



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS
AUTORES **AUTHORS**
 SENSORIAMENTO REMOTO
 LANDSAT
 CULTURAS IRRIGADAS

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
 Roberto Pereira da Cunha
 Dir. de Sens. Rem.

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR
 Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto
 Sérgio dos A.F. Pinto

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION
 INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY
 José Carlos N. Epiphânio

CDU/UDC
 528.711.7:551.4

DATA / DATE
 Abril, 1989

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-4800-RPE/587
	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS NO VALE DO SÃO FRANCISCO ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO - ÁREA PILOTO DE PETROLINA - JUAZEIRO
AUTORES/AUTHORSHIP	Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto José Ernesto Telles Ferrante (CODEVASF) Mário Valério Filho Francisco Bezerra Siqueira (CODEVASF)

ORIGEM
ORIGIN
DPA

PROJETO
PROJECT
IRVASF

Nº DE PAG.
NO OF PAGES
61

ULTIMA PAG.
LAST PAGE
A.2

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS
1

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

O presente trabalho foi desenvolvido através da cooperação entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) e teve como objetivo a identificação, monitoramento e mapeamento de glebas agrícolas irrigadas através de dados TM/LANDSAT. A área de estudo selecionada refere-se à região de Petrolina (PE) - Juazeiro (BA), definida em dois módulos: Projeto Massangano e Baixo Salitre. A análise interpretativa de produtos digitais e analógicos TM/LANDSAT foi conduzida através de abordagem metodológica considerando-se as características multiespectral e multitemporal daquele sistema orbital. Através da avaliação conjunta de composições coloridas multiespectrais, para três passagens LANDSAT, foi obtido um mapa de distribuição de glebas agrícolas irrigadas, na escala 1:50.000, compreendendo o período de julho a novembro de 1987. A avaliação estatística da precisão do mapeamento revelou que o referido mapeamento apresentou precisão de 93% ao nível de significância de 0,05, quando comparado com dados de campo. Desta forma concluiu-se que a abordagem utilizada foi satisfatória, possibilitando a obtenção de um mapa temático confiável, apesar da existência de algumas limitações de contexto local.

OBSERVAÇÕES / REMARKS
 Trabalho realizado em Convênio Técnico entre INPE e CODEVASF.
 Registro definitivo 01.01.215.0/86.

ABSTRACT

The objective of this work was to indentify, monitor and map irrigated crops using Landsat/TM data. The selected area for this study was Petrolina-Juazeiro region (northeastern Brazil). Digital and analogic products of TM data were analysed using multispectral and multitemporal approaches. Three Landsat overpasses (07/26/1987, 10/14/1987, 11/15/1987) were analysed using multispectral color composites images. From this TM data evaluation it was obtained a map of distribution of irrigated croplands (to the scale 1:50.000). Using the ground truth information it was obtained the classification accuracy estimation of the thematic map. At the significance level of 0,5 the overall map accuracy was estimated to be over 93%. Since only two classes are present in the thematic map (irrigated crops and non-irrigated areas) it can be assumed that this classification preformance is directly related to the identification of the irrigated crops. Therefore one concluded that the utilized methodology adequate for the derivation of reliable thematic mapping of the irrigated crops from TM data, except for some limitations due to local context.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO</u>	3
<u>CAPÍTULO 3 - ASPECTOS GERAIS</u>	9
3.1 - Localização da área	9
3.2 - Geologia e geomorfologia	9
3.3 - Clima	11
3.4 - Vegetação	11
3.5 - Relevo	12
3.6 - Uso atual	12
3.7 - Solos	13
<u>CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</u>	15
<u>CAPÍTULO 5 - ABORDAGEM METODOLÓGICA</u>	17
5.1 - Tratamento digital de imagens	17
5.2 - Interpretação visual de imagens Landsat	18
5.3 - Trabalhos de campo	19
5.4 - Produtos obtidos	21
5.5 - Verificação da precisão de mapeamento	22
<u>CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	27
6.1 - Análise dos procedimentos de tratamento digital de imagens TM	27
6.2 - Interpretação de imagens analógicas TM/Landsat	35
<u>CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES</u>	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A - CARTA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS PERÍODO DE JULHO A NOVEMBRO DE 1987	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Disposição das bandas espectrais dos sistemas sensores do Landsat (MSS e TM) e do SPOT	4
3.1 - Esquema da localização da área de estudo	11
5.1 - Exemplo da grade de quadrículas amostradas aleatoriamente no Setor Baixo Salitre	24
6.1 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 2 original.....	29
6.2 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 2 realçada.....	30
6.3 - Aspecto da banda 2 original.....	31
6.4 - Aspecto da banda 2 realçada por ampliação linear de contraste	31
6.5 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde), TM4 (vermelho) original.....	33
6.6 - Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho) original.....	33
6.7 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde), TM4 (vermelho) realçada por ampliação linear de contraste	34
6.8 - Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho) realçada por ampliação linear de contraste	34

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Bandas do TM e respectivas faixas espectrais	15
5.1 - Tabela para avaliação da precisão de mapeamento valores ótimos de n para $x_c \in [0,47]$ e para $\alpha = 0,05$ e $P_u = 0,85$, e correspondentes valores de β para $P_p = 0,90: 0,95$ e $0,99$	22
6.1 - Apresentação das quadrículas amostrais e a situação em termos de acerto e erros	35

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se à apresentação de abordagem metodológica e discussão de resultados alcançados no trabalho desenvolvido no contexto de convênio celebrado entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF). Este trabalho teve como objetivo aplicar técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização e mapeamento de áreas agrícolas irrigadas em setor do Médio Vale do Rio São Francisco (Petrolina/Juazeiro).

A CODEVASF é uma empresa pública vinculada ao Ministério da Irrigação e tem por finalidade promover o desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco, através de estudos e projetos diversos, tendo como enfoque prioritário a implantação da agricultura irrigada não somente para incrementar a produção regional de alimentos mas também para auxiliar a fixação do homem naquela área de clima semi-árido.

A criação de Programas, como o PRONI e PROINE, na política de irrigação do Governo Federal, e o estímulo dado para este fim, motivou uma grande expansão da agricultura irrigada tanto no âmbito estatal como privado, com níveis tecnológicos e padrões espaciais altamente diversificados.

Neste sentido a CODEVASF verificou a necessidade de obter informações sobre a situação em termos de distribuição em área e o nível tecnológico da agricultura irrigada em seu setor de jurisdição, com vistas ao planejamento, controle e estabelecimento metas de expansão.

Com base neste contexto foram definidos critérios para a seleção de área para o desenvolvimento deste trabalho, de cooperação técnica entre o INPE e a CODEVASF, atendendo aos quesitos: pertencer à região do semi-árido, apresentar uma diversificação quanto aos sistemas de irrigação e conter uma concentração expressiva em áreas irrigadas tanto sob controle da CODEVASF como da iniciativa privada

A abordagem metodológica aplicada refere-se à compatibilização de experiências já desenvolvidas por equipe técnica do Departamento de Pesquisas e Aplicações em Sensoriamento Remoto (DPA) do INPE, ajustadas às condições ambientais e de intervenção antrópica apresentadas pela área de interesse.

Como produto deste trabalho, além da abordagem metodológica, é apresentado mapa de distribuição de glebas agrícolas irrigadas, para um determinado lapso de tempo, obtido a partir de extração de informações contidas em imagens TM/Landsat.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para o levantamento dos recursos naturais e monitoramento de eventos dinâmicos que ocorrem na superfície terrestre.

A partir de 1972 se estabeleceu uma nova fase de coleta de informações da superfície terrestre, com o advento dos satélites equipados com sistemas sensores específicos para obtenção de dados ambientais. Estes satélites se referem àqueles da série Landsat, desenvolvidos e lançados pela NASA.

Inicialmente o sistema sensor utilizado foi o Multiespectral Scanner System (MSS), com 4 bandas espectrais e resolução espacial nominal de 80 metros no terreno. A partir do satélite Landsat-5 passou a operar efetivamente um outro sistema sensor - o Mapeador Temático ("Thematic Mapper"- TM), com 7 bandas espectrais e melhor resolução espacial, de 30 metros no terreno para as 6 bandas da porção refletiva do espectro eletromagnético e de 120 metros para a banda posicionada no infra-vermelho termal (banda 6).

Mais recentemente, fevereiro de 1986, passou a operar o satélite francês SPOT, contendo dois módulos, um multiespectral de 3 bandas e resolução espacial de 20 metros e um módulo pancromático com resolução espacial de 10 metros. O posicionamento das bandas espectrais destes sistemas sensores encontra-se ilustrado na Figura 2.1.

Com sua capacidade multiespectral, visão sinótica da superfície terrestre e repetitividade temporal, os dados gerados pelos sistemas orbitais representam ferramenta de grande importância não somente para o

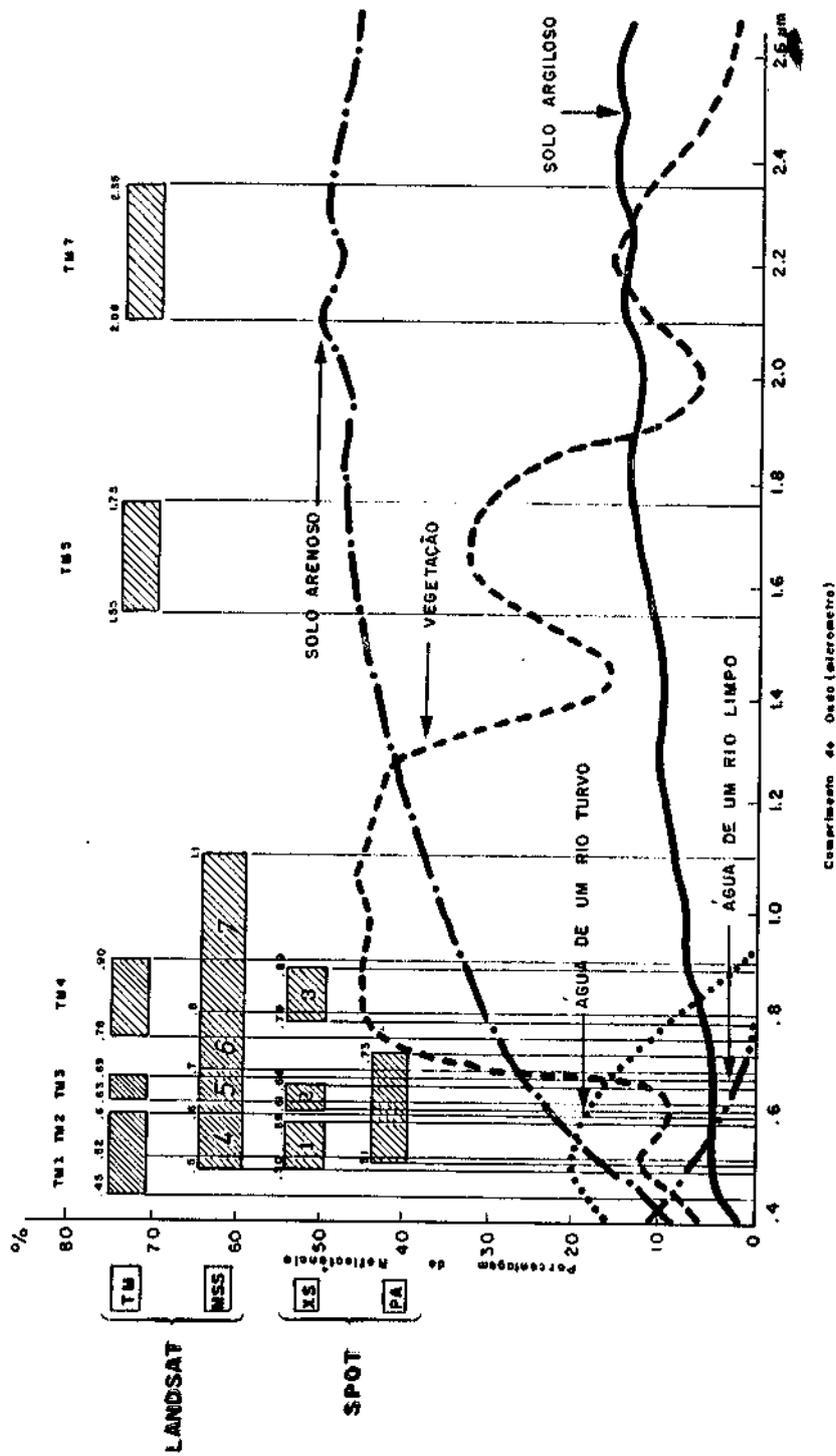


Fig. 2.1 - Disposição das bandas espectrais dos sistemas sensores do LANDSAT (MSS e TM) e do SPOT.

levantamento de alvos terrestres, mas também para o monitoramento de eventos que apresentam caráter dinâmico.

Neste contexto a ocupação antrópica de uma área, em termos do uso agrícola da terra, pode ser inventariada e acompanhada em suas diferentes fases de implantação. Especificamente, a agricultura irrigada constitui importante alvo a ser levantado e analisado pelas técnicas de sensoriamento remoto orbital, uma vez que envolve o aspecto ocupação da terra e utilização de recursos hídricos. Este tema se torna relevante na medida em que as técnicas de irrigação são utilizadas, em geral, nas áreas que apresentam déficit hídrico (baixo índice pluviométrico e distribuição irregular das chuvas), podendo provocar problemas como por exemplo conflitos gerados pela necessidade dos usos múltiplos da água.

De um modo geral dados de sensoriamento remoto têm sido utilizados para o levantamento de áreas irrigadas, preferencialmente em regiões de clima semi-árido. Neste aspecto pode-se exemplificar os trabalhos realizados por Draeger (1977), Hixson et alii (1978) e Bauer et alii (1984).

Nas regiões onde o déficit hídrico é acentuado, a perda de vigor de biomassa da vegetação circunvizinha favorece a discriminação das culturas irrigadas (Kolm e Lee Case III, 1984 e Bauer et alii, 1984).

Por outro lado, o conhecimento do calendário agrícola da área de estudo é de grande importância para a coleta de dados a partir de sensoriamento remoto, uma vez que o grau de separabilidade entre alvos irrigados e não irrigados depende também do estágio fenológico da cultura (Draeger, 1977; Bauer et alii, 1984; Kolm e Lee Case III, 1984; Novo et alii, 1985 e Pinto et alii, 1986).

A identificação das áreas irrigadas e a precisão de mapeamento podem ser afetadas de forma significativa pela dimensão das glebas cultivadas. Desta maneira pequenas parcelas agrícolas podem propiciar maior erro de avaliação entre áreas irrigadas e não irrigadas, em função da resolução espacial dos sistemas sensores em operação (Draeger, 1977; Pinto et alii, 1986).

Por sua vez a forma dos talhões irrigados e o sistema de irrigação utilizado interferem na discriminação das glebas irrigadas através das imagens orbitais. No caso, a forma influi através da posição que os pixels, que definem a gleba, ocupam nas linhas de imageamento (glebas estreitas dispostas ortogonalmente às linhas de varredura podem apresentar dificuldade de discriminação). Quanto ao sistema de irrigação utilizado, a influência na identificação das áreas refere-se à marca imposta na superfície do terreno, por exemplo círculos associados ao sistema pivô-central e retângulos para o auto-propelido (Valério Filho et alii, 1986). Outros elementos do meio físico também interferem de forma significativa na análise de dados de sensoriamento remoto orbital, como: relevo, tipo de solo e condições de drenagem (Draeger, 1977 e Novo et alii, 1985).

No Brasil, dados de sensoriamento remoto orbital têm sido utilizados para a identificação e mapeamento de áreas agrícolas irrigadas. Trabalho pioneiro e preliminar foi realizado por Epiphânio e Vitorello (1983), utilizando dados Landsat para identificação de áreas irrigadas na região de Guaira (norte do Estado de São Paulo).

Utilizando dados TM/Landsat, Novo et alii (1985), Pinto et alii (1985) e Pinto et alii (1986) desenvolveram trabalho de identificação e mapeamento de

áreas irrigadas na região de Itatiba-Bragança Paulista (setor centro-leste do Estado de São Paulo). Estes trabalhos, de interesse do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP), sugerem uma abordagem metodológica multiespectral-multitemporal para os dados TM/Landsat, como uma opção para contornar as características ambientais apresentadas pela área (relevo montanhoso, clima tropical sub-úmido, glebas agrícolas de pequena dimensão, presença de pastagens plantadas, reflorestamento, culturas perenes), que dificultavam a identificação de áreas irrigadas. Como um dos produtos finais o trabalho de Pinto et alii., 1986, apresentou um mapa de distribuição de áreas irrigadas, para o lapso de 6 meses, na escala de 1:50.000.

Ainda no Estado de São Paulo, Valério Filho et alii (1986), tomando como ponto de partida publicação de Epiphanyo e Vitorello (1983), desenvolveram trabalho na região de Guaira, a qual, em oposição à região de Itatiba Bragança Paulista (Pinto et alii, 1986), apresenta condições mais favoráveis para a discriminação e monitoramento de áreas irrigadas por imagens orbitais (relevo plano, clima tropical com estação seca definida, dominância de culturas anuais, utilização dominante de sistemas de irrigação dos tipos pivô-central e auto-propelido).

A utilização de técnicas de processamento digital dos dados Landsat, através dos sistemas analisadores de imagens multiespectrais, constitui uma opção na tentativa de melhorar o poder de discriminação de áreas irrigadas. Kolm e Lee Case III (1984) utilizaram, por exemplo, técnicas de fatiamento (density slicing) e imagens razão realçadas logaritmicamente. Valério Filho et alii.(1986) utilizaram dados TM, ampliados para a escala de 1:50.000, em composições coloridas multiespectrais submetidas a realçamento linear de contraste. Os produtos

obtidos por processamento digital do tipo realçamento, em geral, constituem material que propiciam grande poder de discriminação dos alvos imageados.

Um aspecto importante ser considerado nos trabalhos que apresentam como produto final um mapa, é a avaliação da precisão de mapeamento. De um modo geral, os autores têm considerado como 80% o valor limite para aceitabilidade de um produto de mapeamento por sensoriamento remoto orbital. Neste caso produtos apresentando precisões de mapeamento inferiores a 80% devem ser rejeitados (Kolm e Lee Case III, 1984, Valeriano, 1985; Pereira et alii, 1988).

Com base nas publicações aqui referenciadas pode-se observar que um trabalho de caracterização e monitoriamento de áreas irrigadas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto orbital, deve ser conduzido com abordagem metodológica própria dadas as características ambientais presentes na área de estudo. Pode-se considerar neste caso, também, a disponibilidade de tempo a ser dispendida na realização do trabalho (por exemplo necessidade do usuário em coletar informação em tempo hábil para adoção de medidas necessárias ao planejamento do uso racional da água para irrigação) e condições de custos do projeto (por exemplo restrições orçamentárias podem alterar a quantidade desejável de aquisição de dados de sensoriamento remoto orbital).

CAPÍTULO 3

ASPECTOS GERAIS

3.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área situa-se no nordeste brasileiro, nos municípios de Petrolina e Juazeiro, Estados de Pernambuco e Bahia, respectivamente, compreendida pelas seguintes coordenadas: 40°20' a. 40°50' de longitude oeste e 9° 10' de latitude sul (Figura 3.1).

Dentro dessa faixa foram selecionadas duas áreas testes, uma pertencente a um setor do Projeto Senador Nilo Coelho (Projeto Massangano) e outra ao longo do rio Salitre, entre a foz e a localidade denominada como Campo dos Cavalos (Baixo Salitre).

3.2 - GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A área do projeto Massangano é formada por um capeamento arenoso, possivelmente Pleistocênico. Este capeamento tem uma espessura variável e constitui o material de origem da maioria dos solos. Abaixo deste material encontram-se camadas de cascalhos e calhaus de quartzo, seguindo-se uma rocha indentificada como ortognaisse.

A área do Salitre é representada por condições litoestratigráficas fortemente influenciadas pela formação Caatinga do período Quaternário, onde se faz presente, em abundância, o calcário Caatinga.

Nas margens dos rios, há ocorrências de depósitos aluviais recentes, também do Período Quaternário.

Do ponto de vista geomorfológico as duas são representadas por uma vasta superfície pediplanada cercada

por elevações residuais e limitada pelos relevos tabulares e elevados da Chapada da Diamantina, ao sul.

3.3 - CLIMA

O clima é semi-árido, típico do Nordeste brasileiro, do tipo BS Wh, segundo Koeppen.

A temperatura média anual é de 25^o C, sendo 27^o C a média das máximas, que ocorrem nos meses de outubro e novembro; 23,1^o C a média das mínimas, no mês de junho.

O período chuvoso se estende de novembro a março, com chuvas irregulares; o período seco vai de abril a outubro, sendo outubro o mês que apresenta maior déficit de umidade; e o mês de menor déficit hídrico é março. O déficit anual de umidade é de 959 mm e a média anual de precipitação é de 396 mm.

3.4 - VEGETAÇÃO

A formação vegetal dominante na região é a caatinga hiperxerófila. Ao longo dos rios ocorre mata ciliar e campos de restinga.

A caatinga é constituída de árvores de porte médio e baixo, arbustos, sub-arbustos e espécies rasteiras, todas com alto grau xerofitismo.

A densidade, o porte e a ocorrência de certas espécies está diretamente relacionada com o fator solo. Assim a caatinga é mais densa e de maior porte onde os solos são mais profundos e mais argilosos; em solos rasos e de drenagem imperfeita, predomina a carqueja; a ocorrência de coroã, macambira e pinhão está relacionada com solo de textura arenosa e onde os solos são rasos e pedregosos, predomina a jurema preta.

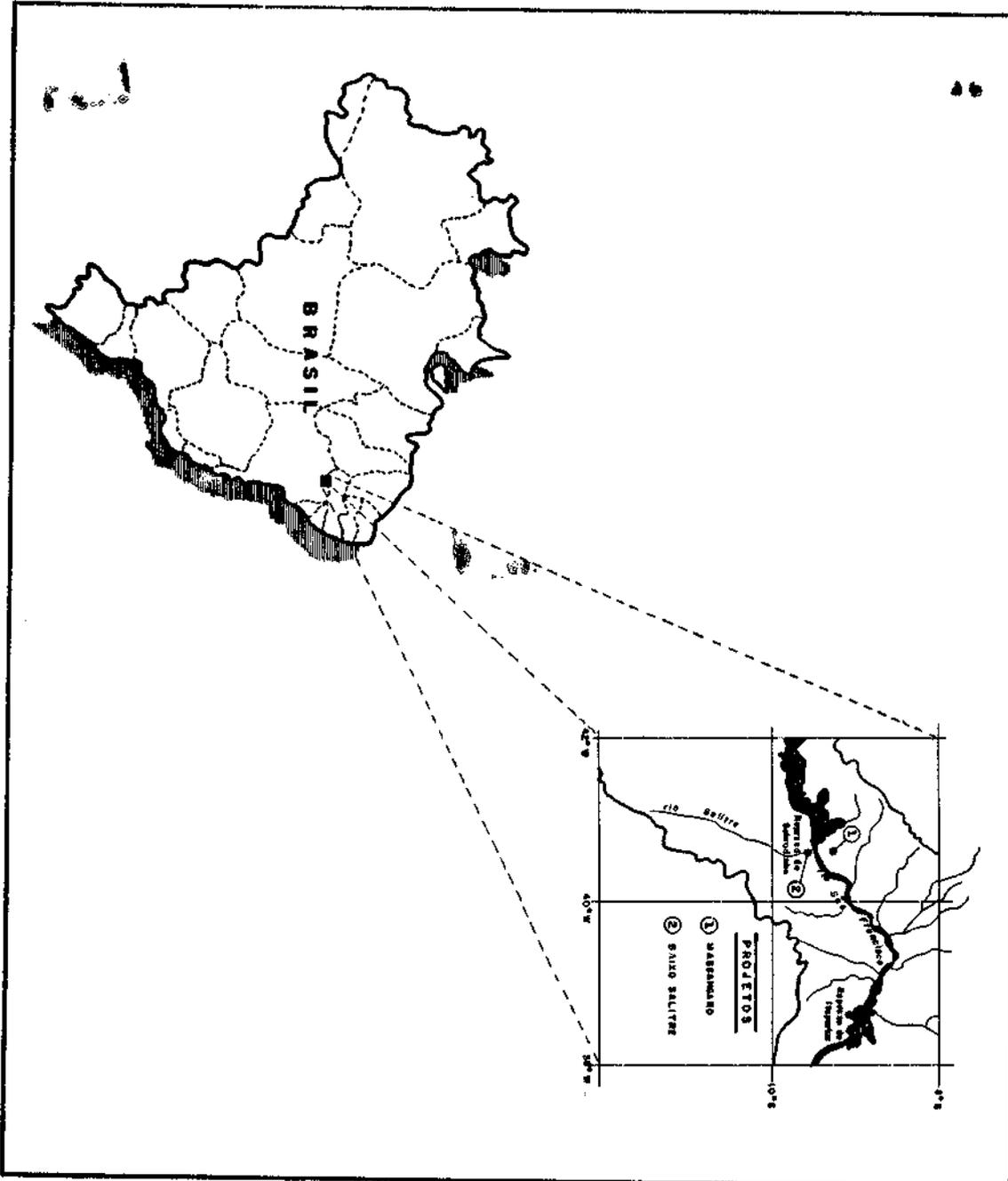


Fig. 3.1 - Esquema da localização da área de estudo.

A mata ciliar é uma formação vegetal secundária, com alta influência antrópica, constituída de árvores de grande porte e substrato rasteiro indiscriminado.

Os campos de várzea possuem vegetação arbustiva e graminóide indiscriminada e, a exemplo da mata ciliar, é muito influenciada pelo regime de umidade local.

3.5 - RELEVO

A área é constituída de baixas chapadas planas e suave-onduladas, inclinadas na direção dos drenos naturais, principalmente os rios São Francisco e Salitre, onde terminam em depósitos aluviais. A grandes espaços, ocorrem elevações residuais alterando abruptamente a monotomia da paisagem, relacionadas às rochas mais resistentes, constituindo os inselbergs, típicos de processos de pediplanação.

3.6 - USO ATUAL

Em termos gerais, a área de estudo apresenta-se muito modificada em relação às suas condições naturais, mesmo aquelas excluídas do processo de irrigação.

Todas as manchas potencialmente irrigáveis passam presentemente, por intensa ação antrópica, no que se refere às modificações introduzidas para melhor adaptá-las ao uso irrigado.

As principais culturas irrigadas são: tomate, melão, melância, uva e cebola.

As áreas não irrigáveis por limitação de solo, são utilizadas para o pastoreio extensivo, principalmente de caprinos.

3.7 - SOLOS

Na área do projeto Massagano, os solos dominantes são os Podzólicos Vermelho Amarelos, ocupando 70,4% da superfície. Seguem-se os Latossolos Vermelho Amarelos com 17,9%, associações de Podzólicos Vermelhos Amarelos, com 10% e Areias Quartzosas com 1,7%.

Na área do Salitre não existem estudos de caracterização de solos. Entretanto observa-se informalmente, a ocorrência de solos Brunos não Cálcidos, Podzólicos Vermelho Amarelos, Solos Aluviais e Vertissolos.

...

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram basicamente utilizados produtos do satélite Landsat-5, obtidos através do sistema imageador multiespectral Mapeador Temático (Thematic Mapper - TM), que opera em sete bandas, seis na porção refletida do espectro eletromagnético (com resolução espacial de 30 metros no terreno) e uma banda no infravermelho termal (banda 6, com resolução espacial de 120 metros). As faixas de operação destas bandas do TM encontram-se ilustradas na Tabela 4.1.

TABELA 4.1

BANDAS DO TM E RESPECTIVAS FAIXAS ESPECTRAIS

BANDA TM	FAIXA ESPECTRAL (μm)
Banda 1	0,45 - 0,52
Banda 2	0,52 - 0,60
Banda 3	0,63 - 0,69
Banda 4	0,76 - 0,90
Banda 5	1,55 - 1,75
Banda 6	10,40 - 12,50
Banda 7	2,08 - 2,35

Os dados TM foram utilizados na forma de CCT's e transparências positivas coloridas multiespectrais, na escala de 1:500.000. Estes dados referem-se à órbita 217/67-A (WRS), para as passagens Landsat de 26/07/87, 14/10/87 e 15/11/87.

Como suporte às imagens TM/Landsat foi utilizada base cartográfica gerada pela CODEVASF, na escala de 1:50.000, planimétrica, que abrange área do Projeto Massangano (Planta Geral do Projeto de Irrigação Sen-Nilo Coelho (Massangano) - CODEVASF - número F-00/2 - ENCO - TAHAL).

Para a análise dos dados TM em CCT's foram utilizados sistemas analisadores de imagens multiespectrais disponíveis, sistema IMAGE-100 (I-100) e o sistema SITIM/150. A análise das imagens em transparências positivas foi realizada através do sistema projetor-amplificador PROCOM-2, disponível no INPE.

CAPÍTULO 5

ABORDAGEM METODOLÓGICA

5.1 - TRATAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Os dados TM/Landsat, em fitas compatíveis com computador (CCT's), selecionados para este trabalho foram submetidos a procedimentos de análise digital através da utilização dos Sistemas Analisadores de Imagens Multiespectrais - Sistema Image-100 (I-100) e Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM/150.

As CCT's utilizadas referem-se às passagens de 26/07/87, 14/10/87 e 15/11/87, abrangendo lapso de tempo ainda significativo no contexto do calendário agrícola da área de estudo.

Os procedimentos de tratamento digital dos dados TM se inicializaram com apresentação da cena TM no "display" do sistema analisador de imagens e localização dos dois módulos de interesse: Massangano e Baixo Salitre.

Estes módulos foram ampliados para a escala aproximada de 1:50.000 para as bandas espectrais disponíveis TM 1, 2, 3, 4, 5, e 7 e analisados separadamente.

Após a ampliação foram analisados os histogramas de distribuição dos valores de níveis de cinza contidos na cena imageada. Com base naqueles histogramas as imagens foram submetidas ao procedimento de realçamento sendo utilizada a opção ampliação linear de contraste (contrast stretch).

As bandas TM realçadas foram utilizadas para obtenção de composições coloridas multiespectrais, na escala de 1:50.000, visualizadas no display do sistema

analisador de imagens, combinando-se três bandas associadas às cores azul, verde e vermelho. Os módulos de interesse da área do Projeto Massangano e do Baixo Salitre foram ampliados para a escala aproximada 1:25.000 no "display" do sistema analisador de imagens. Para esta ampliação de escala se fez necessário também a utilização do programa "Interpolação Bilinear" para melhorar a geometria dos alvos da cena devido a deformações provocadas pela reamostragem de pixels.

As composições coloridas nas escalas de 1:50.000 e de 1:25.000 foram fotografadas do display do sistema analisador e serviram de apoio para a interpretação visual das imagens em transparências positivas, bem como foram utilizadas nos trabalhos de verificação de campo.

5.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS Landsat

Esta etapa de trabalho foi definida a partir da análise preliminar dos produtos fotográficos gerados por processamento digital dos dados TM em CCT. Desta forma a análise interpretativa foi realizada através das imagens TM em transparências positivas com o suporte das ampliações fotográficas obtidas a partir do monitor do sistema analisador de imagens multiespectrais.

As composições coloridas em transparências positivas, TM 2 (azul), TM 3 (verde), TM 4 (vermelho), na escala de 1:500.000, foram ampliadas e ajustadas em base cartográfica na escala de 1:50.000, através do sistema projetor/amplificador PROCOM-2.

A partir do ajuste e registro das imagens ampliadas sobre a base cartográfica foi realizado o mapeamento de glebas agrícolas irrigadas referentes aos módulos de estudo (Projeto Massangano e Baixo Salitre),

para as passagens Landsat selecionadas (26/07/87; 14/10/87 e 15/11/87).

A análise interpretativa das composições coloridas seguiu critérios de fotointerpretação ajustados as características multiespectrais e multitemporais dos dados TM. De um modo geral levou-se em consideração a cor, que no caso das glebas irrigadas variavam de magenta a magenta claro para a composição TM 2 (azul), TM 3 (verde) e TM 4 (vermelho), as formas das glebas (geralmente geométricas e bem definidas) e as variações de aspecto das áreas irrigadas. Neste caso refere-se ao aspecto que cada gleba agrícola analisada assumia no contexto das passagens Landsat utilizadas, observando-se as condições de solo exposto (no caso podendo ser solo preparado ou situação de pós-colheita) e condições de culturas irrigadas já implantadas (assumindo vários matizes de magenta em decorrência de seu estadio fenológico ou mesmo de manejo).

A integração destes aspectos conduziram à interpretação e preparação dos "overlays" de distribuição de glebas agrícolas irrigadas.

Desta forma para cada passagem Landsat utilizada foi elaborado um mapa de glebas irrigadas, na escala de 1:50.000. Através da combinação das informações destes mapas parciais, foi preparado o mapa (escala 1:50.000) de distribuição de glebas agrícolas irrigadas para o período de abrangência das passagens Landsat selecionadas.

5.3 - TRABALHOS DE CAMPO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados quatro visitas ao campo para suporte e coleta de informações, conforme mostrado a seguir.

O primeiro trabalho de campo foi realizado no período de 18 a 22/maio/87, para conhecimento preliminar da área de interesse da CODEVASF, bem como para definir propriamente os módulos a serem estudados.

Na sequência das etapas do projeto foram realizados dois trabalhos de verificação de campo após a obtenção das imagens TM selecionadas, tendo como objetivo a visitas a pontos característicos da área de estudo, previamente identificados nas imagens TM ampliadas fotograficamente (1:50.000 e 1:25.000), para suporte e confirmação dos critérios de interpretação estabelecidos. Desta forma foram conduzidos trabalhos nos períodos de 24 a 28/agosto/87 e 12 a 17/novembro/87, respectivamente para suporte à análise das imagens TM de 26/07/87 e 14/10/87. Convém ressaltar que o terceiro trabalho de campo (12 a 17/novembro/87) serviu de apoio à seleção e análise da imagem TM referente à passagem Landsat de 15/11/87.

Finalmente uma última visita ao campo foi conduzida, no período de 16 a 20 de maio/88, com o objetivo de levantar dados, em áreas amostrais, para a verificação da precisão do mapeamento de glebas agrícolas irrigadas, no período analisado.

Nesta etapa de campo, com a grade de quadrículas amostrais devidamente ajustada às composições coloridas multiespectrais (em fotografias ampliadas para a escala aproximada de 1:25.000), procedeu-se a localização das quadrículas selecionadas e a verificação das situações em termos de uso da terra que se encontravam no lapso de tempo de análise das imagens TM utilizadas. Esta verificação se realizou através de informações colhidas junto aos proprietários/agricultores das glebas em questão. Para algumas quadrículas estas informações tiveram também o suporte de dados já coletados nos trabalhos de campo

anteriores, uma vez que coincidiram com pontos de observação então selecionados.

Todos estes trabalhos de campo foram conduzidos com a participação conjunta de pesquisadores do INPE e técnicos da CODEVASF, visando não somente a coleta de dados de interesse (dados de uso da terra e áreas irrigadas) como também o treinamento e transferência metodológica para aqueles técnicos da CODEVASF.

5.4 - PRODUTOS OBTIDOS

Com base na análise das fitas CCT's, das transparências multiespectrais positivas e das ampliações fotográficas do I-100, foram obtidas quatro cartas temáticas na escala de 1:50.000, contendo as áreas com agricultura irrigada.

Os três primeiros mapas contêm a identificação das áreas irrigadas correspondentes as passagens de 26/7, 14/10 e 15/11/87, registradas na base planimétrica das áreas testes na escala 1:50.000.

O quarto mapa contêm a integração das informações das três passagens interpretadas no período analisado de julho a novembro de 1987.

Outro produto a ser considerado é a abordagem metodológica e os critérios interpretativos que foram adotados para a obtenção do mapa final de distribuição das glebas agrícolas irrigadas. Esta abordagem deverá ser utilizada na identificação dos demais perímetros irrigados do submédio São Francisco em continuidade aos trabalhos da CODEVASF com a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto orbital. Como complementação do trabalho, os produtos obtidos servirão de base para o monitoramento geral da área, objetivo final do projeto.

5.5 - VERIFICAÇÃO DA PRECISÃO DE MAPEAMENTO

Na elaboração de um mapa temático podem ocorrer erros associados ao tipo de material-fonte utilizado e ao procedimento de coleta de dados.

Especificamente no caso deste trabalho os erros de mapeamento podem estar principalmente vinculados as imagens TM/Landsat, através de sua resolução espacial (30 metros no terreno), bem como aos critérios adotados e habilidade de extração de informação por parte do fotointérprete. Neste particular ainda associa-se a disponibilidades dos dados TM em épocas mais adequadas no contexto da dinâmica do tema em mapeamento.

A aquisição de imagens TM de qualidade aceitável sofre a interferência da cobertura de nuvens sobre a área de interesse, como foi observado na passagem de 26/07/87 sobre o perímetro do Projeto Massangano.

Considerando-se estes aspectos, foi conduzida uma etapa de verificação da precisão do mapeamento das áreas irrigadas, utilizando-se o procedimento apresentado a seguir.

Inicialmente procedeu-se à definição de uma grade de quadrículas amostrais, ajustada à escala de 1:25.000, com dimensão de 0,5 x 0,5 cm cada quadrícula, tendo-se em vista a área mínima mapeável que, para este trabalho foi estabelecida como sendo de 1,5 ha, dado que a dimensão das menores glebas agrícolas da área de estudo situam-se entre 1,0 a 2,0 ha. A Figura 5.1 exemplifica a grade aplicada sobre a área do Baixo Salitre.

Este procedimento foi conduzido utilizando-se três grades similares, um para o setor Baixo Salitre e duas

para o setor de estudo selecionado do Projeto Massangano. No caso da área do Projeto Massangano foram utilizadas duas grades devido a esse setor conter duas porções de concentração de glebas agrícolas irrigadas, bem como para agilizar a coleta de informações.

Definida a grade procedeu-se à seleção e identificação das quadriculas a serem amostradas, utilizando-se uma tabela de números aleatórios (Steel e Torrie, 1960) e posicionadas, através de "overlays", sobre as composições coloridas multiespectrais TM 7 (azul), TM 5 (verde), TM 4 (vermelho), na escala aproximada 1:25.000.

As quadriculas selecionadas foram submetidas à verificação de campo (16 a 19/maio/88), visando coletar informações sobre o tipo de ocupação que continham no período compreendido pelo mapeamento (julho a novembro/87).

As informações de campo, para cada quadricula amostrada foram confrontadas com aquelas contidas no mapa temático de áreas irrigadas obtido através dos dados TM. Este confronto foi conduzido utilizando-se procedimento estatístico sugerido por Ginevan (1979) e aplicado em outros trabalhos (Aronoff, 1982a e 1982b). No INPE, tem sido realizados trabalhos nos quais foi utilizado a proposição de Ginevan para a avaliação de precisão de mapeamento temático a partir das técnicas de sensoriamento remoto, podendo-se exemplificar as publicações de Valeriano (1985) e Pereira et alii (1988).

Na avaliação da precisão de mapeamento utiliza-se da pressuposição da teoria da decisão estatística que, aplicada especificamente a mapeamento, define dois tipos de erro: um de aceitar um produto de baixa qualidade e outro de rejeitar um produto de boa qualidade.

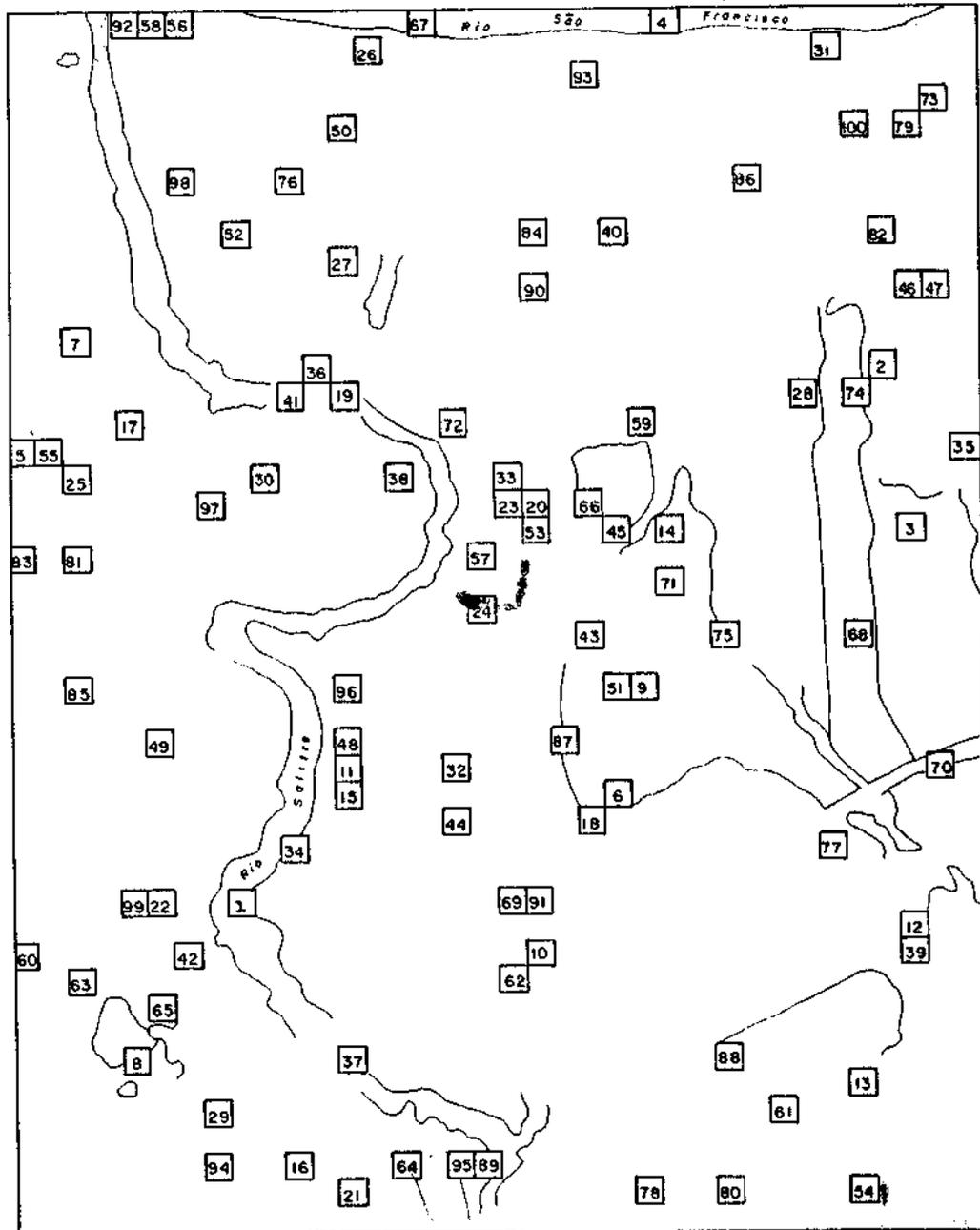


Fig. 5.1-Exemplo da grade de quadrículas amostradas aleatoriamente no Setor Baixo Salitre.

Na sugestão de avaliação de Ginevan é definido o número máximo aceitável de pontos classificados erroneamente, denominado de X_c (número crítico), levando-se em consideração o tamanho da amostra (n) e a precisão desejável do mapa (P).

O valor de X_c encontra-se tabelado (tabela 2), sendo que seu cálculo é efetuado satisfazendo:

$$\sum_{x=0}^{X_c} f(x, n, P_u) \leq \alpha$$

onde:

P_u - valor de precisão mínima (exigência do usuário)

α - 0,05

Conforme valor já utilizada em diversos trabalhos de mapeamento, o valor de P_u é definido em 0,85.

Neste contexto além de se obter o número máximo de erros permissível (X_c) pela Tabela 5.1, pode-se, através da formulação acima apresentada, calcular o valor de precisão que melhor se ajusta ao produto de mapeamento em função do valor de X_c encontrado.

Com base nesta proposição de avaliação de precisão do mapeamento, foi realizado o confronto entre os dados do mapa temático de áreas irrigadas (período de julho a novembro/87) e aqueles obtidos através da verificação amostral de campo.

TABELA 5.1

TABELA PARA AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE MAPEAMENTO
 VALORES ÓTIMOS DE n PARA $x_c \in [0,47]$ E PARA $\alpha = 0,05$ E $P_u = 0,85$ E
 CORRESPONDENTES VALORES DE β PARA $P_p = 0,90; 0,95$ E $0,99$

n	x_c	VALORES DE β PARA		
		$P_p = 0,90$	$P_p = 0,95$	$P_p = 0,99$
19	0	0,8649	0,6226	0,1738
30	1	0,8163	0,4465	0,0361
40	2	0,7772	0,3233	0,0075
50	3	0,7497	0,2396	0,0016
59	4	0,7152	0,1719	0,0003
68	5	0,6859	0,1242	0,0001
76	6	0,6467	0,0856	0,0000
85	7	0,6247	0,0624	0,0000
93	8	0,5919	0,0432	0,0000
102	9	0,5746	0,0318	0,0000
110	10	0,5464	0,0221	0,0000
118	11	0,5203	0,0153	0,0000
126	12	0,4959	0,0107	0,0000
134	13	0,4731	0,0074	0,0000
142	14	0,4513	0,0052	0,0000
150	15	0,4318	0,0036	0,0000
158	16	0,4130	0,0025	0,0000
166	17	0,3954	0,0018	0,0000
174	18	0,3787	0,0012	0,0000
182	19	0,3630	0,0009	0,0000
190	20	0,3481	0,0006	0,0000
197	21	0,3252	0,0004	0,0000
205	22	0,3122	0,0003	0,0000
213	23	0,2998	0,0002	0,0000
220	24	0,2802	0,0001	0,0000
228	25	0,2693	0,0001	0,0000
236	26	0,2589	0,0001	0,0000
243	27	0,2421	0,0000	0,0000
251	28	0,2329	0,0000	0,0000
259	29	0,2242	0,0000	0,0000
266	30	0,2097	0,0000	0,0000
274	31	0,2020	0,0000	0,0000
281	32	0,1890	0,0000	0,0000
289	33	0,1821	0,0000	0,0000
296	34	0,1704	0,0000	0,0000
304	35	0,1643	0,0000	0,0000
311	36	0,1537	0,0000	0,0000
319	37	0,1483	0,0000	0,0000
326	38	0,1388	0,0000	0,0000
334	39	0,1339	0,0000	0,0000
341	40	0,1253	0,0000	0,0000
349	41	0,1210	0,0000	0,0000
356	42	0,1133	0,0000	0,0000
364	43	0,1094	0,0000	0,0000
371	44	0,1024	0,0000	0,0000
379	45	0,0989	0,0000	0,0000
386	46	0,0926	0,0000	0,0000
393	47	0,0867	0,0000	0,0000

FONTE: Ginevan (1979), in: Valeriano, 1985.

β - Probabilidade de se rejeitar uma mapa com certa precisão.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DIGITAL DE IMAGENS TM

Os dados TM/Landsat, em CCTs, selecionados (passagens de 26.07.87, 14.10.87 e 15.11.87) foram submetidos a processamento digital através dos Sistemas Analisadores de Imagens Multiespectrais - IMAGE-100 e o SITIM/150.

Inicialmente as imagens para cada passagem foram ampliadas em seus módulos de interesse (setor do Projeto Massangano e Baixo Salitre), para a escala de 1:50.000 no "display" do sistema analisador e observados para cada banda espectral o aspecto em termos de contraste de cena promovido pelos níveis de cinza.

Como normalmente ocorre, as imagens nas bandas 1, 2 e 3, em ordem decrescente foram aquelas que apresentaram visualmente, menor contraste entre alvos devido à baixa resposta espectral que, em geral, os alvos apresentam especialmente nas faixas das bandas 1 e 2, além do fato daquelas bandas serem mais afetadas pelo efeito de interferência da atmosfera.

Neste sentido as 6 bandas TM utilizadas foram submetidas a procedimento de realçamento de imagens, tendo sido aplicada a opção realçamento linear de contraste.

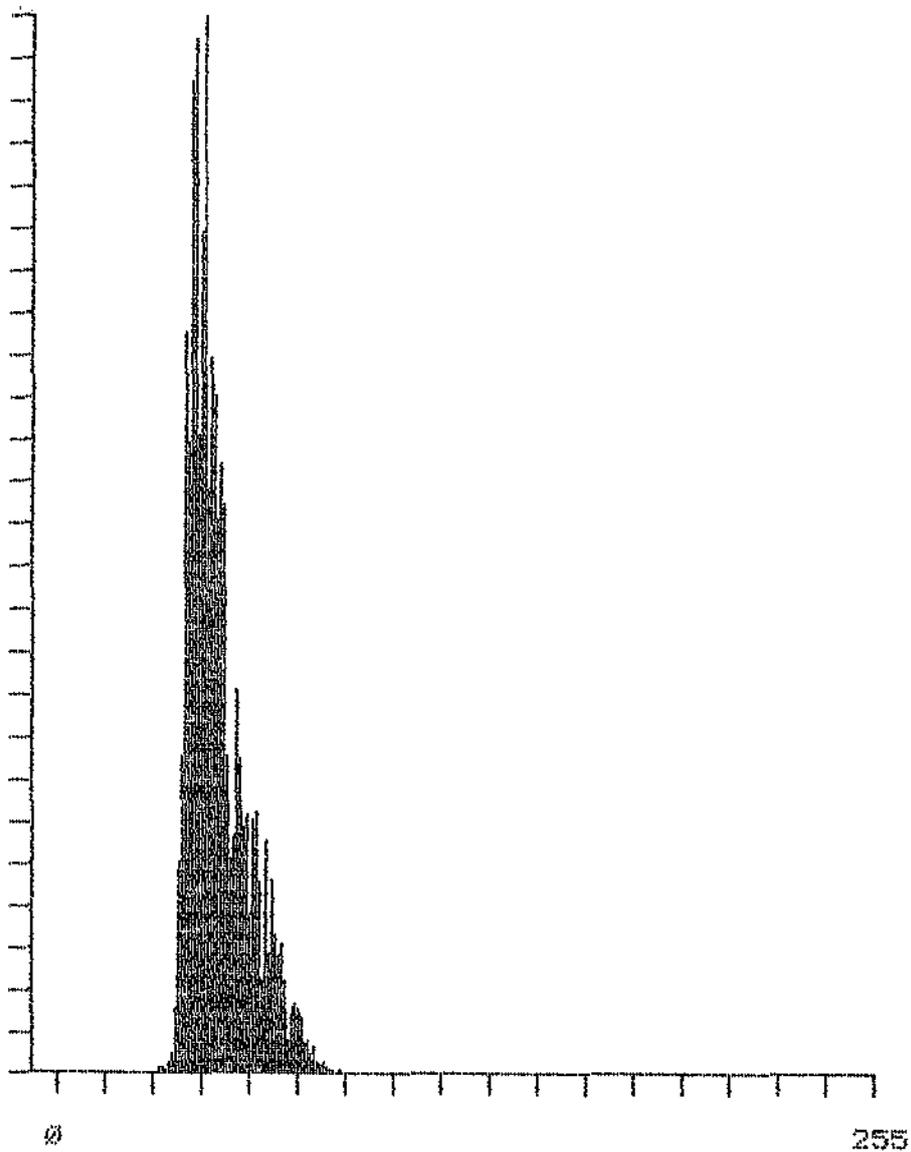
Conforme indicado pelo nome, esta técnica resulta na modificação do aspecto visual da imagem, em uma dada banda espectral, através da modificação da distribuição dos níveis de cinza. Esta avaliação é feita inicialmente através da apresentação do histograma de distribuição dos valores de níveis de cinza da imagem

original no monitor auxiliar do sistema analisador. Com base neste histograma é aplicado o programa de realçamento de imagem através da modificação dos limites superior e inferior do histograma. Desta forma é apresentado no monitor outro histograma com nova distribuição de níveis de cinza. Esta modificação sendo considerada satisfatória é aplicada na banda espectral em análise a qual é reapresentada no "display" com nova configuração através de maior contraste entre os alvos contidos na cena.

No caso das modificações impostas nos níveis de cinza das bandas espectrais, as Figuras 6.1 e 6.2 exemplificam os histogramas da banda TM2 original e realçada respectivamente. O que ocorreu foi uma melhor distribuição dos valores de níveis de cinza no intervalo de 255 valores possíveis. Com isto a imagem é visualmente modificada pelo maior contraste apresentado entre os alvos, conforme pode ser observado pelas Figuras 6.3 e 6.4, respectivamente imagem na banda 2 original e realçada por ampliação linear de contraste obtidas diretamente do "display" do sistema analisador de imagens multiespectrais, na escala 1:50.000.

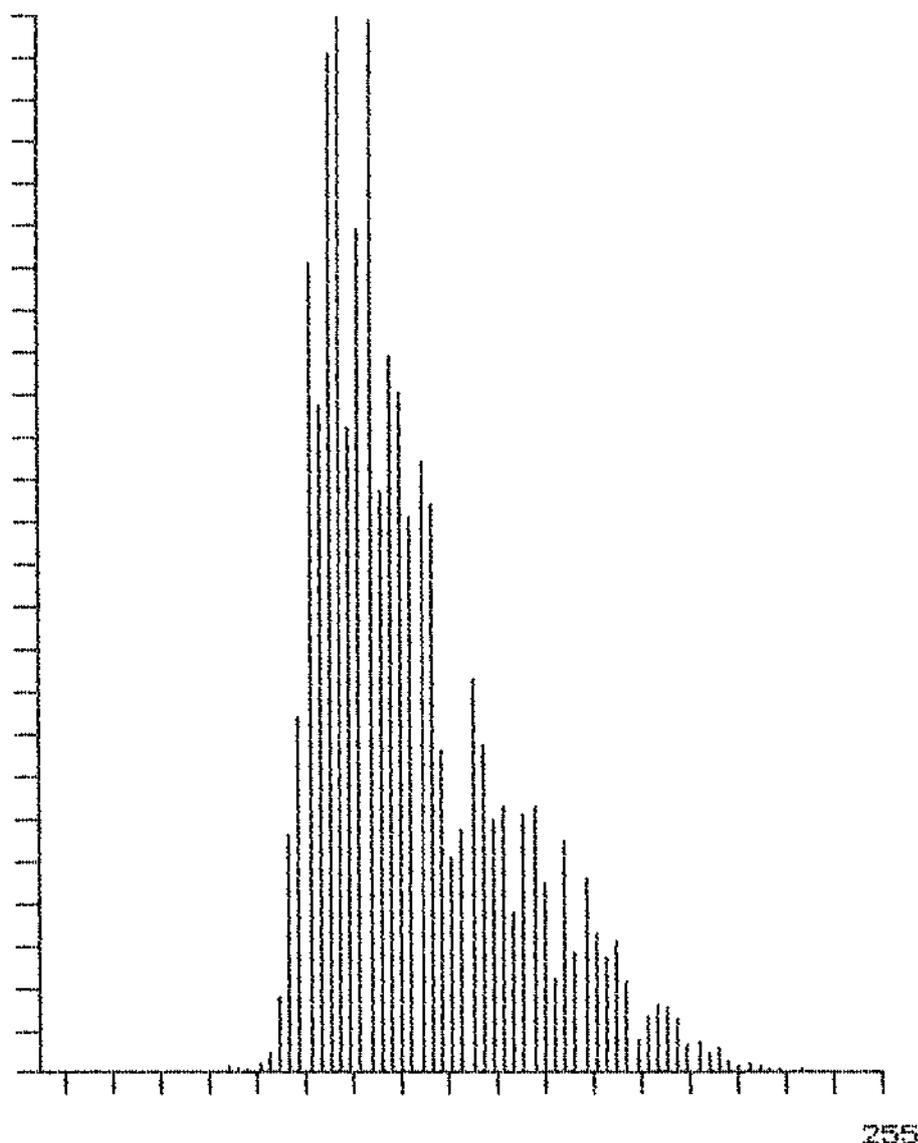
As bandas TM realçadas foram utilizadas para a obtenção de composições multiespectrais, tomando-se as bandas 3 a 3 e as associando às cores azul, verde e vermelho disponíveis no sistema analisador de imagens.

Através da análise visual das diferentes composições coloridas apresentadas no "display" do sistema analisador, verificou-se que a combinação de bandas TM e cores que apresentou melhor discriminação dos alvos agrícolas irrigados, nos módulos de estudo, refere-se à composição das bandas TM7 associada à cor azul, TM5 à cor verde e TM4 ao vermelho (TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho)).



CANAL = 4
NIVEL MINIMO DE CINZA = 5
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 111
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 16886.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 6.1-Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 2 original.



CANAL = 3
NIVEL MINIMO DE CINZA = 22
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 18332.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 6.2-Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 2 real_çada.

Fig. 6.3 - Aspecto da banda 2 original.

Fig. 6.4 - Aspecto da banda 2 realçada por ampliação linear de contraste.

Esta análise visual de composições multiespectrais diretamente no "display" do sistema analisador de imagens foi realizada tanto para as bandas originais como realçadas. Em todos os casos sempre as composições com bandas realçadas apresentaram melhor contraste entre os alvos de interesse. Como exemplificação as Figuras 6.5 e 6.6 mostram as composições TM 2(azul), 3(verde), 4(vermelho) e TM 7(azul), 5(verde) e 4(vermelho) respectivamente, em suas bandas originais. Por outro lado as Figuras 6.7 e 6.8 ilustram aquelas composições coloridas multiespectrais com suas bandas realçadas.

A combinação colorida multiespectral TM 7(azul), TM 5 (verde), TM 4(vermelho) foi também ampliada, no "display" do analisador de imagens, para a escala aproximada de 1:25.000, módulos do Projeto Massangano e Baixo Salitre, que serviram de apoio para os trabalhos de verificação de campo bem como também para a interpretação visual das composições coloridas (TM 2(azul), TM 3(verde), TM 4(vermelho)) em transparências positivas (utilizando o equipamento PROCOM-2).

De um modo geral observou-se, tanto através da visualização no "display" do sistema analisador de imagens como pelos produtos fotográficos obtidos a partir daquele sistema, que as composições coloridas TM 7(azul), TM 5(verde) TM 4(vermelho) apresentaram maior poder de discriminação das glebas irrigadas do que as demais combinações de bandas TM testadas. Por exemplo naquela combinação de bandas a maior parte das parcelas agrícolas irrigadas nas quais a vegetação apresentava vigor de biomassa, se associava à cor vermelho intenso e com contornos bem definidos em relação às áreas vizinhas que apresentavam maior contribuição espectral do solo (tom esbranquiçado) ou da vegetação mais seca da caatinga (dominância da cor verde muito escuro). Por sua vez na combinação TM 2(azul), TM 3(verde), TM 4(vermelho) as

Fig. 6.5-Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde) TM4 (vermelho) original.

Fig. 6.6-Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho) original.

Fig. 6.7- Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde), TM4 (vermelho) realçada por ampliação linear de contraste.

Fig. 6.8 - Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho) realçada por ampliação linear de contraste.

glebas com cultura irrigada se associaram à cor magenta claro a muito claro, que em vários casos deixavam de definir bem aquelas glebas quando nas circunvizinhanças ocorriam glebas com solo exposto (tom esbranquiçado).

6.2 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS ANALÓGICAS TM/LANDSAT

A interpretação das composições multiespectrais foi conduzida com base no comportamento espectral teórico que os alvos de interesse assumiam conforme as bandas TM utilizadas. Foram considerados os alvos dominantes na cena em estudo: culturas irrigadas, solo exposto e caatinga.

Em conformidade com as bandas TM utilizadas e associações de cores (TM 2 associada à cor azul, TM 3 ao verde e TM 4 à cor vermelha) e sob as condições reinantes de estresse hídrico e da cobertura pedológica dominante, aqueles diferentes alvos assumiam cores particulares e em geral contrastadas.

A interpretação visual foi praticamente baseada nas composições multiespectrais TM 2(azul), TM 3 (verde), TM 4(vermelho), com o apoio complementar de composições coloridas TM 7(azul), TM 5(verde), TM 4(vermelho) em ampliações fotográficas (1:50.000 e 1:25.000) obtidas diretamente do "display" do sistema analisador de imagens multiespectrais.

A cor apresentada pelas glebas irrigadas foi o principal elemento utilizado como critério para discriminação de áreas irrigadas de não irrigadas. No caso da composição colorida utilizada (TM 2, TM 3, TM 4) as cores dominantes foram magenta a magenta claro para as glebas irrigadas. Estas cores se associam às condições de vigor de biomassa das culturas, apresentando níveis de cinza mais escuros nas bandas TM 2 e TM 3 e níveis de cinza

mais claros na banda TM 4 (associada à cor vermelha) no caso de vegetação verde. A faixa espectral referente à banda TM 4 situa-se na porção do espectro em que a reflectância promovida pela biomassa verde é maior que nos outros setores do espectro, conforme pode ser observado no gráfico esquemático da Figura 2.1.

No caso da composição multiespectral utilizada, a cor magenta a magenta claro assumida em geral pelas glebas de cultivos irrigados, com maior vigor de biomassa, provavelmente deve-se à baixa participação da cor verde (associada à banda 3) e conseqüentemente participação das cores vermelha (associada à banda 4) e azul através da banda 2 (que apresenta níveis de cinza médios para as glebas irrigadas em decorrência da reflectância na faixa do visível correspondente ao verde, bem como também devido a algum efeito de interferência da atmosfera). Neste particular a combinação da cor vermelha (TM 4) e o azul (TM 2), em diferentes intensidades, provoca a obtenção de matizes de magenta.

Também deve-se ressaltar que as variações de magenta nas glebas irrigadas podem estar associadas também ao estágio fenológico das culturas na data de aquisição da cena Landsat selecionada. As glebas apresentando culturas irrigadas em seu estágio inicial de crescimento ou na fase final de senescência apresentam coloração magenta esbranquiçada devido à participação espectral da cobertura pedológica.

Desta forma, para a discriminação de glebas irrigadas contou-se com o apoio das informações contidas nas composições coloridas multiespectrais TM 7(azul), TM 5(verde), TM 4(vermelho). Estas composições obtidas pela associação de bandas TM situadas na porção do infravermelho refletido do espectro (TM 4 - 0,76 a 0,90 μm ; TM 5 - 1,55 a 1,75 μm ; TM 7 - 2,08 a 2,35 μm) praticamente não apresentam

efeito visual da interferência da atmosfera e, pelo que foi observado, respondem diferencialmente aos alvos irrigados e não irrigados nas condições de estresse hídrico acentuado apresentado pela área de estudo. As culturas irrigadas com alto vigor de biomassa, se apresentam com níveis de cinza claro na banda TM 4, nível de cinza médio a escuro na banda TM 5 e nível de cinza escuro na banda TM 7. Em consequência nesta combinação de bandas a vegetação verde se associa à cor vermelha, no caso as glebas com culturas irrigadas. Os diferentes matizes de vermelho se associam às variações de estágio fenológico das culturas. Como a cor vermelha permite melhor discriminação entre os alvos a ela associados, as glebas irrigadas, nesta composição colorida, ficam melhor definidas do que na composição TM 2(azul), TM 3(verde), TM 4(vermelho).

Além da característica multiespectral proporcionada pelas imagens TM, outro critério utilizado para a identificação e mapeamento das glebas agrícolas irrigadas foi o aspecto multitemporal proporcionado pela repetitividade das passagens Landsat, uma vez que as atividades agrícolas constituem evento dinâmico a curto e médio prazo.

Desta forma glebas agrícolas irrigadas foram caracterizadas e mapeadas a partir das variações de comportamento espectral registradas nas imagens TM selecionadas e analisadas (26.07.87, 14.10.87, 15.11.87). Através da abordagem multiespectral e multitemporal utilizada (Pinto et alii, 1986) foi possível, com grande grau de segurança (ao nível mínimo de 85% de acerto) separar, por exemplo, áreas irrigadas e vegetação arbórea/arbustiva ciliar às margens do rio Salitre e São Francisco.

Para mostrar como foi conduzida a observação para caracterização das glebas agrícolas irrigadas serão

apresentadas três quadriculas, com situações diferentes do módulo do Baixo Salitre, que fizeram parte do elenco de amostragem para verificação da precisão do mapeamento. Nesta exemplificação fica fortemente evidenciada a característica temporal das imagens TM, aplicada para o mapeamento das áreas irrigadas no presente trabalho, como segue:

- quadricula 33:

- . passagem 26.07.87 - cor dominante magenta - indicativo de situação de cultura irrigada apresentando alto vigor de biomassa.
- . passagem 14.10.87 - cor dominante magenta muito claro - indicando condição de biomassa com baixo vigor e participação de resposta espectral do solo.
- . passagem 15.11.87 - tom esbranquiçado - forte contribuição de resposta do solo, provavelmente situação de solo exposto.

- quadricula 57:

- . passagem 26.07.87 - dominância da cor cian escuro - esta situação é indicativa de solo exposto, provavelmente apresentando condição de umidade superficial.
- . passagem 14.10.87 - gleba apresenta cor magenta, significando cobertura vegetal com vigor de biomassa promovida pela irrigação.
- . passagem 15.11.87 - dominância da cor magenta claro - situação de biomassa com baixo vigor, indicativo de final de ciclo da cultura.

- quadricula 59:

- . passagem 26.07.87 - gleba com coloração cian esverdeada, indicativo de provável situação de pousio, com a participação combinada de resposta

espectral do solo e de vegetação com biomassa seca predominante.

- . passagem 14.10.87 - cor cian claro decorrente de resposta de solo exposto, indicando gleba com solo preparado.
- . passagem 15.11.87 - cor magenta, significando presença de cobertura vegetal com vigor de biomassa, neste caso gleba com cultivo irrigado.

A exemplificação didática de análise para as três imagens TM referindo-se à quadriculas amostrais do setor Baixo Salitre, deve-se ao fato de uma parte da área do setor do Projeto Massangano, selecionada para este trabalho, estar sob condição de cobertura de nuvens na passagem Landsat de 26.07.87, cuja análise temporal foi basicamente conduzida através dos dados TM adquiridos em outubro e novembro de 1987.

As quadriculas amostrais acima ilustradas mostram a grande potencialidade da abordagem multitemporal / multiespectral para acompanhamento de eventos dinâmicos, conforme já demonstrado por Pinto et alii (1986).

No contexto desta abordagem metodológica foram preparados mapas temáticos, escala 1:50.000, de glebas agrícolas irrigadas abrangendo área selecionada do Projeto Massangano e do Baixo Salitre, para cada passagem Landsat utilizada. Desta forma foram obtidos mapas referentes às situações das passagens de 26.07.87, 14.10.87 e 15.11.87. Através da superposição destes mapas parciais foi obtido um mapa final, escala 1:50.000, de distribuição de glebas agrícolas irrigadas compreendendo o período de abrangência das imagens TM analisadas. O referido mapa encontra-se ilustrado no Apêndice A.

O mapa final de distribuição de glebas agrícolas irrigadas foi submetido à avaliação da precisão

de mapeamento. Esta avaliação foi conduzida com base na proposição de Ginevan (1979) e já utilizada por Aronoff (1982a, 1982b), Valeriano (1985) e Pereira et alii (1988)

A partir dos dados de amostragem de campo foi avaliada a precisão do mapeamento com base nas informações de campo por quadrícula amostrada. Através desta análise comparativa foi elaborada uma tabela contendo o status de acerto ou erro (inclusão e omissão) em termos de glebas agrícolas irrigadas. Esta tabela está subdividida em três segmentos a saber: Setor Massangano - quadrante 1 e quadrante 2 e Setor Baixo Salitre. Esta subdivisão foi efetuada apenas para fins práticos de acessibilidade às áreas a serem verificadas e disponibilidade de tempo para realização do trabalho de campo. Os resultados encontram-se ilustrados na Tabela 6.1.

Para este trabalho foram amostradas quadrículas para o Setor Massangano num total de 72 (36 para cada quadrante) e 100 quadrículas para o Setor Baixo Salitre, perfazendo um total de 172 quadrículas. Desta forma utilizando-se a tabela sugerida por Ginevan (1979), tabela 2, entra-se na coluna n (número de pontos amostrados) que para este caso associa-se o valor 166. Para este valor de n tem-se xc (número crítico de erros aceitáveis) igual a 17, que se associa ao valor de 0,3954 para $P_p = 0,90$ (probabilidade de se rejeitar um mapa 90% correto).

Com base na proposição estatística de Ginevan (1979) o mapa de distribuição de áreas irrigadas obtido neste trabalho (APÊNCIDE A) é considerado bom, superando o valor de aceitabilidade inicial de 0,85 uma vez que o número total de erros foi 6 (04 erros de omissão e 02 erros de inclusão). Como o número crítico de erros da tabela de Ginevan era de 17 para número de amostras igual a 166 a probabilidade de aceitação do mapeamento foi recalculada dado

que o valor de x_c foi 6. Neste caso utiliza-se a seguinte formulação:

onde:
$$\sum_{x=0}^{x_c} n C_x Q^x P^{n-x} \leq 0,05$$

$Q =$ igual a $1-P$

$P =$ exatidão do mapa

Esta avaliação é feita assumindo, inicialmente, um novo valor de P (por exemplo: 0,90) que é inserido na formulação. Procedese então o cálculo fazendo-se variar o valor de x_c de 0 a 6 e associando n igual a 172. Desta forma obtêm-se o primeiro termo da formulação para cada valor de x_c , para um dado valor de P , e soma-se os valores obtidos verificando se a condição da desigualdade é satisfeita. Em caso positivo procede-se a novos cálculos incrementando o valor de P até encontrar o valor do somatório do primeiro termo da formulação maior que 0,05. Assume-se então como a precisão de mapeamento o último valor de P utilizado que satisfaça a desigualdade.

Para o presente trabalho encontrou-se, através deste cálculo, precisão de 93% para o mapa final de distribuição de glebas agrícolas irrigadas, ao nível de significância de 0,05.

Com referência aos erros obtidos neste mapeamento, estes ocorreram especificamente no Setor Baixo Salitre, principalmente em decorrência da presença, em alguns casos, de vegetação ciliar apresentando bom vigor de biomassa mesmo nas condições de estresse hídrico acentuado que se verificou naquele período de estudo (julho a novembro/87).

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Com base nas características da área estudada, materiais utilizados e resultados obtidos neste trabalho, pode-se considerar que as imagens TM constituem importante fonte de dados para a identificação, monitoramento e mapeamento de glebas agrícolas irrigadas. Neste contexto a disponibilidade e utilização de dados multiespectrais associado à característica multitemporal do sistema Landsat, contemplou o acompanhamento evolutivo da cobertura vegetal em glebas agrícolas, identificando-as como áreas submetidas à irrigação, dada às condições presentes de estresse hídrico acentuado.

A partir dos dados TM disponíveis em CCTs foi possível combinar diferentes bandas, obtendo-se composições coloridas multiespectrais melhoradas através da utilização de algoritmos de realçamento de imagens. Destas composições observou-se que a combinação TM 7(azul), TM 5(verde), TM 4(vermelho) foi a que se mostrou mais informativa dadas as condições da área de estudo. Esta composição serviu de suporte para a análise interpretativa e mapeamento das áreas irrigadas através das composições coloridas (TM 2(azul), TM 3(verde), TM 4(vermelho)), em transparências positivas.

Através da análise dos dados TM e suporte de campo foi possível obter mapa de distribuição de glebas agrícolas irrigadas, na escala 1:50.000, para o período de disponibilidade de imagens Landsat. O mapa obtido foi submetido à análise de precisão apresentando valor de aceitabilidade de 93%, indicando que o produto é confiável.

A experiência deste trabalho revela que o acompanhamento no lapso de tempo de cinco meses e

disponibilidade de dados TM em pelo menos duas passagens Landsat ofereceu informações para o mapeamento de glebas agrícolas irrigadas, a nível aceitável, no contexto da área de estudo.

Entretanto, as condições ambientais e de intervenção antrópica apresentadas pela área de estudo definem algumas limitações quanto à utilização das imagens TM/Landsat.

Uma limitação a ser indicada é quanto à disponibilidade de dados Landsat em decorrência das condições de cobertura de nuvens apresentadas pela região em que se insere a área de estudo selecionada. Esta limitação condicionou a seleção e aquisição de imagens TM, sendo que para este trabalho foi apenas possível utilizar dados parciais de 26.07.87 (cobertura de nuvens sobre a área do Projeto Massangano) e imagens das passagens de 14.10.87 e 15.11.87 (datas muito próximas e de final de ciclo de cultivo irrigado naquela região).

No que se refere à limitação associada à intervenção antrópica salienta-se o fato da não observância de um calendário agrícola bem definido, fato que conduz, por exemplo, ao plantio em diferentes épocas, dificultando desta forma a seleção de período de aquisição de imagens TM que possam conter a maior quantidade de informação referente presença de glebas agrícolas irrigadas.

Esta flexibilidade do calendário agrícola regional não permite estreitar o período de seleção e aquisição de dados TM.

Entretanto, no contexto da distribuição temporal das culturas irrigadas, nesta área, seria desejável a seleção e aquisição de dados TM no intervalo compreendido entre os meses de junho e outubro, contidos em

três passagens Landsat (ou em pelo menos duas), o que abrangeria a maior quantidade de culturas agrícolas irrigadas implantadas.

Deve-se ainda mencionar o fato de que, nesta área, predomina a exploração agrícola associada ao micro-parcelamento (especialmente na área do Projeto Massangano) que reduz o nível de identificação dos alvos de interesse, principalmente quando as dimensões das glebas estão próximas ao limite de resolução espacial do sistema sensor TM (30 x 30m no terreno). Outro elemento que, em parte, se associa ao micro-parcelamento são os sistemas de irrigação utilizados, com predominância da irrigação por aspersão (semi-fixo) na área do Projeto Massangano e por sulcos no setor do Baixo Salitre. Estes sistemas, em geral, não imprimem na superfície do terreno marcas de formas geométricas definidas como aquelas promovidas pelos sistemas pivô-central e auto-propelido (respectivamente círculos e retângulo), que favorecem a identificação de glebas agrícolas irrigadas.

Quanto às limitações impostas pela dimensão dos alvos a serem imageados, deve-se ressaltar que novos sistemas sensores, a nível orbital, estão sendo projetados com melhor resolução espacial, minimizando, em parte, este problema. Neste caso adiciona-se aqui a disponibilidade atual do dados fornecidos pelo satélite francês SPOT (com resolução espacial de 20 metros para o módulo multiespectral e de 10 metros para o pancromático), que vêm sendo rastreados, recebidos e processados pelo INPE, a partir de abril de 1988. Para a década de 90 sistemas sensores orbitais atuando na faixa do espectro eletromagnético correspondente às micro-ondas também estarão em operação, podendo, minimizar o efeito de interferência da cobertura de nuvens.

Apesar das limitações de contexto local, as imagens TM/Landsat fornecem dados que permitem dar subsídios ao monitoramento e planejamento das áreas agrícolas irrigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONOFF, S. Classification accuracy: a user approach. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(8):1299-1307, 1982a.
- _____. The map accuracy report: a user view. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(8):1309-1312, 1982b.
- BAUER, E.H.; BAGGETT, J.D.; WALL, S.L.; THOMAS, R.W.; BROWN, C.E. Results of an irrigated lands assessment for water management in California. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 22(6):536-539, 1984.
- DRAEGER, W.C. Monitoring land acreage using Landsat imagery: an application example. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11, Ann Arbor, MI, 1977. Proceedings. Ann Arbor, MI, University of Michigan. V.1, p.515-524.
- EPIPHANIO, J.C.N.; VITORELLO, I. Áreas irrigadas: monitoramento por sensoriamento. Irrigação e Tecnologia Moderna (ITEM), 14:p.2-6, 1983.
- GINEVAN, M.E. Testing land-use map accuracy: another look. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45(10):1371-1377, 1979.
- HIXSON, M.N.; BAUER, M.E., BIEHL, L.L. Crop spectra from LACIE field measurements. Purdue University, 1978, 195p. (West Lafayette, IN, LARS report 011578).
- KOLM, K.E.; LEE CASE III, H. The identification of irrigated types and estimation of acreages from Landsat imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50(10):1479-1490, 1984.

- NOVO, E.M.L.M.; PINTO, S.A.F.; PALME, U.W.; ROSA, R. Relatório preliminar do Projeto Cadastramento de Áreas Irrigadas no Estado de São Paulo, através de Dados de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, março 1985. (INPE-3437-RPE/473).
- PEREIRA, M.N.; NOVO, E.M.L.N.; KURKDJIAN, M.L.N.O.; D'ALGE, J.C.L.; FLORENZANO, T.G. Atualização do uso da terra no município de São José dos Campos, através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, março 1988. (INPE-4479-RPE/562).
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.N.; VALÉRIO FILHO, M.; CHEN, S.C.; ROSA R. Relatório de atividades do projeto Cadastramento de Áreas Irrigadas no Estado de São Paulo, através de dados de Sensoriamento Remoto - FASE II. São José dos Campos, INPE, julho 1986. (INPE-3950-RPE/513).
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.N.; CHEN, S.C.; VALÉRIO FILHO, M.; ROSA, R.; MENDES, V.M.; FEITOSA, L.C. Relatório do projeto Cadastramento de Áreas Irrigadas no Estado de São Paulo através de dados de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, maio 1985. (INPE-3543-RTR/077).
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences. New York, McGraw-Hill, 1960.
- VALERIANO, D.M. Processamento digital de dados do MSS/Landsat aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do Rio Tubarão (SC): Metodologia e estimativa de exatidão de classificação. São José dos Campos, INPE, março 1985. (INPE-3455 -TDL/188).

VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; Identificação de áreas irrigadas através de imagens digitais TM/Landsat. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 7., Brasília, 21-26, Set. 1986. Anais. Brasília, ABID, 1986, V.3, p. 991-1002.

APÊNDICE A

CARTA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS
PERÍODO DE JULHO A NOVEMBRO DE 1987

