores tirar as seguintes conclusões:

- a) entre os dados disponíveis do LANDSAT, a passagem de 01.07.77 foi a mais propícia para se proceder à avaliação de área ocupada com cana-de-açúcar, seja usando o método de análise visual, seja o método de análise automática;
- b) o emprego do método de análise visual ou automático com dados do satélite LANDSAT, para identificação e avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar, não diferiu significativamente entre si quanto à precisão;
- c) os resultados obtidos mostraram uma precisão da avaliação das áreas ocupadas com cana-de-açúcar usando o método de interpretação automática, com o I-100, acima de 80% para as datas de 07.02.77 e 01.07.77;
- d) os fatores relacionados com a própria cultura da cana-de-açúcar - tais como estágio de desenvolvimento, época de plantio e de colheita, e variedade - influenciam decisivamente na resposta espectral da cana, afetando conseqüentemente, a precisão de identificação e avaliação de sua área nos dados do LANDSAT.

2) Outra dificuldade que se apresenta é o padrão de cultivo. Várias culturas de expressão econômica da região em estudo são plantadas em áreas relativamente pequenas, em relação à resolução espacial do satélite LANDSAT, o que limita a "análise espectral discriminatória" destas culturas.

Em face dessas considerações estabeleceram-se dentro do objetivo geral dois objetivos específicos:

a) Identificação de áreas para plantio (solo nu)

Tecnicamente, a adoção deste objetivo foi devido a dois fatores:

- na região estudada, o solo é preparado de junho a outubro, período de grande probabilidade de obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens; e
- o alto contraste existente entre o solo nu e alvos vizinhos (cobertos por vegetação) determina uma maior precisão de classificação (Batista et alii, 1978).

Deste modo, Assunção e Duarte (1980), numa área de 72.000 ha, localizada na DIRA-RP, realizaram um estudo com o objetivo de desenvolver uma metodologia para identificação e avaliação de áreas preparadas para o plantio (SOLO NU), utilizando dados digitalizados do LANDSAT, com suporte em fotografias aéreas coloridas no infravermelho na escala de 1:20.000. A precisão média obtida da classificação desse tema foi de 93%.

b) Identificação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e trigo

Além da importância deste objetivo, adicionaram-se as seguintes vantagens:

- a possibilidade de utilização de imagens de todas as épocas do ano, especialmente no período seco em que há menor probabilidade de nuvens;
- as áreas de cultura de cana-de-açúcar cobrem grandes extensões contínuas e são, por isso, alvos facilmente identificáveis ao nível orbital (Batista et alii, 1978).

Aproveitando tais vantagens, Mendonça (1980) desenvolveu um projeto de pesquisa, durante os anos de 1978 e 1979, para testar uma metodologia que utiliza técnicas de sensoriamento remoto como processamento digital de dados do LANDSAT, para identificar e avaliar áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Para a realização dessa pesquisa, foi determinada inicialmente a área de maior concentração de cana-de-açúcar dentro do Estado de São Paulo, a qual foi considerada como área de estudo (Figura 4.3). Dentro da área de estudo foram selecionados dez segmentos com área de 10 km x 20 km para serem aerofotografados com câmara RC-10 e filme Aerochrome IR2443 da KODAK (Figura 4.4). Esses segmentos serviram para obtenção de áreas de treinamento, visando à classificação automática de dados do LANDSAT através do sistema IMAGE-100. Para se proceder à classificação automática foi feita, primeiramente, a divisão da área de estudo em quatro estratos coincidentes com as quatro órbitas de passagem do LANDSAT (Figura 4.4). Os resultados obtidos da classificação apresentaram uma percentagem total de classificação correta para cada estrato, assim distribuídos: estrato 206 (79,56%); estrato 192 (95,59%); estrato 178 (84,42%); e estrato 164 (84,11%).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



Fig. 4.3 - Localização da área de estudo em relação ao Estado de São Paulo.

Utilizando os parâmetros espectrais de cada segmento do trabalho anterior, Mendonça et alii (1980) obtiveram o primeiro inventário da cultura da cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, a partir de dados do LANDSAT, tratados através do IMAGE-100 (I-100), cujo procedimento adotado foi o seguinte:

- dividiu-se cada cena do LANDSAT em 9 módulos, correspondendo cada um a uma área de 383.400 ha;
- utilizando os parâmetros espectrais da cana-de-açúcar do segmento pertencente ao estrato ou à órbita, fez-se a classificação automática da cultura de cada módulo segundo o sistema "MAXVER", que usa o critério de máxima verossimilhança (Velasco et alii, 1978);
- a área da cultura da cana-de-açúcar, obtida a partir da classificação de cada módulo, foi avaliada através do programa "AREA", inserido no sistema I-100.

Em 1979, Mendonça et alii (1981) repetiram o inventário de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo utilizando imagens LANDSAT na escala de 1:250.000, agora tratadas visualmente. Os critérios básicos para a identificação da cultura foram a sua caracterização espectral, nos canais 5 e 7, e a sua variação temporal, observada em diferentes passagens do satélite LANDSAT. Através dessa técnica foi possível mapear tanto a cana, cuja cobertura foliar era capaz de oferecer características espectrais bem definidas, quanto a cana cortada. A área obtida de cana-de-açúcar em toda a região estudada foi de 801.950 ha. Neste levantamento, o intervalo de identificação correto calculado variou de 87,11% a 94,71%.

Seguindo a mesma metodologia utilizada para a cana-de-açúcar, foi desenvolvido também pelo INPE um projeto onde se buscou viabilizar o uso de dados multiespectrais, obtidos através do MSS do LANDSAT, para identificação e avaliação de áreas ocupadas com trigo. A área escolhida para estudo foi a região tritícola, ao norte do Estado do Rio Grande do Sul, conforme se pode ver na Figura 4.5.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

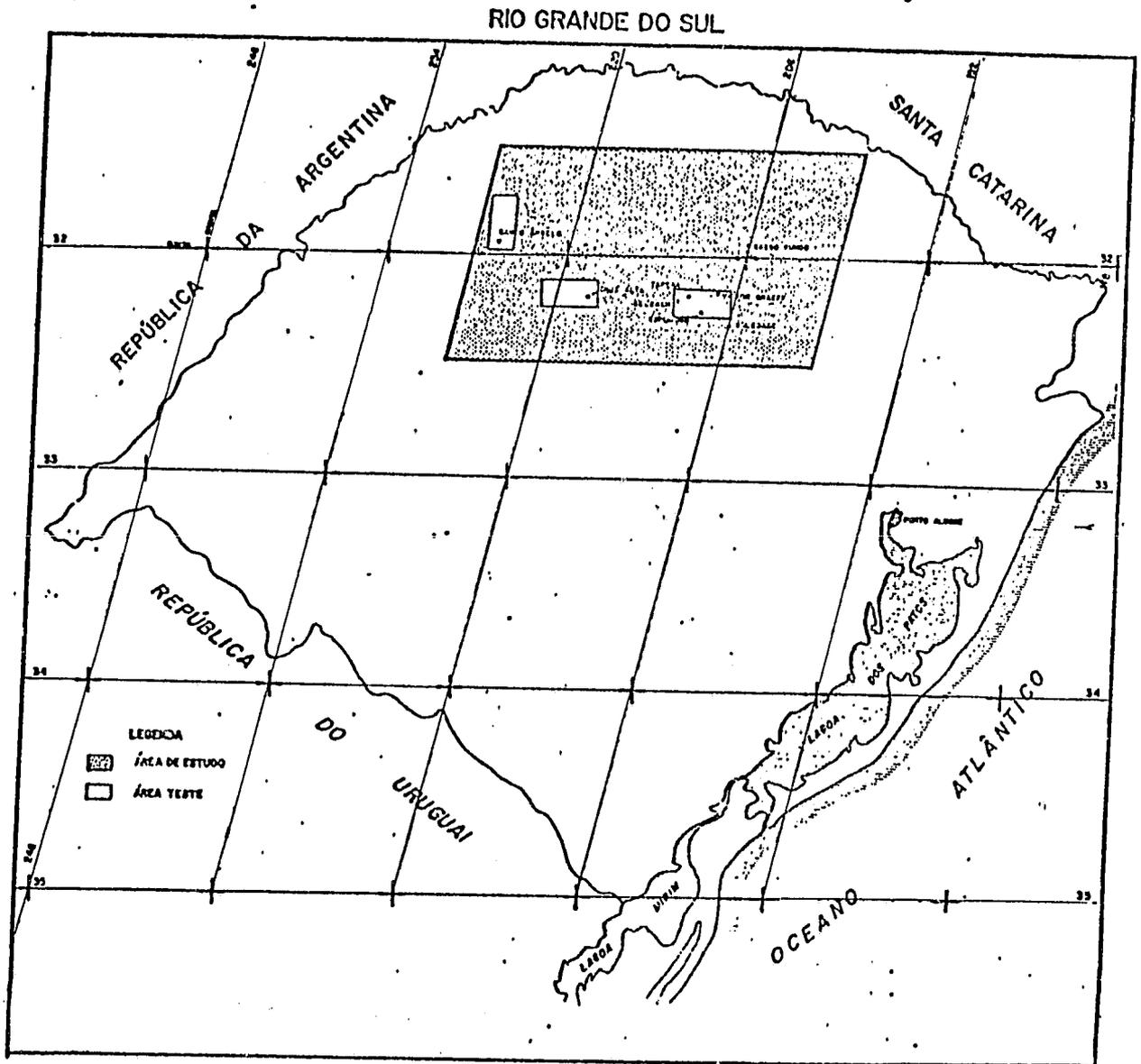


Fig. 4.5 - Área de estudo e os três segmentos de 20 km x 40 km.

Esse estudo foi desenvolvido em duas partes. A primeira utilizou apenas fotografias aéreas coloridas no infravermelho, na escala de 1:20.000, sobre três segmentos de 20 km x 40 km, previamente selecionados dentro da área de estudo (Figura 4.5). Foram identificados, além do trigo, os seguintes temas: cevada, culturas diversas (colza, tremoço, linhaça), solo preparado, pousio, pastagem e mata. Com relação à cultura de trigo, foi possível caracterizar na fotografia aérea, com apoio de trabalho de campo, as variedades CNT, 7, Maringã, Jacuã, S.31, PAT. 19.

Através da análise do padrão fotográfico das fotos também foi possível detectar a presença do fungo, que provoca a doença conhecida como "mal do pé", cujo efeito é o estiolamento prematuro da planta (Mendonça et alii, 1980).

A segunda parte do projeto trigo consistiu na classificação automática dessa cultura, utilizando dados do LANDSAT em formato digital. A metodologia básica consistiu na tomada de amostras de treinamento, e, a seguir, foi feita a classificação do tema trigo e dos outros temas: solo nu, mata e pousio.

O desempenho médio dessa classificação foi de 71,22%. Vários fatores contribuíram para o baixo desempenho dessa classificação, sendo o principal deles a ocorrência de adversidades climáticas, as quais afetaram drasticamente o padrão de resposta espectral do trigo (Mendonça et alii, 1981).

Posteriormente Moreira (1983), utilizando dados digitalizados do MSS do LANDSAT como variável auxiliar, desenvolveu uma metodologia para estimar área ocupada com trigo baseada em sistema de amostragem. Para realização desta pesquisa utilizaram-se, como suporte, dados de fotointerpretação da cobertura aerofotográfica de uma área tritícola de aproximadamente 720 km², localizada no Município de Cruz Alta, a noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Nesta pesquisa pôde-se concluir que: a) a menor percentagem de área amostrada que esti

mou esta cultura com boa precisão e exatidão foi de 13,90%, utilizando como unidade amostral o segmento de 10 km². Com isto houve uma economia de tempo e custo dispendidos em cerca de 86% durante a fase de fotointerpretação dos dados de aeronave.

Moreira et alii (1983) fizeram estudos para testar a viabilidade de aplicação de dados do MSS do LANDSAT para identificar e avaliar áreas com culturas de arroz irrigado em quatro regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul. A metodologia aplicada foi interpretação visual dos seguintes produtos do LANDSAT: imagens em preto e branco dos canais 5 e 7 e composição infravermelho colorida, todos na escala 1:250.000. Para identificação e avaliação da cultura, utilizou-se o critério multiespectral e a variação temporal. Com base nos resultados obtidos pôde-se concluir que: a) os dados do satélite foram eficientes para identificar e avaliar a área desta cultura; b) a utilização do critério multiespectral, aliado à variação temporal da cultura, é fundamental para discriminar áreas da cultura do arroz de áreas com outras culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUNÇÃO, G.V.; DUARTE, V. *Avaliação de áreas preparadas para plantio, utilizando-se dados digitalizados do LANDSAT, através de tratamento automático nº I-100*. São José dos Campos, INPE, set., 1980. (INPE-1910-RPE/1243).
- BATISTA, G.T.; NOVAES, R.A.; TARDIN, A.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; SANTOS, J.R. dos; CHEN, S.C.; TOSCANO, L.P. *Atividades do projeto estatísticas agrícolas durante o ano de 1975*. São José dos Campos, INPE, fev., 1976. (INPE-830-PPR/012).
- ; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; CHEN, S.C.; TARDIN, A.T.; NOVAES, R.A.; TOSCANO, L.P. *Estudo da viabilidade do uso amostral de fotografias aéreas (infravermelho colorido) para estimativa de áreas cultivadas em Jardinópolis - SP*. São José dos Campos, INPE, abr., 1977. (INPE-1228-NTE/116).
- ; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A. *Uso de sensores remotos a bordo de satélite e aeronave na identificação e avaliação de áreas de culturas para fins de previsão de safras*. São José dos Campos, INPE, abr., 1978. (INPE-1229-NTI/103).
- COLWELL, R.N.; OLSON, D.L. *Thermal infrared imagery and its use in vegetation analysis by remote aerial reconnaissance*. In: American Society of Photogrammetry. Selected papers on remote sensing of environment. Willow Run Laboratories, Institute of Science and Technology, University of Michigan, 1966, p. 77-118.
- COUTINHO, L.M. *Botânica*, São Paulo, Editora Cultrix, 2ª ed., 1970.
- ESTES, J.E.; SIMONETT, D.S. *Fundamentals of image interpretation*. In: American Society of Photogrammetry. Fundamentals of image interpretation. Falls Church, V.A., C. 1975, Cap. 14, p. 869-1076.
- GATES, D.M. *Physical and physiological properties of plants*. In: National Research Council. Committee on Remote Sensing for Agricultural Purposes. Remote sensing with especial reference to agricultural and forestry. Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1970, Cap. 5, p. 223-224.

- HOFFER, R.M. *Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data.* In: Remote Sensing the Quantitative Approach. West Lafayette, IN, McGraw-Hill, 1978, cap. 5, p. 227-289.
- HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C.J. *Ecological potentials in spectral signature analysis.* In: Remote Sensing in Ecology. University of Georgia, 1969, p. 1-16.
- KNIPLING, E.B. *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation.* Remote Sensing of Environment, 1(3):155-159, 1970.
- KOFFLER, N.F.; CAVALLI, A.C.; CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P. de *Inventário canavieiro com auxílio de fotografias aéreas na Grande Região de Piracicaba no ano safra de 1978/79.* Boletim Técnico PLANALSUCAR, Série A.1(2):3-38, dez. 1979.
- KUMAR, R. *Radiation from plants - Reflection and emission: A review.* Lafayette, IN. Purdue University, 1972, 88p. Nº GK-4241.
- MENDONÇA, F.J. *Uso de dados do LANDSAT para avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.* Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1713-TDL/023).
- ; LEE, D.C.L.; 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).
- ; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CHEN, S.C.; LUCHT, 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.I. (INPE 2021-RPE/288).

- 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).
- MOREIRA, M.A. *Sistema de amostragem para estimar a área da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L) através de dados do LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2941-TDL/150).
- MOREIRA, M.A.; ASSUNÇÃO, G.V.; NOVAES, R.A.; MENDOZA, A.A.B.; BAUER, C. A.; RITTER, I.T.; BARROS, J.A.I.; PEREZ, J.E.; THEDY, J.L.O.; PSICHER, M.A.; VOMERO, T.F. *Identificação e avaliação da área ocupada com arroz irrigado através da interpretação visual de dados do MSS do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, dez., 1983. (INPE-1991-NTE/212).
- RAWTSCHER, F. *Elementos básicos de botânica*. São Paulo, Ed. Centro Universitário, 1964.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing the quantitative approach*. West Lafayette, British Library, 1978.
- TARDIN, A.T.; PALESTINO, C.V.B.; SUNNENBURG, C.R. *Levantamento de áreas ocupadas por café e trigo no Noroeste do Paraná por análise automática de dados do satélite LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, maio, 1976. (INPE-875-NTE/065).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.D.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema Maxver: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul., 1978. (INPE-1315-NTI/110).

BIBLIOGRAFIAS RECOMENDADAS

AWAD, M.; CASTRO, P.R.C. *Introdução à fisiologia vegetal*. São Paulo, Livraria Nobel, 1983.

JANICK, J. *A ciência da Horticultura*. Programa de publicações didática - USAID, Rio de Janeiro, Livraria Freita Bastos, 1966.

GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A.; CARDENAS, R.; RICHARDSON, A.J. *Effects of leaf age for four growth stage of cotton and corn plants on leaf reflectance, structure, thickness water and chlorophyll concentrations and selections of wavelengths for crop discriminations*. In: Remote Sensing of Earth Resources, V. 1, p. 25-51.

JAMES, W.O. *Introdução a la fisiologia vegetal*. Barcelona - Spain, Ediciones Omega, 1967.

Manual of Remote Sensing, V.2, Cap. 22, p. 1715.