

MFN= 006910

01 SID/SCD

02 7894

03 INPE-7894-PRP/222

04 SRE

05 MP

06 m

16 Valeriano, Dalton de Marrison

16 Carvalho, Vitor Celso de

16 Lee, David C.L

18 Analise da aplicacao de dados TM-Landsat ao mapeamento de classes estruturais de caatinga

20 50

38 Projeto de Pesquisa INPE/EMBRAPA 027-86-006/3

40 Pt

41 Pt

42 <E>

58 DSR

62 INPE

64 out. <1988>

66 Sao Jose dos Campos

67 BR

68 PRP

76 VEGETACAO

82 <PARNAMIRIM (PE)><OURICURI (PE)>

83 As relacoes entre dados TM_LANDSAT e classes de vegetacao de Caatinga definitivas por criterios estruturais sao investigadas em funcao de suas propriedades multiespectrais e multitemporais. A area estudada se situa no sertao pernambucano entre as cidades de Parnamirim e Ouricuri, da qual foram obtidos dados TM-LANDSAT referentes as datas de 22/11/84 e 24/10/85. Ambas se situam no periodo seco porem foram precedidas de condicoes climaticas bastantes distintas. A analise dos dados e feita atraves da avaliacao do desemprego de classicadores supervisionadores desenvolvido com base em mapeamento da vegetacao da area de estudo feito previamente. Tambem se analisou as relacoes entre classes espectrais definidas atraves de classificadores nao supervisionados e as classes de vegetacao. A analise dos classificadores supervisionados revela que a maioria das classes de vegetacao definidas no mapa de verdade terrestre apresenta grande semelhanca espectral entre si dificultando a sua classificacao. Os canais do TM-LANDSAT em que as classes de vegetacao sao melhor distribuidas sao os TM-3, TM-4, TM-5 E TM-7. Este resultado independe a data estudada, sendo que condicoes secas diminuem a dispersao relativa entre as classes enquanto que a disponibilidade de agua apos periodo seco aumenta esta dispersao entre as medias das classes porem acompanhada de maior variabilidade dentro das classes. A analise dos classificadores nao-supervisionados indica que a caatinga apresenta dois padroes de comportamento espectral nos canais TM-LANDSAT estudados. Em funcao da complexidade de sua estrutura, a assinatura espectral da Caatinga quando desprovida de folhas se alinha ao longo de um eixo que parte da origem do espaco de atributos em direcao as assinaturas de maior brilho. Quanto mais complexa estrutura da cobertura vegetal mais proximo da origem se localiza a sua assinatura espectral. O desenvolvimento da biomassa foliar provoca o deslocamento da assinatura espectral para a origem no plano TM-5XTM-7 e para fora do eixo de alinhamento no plano TM-3XTM4. Estes resultados sugerem ser possivel a identificacao de algumas classes

da Caatinga através de dados TM-LANDSAT porém estas devem estar definidas em função de suas características nos dados de sensoriamento remoto. Também concluiu-se que, dentro de uma abordagem multitemporal, é bastante promissora a possibilidade de se monitorar a produtividade primária da Caatinga a partir de sensores orbitais.

87 CAATINGA

87 MAPEADOR TEMÁTICO (LANDSAT)

87 IMAGENS LANDSAT

87 MONITORAMENTO

87 PRODUTIVIDADE

90 b

91 FDB-19950717

92 FDB-MLR



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

SISTEMA FORM PÁGINA
C, D, I 1, 2 01 / 01

PROJETO DE PESQUISA

FORM. 12 - RESUMO DO RELATÓRIO

CODIGO DO PROJETO 027860063
RESERVAS DE DEP. 011

1 - TÍTULO DO PROJETO, SITUAÇÃO DO PROJETO E PERÍODO COBERTO PELO RELATÓRIO

1.1 - TÍTULO DO PROJETO

AVALIAÇÃO DOS DADOS TM/LANDSAT E HRV-M/SPOT PARA O LEVANTAMENTO DOS RECURSOS VEGETAIS DO TSA. CASO DE ESTUDO: QUIXABA-PE

1.2 - SITUAÇÃO DO PROJETO (Preencher com o número respectivo)

3

1 - EM EXECUÇÃO

2 - CANCELADO

3 - CONCLUÍDO

1.3 - PERÍODO COBERTO PELO RELATÓRIO

DE 03/87 A 07/88

2 - RESUMO DO RELATÓRIO (Seguir as normas de redação técnica) (Máximo de 69 caracteres por linha)

Verificou-se a possibilidade de se discriminar classes de vegetação do Trópico Semi-Árido através de dados TM-LANDSAT. A área de estudo e as classes de vegetação utilizadas foram as definidas no projeto KTINGA (027/82/0208). O estudo foi realizado através da análise de classificações supervisionadas e não-supervisionadas. Os dados TM foram coletados no período de seca, nov. 1984 e out. 1985. A passagem de 1984 foi precedida por precipitação. A classificação supervisionada foi feita utilizando um algoritmo de classificação por máxima verossimilhança aplicado aos dados TM-3, TM-4, TM-5 e TM-7 de cada passagem. O resultado indicou que as 15 classes de Caatinga apresentam alto grau de confusão entre si, impossibilitando a sua discriminação nos dados TM-LANDSAT. A classificação não-supervisionada foi feita com um algoritmo de "clustering" aplicado aos pares de canal TM-3, TM-4 e TM-5, TM-7 de cada passagem. O resultado evidenciou a possibilidade de se determinar a estrutura de biomassa da Caatinga e sua dinâmica através de dados orbitais.

3 - RESULTADOS SEM USO DIRETO PELOS PRODUTORES, MAS DE INTERESSE DA PESQUISA (Máximo de 69 caracteres por linha)

- Demonstração de que os dados do TM-LANDSAT não permitem discriminação detalhada de classes de Caatinga.
- Evidências de que os dados TM-LANDSAT do período de seca têm relação com a estrutura de biomassa lenhosa da Caatinga.
- Evidências de que os dados TM-LANDSAT são sensíveis à maior produtividade primária da Caatinga em função da disponibilidade de água.

4 - RESULTADOS DE USO DIRETO PELOS PRODUTORES (Máximo de 69 caracteres por linha)

Não há

5 - INDICAÇÃO DE ALTERAÇÕES NA FORMULAÇÃO DO PROJETO (Máximo de 69 caracteres por linha)

- Foi abandonada a análise dos dados SPOT, prevista na proposta do projeto, devido a indisponibilidade destes dados.
- Restringiu-se a análise dos dados TM-LANDSAT à verificação de seus canais originais de cada data em estudo devido a problemas técnicos com o analisador de imagens utilizado que causou um retardo no cronograma.

6 - PUBLICAÇÕES (Citar de acordo com as normas da ABNT) (Máximo de 69 caracteres por linha)

Não há.

7 - TOTAL DE PUBLICAÇÕES, TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS E SITUAÇÃO DOS EXPERIMENTOS/AÇÕES DE PESQUISA

7.1 - TOTAL DE PUBLICAÇÕES

26 28

7.2 - TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS

TOTAL DE TECNOLOGIAS GERADAS

26 27

TOTAL DE TECNOLOGIAS CADASTRADAS NO FORM. 20

28 29

TOTAL DE TECNOLOGIAS PUBLICADAS NO "SINTESE"

30 31

7.3 - SITUAÇÃO DOS EXPERIMENTOS/AÇÕES DE PESQUISA

1 - PREVISTOS

32 33

2 - EM EXECUÇÃO

34 35

3 - NÃO INICIADOS

36 37

4 - ADIADOS

41 43

5 - PARALISADOS

44 46

6 - CANCELADOS

47 48

7 - CONCLUÍDOS

50 58

8 - INCLUÍDOS

51 58

8 - ORÇAMENTO E CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO (EM Cr\$ 1000,00)

ANO 1 1,9

	PESSOAL	OUTROS CUSTEIADOS	OUTROS INVESTIMENTOS	TOTAL
1º TRIMESTRE	24 30	38 41	42 46	48 58
2º TRIMESTRE	31 32	35 46	70 76	77 88
3º TRIMESTRE	33 34	35 41	42 48	49 59
4º TRIMESTRE	38 42	31 43	70 76	77 85
TOTAL	24 34	38 41	42 48	49 53

ANO 2 1,9

ESTIMATIVA	24 34	35 41	42 48	49 58
------------	-------	-------	-------	-------

Handwritten signature



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

FORM	PROJETO
13	01 / 50
CODIGO DO PROJETO	
0.2.7 8.6 0.0.6	

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE DADOS TM-LANDSAT AO MAPEAMENTO
DE CLASSES ESTRUTURAIIS DE CAATINGA

Dalton M. Valeriano
Vitor C. de Car lho
David C. L. Lee

RESUMO

As relações entre dados TM-LANDSAT e classes de vegetação de Caatinga definidas por critérios estruturais, são investigadas em função de suas propriedades multiespectrais e multitemporais. A área estudada se situa no sertão pernambucano entre as cidades de Parnamirim e Ouricuri, da qual foram obtidos dados TM-LANDSAT referentes às datas de 22/11/84 e 24/10/85. Ambas se situam no período seco porém foram precedidas de condições climáticas bastante distintas. A análise dos dados é feita através da avaliação do desempenho de classificadores supervisionados desenvolvido com base em mapeamento da vegetação da área de estudo feito previamente. Também se analisou as relações entre classes espectrais definidas através de classificadores não-supervisionados e as classes de vegetação. A análise dos classificadores supervisionados revela que a maioria das classes de vegetação definidas no mapa de verdade terrestre apresenta grande semelhança espectral entre si, dificultando a sua classificação. Os canais do TM-LANDSAT em que as classes de vegetação são melhor distribuídas são os TM-3, TM-4, TM-5 e TM-7. Este resultado independe da data estudada, sendo que condições secas diminuem a dispersão relativa entre as classes enquanto que a disponibilidade de água após período seco aumenta esta dispersão entre as médias das classes porém acompanhada de maior variabilidade dentro das classes. A análise dos classificadores não-supervisionados indica que a caatinga apresenta dois padrões de comportamento espectral nos canais TM-LANDSAT estudados. Em função da complexidade de sua estrutura, a assinatura espectral da Caatinga quando desprovida de folhas se alinha ao longo de um eixo que parte da origem do espaço de atributos em direção às assinaturas de maior brilho. Quanto mais complexa a estrutura da cobertura vegetal mais próximo da origem se localiza a sua assinatura espectral. O desenvolvimento da biomassa foliar provoca o deslocamento da assinatura espectral para a origem no plano TM-5xTM-7 e para fora do eixo de alinhamento no plano TM-3xTM-4. Estes resultados sugerem ser possível a identificação de algumas classes de Caatinga através de dados TM-LANDSAT porém estas devem estar definidas em função de suas características nos dados de sensoriamento remoto. Também conclui-se que, dentro de uma abordagem multitemporal, é bastante promissora a possibilidade de se monitorar a produtividade primária da Caatinga a partir de sensores orbitais.



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM. 13 - RELATÓRIO

FORM	PÁGINA
13	03 / 50
CÓDIGO DO PROJETO	
0.2.7 8.6 0.0.6	

ABSTRACT

The relationships between LANDSAT-TM data and "Caatinga" vegetation classes defined by structural criteria, are investigated as a function of their multispectral and multirate properties. The study area is located at the hinterlands of the State of Pernambuco, Brazil, between the cities of Parnamirim and Ouricuri where TM-LANDSAT data were obtained in 11/22nd/'84 and 10/24th/'85. Both are from the dry season but were preceded by very distinct weather conditions. The analysis of the data is achieved by the evaluation of the performance of supervised classification systems based on previously prepared vegetation map of the study area. The relationships between the vegetation classes presented in this map and spectral classes defined by an unsupervised procedure were also investigated. The analysis of the supervised classifiers reveals that the majority of the vegetation classes defined in the ground truth map are spectrally very alike among themselves, which result in poor classification performances. TM-LANDSAT bandpasses in which the vegetation classes are better distributed are TM-3, TM-4, TM-5 and TM-7. These results are independent of the date of the data, although dry conditions lead to lesser dispersed classes while water availability after a period of dry season raises that dispersion, which is followed by higher variability within each class. The analysis of the unsupervised classification indicates that the Caatinga presents two independent behaviour in its spectral characteristics. As a function of the complexity of its structure the spectral signature of leafless Caatinga is aligned along an axis that stretches from the origin of the feature space to the direction of the signature of greatest brightness. The more complex is the structure of the vegetation cover the closer to the origin its spectral signature is located. The development of the leaf biomass displaces the spectral signature of the vegetation toward the origin in the TM-5xTM-7 plane and outward of the axis in the TM-3xTM-4 plane. These results suggest that it is possible the identification of some vegetation classes of Caatinga through the use of TM-LANDSAT data, but those classes must be defined in accordance to their characteristics in the remote sensing data. It is also concluded that, within a multirate approach, is very encouraging the possibility of the monitoring of the primary productivity of the Caatinga with the use of orbital sensor systems.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	7
2. <u>METODOLOGIA</u>	10
2.1 - Aquisição de dados	10
2.2 - Trabalho de campo	11
2.3 - Processamento das imagens TM-LANDSAT	11
2.3.1 - Pré-processamento	12
2.3.2 - Desenvolvimento de classificador e teste	14
2.3.3 - Classificação não-supervisionada	19
3. <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	20
3.1 - Aspectos climáticos	20
3.2 - Verificação de campo	23
3.3 - Análise das assinaturas espectrais	23
3.4 - Análise de classificação supervisionada	28
3.5 - Análise de classificação não-supervisionada	36
4. <u>CONCLUSÕES</u>	48
5. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	49

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág</u>
1 - Localização da área de estudo	
2 - Módulo de estudo e área de verdade terrestre	1
3 - Imagem de treinamento - 1984	1
4 - Imagem de teste - 1984	1
5 - Imagem de treinamento - 1985	1
6 - Imagem de teste - 1985	1
7 - Espaço de atributos para representação das zonas de decisão dos classifcadores	1
8 - Andamento da precipitação total anual para a região	2
9 - Diagrama ombrotérmico do ano de 1984	2
10 - Diagrama ombrotérmico do ano de 1985	
11 - Médias e ± 1 desvio padrão das classes de vegetação nos dados TM -1984 .	
12 - Médias e ± 1 desvio padrão das classes de vegetação nos dados TM- 1985 .	
13 - Composição colorida dos canais TM-3 e TM-4 dos dados de 1984	
14 - Classificação dos dados TM-3 e TM-4 de 1984	
15 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-3 e TM-4 de 1984	
16 - Composição colorida dos canais TM-5 e TM-7 dos dados de 1984	
17 - Classificação dos dados TM-5 e TM-7 de 1984	
18 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-5 e TM-7 de 1984	
19 - Composição colorida dos canais TM-3 e TM-4 dos dados de 1985	
20 - Classificação dos dados TM-3 e TM-4 de 1985	
21 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-3 e TM-4 de 1985	
22 - Composição colorida dos canais TM-5 e TM-7 dos dados de 1985	
23 - Classificação dos dados TM-5 e TM-7 de 1985	
24 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-5 e TM-7 de 1985	



LISTA DE TABELAS

	<u>Pág</u>
1 - Média (\bar{X}), desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV) de classes a partir dos dados do TM/LANDSAT nas áreas de treinamento - 1984	21
2 - Média (\bar{X}), desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV) de classes a partir dos dados do TM/LANDSAT nas áreas de treinamento - 1985	2
3 - Matriz de classificação das amostras de treinamento - 1985	2
4 - Matriz de classificação das amostras de teste - 1985	2
5 - Matriz de teste do classificador dos dados de 1985	3
6 - Matriz de classificação das amostras de treinamento - 1984	3
7 - Matriz de classificação das amostras de teste - 1984	3
8 - Matriz de teste do classificador dos dados de 1984	3
9 - Matriz de classificação das amostras de treinamento após seleção de amostras - 1984	3
10 - Matriz de classificação das amostras de teste após seleção de amostras - 1984	3
11 - Matriz de teste do classificador dos dados de 1984 após seleção de amostras	3



1. INTRODUÇÃO

A vegetação de regiões com clima semi-árido é caracterizada por ter a fenologia de grande parte de sua flora controlada pela disponibilidade de água, que por sua vez apresenta grande variabilidade espacial e temporal.

Estas características levam frequentemente a situações de redução da capacidade de suporte dos ecossistemas semi-áridos que se não forem acompanhadas de controles na utilização destes ecossistemas, podem levar a processos de degradação ambiental muitas vezes de recuperação extremamente lenta.

Tem-se então a necessidade de se monitorar o desenvolvimento vegetativo das coberturas vegetais das regiões semi-áridas para melhor administrá-las. Satélites de sensoriamento remoto como LANDSAT, SPOT e NOAA possuem sensores que atuam em faixas espectrais relacionadas com biomassa fotossinteticamente ativa o que potencialmente permite o monitoramento da cobertura vegetal terrestre em escala regional (Tucker e Sellers, 1986).

A utilização de dados de satélites para o acompanhamento da quantidade de biomassa verde pode subsidiar a compreensão das relações entre capacidade de suporte e condições climáticas (Henricksen e Durkin, 1986), caracterizar fenologicamente um tipo de vegetação (Townshend e Justice, 1986) ou identificar processo de degradação ambiental (Eyre, 1982).

O esforço para se desenvolver sistemas para tal monitoramento com base em sensores orbitais deve ser precedido de uma estratificação da região em suas unidades relacionadas com as unidades de vegetação presentes na área. Isto porque por representarem ecossistemas diferentes apresentam padrões próprios de produtividade e de eficiência de utilização da chuva (Le Hueron, 1984).

A vegetação de regiões semi-áridas é bastante condicionada por fatores edáficos o que leva a uma intrínseca relação com a geomorfologia de uma região. Este fato associado à baixa cobertura do solo que a vegetação semi-árida geralmente apresenta faz com que a identificação de unidades de vegetação deste tipo de ambiente em imagens de sensores remotos orbitais seja feita através de unidades fisiográficas (Mitchel et al., 1982; Hamza et al., 1982; Laurin e Sibi, 1982; Sinha e Veitchalam, 1982). Isto se deve ao fato de que em vegetações esparsas a reflectância depende das características radiométricas de u



Os mapeamentos da vegetação do semi-árido brasileiro também foram frequentemente baseados em critérios fisiográficos associados a características estruturais da vegetação, conforme detalham Salgado et al. (1981) e Veloso et al. (1983).

Um esforço no sentido de se estabelecer um sistema de classificação da vegetação dominante do semi-árido do NE do Brasil - a Caatinga - foi realizado por Carvalho (1986, a,b). Neste trabalho definiu-se 15 classes de Estepe semi-árida com base nas características de padrão de distribuição horizontal, estratificação e cobertura do solo.

Estas classes de vegetação, definidas em campo e mapeadas com uso de fotografias aéreas foram estudadas a partir de dados do MSS-LANDSAT, verificando-se a possibilidade de detectá-las nas referidas imagens. Encontrou-se uma baixa capacidade de distinguir as 15 classes, sendo que apenas 6 ou 7 classes são identificáveis nos dados MSS-LANDSAT. Aspectos climáticos intra e interanuais foram também investigados, o que levou à determinação de condições de seca como a mais favorável à realização do mapeamento.

O presente trabalho é a extensão da abordagem realizada em Carvalho (1986, a) para se testar a possibilidade de se identificar as referidas classes de vegetação nos dados do sensor TM-LANDSAT. Esta investigação abrange todos os canais deste sensor e avalia duas datas referentes aos períodos secos de 1984 e 1985.

A área de estudo é a mesma utilizada em Carvalho (1986, a, b) de modo a permitir a utilização da mesma verdade terrestre. A sua localização está apresentada na Figura 1. Trata-se de uma área de 27,6km x 27,6km situada entre as cidades de Parnamirim e Ouricuri no Estado de Pernambuco.

Segundo Salgado et al. (1981) e Veloso et al. (1983), a área de estudo apresenta na sua porção Norte um domínio de Estepe Arbórea Densa sem palmeiras que é substituída ao Sul por Estepe Arbórea Aberta sem palmeiras. Tem-se também áreas ocupadas com culturas agrícolas de ciclo curto ao longo das planícies aluvionares dos afluentes do riacho Gravatã e nas áreas servidas pelo açude construído no riacho São Pedro.



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

FORM. 13 / 09 / 50
CÓDIGO DO PROJETO
0.2.7 | 8.6 | 0.0.6,3

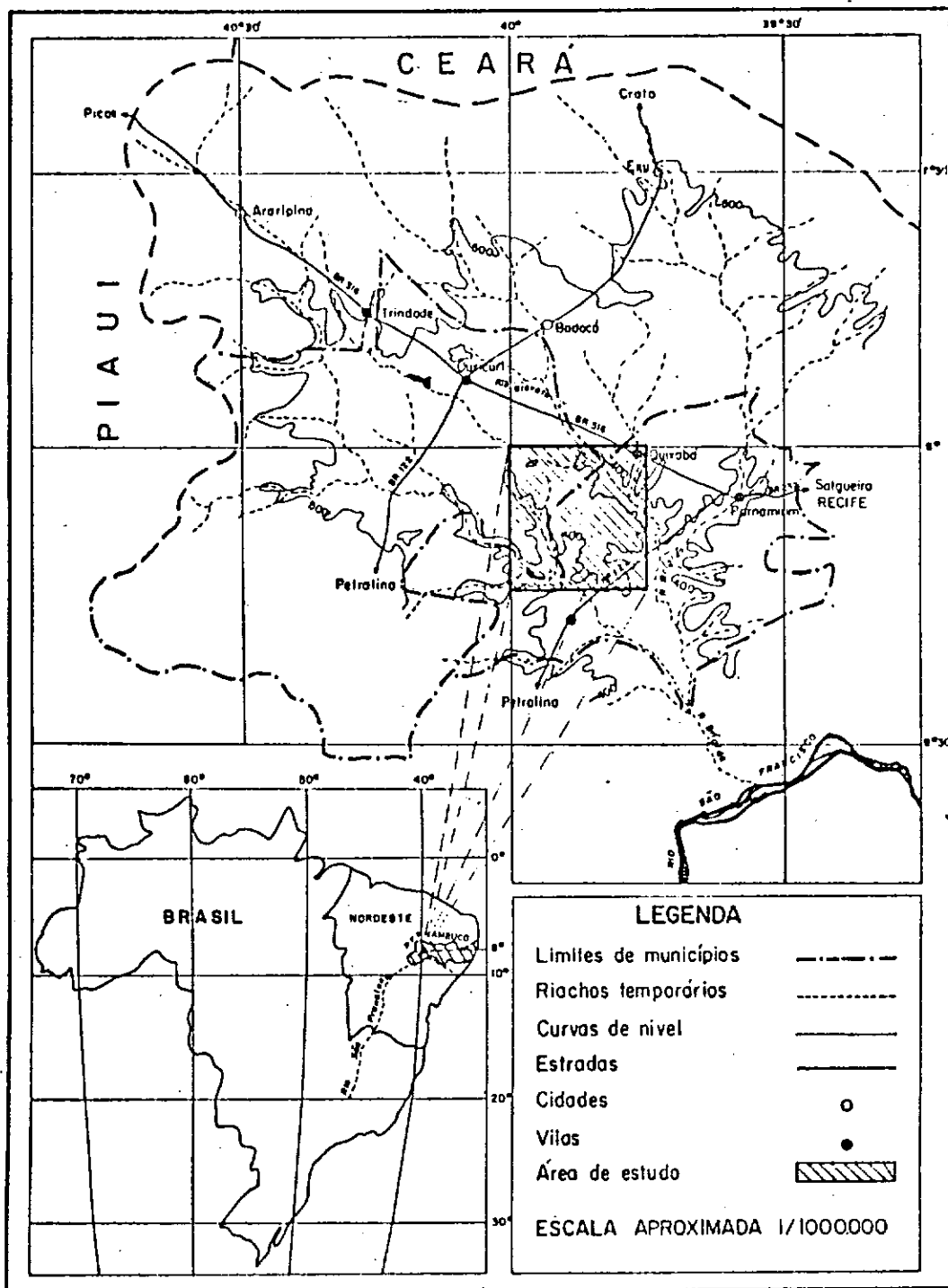


Fig. 1 - Localização da área de estudo.



2. METODOLOGIA

2.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS

A disponibilidade de dados TM-LANDSAT e respectivos índices de cobertura de nuvens referentes ao período de 1984 (início de operação do TM-LANDSAT) a 1986 foram investigadas. A área de estudo está contida no quadrado N da cena 217/66 e foi encontrada livre de cobertura de nuvens apenas nas passagens de 22/11/84 e 24/10/85. Foram adquiridas CCT's contendo dados dos sete canais do TM-LANDSAT das referidas passagens.

Foram solicitados à EMBRAPA e ao INMET dados de temperatura e precipitação das estações meteorológicas próximas à área de estudo. Obteve-se dados de temperaturas médias mensais e precipitação total acumulada mensal das estações de Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Jacaré e Poço do Fumo, para os anos de 1984 e 1985. Com base nos valores médios destas estações construiu-se os diagramas ombrotérmicos para a região.

Foram também obtidos os dados de precipitação média anual observados na estação de Ouricuri para o período de 1910-1985, além dos dados de precipitação diária dos meses setembro, outubro e novembro de 1984 e 1985 da mesma estação.

A verdade terrestre utilizada neste trabalho é a Carta Estrutural da Caatinga de Quixaba-PE realizada em Carvalho (1986, a). Esta carta cobre a área delimitada pelos meridianos 39°45'W e 40°00'W e pelos paralelos 8°00'S e 8°15'S conforme ilustrado na Figura 1. Uma descrição sucinta da fisiografia e da climatologia desta área está apresentada em Carvalho (1986, b).

A legenda da Carta foi elaborada a partir de observações em campo de alguns parâmetros estruturais da vegetação de amostras selecionadas a partir de um estudo da dinâmica da vegetação realizado em fotografias aéreas de 1954/56, 1966 e 1983. As unidades da vegetação de Caatinga (Estepe) foram discriminadas em função do padrão da distribuição da cobertura do solo, da altura do estrato dominante, da cobertura do estrato dominante, da cobertura do estrato co-dominante e da cobertura total. Com base nestes parâmetros organizou-se um sistema hierárquico de classificação de cobertura vegetal contendo as seguintes classes:



Classe de Formação: Estepe Decídua

- 1 - Ausente
- 2 - Esparsa
- 3 - Complexo arbustivo-herbáceo
- 4 - Clareirada arbórea-arbustiva
- 5 - Clareirada arbórea-clara
- 6 - Clareirada arbórea
- 7 - Agrupada arbórea-arbustiva descontínua
- 8 - Agrupada arbórea-arbustiva contínua
- 9 - Arbustiva densa
- 10 - Arbórea-arbustiva aberta ou descontínua
- 11 - Arbórea-arbustiva contínua
- 12 - Arbórea-clara
- 13 - Arbórea descontínua
- 14 - Arbórea contínua

Classe de Formação: Estepe Semi-Decídua

- 15 - Complexo arbóreo

2.2 - TRABALHO DE CAMPO

Esta etapa foi executada para verificar se a verdade terrestre era válida como tal ainda em 1987. Uma estabilidade da estrutura da vegetação era conhecida (Carvalho, 1986, b) porém como todo o trabalho se baseia na verdade terrestre teve-se que verificá-la.

Foram visitados 30 pontos distribuídos pelas 15 classes selecionados para servirem como amostras de treinamento e de teste. De cada ponto foram levantadas as informações que constam no formulário do Levantamento Fitoecológico pelo Projeto Fitoecologia do PNP027-CPATSA/EMBRAPA.

Esta verificação de campo foi realizada durante a estação seca do ano de 1987.

2.3 - PROCESSAMENTO DAS IMAGENS TM-LANDSAT

A análise digital dos dados TM-LANDSAT foi realizada no Sistema Inte



Isto foi feito através da análise das matrizes de confusão obtidas a partir da classificação de amostras de treinamento referentes às classes de vegetação. Testou-se também os classificadores desenvolvidos a partir daquelas amostras de treinamento, através do uso de outro conjunto de amostras, ou seja, avaliou-se a exatidão de classificação (Valeriano, 1984). Finalmente, foram examinadas as relações entre classes espectrais definidas a partir de classificadores não-supervisionados e as classes de vegetação.

Estas investigações foram procedidas de atividades aqui referidas como pré-processamento, cujos objetivos visam a padronização espacial e radiométrica dos dados TM-LANDSAT a serem analisados.

2.3.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

A primeira atividade executada foi a definição de um módulo de trabalho contendo a área de verdade terrestre. Este foi localizado nas duas imagens através de um centro comum de uma área de 30cm x 30cm (dimensões da tela do monitor de TV do I-100) contendo a área de Quixaba ampliada à escala 1:100.000. A Figura 2 apresenta uma composição colorida dos canais TM-3, TM-4, TM-5, respectivamente azul, verde e vermelho, dos dados de 1984 com a área da carta Estrutural da Caatinga de Quixaba assinalada.



Fig. 2 - Módulo de estudo e área de verdade terrestre.



Em seguida uma seqüência de processamentos foram aplicados para melhorar a qualidade radiométrica das imagens através de duas abordagens: eliminar da cena as áreas diretamente afetadas pelas nuvens e atenuar o efeito aditivo da atmosfera através de deslocamento dos histogramas das imagens.

Para eliminar as áreas influenciadas pelas nuvens realizou-se a classificação das nuvens e das sombras de nuvens através de um classificador por paralelepípedo supervisionado. O nível de cinza destas áreas foi igualado a 1 em todos os canais TM-LANDSAT utilizados e nas duas datas. Foi incontornável a confusão entre a assinatura espectral das áreas de sombra de nuvens e o espelho d'água do reservatório, o que resultou na extensão da aplicação deste procedimento à área do reservatório.

Esta eliminação de pixels contaminados foi refinada através da análise dos histogramas dos dados de cada canal TM-LANDSAT estudado. Definiu-se nas listas destes histogramas os limites máximo e mínimo da distribuição dos dados de cada canal. Em seguida aplicou-se à imagem de cada canal um operador que localiza os pixels que não se encontram dentro do intervalo acima estabelecido (exceto os de nível de cinza = 1) e os substitui pela média dos seus vizinhos. Com este procedimento aplicado repetidas vezes consegue-se reduzir os valores dos níveis de cinza dos pixels muito claros situados nas bordas das nuvens. Já os pixels com nível de cinza menor que o mínimo do intervalo estabelecido poderão se deslocar em direção a este mínimo ou ser reduzido até o nível de cinza 1. O que determina o sinal do "off-set" que estes pixels tomarão é a proporção de contaminantes (sombras e espelho d'água) presentes neles e em seus vizinhos.

Finalmente subtraiu-se de cada canal o valor estabelecido como limite mínimo do seu histograma deslocando-o para a origem. Com isto obtem-se um resultado semelhante ao de se corrigir o efeito aditivo que a atmosfera promove na radiação da superfície terrestre, quando observada de um sensor remoto.

Efetuada as correções radiométricas dos dados TM-LANDSAT procedeu-se à preparação das imagens para o desenvolvimento dos classificadores e para a aplicação dos testes de exatidão de classificação.

Dois problemas impediram a utilização da área assinalada na Figura como o universo para a execução da análise dos dados propriamente dita: 1) na escala 1:100.000 muitas das áreas escolhidas como amostras de treinamento ou teste são pequ



Ambos os problemas poderiam ser solucionados pela redução do fator de escala da área representada no monitor do I-100, o que traria a inconveniência de não se poder utilizar toda a área de verdade terrestre para os procedimentos de treinamento e teste dos classificadores.

Optou-se então pela ampliação das áreas de interesse para a realização das amostragens porém com a perda da visão sinótica da área de estudo.

Construiu-se uma imagem composta de 64 subcenas, cada uma com 30 x 30 pixels (a tela do I-100 possui 512 x 512 pixels), organizados em uma matriz de 8 x 8. Reservou-se para cada classe de vegetação 4 subcenas adjacentes e na mesma linha.

Amostras selecionadas no mapa de verdade terrestre foram transferidas para as fotografias aéreas que foram utilizadas na elaboração deste mapa. Estas amostras foram aproximadamente localizadas no módulo de estudo através de um ponto, do qual foram registradas as suas coordenadas TM.

Com centro nestas coordenadas definiu-se uma janela de 30 x 30 pixels nos dados TM-LANDSAT para cada amostra de treinamento ou teste e transferiu-se esta janela para uma das 4 subcenas reservada para sua classe na referida imagem composta.

Deste modo obteve-se para cada canal e data uma imagem para treinamento e outra para teste. Desprezou-se algumas amostras quando de difícil localização na tela do I-100 ou quando muito diferente das demais de sua classe.

Assim chegou-se a quatro imagens preparadas para a avaliação da discriminabilidade das 15 classes de vegetação nos dados TM-LANDSAT. Estas imagens são apresentadas nas Figuras 3 - 6.

2.3.2 - DESENVOLVIMENTO DE CLASSIFICADOR E TESTE

Selecionou-se uma ou, quando possível, duas amostras de treinamento em cada subcena das imagens preparadas para este fim. Com isto obteve-se um arquivo contendo as médias e as matrizes de covariância das classes de vegetação nos canais TM em estudo.

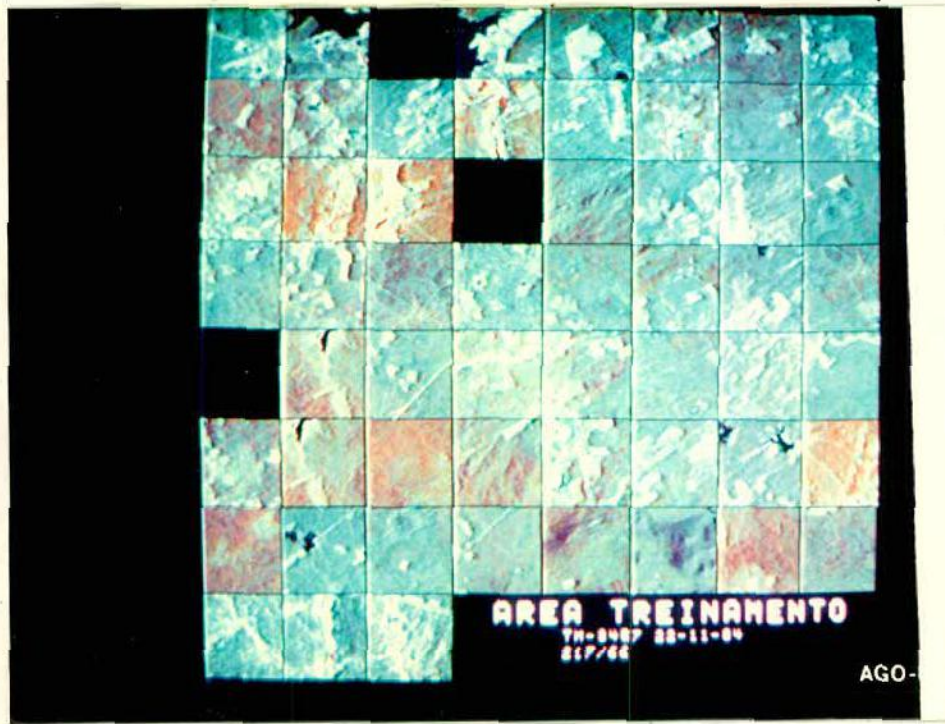


Fig. 3 - Imagem de treinamento - 1984.



Fig. 4 - Imagem de teste - 1984.

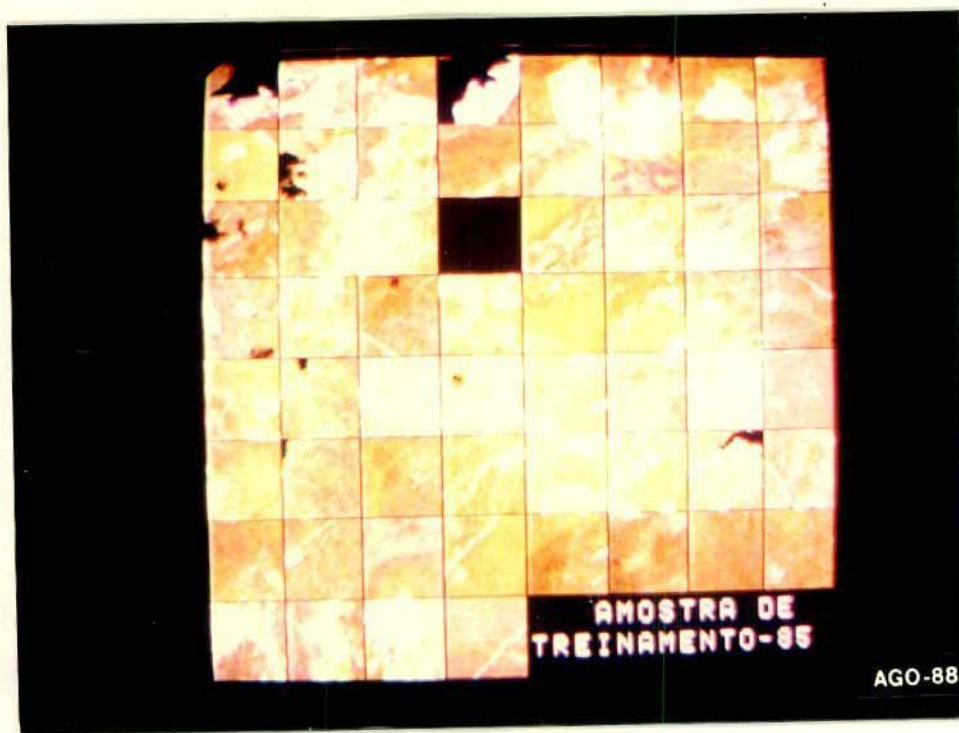


Fig. 5 - Imagem de treinamento - 1985.

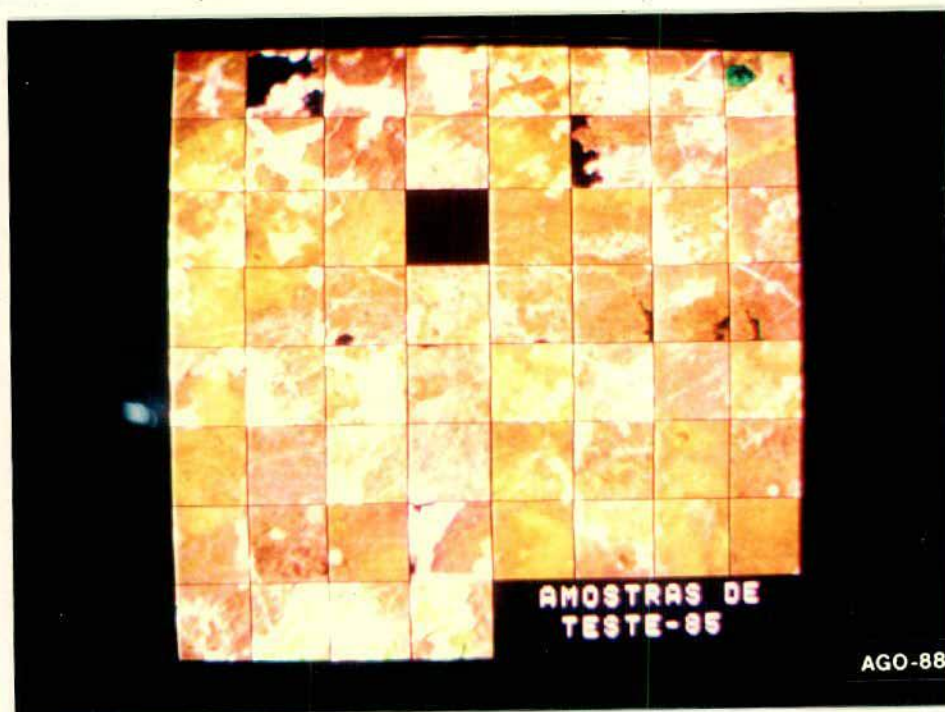


Fig. 6 - Imagem de teste - 1985.



Utilizou-se este arquivo para a execução do algoritmo "Seleção de Atributos" que, por diversos critérios, seleciona a combinação de n canais com o melhor potencial para discriminar as classes em questão dentre N canais disponíveis. Deste modo selecionou-se para cada data dentre os $N = 7$ canais o conjunto de $n = 4$ canais que é o maior número de canais que o sistema I-100 é capaz de operar classificações.

Resultados desta seleção indicou combinações diferentes para cada data e de acordo com cada critério (maior distância mínima entre as classes ou maior distância média). Isto pode ser indicativo de que as assinaturas espectrais das classes definidas no treinamento são muito semelhantes ou de que há redundância na informação contida nos diferentes canais do TM-LANDSAT.

Para permitir conclusões a partir da comparação do desempenho obtido em cada data é interessante que o conjunto de canais utilizados na análise seja constante. Examinou-se então as distribuições das classes definidas pelo treinamento para auxiliar a seleção dos canais para a análise de classificação. Não se considerou nesta análise os dados do TM-6 por estes se apresentarem com baixíssimo contraste.

Foram elaborados gráficos descrevendo as médias e os desvios padrões das 15 classes de vegetação nos 6 canais de cada data analisada. Em ambas as datas observa-se grande superposição de assinaturas espectrais, principalmente nos canais TM-1, TM-2 e TM-4.

Selecionou-se então os três canais restantes (TM-3, TM-5 e TM-7) para a análise subsequente. Optou-se por completar o quarto canal com o TM-4 devido ao fato de que as assinaturas espectrais se comportam relativamente diferentes neste canal que nos canais TM-1 e TM-2, nos quais este comportamento se assemelha ao encontrado no canal TM-3.

Definidos os canais do TM-LANDSAT para a avaliação da interpretabilidade dos dados, procedeu-se esta etapa através do desenvolvimento de um classificador supervisionado baseado em critério de máxima verossimilhança e pela avaliação da exatidão de sua classificação.

Para ter uma noção do grau de confusão entre as classes definidas pelas amostras de treinamento foram obtidas as matrizes de classificação dos dados das duas datas. Esta matriz apresenta para cada classe os percentuais de classificação correta e incorreta, discriminados pelas demais classes, encontrados nos pixels



Nas imagens de teste foram coletados conjuntos de amostras para o teste de exatidão, dos quais também foram calculadas as matrizes de classificação.

Todas as matrizes de classificação indicaram baixa separabilidade entre a maioria das classes, sendo que os resultados da passagem de 1984 mostraram que nesta data as classes estão melhor definidas.

Procedeu-se então o teste de exatidão através da classificação da imagem de teste com o classificador desenvolvido na imagem de treinamento e subseqüente contabilização do percentual de acertos e erros encontrados por classe nas amostras de teste. Este procedimento foi executado nos dados das duas datas e os resultados obtidos foram expressos em matrizes semelhante às de classificação.

Os resultados indicaram em ambas as datas uma baixíssima exatidão de classificação, especialmente nos dados de 1984. Tendo em vista que as amostras de treinamento e as de teste obtidas nos dados desta data foram as que apresentaram menor grau de confusão interna, considerou-se que o desempenho de seu classificador pudesse ser melhorado com o refino das amostras de treinamento e teste.

Utilizou-se para isto o algoritmo "Análise de Amostras" que apresenta para cada classe o percentual de pixels corretamente classificados e o percentual erroneamente classificados em cada amostra, distribuído pelas demais classes. Com base nestes valores descartou-se nos conjuntos de treinamento e teste uma a duas amostras de cada classe, deixando sempre pelo menos duas amostras para representá-la.

Em seguida repetiu-se o procedimento de aquisição de matrizes de classificação dos dois conjuntos de amostras e efetuou-se o teste de exatidão de classificação. Obteve-se uma melhoria no desempenho das matrizes de classificação dos conjuntos de amostras de treinamento e teste, o que não foi acompanhado nos resultados do teste de exatidão.

Em face desta persistência de maus resultados nos desempenhos dos classificadores, decidiu-se investigar de modo inverso, as relações entre classes de vegetação e suas radiâncias registradas pelo TM-LANDSAT. Para isto procurou-se analisar a estrutura dos dados de sensoriamento remoto através da aplicação de um classificador não-supervisionado para então verificar a sua correspondência com as classes de vegetação.



2.3.3 - CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA

Utilizou-se para esta atividade o "Sistema de Dois Canais" disponíveis no I-100, que, por diminuir o volume de dados através de redução do nível de quantização, consegue a execução das operações de classificação do modo mais rápido. Além disto este sistema permite a visualização da estrutura dos dados organizada em zonas de decisão de cada classe em um espaço de atributos bidimensional como o apresentado na Figura 7.

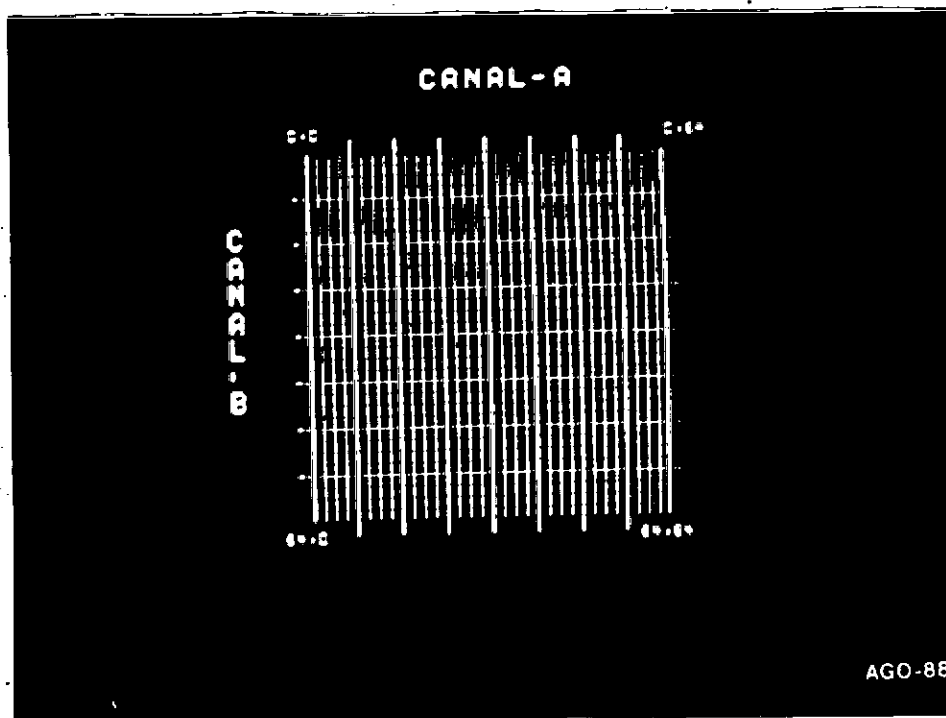


Fig. 7 - Espaço de atributos para representação das zonas de decisão dos classificadores.

Para realizar a classificação utilizou-se um classificador de "clustering", implementado no I-100 como o algoritmo "K-Médias". Este localiza na estrutura dos dados, centros de adensamento de população através da divisão arbitrária do espaço de atributos em zonas de decisão, calcula a média dentro de cada zona, novo estabelecimento de zonas de decisão por critério de vizinho-mais-próximo, novo cálculo de média de cada classe e assim sucessivamente até que as médias converjam aos centros de adensamento populacional e não mais se alterem.

Aplicou-se este algoritmo aos pares de canais TM-3 x TM-4 e TM-5 x TM-7 dos dados de 1984 e 1985. Como resultado obteve-se classificações temáticas da área de estudo para as respectivas datas e para os conjuntos de dois canais. Fc



ambas as datas. Para cada classificação foi obtida uma representação das zonas de decisão de cada classe no já referido espaço de atributos.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 - ASPECTOS CLIMÁTICOS

Em termos de precipitação total anual, os anos de 1984 e 1985, representam para o semi-árido do NE brasileiro a recuperação de um período relativamente longo de baixos índices de pluviosidade (1975-1983), conforme pode ser observado na Figura 8 que mostra os valores médios das estações climáticas referidas na Metodologia.

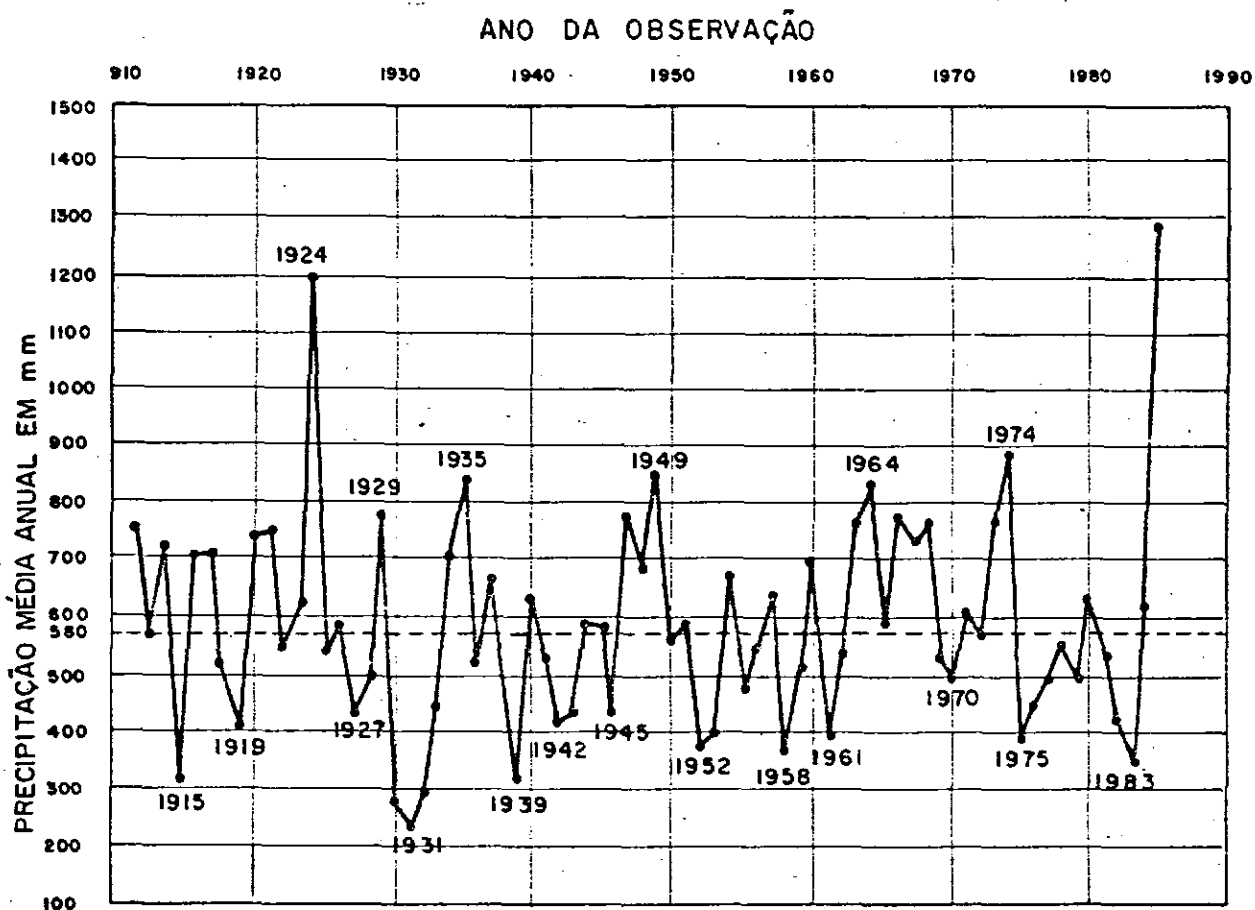


Fig. 8 - Andamento da precipitação total anual para a região.

Em 1984 a precipitação total foi ligeiramente superior a média que se guiou os anos de 1981-83 quando a precipitação foi inferior à média. Por outro lado em 1985 foi registrada a maior taxa de pluviosidade que se mediu na região.

O andamento das precipitações mensais e das temperaturas médias mensais dos anos de 1984 e 1985 estão apresentados nas Figuras 9 e 10. Também são valores médios da referidas estações.

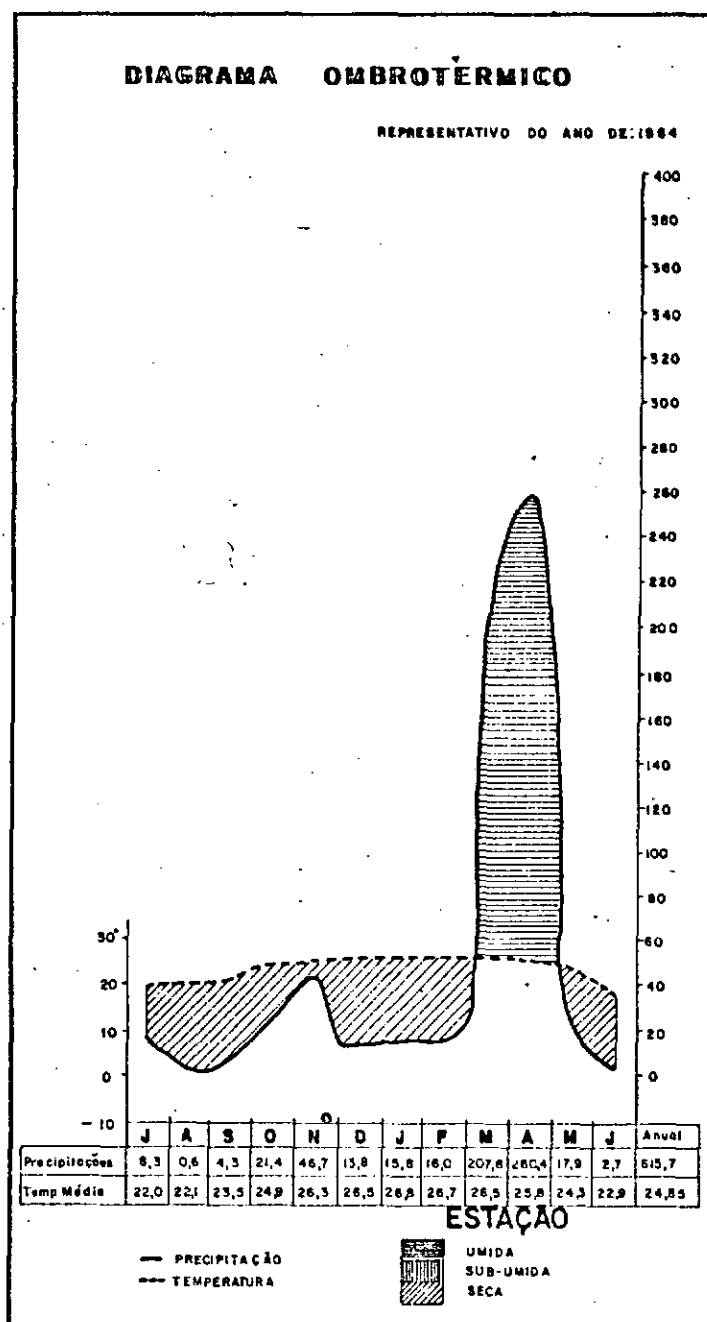


Fig. 9 - Diagrama ombrotérmico do ano de 1984.

A temperatura média praticamente não apresenta variação interanual e oscila pouco também ao longo do ano. Resta então à precipitação o papel de modular as condições fitoclimáticas ao longo do ano e determinar as variações interanuais.

Em 1984 o período úmido se restringiu aos meses de março-abril quando houve uma precipitação de 468mm de um total anual de 615mm. Nos meses seguintes a precipitação mensal se manteve inferior a 20mm exceto nos meses de outubro (21,4mm) e novembro (46,7mm). É extremamente interessante notar este período relativamente chuvoso durante a estação seca pois a imagem TM-LANDSAT de 1984 foi obtida no final do mês de novembro. Sabe-se que a Caatinga tem como característica apresentar uma úmida resposta em termos de produção de folhas ao início do período chuvoso.



so. Deve-se ter isto em mente ao analisar as assinaturas espectrais das classes de vegetação nos dados de 1984.

Acrescenta-se a esta análise os dados de precipitação diária da estação de Ouricuri que para novembro de 1984 indica chuvas nos dias 3 e 4 (3,5mm e 0,7mm) e no dia 15 (46,6mm), sete dias antes da passagem do LANDSAT.

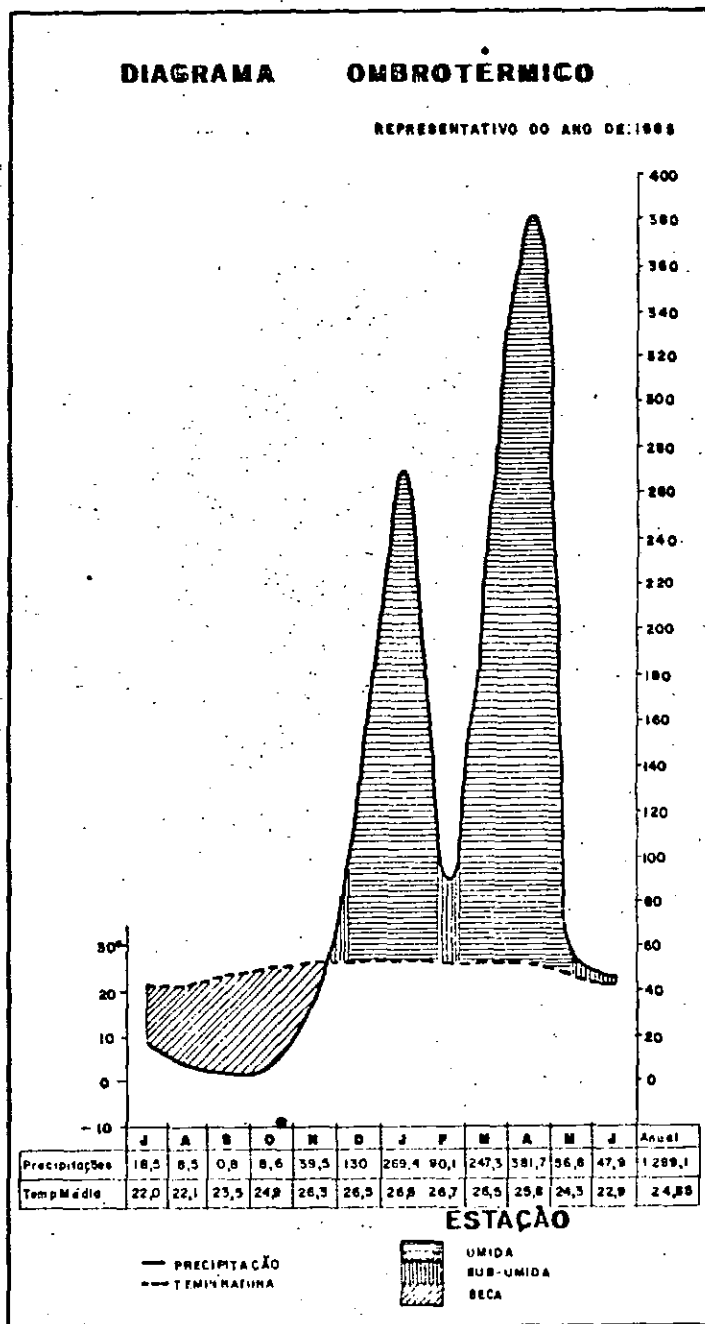


Fig. 10 - Diagrama ombrotérmico do ano de 1985.

Em 1985 o período úmido começou já em janeiro e se estendeu até maio

com precipitação total de quase 1200mm. De junho



dos LANDSAT de 1985 (24/10) foi precedida de uma precipitação de 4,4mm e 0,1mm nos dias 17 e 18 que interrompeu 30 dias sem chuvas, conforme o registro da estação de Curicuri.

3.2 - VERIFICAÇÃO DE CAMPO

Os dados referentes a estrutura da vegetação constantes no formulário de Levantamento Fitoecológico foram analisados com o intuito de verificar o grau de persistência das características estruturais da vegetação após os quatro anos que se passaram entre a elaboração do mapa de verdade terrestre e a execução desta jornada de campo.

Como resultado da análise multitemporal realizado por Carvalho (1986, a, b) através de fotografias aéreas obtidas com mais de 20 anos de diferença, foi observada uma estabilidade marcante na estrutura da Caatinga na área em estudo. Pouquíssimas foram as áreas que apresentaram sinais de degradação entre as duas datas e mesmo a regeneração, que por sua vez ocorre mais frequentemente, se dá de modo muito lento.

O resultado que se encontrou na presente verificação de campo também evidencia esta estabilidade estrutural da Caatinga de Quixaba. Em geral as características da cobertura vegetal dos pontos visitados em campo concordam com as definidas na elaboração da legenda do mapa de verdade terrestre (Carvalho, 1986, a).

Diferenças em relação ao esperado foram observadas nas classes de vegetação esparsa resultante de atividade antrópica, normalmente encontrada em parcelas de pequeno tamanho. Em algumas amostras se encontrou a cobertura vegetal um pouco mais desenvolvida do que o estabelecido na legenda. Nas áreas de Caatinga sem uso intensivo, que predomina em termos de área no módulo de estudo, verificou-se que a vegetação permanece estável. Com base nesta estabilidade considerou-se o mapa de verdade terrestre como confiável.

3.3 - ANÁLISE DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS

As Figuras 11 e 12 ilustram graficamente as assinaturas espectrais das classes de vegetação em termos de níveis de cinzas médios e desvios padrões, apresentados nas Tabelas 1 e 2. Pode-se observar de imediato que, exceto pelas classes 1, 2 e 15, há uma grande superposição nas distribuições dos pixels pertencentes às diferentes classes de vegetação, independentemente de canal ou data.

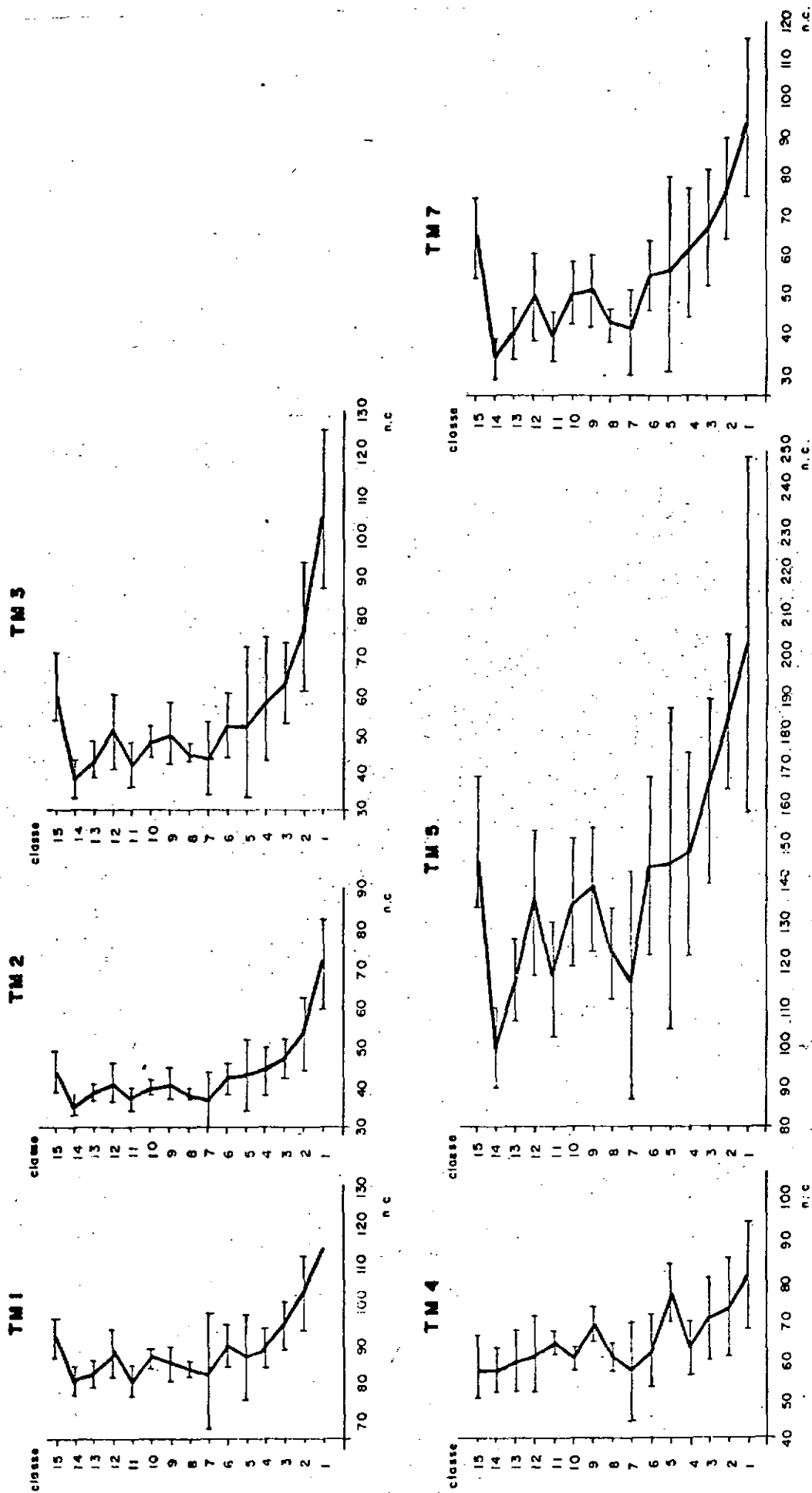


Fig. 11 - Médias \pm 1 desvio padrão das classes de vegetação nos dados TM - 1984.

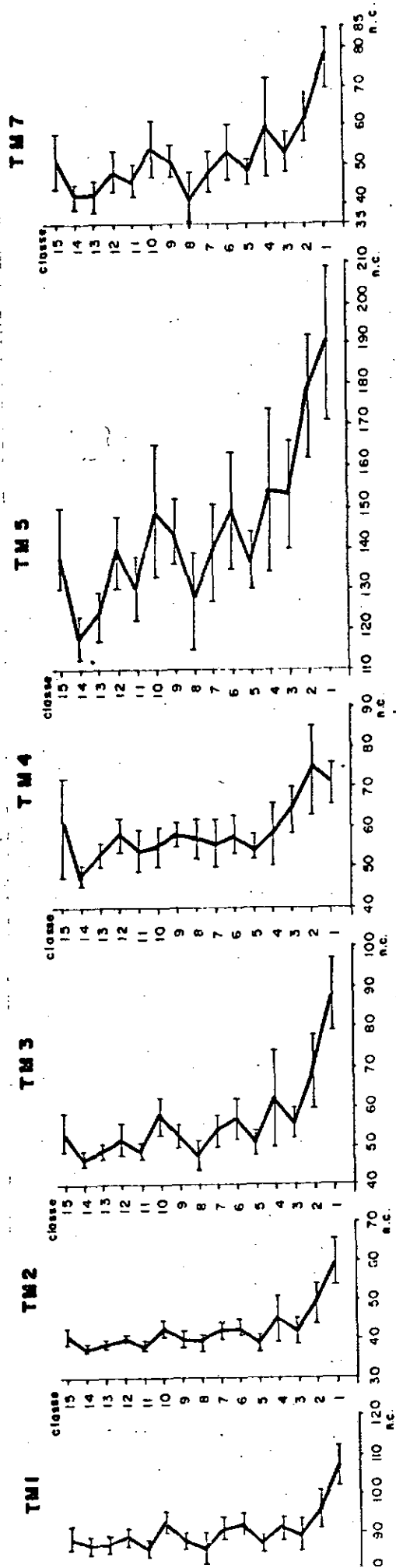


Fig. 12 - Médias e ± 1 desvio padrão das classes de vegetação nos dados TM - 1985.



TABELA 1

MÉDIA (\bar{X}), DESVIO PADRÃO (S) E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) DE CLASSES A PARTIR DOS DADOS DO TM/LANDSAT NAS ÁREAS DE TREINAMENTO - 1984

CLASSES	PARÂMETROS	BANDAS. TM/LANDSAT					
		1	2	3	4	5	7
1	\bar{X}	114,53	71,38	103,50	82,02	204,20	94,82
	S	11,74	11,33	19,61	13,67	45,33	20,68
	CV(%)	10,25	15,87	18,45	16,49	22,20	21,81
2	\bar{X}	103,12	54,21	77,49	73,89	184,95	76,99
	S	9,63	9,26	16,73	12,17	20,43	13,04
	CV(%)	9,34	17,08	21,59	16,47	11,05	16,94
3	\bar{X}	94,97	47,76	63,44	71,27	164,74	66,97
	S	6,28	5,00	10,54	10,74	24,64	14,59
	CV(%)	6,48	10,47	16,61	15,07	14,96	21,79
4	\bar{X}	89,55	45,19	59,03	63,42	148,59	60,48
	S	5,16	5,99	16,21	6,64	26,56	16,52
	CV(%)	5,76	13,26	27,46	10,47	17,87	27,31
5	\bar{X}	87,07	43,96	53,36	77,80	145,49	55,84
	S	10,96	9,24	19,82	7,14	40,96	24,87
	CV(%)	12,59	21,02	37,14	9,21	28,15	44,54
6	\bar{X}	89,79	42,71	52,95	62,89	145,30	55,52
	S	5,52	4,26	8,83	8,70	23,01	9,45
	CV(%)	6,15	9,97	16,68	13,83	15,84	17,02
7	\bar{X}	82,61	38,65	43,75	57,90	115,04	41,18
	S	14,64	7,20	9,83	12,27	28,31	11,21
	CV(%)	17,72	18,63	22,47	21,19	24,61	27,22
8	\bar{X}	84,27	38,74	44,87	60,82	123,11	42,67
	S	2,11	1,97	2,69	3,34	11,11	4,47
	CV(%)	2,50	3,79	6,00	5,49	9,02	10,48
9	\bar{X}	85,47	41,89	50,42	70,10	139,67	52,12
	S	4,50	4,10	8,50	4,51	15,88	9,46
	CV(%)	5,26	9,79	16,86	6,43	11,37	18,15
10	\bar{X}	86,76	41,29	48,29	61,01	136,25	51,02
	S	2,44	1,89	4,56	3,17	16,28	8,33
	CV(%)	2,81	4,38	9,45	5,20	11,95	16,33
11	\bar{X}	81,43	37,79	41,82	64,95	117,11	39,56
	S	3,39	2,77	6,11	2,91	14,15	5,81
	CV(%)	4,16	7,33	14,61	4,48	12,08	14,69
12	\bar{X}	87,84	42,13	51,43	67,13	136,44	50,16
	S	6,37	5,10	10,23	9,58	18,41	11,31
	CV(%)	7,25	12,11	19,89	14,27	13,49	22,55
13	\bar{X}	83,25	38,79	43,60	60,48	116,61	40,52
	S	3,57	1,60	5,07	7,52	9,93	6,28
	CV(%)	4,29	4,12	11,63	12,43	8,52	15,50
14	\bar{X}	80,87	36,52	38,71	58,27	100,12	34,44
	S	3,50	2,67	4,77	5,53	9,42	5,11
	CV(%)	4,33	7,31	12,32	9,49	9,41	14,84



TABELA 2

MÉDIA (\bar{X}), DESVIO PADRÃO (S) E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) DAS CLASSES A PARTIR DO

DADOS DO TM/LANDSAT NAS ÁREAS DE TREINAMENTO - 1985

CLASSES	PARÂMETROS	BANDAS TM/LANDSAT					
		1	2	3	4	5	7
1	\bar{X}	107,15	60,26	88,39	71,03	106,06	76,82
	S	4,92	5,71	8,75	5,11	19,19	8,07
	CV(%)	4,59	9,48	9,90	7,19	18,09	10,51
2	\bar{X}	96,43	48,56	68,72	73,85	176,67	62,13
	S	4,86	4,75	8,79	10,97	14,81	6,16
	CV(%)	5,04	9,78	12,79	14,85	8,38	9,91
3	\bar{X}	89,33	41,84	56,33	64,37	152,53	52,62
	S	4,48	3,03	4,31	5,79	12,67	5,28
	CV(%)	5,02	7,24	7,65	8,99	8,31	10,03
4	\bar{X}	91,48	44,54	61,66	58,40	154,08	59,50
	S	3,35	5,55	12,39	8,02	20,46	12,12
	CV(%)	3,66	12,46	20,09	13,73	13,28	20,37
5	\bar{X}	87,29	39,16	51,17	54,75	136,75	48,49
	S	2,10	1,40	2,58	3,44	7,26	2,83
	CV(%)	2,41	3,58	5,04	6,28	5,31	5,84
6	\bar{X}	91,67	43,00	57,14	57,72	148,74	53,11
	S	2,52	2,41	4,68	4,66	14,44	7,04
	CV(%)	2,75	5,60	8,19	8,07	9,71	13,26
7	\bar{X}	91,35	41,72	54,18	56,16	139,19	47,89
	S	2,59	2,03	3,98	5,61	11,85	4,84
	CV(%)	2,84	4,87	7,35	9,99	8,51	10,11
8	\bar{X}	86,49	38,70	48,42	57,04	126,68	42,22
	S	3,80	1,97	3,98	4,94	12,23	6,25
	CV(%)	4,39	5,09	8,22	8,66	9,65	14,80
9	\bar{X}	87,79	39,96	53,15	57,65	144,26	50,66
	S	2,58	1,67	3,31	2,67	7,86	4,10
	CV(%)	2,94	4,18	6,23	4,63	5,45	8,09
10	\bar{X}	93,11	42,99	57,64	55,25	148,71	53,72
	S	2,79	2,30	5,00	4,85	16,46	7,48
	CV(%)	3,00	5,35	8,67	8,78	11,07	13,92
11	\bar{X}	86,14	38,37	49,37	53,81	129,76	45,54
	S	1,66	0,99	2,09	4,92	7,60	3,86
	CV(%)	1,93	2,58	4,23	9,14	5,86	8,48
12	\bar{X}	88,59	40,45	51,55	57,65	138,75	48,61
	S	2,50	1,47	3,89	4,46	8,77	4,69
	CV(%)	2,82	3,63	7,55	7,74	6,32	9,65
13	\bar{X}	86,88	39,04	49,02	52,78	123,13	42,11
	S	1,81	1,04	1,93	2,88	6,38	3,57
	CV(%)	2,08	2,66	3,94	5,46	5,18	8,48
14	\bar{X}	86,88	38,02	47,37	47,53	116,92	41,84
	S	1,84	1,00	2,00	2,01	6,43	3,00
	CV(%)	2,12	2,63	4,22	4,23	5,50	7,17



Jo as assinaturas em função do canal TM-LANDSAT encontra-se
o comportamento relativo das médias nos canais do visível (TM-1, TM-2 e TM-3) desvios padrões. Foi com base nestas constatações que se decidiu de um aumenais 1 e 2 nas análises de classificação dos dados TM-LANDSAT, que desprezando sistema I-100 devem ser feitas com, no máximo, 4 canais.
por lim'

Nos canais do infravermelho (TM-4, TM-5 e TM-7) encontram-se comporta
relativos semelhantes nos canais do infravermelho médio (TM-5 e TM-7) e um
mercamento distinto dos demais no TM-4. O canal TM-5 é o que apresenta maior dis
ção entre as médias, porém com desvios padrões relativamente altos. O canal
7 apresenta as mesmas características porém não tão acentuadas.

As classes de vegetação se comportam no TM-4 de maneira distinta do
que nos demais canais, bem como apresentam diferenças marcantes numa comparação in
teranual. Como este canal explora uma faixa espectral que é bastante sensível à pre
sença de biomassa verde, tem-se neste comportamento dinâmico uma possível evidência
da manifestação da resposta da vegetação às chuvas que precederam a tomada dos da
dos de 1984.

Estendendo esta comparação interanual tem-se que nos dados de 1984
as classes de vegetação possuem assinaturas mais variadas e, ao mesmo tempo, mais
variáveis. Atribui-se ambos os fatos à resposta diferencial das diferentes cobertu
ras vegetais à súbita disponibilidade de água.

Uma constatação geral que se pode chegar através da análise das assi
naturas espectrais apresentadas nas Figuras 11 e 12 é que qualquer esforço de clas
sificação inevitavelmente terá dificuldades em função da grande superposição das
assinaturas espectrais das classes de vegetação neste trabalho.

3.4 - ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

As Tabelas 3 e 4 apresentam as matrizes de classificação das amostras
de treinamento e das de teste, respectivamente, referentes aos dados de 1985. Obser
va-se em ambas um alto índice de confusão entre as classes o que é evidenciado pel
grande número de percentuais superiores a 20% presentes fora da diagonal das matr
zes. Esta, que seria composta de valores altos se as classes fossem espectralment
distintas, conseqüentemente exhibe valores baixíssimos em praticamente todas as cla
ses.



TABELA 3

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO - 1985

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	32.2	16.9	22.9	0.0	17.8	1.7	1.7	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	3.4
2	0.0	8.3	55.6	15.3	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
3	1.2	4.8	38.1	9.5	2.4	2.4	19.6	3.0	4.8	1.2	2.4	4.8	3.6	0.0	0.0	2.4
4	0.0	4.2	4.2	22.2	19.4	0.7	31.2	0.0	0.0	0.0	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	41.9	32.6	1.2	0.0	11.6	1.2	0.0	2.3	2.3	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	2.7	3.3	12.0	5.3	8.3	21.7	14.0	0.0	6.7	8.7	6.7	4.0	0.0	0.0	6.7
7	0.0	0.0	1.2	19.0	0.0	2.5	26.5	12.0	0.5	0.0	20.0	1.0	3.5	2.0	0.7	11.0
8	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.8	0.5	48.5	0.0	0.0	5.5	3.0	1.0	12.8	23.0	1.0
9	0.0	0.0	6.7	7.3	4.7	0.0	29.3	12.0	1.3	2.0	12.7	0.0	4.7	0.0	0.0	19.3
10	0.0	0.0	1.0	5.0	3.5	1.0	29.0	17.5	3.5	3.0	21.0	2.5	3.0	6.5	0.0	3.5
11	0.0	0.0	0.0	10.8	0.7	7.0	27.5	0.5	0.0	11.0	29.3	0.0	4.5	0.0	0.0	8.7
12	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	2.1	1.7	19.5	4.2	9.3	4.2	15.7	28.8	0.0	0.0	11.0
13	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	3.0	2.0	29.8	7.5	0.0	21.5	15.5	1.2	4.0	6.5	8.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	3.0	12.5	12.5	0.0	6.7	3.1	1.7	51.8	5.4	0.5
15	9.8	0.0	9.8	9.2	2.2	0.0	2.2	1.1	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.8

Desempenho médio DM = 12.9%

Abstenção média AM = 2.1%

Confusão média CM = 85.0%

TABELA 4

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TESTE - 1985

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	33.9	17.8	13.6	0.0	24.6	3.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
2	1.4	2.9	37.5	6.9	19.4	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6
3	2.4	8.3	25.6	2.4	3.6	4.8	22.6	4.2	0.0	13.1	7.1	4.8	0.0	0.0	1.2
4	0.0	0.7	0.0	22.2	31.9	8.3	23.6	5.6	0.0	0.0	6.2	1.4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	16.3	15.1	45.3	2.3	4.7	9.3	4.7	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	2.7	0.0	11.3	9.3	13.3	24.0	18.7	0.0	4.0	11.3	5.3	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	25.3	1.0	6.0	28.8	9.5	0.5	0.0	16.8	2.0	1.0	0.0	2.8
8	0.0	0.0	0.0	1.2	3.0	0.0	0.5	60.3	0.0	0.0	4.5	3.0	0.0	0.5	27.0
9	0.0	0.0	0.0	13.3	21.3	0.7	23.3	10.7	5.3	1.3	14.7	0.0	4.0	0.0	5.3
10	0.0	0.0	0.0	8.0	5.5	3.0	30.0	16.0	1.0	2.5	23.5	0.0	1.5	8.5	0.0
11	0.0	0.0	0.0	10.8	8.0	9.0	25.3	0.0	0.0	16.0	30.0	1.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	2.5	1.3	18.6	5.9	25.4	0.8	12.7	0.0	16.5	16.1	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	11.5	6.0	53.5	1.0	3.0	5.0	10.0	0.0	3.0	5.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.3	32.7	6.6	1.5	1.8	1.5	1.0	37.2	13.7
15	7.6	0.0	3.8	6.5	5.4	0.0	8.7	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	65.8

Desempenho médio DM = 13.08%

Abstenção média AM = 2.1%

Confusão média CM = 84.1%



O alto grau de confusão na classificação das amostras (Tabela 3) é de corrente da superposição de assinaturas espectrais da maioria das classes de vegetação, o que já foi ressaltado na análise da Figura 12. Esta ausência de identidade, em termos radiométricos, das classes de vegetação certamente leva a classificadores ineficientes, com classes que incluem áreas de atribuição de várias outras classes, como são os casos das classes 6, 7 e 10, em detrimento de outras que assim têm suas áreas de decisão reduzidas.

A Tabela 4 mostra que as classes definidas para testar o classificador também não têm identidade, o que prejudica a eficiência do teste. Isto porque, como decorrência de atribuições errôneas em ambos os classificadores, uma classificação errada pode ser considerada como certa e vice-versa. Como exemplo pode-se observar que grande parte das amostras pertencentes à classe 8 foi classificada como pertencente à classe 7 tanto no conjunto de treinamento (Tabela 3) quanto no conjunto de teste (Tabela 4). Entretanto na Tabela 5 tem-se que esta confusão é reduzida a 0,5% e que a classe 8, que teve suas amostras de treinamento e teste totalmente atribuídas a outras classes, apresenta um considerável percentual de acertos de 77%.

TABELA 5

MATRIZ DE TESTE DO CLASSIFICADOR DOS DADOS DE 1985

CLASSE	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3.4	84.7	1.7	2.5	5.9	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	25.0	54.2	9.7	2.8	5.6	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	8.3	3.0	37.5	15.5	2.4	0.0	4.8	9.5	1.2	3.6	6.0	2.4	4.8	0.0	1.2
4	0.0	2.1	0.0	10.4	44.4	16.7	6.9	1.4	0.0	1.4	14.6	0.7	1.4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	14.0	11.6	2.3	41.9	0.0	7.0	0.0	11.6	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
6	0.0	4.0	1.3	4.0	4.0	0.0	29.3	3.3	1.3	8.0	16.0	10.0	4.0	14.7	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	2.5	3.0	0.0	11.0	23.0	3.7	6.0	15.8	14.0	0.0	8.0	0.0	13.0
8	0.0	0.0	0.0	1.5	2.5	0.0	0.0	0.5	77.8	1.0	3.5	1.0	0.0	9.8	2.5	0.0
9	0.0	1.3	0.0	3.3	6.0	0.0	10.0	8.7	0.0	48.0	2.0	18.0	0.0	0.0	0.0	2.7
10	0.0	0.5	0.0	0.5	16.5	5.0	1.0	16.0	2.0	7.5	26.5	4.5	1.0	8.0	11.0	0.0
11	0.0	1.0	0.0	1.5	6.5	0.0	13.0	7.0	1.0	7.0	16.3	44.8	2.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	2.5	3.4	4.7	22.9	6.8	0.0	47.9	5.1	5.9	0.0
13	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	4.0	2.0	20.0	0.0	11.0	1.0	4.3	52.3	4.5	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	3.2	3.0	9.3	0.0	3.6	8.2	70.6	0.0
15	1.1	2.2	1.1	4.3	1.1	3.3	0.0	4.3	0.0	2.2	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	75.0

Desempenho médio OM = 51.6%

Abstenção média AM = 0.2%

Confusão média CM = 48.2%



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

13 31 / 50

CODIGO DO PROJETO

0.2 7 | 8.6 | 0.0.6,3

Deve-se portanto analisar os resultados presentes na Tabela 5 com ressalvas e considerar apenas aqueles referentes a classes que apresentam bom desempenho nas Tabelas 3 e 4. Como isto praticamente não ocorre, considera-se o teste como não confiável e, a sua análise e discussão sujeitas a erros grosseiros.

Porém, acredita-se que os resultados baixos espelhem, pelo menos em parte, a realidade, pois apenas devido ao acaso se teria concordância de classificações a partir de conjuntos de amostras tão confusos entre si.

Já os resultados das análises das confusões internas das amostras de treinamento e teste dos dados de 1984 são um pouco melhores que os de 1985, conforme se observa nas Tabelas 6 e 7.

TABELA 6

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO - 1984

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4.2	85.2	3.2	2.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	3.2
2	1.5	20.9	47.0	22.8	1.9	0.4	4.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
3	0.0	0.0	21.7	47.2	0.6	8.3	6.7	2.2	0.0	1.7	1.1	0.0	5.6	1.7	2.8
4	0.0	6.6	13.9	3.9	15.7	0.0	8.1	1.2	16.0	0.0	22.0	0.3	3.6	4.8	3.9
5	0.0	1.3	16.9	11.9	0.0	36.9	8.5	1.3	0.0	4.2	0.0	7.6	2.1	8.9	0.0
6	0.0	0.0	8.3	5.3	2.3	0.8	27.3	2.3	7.6	1.5	20.5	0.0	6.8	4.5	9.1
7	2.9	0.0	0.0	5.3	3.8	3.4	1.9	12.0	3.4	3.4	7.2	1.0	5.3	8.7	1.4
8	0.0	0.0	0.0	2.2	2.2	0.4	0.7	1.1	48.5	2.9	2.9	7.0	2.2	22.8	0.0
9	0.0	0.0	0.9	9.3	3.7	10.2	13.9	0.0	4.6	33.3	1.9	10.2	11.1	0.9	0.0
10	0.0	0.0	0.5	2.9	5.8	0.0	8.7	4.8	9.6	2.9	47.1	1.4	3.8	7.2	1.4
11	0.0	0.0	0.0	7.0	0.5	0.0	1.0	6.2	6.2	3.0	1.5	45.0	8.7	8.5	0.0
12	0.0	0.0	4.7	12.1	7.3	16.4	6.0	4.7	6.9	0.0	7.3	7.3	24.6	2.2	0.4
13	0.0	0.0	0.6	1.2	0.3	2.4	2.1	8.0	5.4	3.0	0.0	10.4	8.0	51.8	3.6
14	0.2	0.0	0.0	0.7	0.2	0.0	0.7	16.5	3.0	0.0	0.0	6.8	0.0	6.8	0.0
15	0.0	0.0	11.6	7.6	11.6	0.0	1.7	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	4.7	3.5	58.1

Desempenho médio DM = 44.1%

Abstenção média AM = 0.5%

Confusão média CM = 55.4%



TABELA -7

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TESTE - 1984

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2.1	56.9	13.2	9.0	1.4	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
2	0.0	23.3	36.1	5.0	1.1	17.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6
3	0.0	7.6	15.3	18.1	20.8	11.8	1.4	6.9	0.0	4.9	3.5	6.2	0.0	1.4	0.0	2.1
4	0.0	1.4	18.7	4.9	11.1	9.0	9.0	7.6	0.0	9.0	5.6	9.7	0.0	11.8	0.7	1.4
5	0.0	0.0	13.9	4.2	1.4	68.1	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	1.4	6.9	4.2	11.1	2.1	15.3	11.1	9.0	6.2	10.4	8.3	0.7	11.8	1.4	0.0
7	0.0	0.0	1.4	6.9	1.4	12.5	4.9	45.8	2.1	1.4	2.1	5.6	1.4	10.4	2.8	1.4
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	5.5	3.5	48.6	0.0	0.0	1.4	4.9	18.1	17.4	0.0
9	0.0	0.6	1.8	6.0	3.6	8.3	10.1	25.0	0.0	22.0	10.1	8.9	1.2	2.4	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	1.9	7.2	7.2	3.4	18.3	1.0	8.7	20.2	0.0	13.9	17.8	0.0	0.5
11	0.0	0.0	0.0	3.6	10.0	0.0	3.9	30.4	0.0	7.1	4.3	28.6	3.6	7.5	1.1	0.0
12	0.0	0.0	0.0	2.0	2.5	0.0	1.0	7.4	1.0	1.5	2.5	22.5	52.5	2.0	1.0	4.4
13	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	8.7	10.8	4.8	0.2	4.0	2.0	10.3	48.5	9.5	0.2
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	7.6	20.3	0.0	0.0	1.8	0.7	12.3	51.8	0.0
15	0.7	0.0	11.8	5.6	0.0	2.1	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	4.9	0.0	0.0	72.2

Desempenho médio DM = 39.4%
 Abstenção média AM = 0.1%
 Confusão média CM = 60.4%

Ambas as matrizes (Tabelas 6 e 7) apresentam desempenhos médios superiores aos encontrados nos dados de 1985, porém sem atingir um nível alto o bastante que permita a execução do teste de exatidão de classificação dentro de um nível razoável de confiança. Pelo menos para certas classes (1, 2, 13, 14, 15) pode-se concluir algo a respeito do desempenho do classificador, pois apresentam algumas identidades dentro dos dois conjuntos.

É a análise da matriz de teste do classificador dos dados de 1984 apresentada na Tabela 8, leva à conclusão de que este tem um desempenho ruim, independente de se a classe foi ou não bem definida na fase de treinamento.

Observa-se que nas Tabelas 6 e 7 a classe 15 estava relativamente bem individualizada, enquanto que a exatidão encontrada na sua classificação (Tabela 8) foi nula. As demais classes também apresentam baixo desempenho, com grande percentual de omissão, exceto pela classe 2 que, por sua vez, inclui grande parte das áreas das classes 1, 2, 3, 5, 6 e 15.



TABELA 8

MATRIZ DE TESTE DO CLASSIFICADOR DOS DADOS DE 1984

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4.2	43.7	31.2	9.0	3.5	0.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	3.5
2	1.1	4.4	65.0	13.9	1.1	5.0	2.8	1.1	1.7	0.0	0.6	2.2	0.0	0.0	0.0
3	4.2	3.5	31.2	27.1	2.8	0.0	14.6	0.7	1.4	1.4	8.3	0.0	4.2	0.0	0.7
4	0.0	0.0	21.5	13.2	13.2	0.0	16.0	0.7	14.6	0.0	14.6	0.7	4.2	1.4	0.0
5	0.0	0.0	45.8	6.9	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	6.9	0.0	34.7
6	0.0	1.4	13.2	11.1	7.6	0.0	13.9	2.8	10.4	1.4	23.6	0.0	3.5	6.9	4.2
7	4.2	0.0	0.7	16.7	5.6	0.0	9.0	2.8	4.9	2.1	22.2	0.0	5.6	16.0	6.9
8	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	4.9	12.5	0.0	3.5	12.5	0.7	28.5	34.7
9	0.0	0.6	5.4	18.5	14.3	0.0	10.7	1.8	0.6	1.2	24.4	1.2	18.5	3.0	0.0
10	0.0	0.0	1.0	3.8	11.1	0.0	17.3	9.1	3.4	4.8	8.2	6.2	24.0	3.8	7.2
11	0.0	0.0	0.0	8.2	4.6	0.4	31.8	3.2	8.9	5.4	21.8	2.9	5.1	6.1	0.7
12	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	9.8	4.4	1.0	4.4	12.7	16.2	22.1	9.3	14.7	0.5
13	0.2	0.5	0.2	0.2	1.8	2.0	4.8	5.5	29.3	0.2	10.5	3.0	2.3	35.3	4.3
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	14.5	0.0	0.4	2.5	0.0	49.6	27.2
15	6.9	4.9	27.1	26.4	0.0	23.6	2.8	2.1	0.0	4.2	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0

Desempenho médio DM = 19.4%
 Abstenção média AM = 1.1%
 Confusão média CM = 79.5%

Supõe-se que a resposta diferencial à precipitação que precedeu a aquisição dos dados de 1984 leve a maiores diferenças nas propriedades radiométricas das classes de vegetação, o que explicaria o melhor desempenho das matrizes de classificação obtidas nos dados de 1984 em relação às verificadas na outra data. Entretanto, conforme já assinalado na análise da Figura 11, este deslocamento diferencial dos histogramas das distribuições dos níveis de cinza das classes de vegetação é acompanhado de aumento na variância destas populações.

Deste modo há a possibilidade de se estabelecer duas populações estatisticamente distintas a partir de dois conjuntos de amostras de treinamento obtidos em áreas de uma mesma classe de vegetação.

Procedeu-se então o refino das amostras de treinamento e teste referido na metodologia, com o intuito de procurar melhorar o desempenho do classificador, pois este procedimento reduz a variância das classes. Considerou-se que a persistência ou a piora nos resultados do teste de exatidão seria indicativo de que as classes definidas para teste e treinamento, referentes a uma classe de vegetação, seriam



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

13 / 34 / 50

CODIGO DO PROJETO

0.2 7.1 8.6 | 0.0, 6, 3

De fato a seleção das amostras de treinamento e teste resultou num incremento de aproximadamente 10 pontos percentuais nos desempenhos médios de suas respectivas matrizes de classificação. Estas, apresentadas nas Tabelas 9 e 10, exibem substanciais melhoras nos valores de suas diagonais, especialmente para as classes 5, 11 e 13 nas matrizes de treinamento e para as classes 1, 2, 4, 9 e 14 para as matrizes de teste.

TABELA 9

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TREINAMENTO APÓS SELEÇÃO DE AMOSTRAS - 1984

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4.2	84.3	2.3	5.6	0.9	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.9
2	0.0	0.0	48.1	42.5	1.9	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6
3	0.7	0.0	27.1	50.7	1.4	11.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	2.1	1.4	1.4
4	0.0	0.4	0.9	3.9	10.3	0.0	12.5	2.6	27.2	0.4	15.5	1.3	15.1	8.6	1.3
5	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	54.7	0.0	0.7	0.0	4.4	0.0	18.4	8.8	0.0	0.7
6	0.0	0.0	5.2	21.9	2.1	1.0	21.9	1.0	14.6	4.2	22.9	1.0	1.0	3.1	0.0
7	0.0	0.0	0.0	2.9	0.7	7.4	2.2	29.4	2.2	4.4	0.0	1.5	1.5	11.0	36.8
8	0.0	0.0	0.0	0.8	1.7	0.4	1.7	6.8	44.5	4.2	1.3	5.1	3.4	28.4	1.7
9	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	15.3	1.4	1.4	4.2	45.8	0.0	15.3	12.5	0.0	0.0
10	0.0	0.0	1.2	2.9	1.7	0.0	8.7	0.0	16.3	4.1	56.4	0.6	7.6	0.6	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0	5.0	4.3	3.3	0.0	67.7	1.7	0.7	16.3
12	0.0	0.0	1.0	1.5	7.1	14.3	3.6	0.0	6.6	0.0	2.6	5.1	53.6	4.1	0.5
13	0.0	0.0	0.8	1.7	0.8	0.0	7.2	2.1	5.1	0.0	0.4	2.1	2.5	74.6	2.5
14	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.7	0.3	9.3	1.0	0.0	0.0	7.0	0.0	12.0	67.7
15	0.0	0.0	7.4	4.4	10.3	0.0	2.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	7.4	1.5	65.4

Desempenho médio DM = 54.8%

Abstenção média AM = 0.4%

Confusão média CM = 44.9%

Tem-se então as classes 1, 5, 13, 14 e 15 capazes de permitir uma apreciação do desempenho do classificador em termos de exatidão de classificação. E este resultado permaneceu bastante baixo, apresentando um valor ainda menor que o encontrado com o uso de todo o conjunto de amostras disponíveis.



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

13	35 / 50
CÓDIGO DO PROJETO	
027	3600,63

TABELA 10

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TESTE APÓS SELEÇÃO DE AMOSTRAS - 1984

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	13.0	75.9	6.5	0.9	1.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	6.9	52.1	1.4	2.1	22.9	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
3	0.0	0.0	9.7	11.1	44.4	2.8	4.2	2.8	0.0	4.2	8.3	11.1	0.0	1.4	0.0
4	0.0	0.0	25.0	5.6	43.1	16.7	2.8	4.2	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	15.3	5.6	1.4	70.8	0.0	4.2	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.9	8.3	9.3	20.4	1.9	19.4	4.6	4.6	10.2	6.5	3.7	0.0	0.9	9.3
7	0.0	0.0	0.0	9.7	4.2	19.4	1.4	41.7	0.0	9.7	5.6	8.3	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	4.2	0.0	54.2	2.8	2.8	0.0	2.8	13.9	15.3
9	0.0	0.0	3.0	15.2	3.8	12.1	1.5	3.8	0.0	50.0	2.3	3.8	1.5	2.3	0.8
10	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	9.3	0.6	2.3	1.2	4.7	45.9	0.6	2.3	6.4	0.0
11	0.0	0.0	0.0	7.5	13.1	0.0	4.4	23.8	0.0	18.7	1.9	30.0	0.0	0.6	0.0
12	0.7	0.0	2.1	1.4	0.7	0.0	0.0	5.6	6.9	9.7	4.2	1.4	29.9	16.0	1.4
13	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	3.7	0.0	4.7	21.3	8.3	0.0	2.0	35.7	10.3
14	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.8	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	92.9
15	4.6	0.0	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.9	0.0	1.9	0.0	0.0	67.6

Desempenho médio DM = 49.4%
 Abstenção média AM = 1.0%
 Confusão média CM = 49.6%

TABELA 11

MATRIZ DE TESTE DO CLASSIFICADOR DOS DADOS DE 1984 APÓS SELEÇÃO DE AMOSTRAS

CLASSE N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4.9	46.5	13.2	24.3	3.5	1.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	4.2
2	0.0	13.3	30.0	45.0	0.6	5.6	0.6	0.0	1.1	2.2	0.0	0.6	1.1	0.0	0.0
3	4.2	7.6	14.6	41.7	4.9	1.4	10.4	0.0	0.7	1.4	8.3	0.0	2.8	2.1	0.0
4	0.0	0.0	11.1	29.2	11.1	0.0	9.7	0.7	16.7	0.0	10.4	0.0	6.9	4.2	0.0
5	0.0	0.0	29.2	25.0	1.4	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	12.5	0.0	26.4
6	0.0	2.1	9.7	17.4	5.6	0.0	13.9	6.9	14.6	1.4	18.1	0.7	3.5	5.6	0.7
7	4.2	0.0	6.2	11.1	4.9	0.0	11.8	1.4	2.8	2.1	25.0	0.7	4.9	18.7	4.2
8	0.0	0.0	0.0	1.4	2.8	0.0	0.0	26.4	10.4	0.0	0.0	27.1	1.4	12.5	18.1
9	0.0	0.6	7.7	11.9	14.3	0.0	10.1	0.0	1.8	4.2	28.0	0.6	16.7	4.2	0.0
10	0.0	0.0	2.4	2.9	16.8	0.0	24.0	1.0	5.8	7.7	7.2	6.2	10.1	14.4	0.0
11	0.0	0.0	0.7	5.7	3.9	0.0	27.9	3.9	10.0	6.1	26.4	2.1	6.8	5.7	0.7
12	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	17.6	3.4	1.5	6.9	14.7	10.8	27.0	14.2	1.0	0.0
13	0.2	0.5	0.2	0.5	1.2	4.3	5.3	10.3	28.0	0.2	1.5	9.5	10.5	25.8	2.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	6.2	0.0	0.0	6.5	0.4	61.6	10.1
15	8.3	8.3	9.0	39.6	0.0	23.6	2.8	2.8	0.0	4.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0

Desempenho médio DM = 15.1%
 Abstenção média AM = 1.1%



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

13 / 36 / 50

CODIGO DO PROJETO
0.2 7 | 3.6 | 0.0.6,3

Os leves incrementos nos resultados obtidos para as classes 3 e 13 que se observa ao comparar as Tabelas 8 e 11, são de longe suplantados pelos maus resultados que se verifica nas demais classes.

Para as classes 1, 5, 13, 14 e 15 que, conforme referido, permitem a avaliação da exatidão de classificação, tem-se na Tabela 11 que duas possuem exatidões e nenhuma ultrapassa os 50% de acerto. Aceita-se então que as populações de treinamento e teste das classes de vegetação são, para cada classe, distintas entre si, o que se considera como um efeito do aumento das variâncias das assinaturas espectrais que se verifica nos dados de 1984.

Tem-se então que a condição de estiagem (dados de 1985) prejudica a classificação da Caatinga no nível adotado neste trabalho, devido à superposição das assinaturas espectrais que é decorrente da reduzida biomassa foliar que acompanha estas condições. Por outro lado as classes de vegetação ao responderem ao aumento da disponibilidade de água após um período de seca (dados de 1984), apresentam grandes dispersões em suas assinaturas espectrais, o que leva também a baixos desempenhos dos classificadores.

Tais resultados sugerem também que o nível de detalhamento do sistema de classificação adotado está além do que é adequado a dados orbitais. Isto tem origem na abordagem metodológica de se partir de uma verdade terrestre obtida independentemente dos dados de sensoriamento remoto utilizados, pois, apesar de que o conceito de assinatura espectral apoiar tal abordagem, ela possui limitações quanto às características do sistema de sensoriamento remoto utilizado e quanto às condições de radiação de cena. Estas limitações implicam em confusões entre classes a medida que aumenta o grau de detalhamento do sistema de classificação da cobertura vegetal.

Em vista desta avaliação crítica procurou-se investigar os resultados de uma abordagem inversa, ou seja, analisou-se as estruturas dos dados de 1984 e 1985 a partir de classificações não-supervisionadas e examinou-se as principais relações encontradas entre os resultados destas classificações e as unidades de vegetação definidas na verdade terrestre.

3.5 - ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA



Apresenta-se abaixo uma análise de cada caso através da discussão de sua composição colorida, da classificação do módulo de estudo e da distribuição das zonas de decisão das classes no espaço de atributos introduzido na Figura 7. Assina-la-se que os canais A e B desta figura correspondem sempre aos canais TM-3 e TM-4 ou TM-5 e TM-7, respectivamente. Na mesma ordem são atribuídas as cores ciano e vermelho aos canais TM-LANDSAT presentes na composição colorida. As Figura 13, 14 e 15 se referem a estes resultados para os conjuntos TM-3 x TM-4 dos dados de 1984.

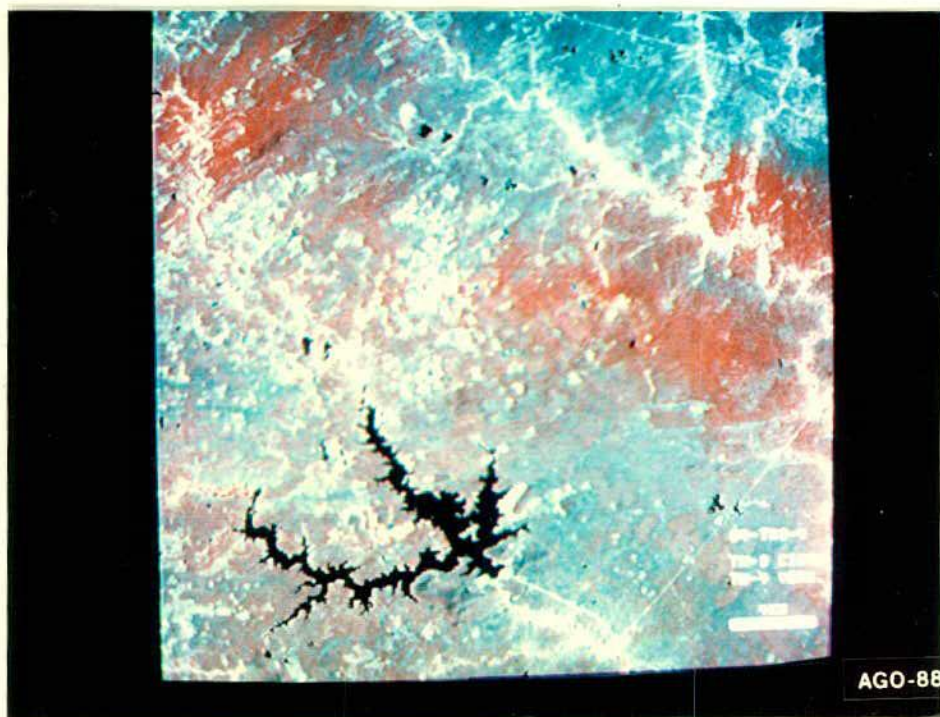


Fig. 13 - Composição colorida dos canais TM-3 e TM-4 dos dados de 1984.

Observa-se na Figura 13 que há áreas em que a densidade de biomassa verde, indicada pela tonalidade vermelha intensa, se apresenta bem mais alta que o restante do módulo de estudo. Isto com certeza ocorre em função do aumento da produtividade primária devido à precipitação que ocorreu nos dias que precederam a aquisição destes dados. A variabilidade espacial desta resposta deve estar relacionada ou com a própria ocorrência da precipitação, que pode ser localizada, ou com fatores edáficos que controlam a retenção da água no solo. Não se considera que esta variabilidade esteja relacionada com o tipo de vegetação porque estas zonas de maior biomassa verde correspondem, segundo o mapa de vegetação utilizado como verdade terrestre (Carvalho, 1986, a), a áreas dominadas por Caatinga Arborea contínua ao sul do Ribeirão Gravatã (Figura 1) e a áreas de Caatinga Clareirada arborea-arbustiva ao Norte do referido curso d'água.

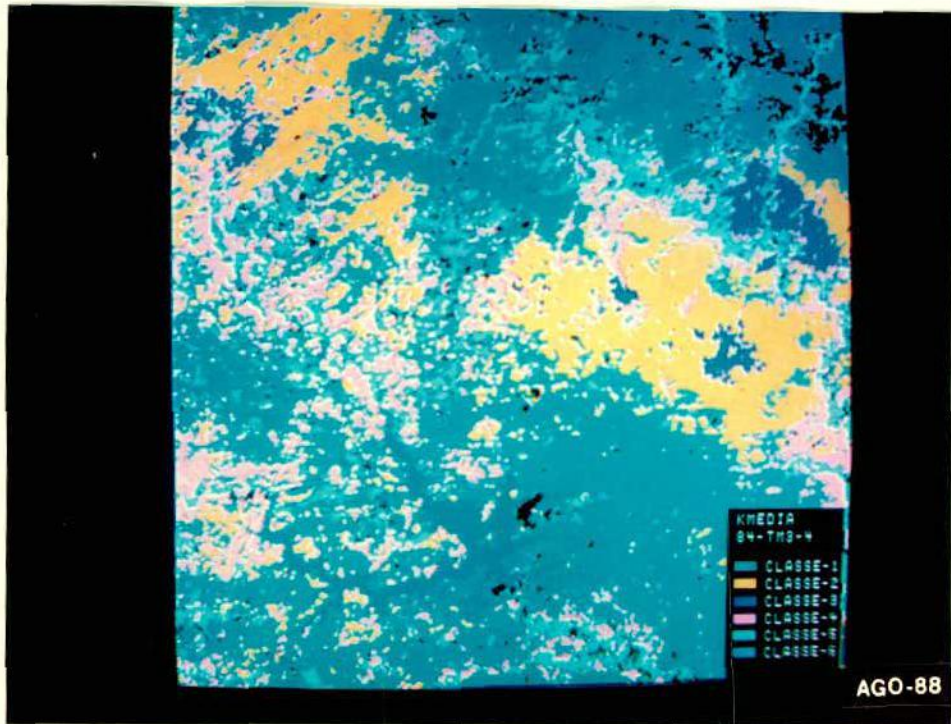


Fig. 14 - Classificação dos dados TM-3 e TM-4 de 1984.

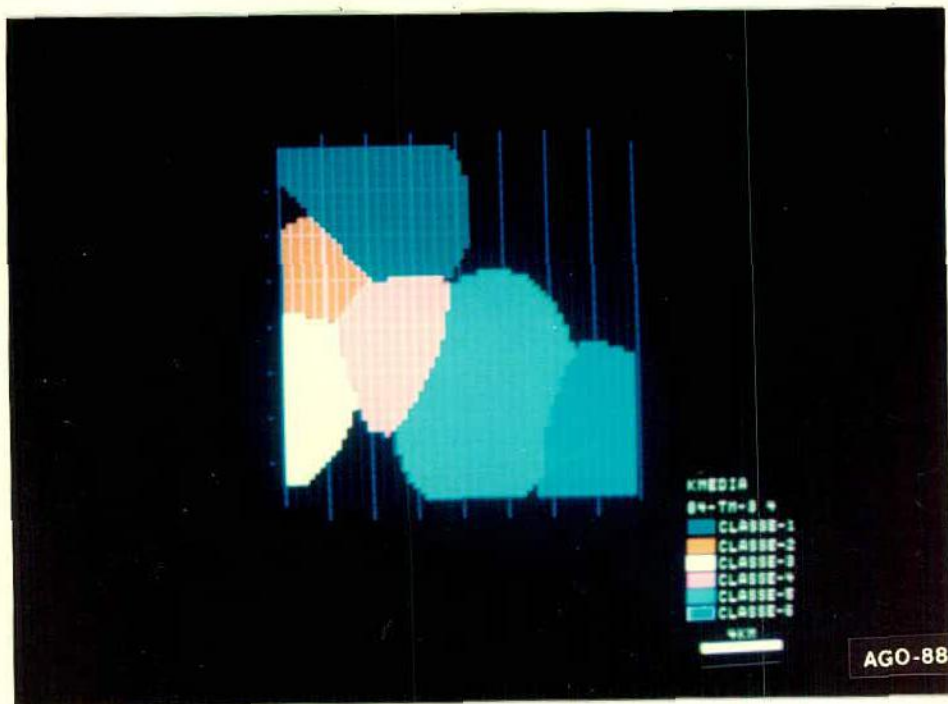


Fig. 15 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-3 e TM-4 de 1984.



As áreas de maior densidade de biomassa foram identificadas na classificação apresentada na Figura 14 pela classe 3. Áreas que também apresentam evidências de biomassa verde foram assinaladas nas classes espectrais 2 e 4.

Nota-se que no diagrama apresentado na Figura 15 estas três classes se dispõem fora do eixo dos pontos positivamente correlacionados nos dois canais que é representado pela diagonal que liga as coordenadas (0,0) e (64,64) da Figura 7.

A classe espectral 3, representada na Figura 13 em cor diferente da sua cor na Figura 14 devido problemas técnicos no I-100, é a que mais se distancia desta diagonal, indicando reflectâncias altas no TM-4 e baixas no TM-3; características de assinaturas de cenas com predominância de biomassa verde.

Já as classes espectrais 2 e 4 se aproximam desta diagonal, denotando um decréscimo na quantidade de biomassa verde, sendo que a classe 2, mais escura, corresponde principalmente a áreas de Caatinga Densa como a C. Arbórea contínua e a C. Arbórea-arbustiva contínua. Por sua vez a classe espectral 4 acompanha as áreas de domínio da C. Arbórea descontínua na parte oeste do módulo de estudo e em torno das áreas de Caatingas contínuas.

As classes espectrais 1, 5 e 6 se alinham na diagonal do espaço de atributo, o que faz com que elas correspondam a um gradiente de brilho. Este tem correspondência com as áreas antropizadas e de Caatingas Esparsas no seu extremo mais claro (classes 5 e 6) e com áreas de caatinga arbórea descontínua no seu extremo escuro (classe 1). Nota-se que esta classe apresenta, nestes dados, áreas com e sem o desenvolvimento da biomassa verde.

Este comportamento bidimensional nas assinaturas espectrais encontradas no espaço TM-3 x TM-4 dos dados de 1984 se perde totalmente no espaço TM-5 x TM-7 conforme se observa nas Figuras 16, 17, 18.

A Figura 16 mostra que a composição praticamente não apresenta cor, se apresentando quase como uma imagem em preto e branco. Isto é o resultado de uma alta redundância entre os canais, que faz com que as intensidades de ciano e vermelho sejam sempre atribuídas na mesma proporção em todos os pixels da cena.

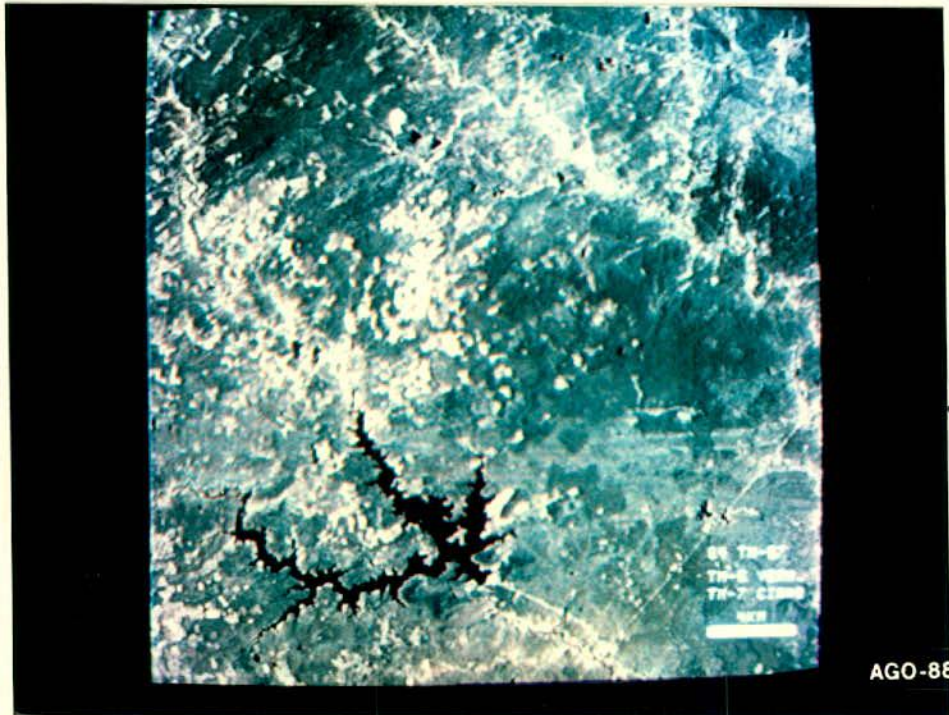


Fig. 16 - Composição colorida dos canais TM-5 e TM-7 dos dados de 1984.

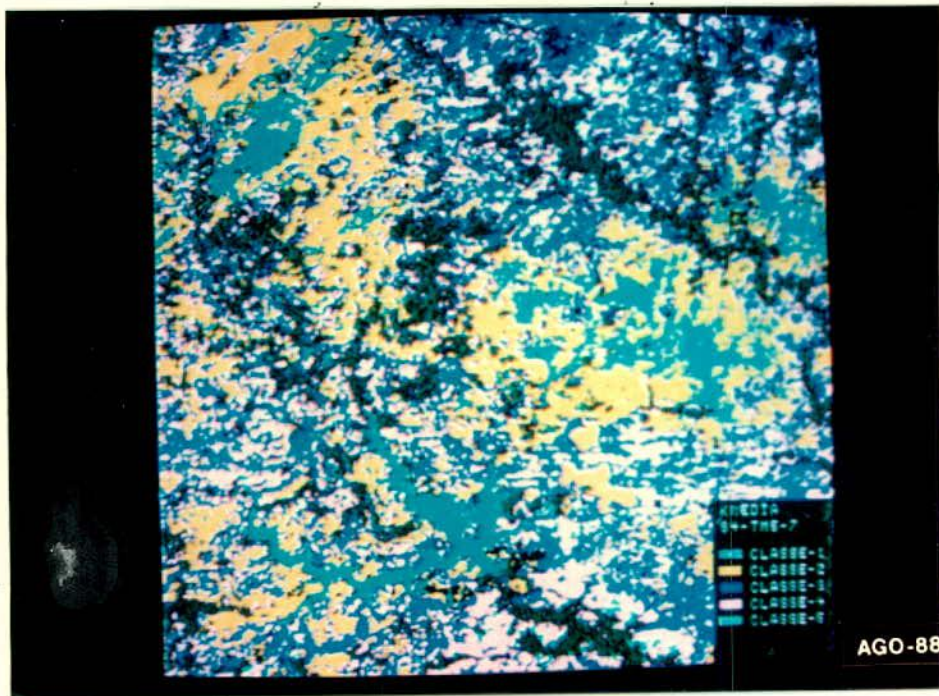


Fig. 17 - Classificação dos dados TM-5 e TM-7 de 1984.

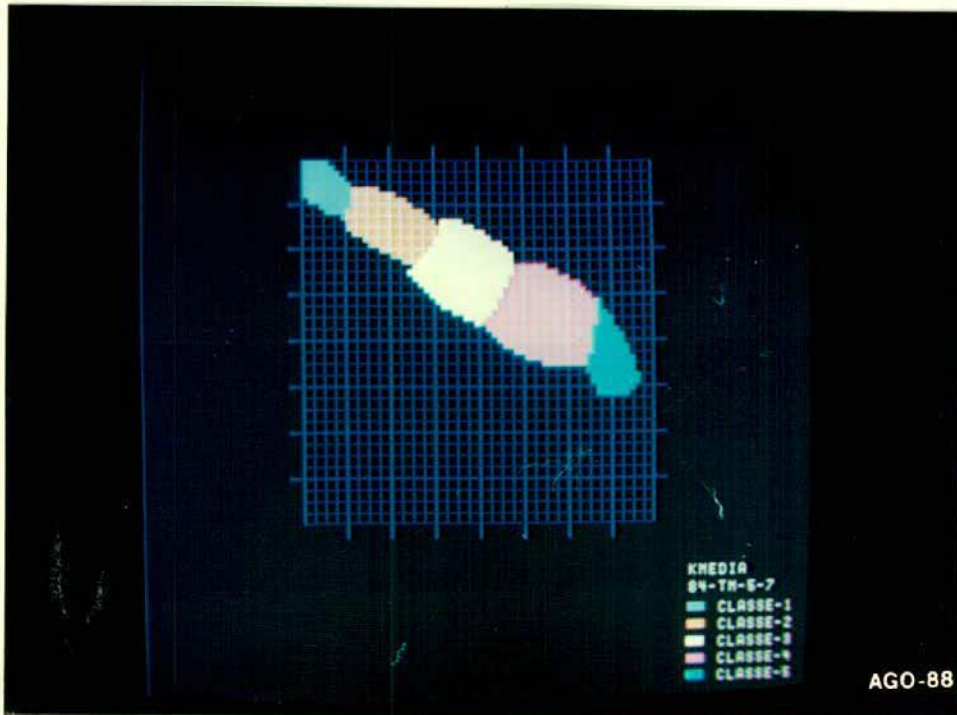


Fig. 18 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-5 e TM-7 de 1984.

Deste modo a classificação que se obteve para estes dados (Figura 17) se assemelha ao resultado de um fatiamento de histograma ("density slicing") onde a classe 1 é associada aos pixels mais escuros, a classe 2 aos imediatamente mais claros e assim por diante. Este alinhamento unidimensional dos dados dos canais TM-5 e TM-7 está indicado na Figura 18, que também permite notar que a maior variação está no canal TM-5.

Fisicamente as áreas escuras nos canais TM-5 e TM-7 estão associadas à presença de água no solo e nos tecidos verdes pois esta molécula absorve fortemente a radiação eletromagnética nestas faixas do espectro. A classe espectral 1 portanto se associa ao espelho d'água do reservatório e às áreas de grande produção de biomassa foliar, discutida em relação à Figura 13.

A classe 1 juntamente com a classe espectral 2 se referem às áreas com dominância de Caatinga Arbórea contínua. Caatingas Abertas estão mapeadas pelas classes 3 e 4 e algumas áreas de ocupação recente são identificadas pela classe 5, sendo que a maioria das áreas antropizadas não está classificada.

Comparando o desempenho dos classificadores obtidos nos dois conjuntos de dados tem-se que os resultados da análise dos dados TM-3 x TM-4 são bem relacionados com a biomassa verde, que, como já assinalado, se comporta independentemente do



tipo de vegetação. E assim as classes espectrais definidas neste espaço de atributos não são tão bem relacionados com as classes de vegetação quanto as classes definidas no espaço TM-5 x TM-7.

Neste caso, apesar de se confundir as áreas de Caatinga Aberta com grande produção de folhas situadas ao Norte do Ribeirão Gravatã com as manchas de Caatinga Arborea contínua, tem-se em geral uma boa associação inversa entre o grau de cobertura da vegetação e o seu nível cinza. Isto pode ser devido à referida absorção da radiância solar pela biomassa verde que está presente no terreno conforme se constatou nos dados do TM-3 x TM-4, mas considera-se mais provável que as sombras projetadas pelas plantas seja a característica da cena que mais determina esta associação. Sugere-se que coberturas mais densas apresentem percentuais maiores de áreas sombreadas. Esta suposição pode ser verificada pela análise dos dados de 1985 que, devido as condições climáticas, não apresenta as influências do desenvolvimento da biomassa verde que se observa nos dados de 1984.

As Figuras 19, 20 e 21 ilustram os dados e os resultados referentes a análise dos canais TM-3 e TM-4 da passagem de 1985.

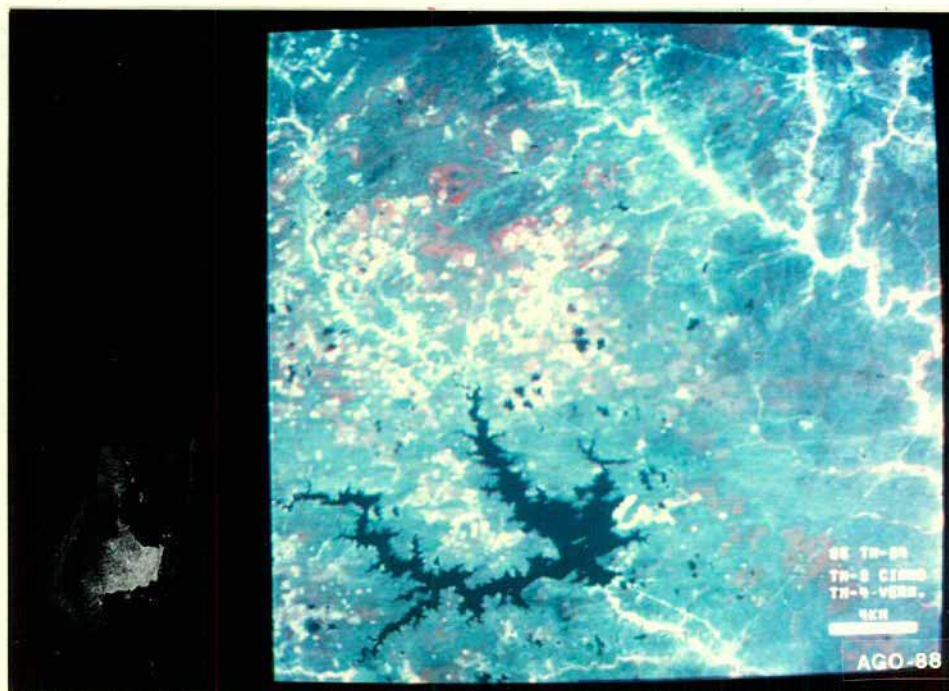


Fig. 19 - Composição colorida dos canais TM-3 e TM-4 dos dados de 1985.

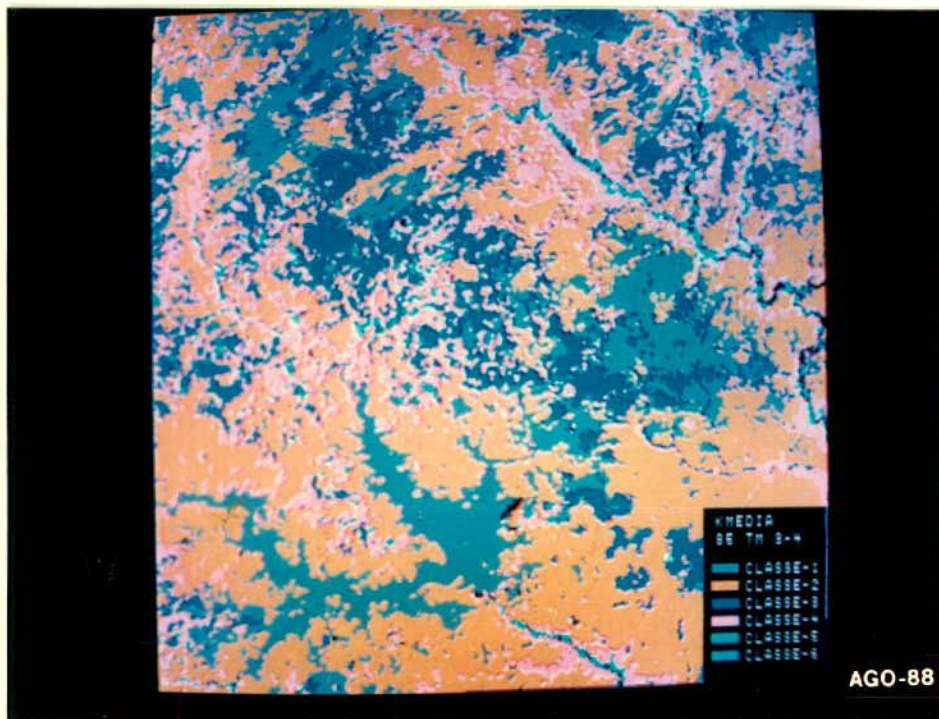


Fig. 20 - Classificação dos dados TM-3 e TM-4 de 1985.

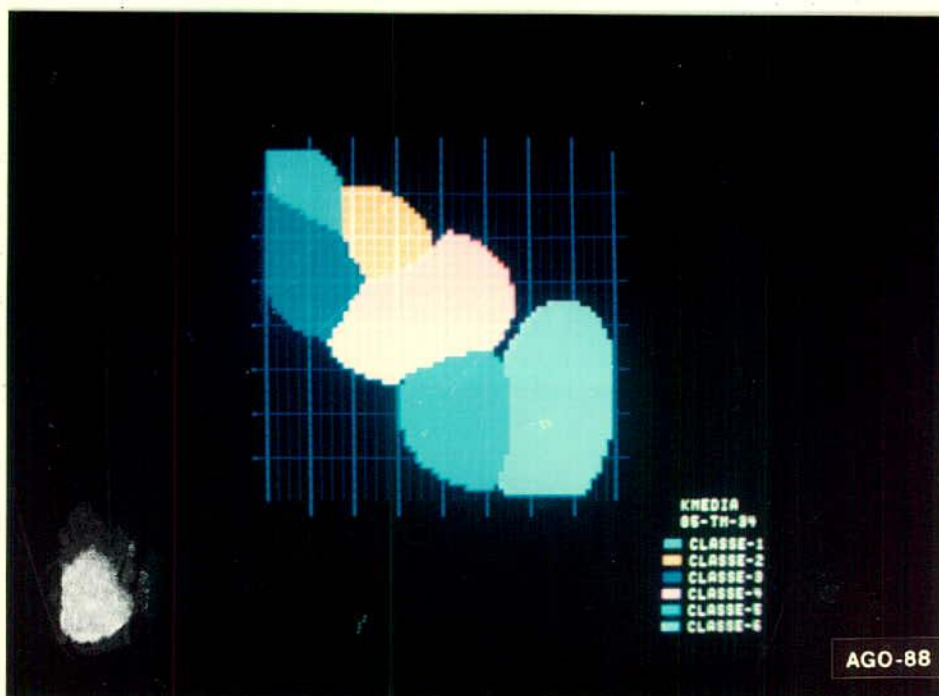


Fig. 21 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-3 e TM-4 de 1985.



Comparando a Figura 19 com a Figura 13, vê-se que praticamente não há concordância entre as áreas com densidade de biomassa verde indicadas pela tonalidade vermelha, exceto pelas manchas de Caatinga Arbórea contínua que, a Leste do reservatório, se dispõem transversalmente a estrada PE-555 que liga Petrolina e Parnamirim.

Nota-se também que em geral, na Figura 19, tem-se pouca distinção de cores o que denota uma redundância entre os canais TM-3 e TM-4 semelhante à discutida em relação à Figura 16. Esta redundância é decorrente da pequena expressão da biomassa foliar da vegetação no momento da tomada de dados e certamente influenciará a análise de classificação não-supervisionada.

Os resultados desta análise nos dados da Figura 19 estão apresentados nas Figuras 20 e 21 e, em termos de relação com a verdade terrestre, são de qualidade bem superior à encontradas para os mesmos canais de 1984.

Semelhantemente ao encontrado na Figura 18 as classes definidas nos dados TM-3 x TM-4 de 1985 se alinham ao longo do eixo diagonal do espaço de atributos, o que é fruto da redundância entre estes canais acima referidos.

As classes 1 e 3 combinadas estão associadas às Caatingas com altos índices de cobertura (i.e. classe 14 - Caatinga Arbórea contínua e classe 11 - Caatinga Arbórea-arbustiva contínua) além do espelho d'água do reservatório. Nota-se que a classe espectral 3 está associada às áreas com coloração vermelha na Figura 13 e se posiciona ligeiramente fora do eixo de alinhamento das classes espectrais na Figura 21, do mesmo modo que as classes 2, 3 e 4 da Figura 15. O acompanhamento da variação deste deslocamento da assinatura espectral da Caatinga no espaço TM-3 x TM-4 deve fornecer informações sobre a distribuição espacial da disponibilidade de água no solo e mesmo permitir a categorização da Caatinga em função de sua eficiência de utilização da chuva.

A classe espectral 2 identifica as áreas de vegetação desprovida de biomassa foliar, englobando várias classes de Caatinga Aberta conforme o mapa de verdade terrestre. Esta classe se localiza bem sobre a diagonal do espaço de atributos da Figura 21 o que evidencia que é possível se distinguir formas de Caatinga, diferenciadas pela cobertura, mesmo em período seco quando estas estão sem folha. Neste caso a sombra projetada pelos galhos e troncos das plantas passa a ser a característica da cena que permite a discriminação das classes de vegetação.



As demais classes espectrais (classes 4, 5 e 6) se associam a áreas em utilização agrícola ou áreas em regeneração após ocupação por um período de tempo. As áreas mais intensamente ocupadas estão representadas pelas classes 5 e 6, enquanto que a classe 4 está melhor relacionada com as áreas de vegetação secundária e alguns casos de Caatinga Esparsa ou de exploração para pecuária extensiva.

O efeito da sombra como fator determinante na diferenciação de tipos de Caatinga durante o período seco se torna bastante evidente quando se analisa os dados TM-5 e TM-7 de 1985. As Figuras 22, 23 e 24 se referem aos resultados desta análise.

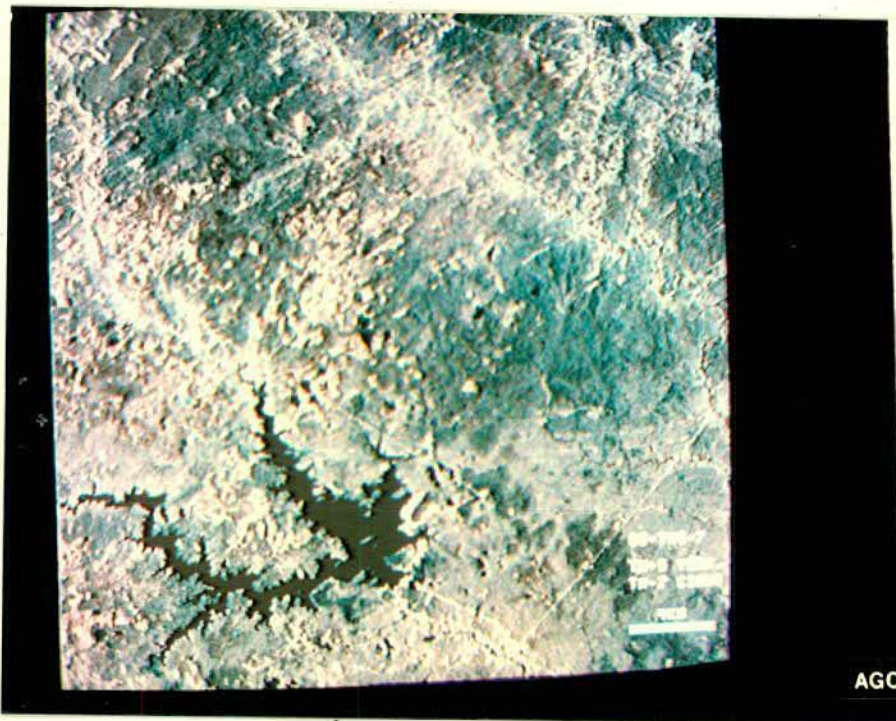


Fig. 22 - Composição colorida dos canais TM-5 e TM-7 dos dados de 1985.

Tem-se na Figura 22 novamente o caso de uma composição colorida de dois canais redundantes entre si, o que resulta numa imagem formada por praticamente só cores cinzas. Apenas algumas áreas sem vegetação se apresentam levemente avermelhadas o que deve ser devido a características espectrais do solo. Interessante notar que tal padrão não ocorre nos dados de 1984, conforme se verifica na Figura 16.

Já as variações na intensidade das áreas cinzas estão relacionadas com a estrutura da cobertura vegetal do mesmo modo que os dados dos mesmos canais TM do ano de 1984, porém com mais contraste e sem a perturbação que a precipitação possivelmente desigual causou nos dados de 1984. Tem-se na Figura 22 as áreas de Caatinga contínua representadas por pixels escuros que foram indentificados pelas classes espectrais 1 e 2 conforme assinalado na Figura 23. A classe 1 assinala os pixels extrema



mente escuros englobando as manchas de Caatinga com presença de biomassa verde (ver discussão nas Figura 19 e 20) e o espelho d'água do reservatório, do mesmo modo que a classe espectral 1 da Figura 17.

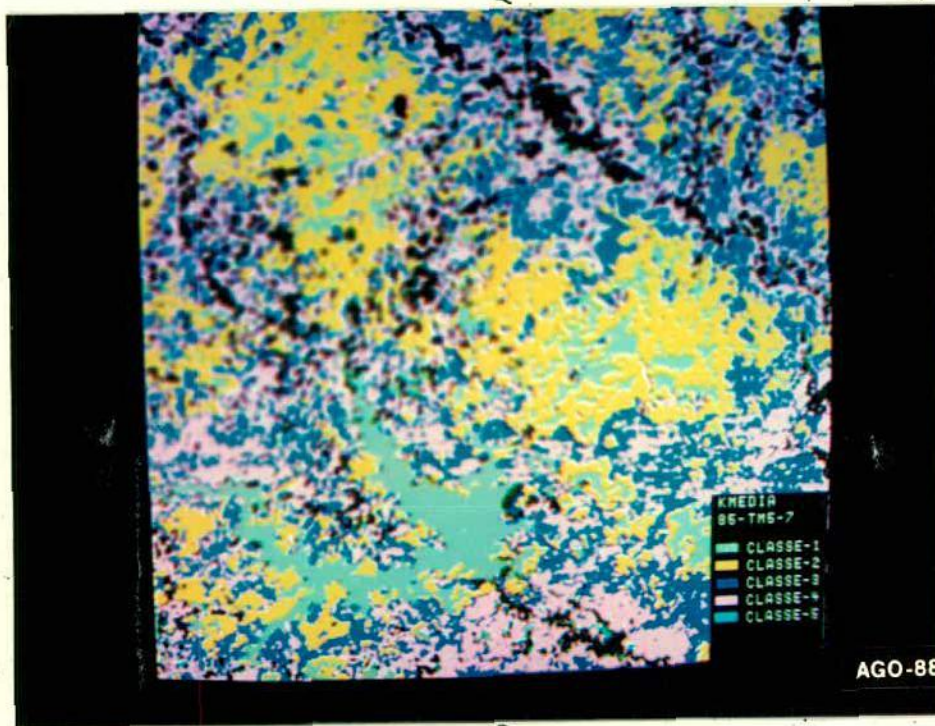


Fig. 23 - Classificação dos dados TM-5 e TM-7 de 1985.

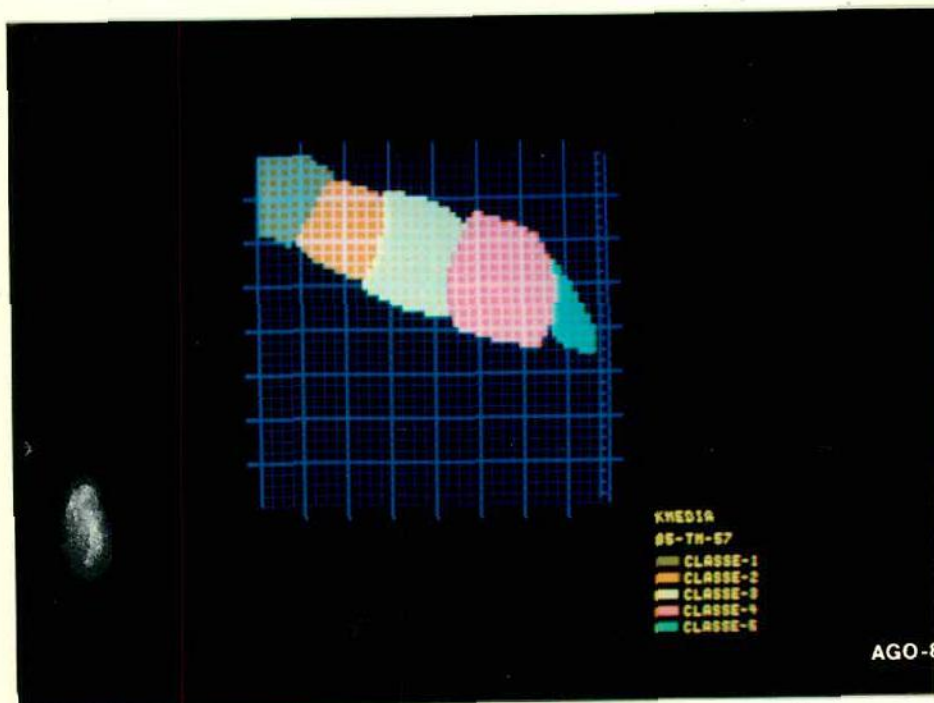


Fig. 24 - Zonas de decisão do classificador dos dados TM-5 e TM-7 de 1985.



Tem-se então que, em ambos os dados de 1984 e de 1985, a classe espectral 1 se associa às áreas de Caatinga com maior densidade de biomassa verde encontrada no módulo de estudo. Constata-se também que estas áreas de maior massa foliar (consequentemente de maior produtividade primária no momento da aquisição dos dados) não ocorrem necessariamente no mesmo lugar nas duas datas. Isto leva a sugestão de que abordagens multitemporais são necessárias para a categorização da Caatinga com base em dados do TM-LANDSAT, pelo menos para dados obtidos na estação seca.

As demais classes definidas pelo classificador desenvolvido para os dados TM-5 x TM-7 de 1985 se alinham ao longo de um eixo cuja inclinação indica uma concentração de informações no canal TM-5. As classes 3 e 4 estão associadas a Caatingas Abertas como nos dados de 1984. Algumas áreas agrícolas estão assinaladas pela classe espectral 6 mas a maior parte das áreas ocupadas não foi abrangida pelo classificador, permanecendo não-classificada na Figura 23.

Da análise de classificações não-supervisionadas acima expostas pode-se sugerir que a assinatura espectral da Caatinga se comporta de uma maneira em relação à sua estrutura e de outra em relação à sua produtividade primária.

Quando sem folhas as assinaturas espectrais da Caatinga se alinham num eixo nos dois espaços de atributos estudados, e suas distâncias da origem se relaciona inversamente com o seu grau de complexidade estrutural - maiores alturas, número de estratos e cobertura do solo - presumivelmente em função do efeito de sombras, conforme já discutido.

A medida que aumenta a quantidade de biomassa verde de uma área observada por um pixel a sua assinatura espectral se desloca para a origem no espaço de atributos TM-5 x TM-7 e para fora do referido eixo de alinhamento no espaço TM-3 x TM-4.

Tem-se assim a possibilidade de se explorar o caráter repetitivo dos sistemas de sensoriamento remoto orbital para categorizar a Caatinga em função de características estruturais com base na localização da sua assinatura espectral ao longo do eixo de alinhamento dos dados quando em período seco. Também a produtividade da Caatinga poderia ser indicada pelo referido deslocamento da assinatura espectral em presença de folhas na cena, integrado pelo tempo em que ela permanece fora do eixo no espaço TM-3 x TM-4.



sistema de classificação da vegetação seja adequado à utilização dos dados TM LANDSAT e que a análise destes dados seja feita dentro de uma abordagem multitemporal.

4. CONCLUSÕES

Do presente trabalho as seguintes conclusões podem ser derivadas:

- A capacidade de discernimento de tipos de cobertura vegetal nos dados TM LANDSAT estudados está aquém do nível de detalhamento do sistema de classificação de vegetação adotada como verdade terrestre. A categorização da Caatinga através de dados TM-LANDSAT parece ser possível, porém para isto é necessário o desenvolvimento de um sistema de classificação da vegetação adequada a este propósito.

Com base nos resultados pode-se sugerir que este sistema de classificação deve ser baseado na rugosidade da cobertura vegetal, dada por índice de cobertura e estruturação vertical, e na sua eficiência na utilização de chuvas. Isto porque, conforme constatado na Discussão dos Resultados, estas são as características da vegetação que mais determinam as suas características espectrais.

- A Caatinga, quando sem folhas, exibe, independentemente do canal TM utilizado, uma graduação de brilho que está inversamente relacionada com a complexidade de sua estrutura. Deste modo as assinaturas espectrais se alinham ao longo do eixo de redundância dos dados TM-LANDSAT. Com isto tem-se a possibilidade de se utilizar apenas um canal do TM-LANDSAT para a categorização de Caatinga neste estado fenológico. Este canal é o TM-5 que apresenta melhor dinâmica radiométrica, ressaltando melhor as variações na vegetação.

- O desenvolvimento da biomassa foliar em resposta a disponibilidade de água provoca o deslocamento da assinatura espectral da Caatinga no sentido perpendicular ao eixo de redundância no plano TM-3 x TM-4. Pode-se então monitorar a produtividade primária da Caatinga em escalas regionais, o que de certo é de grande utilidade para o manejo da capacidade de suporte deste ecossistema.

- Observa-se também que a distribuição espacial das áreas de maior desenvolvimento de biomassa verde é variável temporalmente. O monitoramento desta dinâmica, além de informar a respeito da capacidade de suporte destas áreas, permite também uma determinação da distribuição espacial da disponibilidade de água em função de precipitações distribuídas de modo não homogêneo. Assinala-se também que estas áreas apresentam tamanho suficientemente grandes para serem detectadas através de satélites ambientais como os da série NOAA, o que abre uma grande perspectiva para os estudos



- Em termos de detecção de características estruturais da Caatinga tem-se que períodos secos são mais apropriados para este fim pois o desenvolvimento de biomassa verde não se dá em função do tipo de vegetação e sim em função da disponibilidade de água, o que leva a confusões entre as classes de vegetação.

- Como conclusão geral do trabalho pode-se afirmar que os dados TM-LANDSAT são apropriados ao mapeamento de classes estruturais da Caatinga no período seco e identificando classes de vegetação adequadas a este fim. É promissora também a possibilidade de se monitorar a produtividade primária da Caatinga através da análise multitemporal, que, em decorrência dos altos índices de cobertura de nuvens encontrados na região NE, deve ser feita com apoio de dados de satélites ambientais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, V.C. *Structure et dynamique de la vegetation en milieux tropical semi-aride - La Caatinga de Quixaba (Pernambouc, Bresil) du terrain à l'analyse des données MSS/LANDSAT*. These de Doctorat de l'Université de Toulouse II - Le Mirail. Toulouse, 1986. 332 p.
- CARVALHO, V.C. Estrutura e dinâmica da vegetação em meio tropical semi-árido. A Caatinga de Quixaba (PE); do terreno à análise de dados MSS-LANDSAT. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto. Gramado, R.S. 10-15 de agosto de 1986. *Anais*, v1:418-426.
- COLWELL, J.A. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* v3(3):175-183. 1974.
- ELVIDGE, C.D.; LYON, R.J.P. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. *Remote Sensing of Environment* v17(3):265-279. 1984.
- EYRE, L.A. Environmental deterioration in the caribbean island of Hispaniola. In: ERIM International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands". Cairo, Egypt, January 19-25, 1982. *Proceedings*, v2:809-811.
- EZRA, C.E.; TINNEY, L.R.; JACKSON, R.D. Effect of soil background on vegetation discrimination using LANDSAT data. *Remote Sensing of Environment*, v16(3):233-242. 1984.
- HAMZA, A.; MAMI, A.; SADOWSKI, F. Land use mapping from LANDSAT imagery applied to Central Tunisia. In: ERIM. International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands". Cairo, Egypt, January 19-25, 1982. *Proceedings*. V2:1099-1111.



- HENRICKSEN, B.L.; DURKIN, J.W. Growing period and drought early warning in Africa using satellite data. *International Journal of Remote Sensing* v7(11):1583-1608. 1986.
- HUETE, A.R.; POST, D.F.; JACKSON, R.D. Soil spectral effects on 4 - space vegetation discrimination. *Remote Sensing of Environment*. v15(2):155-165. 1984.
- LAURIN, R.; SIBI, I. Using LANDSAT imageries to make soil-vegetation maps for large areas in Mali, West Africa. In: ERIM International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands" Cairo, Egypt, January 19-25, 1982. *Proceedings*. v2:829-833.
- LE HOUCERON, H.N. Rain use efficiency - a unifying concept in arid land ecology. *Journal of Arid Environment*. v7(3):213-247. 1984.
- MITCHELL, C.W.; HOWARD, J.A.; MAINGUET, M.M. Soil degradation mapping from LANDSAT in North Africa and the Middle East. In: ERIM. International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands". Cairo, Egypt, January 18-25, 1982. *Proceedings*. v2:893-908.
- SALGADO, O.A.; JORDY FILHO, S.; GONÇALVES, L.M.C. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo Fitogeográfico. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro. 1981. (Levantamento de Recursos Naturais 23).
- SINHA, A.K.; VENKATACHALAM, P. LANDSAT spectral signatures - studies with soil association and vegetation. In: ERIM: International Symposium on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conference: "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands". Cairo, Egypt, January 19-25, 1982. *Proceedings*. v2:813-822.
- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O.; KALB, V.L. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. v8(8):1189-1207. 1987.
- TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* v7(11):1395-1416. 1986.
- VALERIANO, D.M. Processamento digital de dados do MSS-LANDSAT aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, S.C.: Metodologia e estimativa de exatidão de classificação. São José dos Campos, março, 1985 (INPE-3455-TDL/188). 1984.
- VELOSO, H.P.; JAPIASSU, A.M.S.; GÔES-FILHO, L. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo Fitogeográfico. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folhas SC 24/25, Aracaju/Pacifico Rio de Janeiro. 1983. (Levantamento de Recursos Naturais 30).