

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**INPE-7180-TDI/680**

**ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) NA  
CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DO USO DA TERRA EM  
ÁREA DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO: QUIXABA-PE**

Francisco Darío Maldonado

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Vitor Celso de Carvalho e pelo Dr. João Roberto dos Santos, aprovada em 07 de abril de 1999.

INPE  
São José dos Campos  
1999

528.711.7

MALDONADO, F. D.

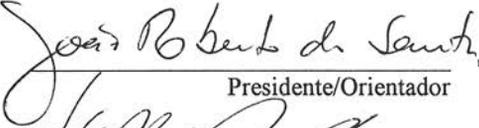
Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE / F. D. Maldonado – São José dos Campos: INPE, 1999.

134p. – (INPE-7180-TDI/681).

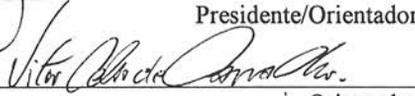
1.Monitoramento. 2.Detecção de mudanças. 3.Uso da terra. 4.Caatinga. 5.Região nordeste. I.Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em  
cumprimento a requisito exigido para a  
obtenção do Título de **Mestre em**  
**Sensoriamento Remoto.**

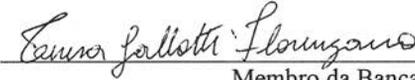
Dr. João Roberto dos Santos

  
\_\_\_\_\_  
Presidente/Orientador

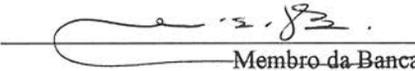
Dr. Vítor Celso de Carvalho

  
\_\_\_\_\_  
Orientador

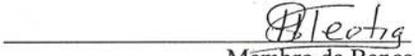
Dr<sup>a</sup> Teresa Gallotti Florenzano

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

Dr<sup>a</sup> Marisa Dantas Bitencourt

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
Convidada

Dr. Harendra S. Teotia

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
Convidado

Candidato: Francisco Dario Maldonado

“ Você não pode provar uma definição,  
o que pode fazer,  
é mostrar que ela faz sentido.”

**Albert Einstein**

## AGRADECIMENTOS

Aos Orientadores Dr. João Roberto dos Santos e Dr. Vítor Celso de Carvalho, além dos Professores Dr. Dalton de Morrison Valeriano, Dr. Edison Crepani, Dra. Teresa Gallotti Florenzano e Ecóloga Alessandra Rodrigues Gomes pela troca de informação e sugestões no decorrer da pesquisa.

À Prof. Dra. Marisa Dantas Bitencourt e Prof. Dr. Harendra Teotia pelas sugestões ao documento final quando da defesa da dissertação.

Ao pessoal do CPTASA/EMBRAPA de Petrolina: Renival Alves de Sousa (Chefe Adjunto de Pesquisa, Coordenador do Programa de Geoprocessamento) e ao nosso esforçado motorista Francisco. Além de agradecimento especial ao mateiro Francisco Alexandrino Gomes (Chico Macena) da ONG CAATINGA de Ouricuri.

E a Isabel Cristina Vega que ajudou com carinho em todas as etapas da execução deste trabalho.

Aos seguintes organismos pelo financiamento deste estudo: CNPq pela concessão da Bolsa PEC/PG (Processo 190006/98-6); ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela ministração do curso e suporte financeiro; “Universidad Nacional de San Juan – Argentina” (UNSJ) pela licença e apoio financeiro; e CPATSA / EMBRAPA - Petrolina pelo apoio logístico no trabalho de campo.

## RESUMO

O semi-árido brasileiro está submetido à pressão de ocupação humana, que vem se desenvolvendo de forma não sustentável. A análise das mudanças na cobertura vegetal da caatinga pode fornecer a informação sobre a dinâmica da exploração típica da paisagem do trópico semi-árido brasileiro. Com esta finalidade, foi aplicada a Análise por Componentes Principais, em conjunto com um método de análise dos dados de levantamento em campo, o qual permitiu a estimativa do estado do ponto amostrado em termos de recuperação/degradação. A área selecionada para este estudo está situada no centro-sul do Estado de Pernambuco, na área central do Trópico Semi-Árido brasileiro, correspondendo à uma superfície de 190 Km<sup>2</sup>. Foram definidas cinco classes de mudanças e não mudanças e os resultados foram avaliados com o uso combinado de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um levantamento apropriado de campo. Os resultados foram significativos, considerando-se o pouco tempo de processamento de dados e de recursos financeiros, para uma atualização das cartas temáticas de uso e cobertura do solo, no período 93-96. Foram atualizadas as Cartas das fácies de caatinga do ano 1983 para o ano 1996. Também, foi avaliada a influência das chuvas irregulares na abordagem de detecção com dados TM/Landsat, resultando que embora uma parte da imagem seja afetada, a totalidade da detecção é prejudicada. Com base na análise dos resultados e dos erros observados na matriz de confusão, propõe-se um método alternativo de Análise por Componentes Principais (ACP), baseado numa rotação análoga à da ACP, mas com um ângulo menor que o aplicado pela mesma.

**PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS (PCA) IN CHARACTERIZATION  
OF THE DYNAMIC OF THE LAND USE IN SEMI-ARID BRAZILIAN AREA:  
QUIXABA - PE**

**ABSTRACT**

The Brazilian semi-arid region has demonstrated the pressure of human occupation changes, which are developed in non-sustainable forms. The analysis of the multi-temporal effects changes for the "Caatinga" land cover, may provide sufficient information about dynamics for the typical exploitation of "Caatinga" semi-arid areas. Considering these objectives, the Principal Component Analysis (PCA), combining with the field survey data, was applied, which permitted the estimation of the point sample state in terms of re-occupation / degradation. The selected area for this study is situated in the Central-Southern Semi-Arid part of the "Pernambuco" State of Northertern Brazil. It covers about 190 km<sup>2</sup> and lies between 8° 00' and 8° 07' S latitude; 39° 45' and 39° 53' W longitude respectively. There were only five changed and unchanged classes of multi-temporal effects, with the combined use of the Geographical Information System (GIS) and appropriated field survey, the results of this study were evaluated. This study was less time consuming and economically significant for the period of 83-96. Also, the influence of irregular rain effects was observed with the use of Landsat TM; which was resulted in the generalized alteration for the PCA changes detection. Because of an affected part of the image the total detection was suffered. Based on the analysis of the results and the errors in Confusion Matrix, an alternative method of PCA was suggested. This method is based on the rotative analogy of the PCA transformation, where a smaller angle of rotation was applied.

## SUMÁRIO

pag.

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 Objetivos .....	18
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 Características Espectrais da Vegetação e dos Solos .....	21
2.2 Experiências de uso das imagens orbitais para estudos da cobertura vegetal e uso da terra no semi-árido.....	24
2.3 Processamento de Imagens Digitais .....	26
2.3.1 Técnicas de Pré-Processamento.....	29
2.3.2 Análise por Componentes Principais (ACP) .....	30
2.4 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) .....	35
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1 Área de estudo.....	41
3.1.1 Aspectos Fisiográficos .....	42
3.1.2 Aspectos Climáticos .....	44
3.1.3 Aspectos da Vegetação.....	46
3.2 Materiais e Equipamentos.....	50
3.2.1 Produtos Orbitais .....	50
3.2.2 Materiais Cartográficos.....	51
3.2.3 Dados Pluviométricos .....	51
3.2.4 Sistemas de Processamento de Imagens e Sistemas de Informação Geográfica.....	52
3.3 Metodologia.....	54

<b>3.3.1 Fase de detecção</b> .....	<b>55</b>
3.3.1.1 Pré-Processamento de Imagens TM/Landsat.....	56
3.3.1.2 Aplicação da Técnica da Análise por Componentes Principais (ACP) .	59
3.3.1.3 Seleção de Bandas Espectrais .....	60
3.3.1.4 Aquisição da Imagem Detecção .....	61
<b>3.3.2 Fase de Caracterização e análise das mudanças</b> .....	<b>64</b>
3.3.2.1 Montagem do Banco de Dados geocodificados.....	65
3.3.2.2 Levantamento de Campo.....	67
3.3.2.3 Caracterização das Mudanças .....	75
3.3.2.3.1 Uso do SIG .....	75
3.3.2.3.2 Definição e Caracterização da Legenda Temática .....	76
3.3.2.3.3 Avaliação do mapeamento e da ACP .....	76
<b>3.3.3 Análise integrada dos resultados da detecção</b> .....	<b>77</b>
<b>3.3.4 Integração de Dados climaticos</b> .....	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>81</b>
<b>4.1 Fase de detecção</b> .....	<b>81</b>
4.1.1 Seleção de bandas espectrais.....	81
4.1.2 Aquisição da imagem detecção .....	89
<b>4.2 Fase de caracterização e análise das mudanças</b> .....	<b>96</b>
4.2.1 Distribuição e cálculo de áreas da Carta dos Tipos Estruturais de Caatinga.....	98
4.2.2 Caracterização das Mudanças.....	101
4.2.3 Análise da ocorrência de chuvas de distribuição espacial irregular.....	107
4.2.4 Análise da matriz de confusão para avaliar alternativas à ACP .....	112
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>116</b>
<b>APÊNDICE A - Lista de nomes vulgares e científicos</b> .....	<b>129</b>
<b>APÊNDICE B - Dados dos Postos Pluviométricos do ano 1984</b> .....	<b>132</b>
<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>133</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pag.
2.1 - Comportamento espectral característico da folha verde. ....	21
2.2 -Resposta espectral característica da vegetação verde, solos arenoso e argiloso em condições úmida e seca, sobrepostas nas bandas Landsat TM.....	23
2.3 -Efeito da atmosfera sobre os níveis de cinza em três bandas diferentes..	28
2.4 -Distribuição hipotética do espaço de pixels para duas datas TM/Landsat em banda 3 (região do vermelho).....	31
2.5 -Modelos de representação matricial e vetorial. ....	36
2.6 -Exemplo de operação de integração de informações geográficas através de operação algébrica pontual.....	38
3.1 -Localização da área de estudo, no centro-sul do estado de Pernambuco	41
3.2 - Superfície litólica em algumas áreas da caatinga.....	43
3.3 -Diagrama ombrotérmico representativo da área de Quixaba.....	44
3.4 -Localização da área no semi-árido.....	45
3.5 - Cultura de feijão, sob irrigação artificial.....	48
3.6 -Disposição dos postos pluviométricos e chuva acumulada para os seis meses antes da data do imageamento em novembro de 1984. ....	52
3.7 - Fluxograma metodológico geral .....	54
3.8 - Fluxograma da Aquisição e Análise da imagem detecção .....	55
3.9 - Fluxograma do pré-processamento.....	58
3.10 - Fluxograma dos processamentos da banda 3 e banda 4 para análise e comparação dos produtos da ACP.....	60
3.11 - Passos para a obtenção da imagem detecção.....	62
3.12 - Rotulação e esquema do fatiamento do histograma da 2ª CP e da nuvem de pixel, produto da ACP. ....	63
3.13 - Esquema conceitual de integração de dados.....	66

3.14 - Representação esquemática da planilha de campo.....	70
3.15 - Fotografia de um ponto amostrado sob a trena. Faz-se notar a cobertura do solo composta por galhos e folhagem. ....	73
3.16 -Aplicação da amostragem sobre a trena, em área de caatinga arbustiva aberta.....	74
3.17 - Fluxograma da integração de dados climáticos.....	79
4.1 - Distribuição das nuvens de pixels a) Bandas TM3 (1984-1996); b) componentes principais. ....	85
4.2 - Distribuição da nuvem de pixels, a) bandas TM4 (1984-1996); b) componentes principais. ....	85
4.3 - a) Nuvem de pixels da ACP da Banda TM3; b) 2ª CP fatiada, em cor verde NC menores que $X - 1\sigma$ , e em vermelho valores maiores que $X + 1\sigma$ . ....	86
4.4 - a) Nuvem de pixels da ACP da Banda TM4; b) 2ª CP fatiada, em cor verde NC menores que $X - 1\sigma$ , e em vermelho valores maiores que $X + 1\sigma$ . ....	87
4.5 - Estimativa do comportamento das bandas TM3 e banda TM4 na época seca e época úmida.....	88
4.6 - Nuvem resultante da ACP e histogramas das 1ª CP e 2ª CP. ....	90
4.7 - Histograma fatiado à distância de $1\sigma$ e a $2\sigma$ da média e rotulado.....	91
4.8 - Imagem Detecção da área de Quixaba. ....	92
4.9 - Formas e padrões dos alvos na imagem detecção, resultantes dos processos antrópicos.....	94
4.10 - Fotografia de uma área de culturas e pastagens, onde é observada a razão das texturas mistas na Imagem detecção.....	95
4.11 - Em primeiro plano entrada do açude e em segundo plano, a calha do açude em estado avançado da reconquista vegetal, na imagem detecção pertence à classe recuperação $2\sigma$ . ....	96

4.12 - Planos de informação (PI) sobre os quais foi efetuado o geoprocessamento em que está baseado a fase de caracterização e análise das mudanças .....	97
4.13 - Carta dos tipos estruturais de caatinga da região de Quixaba para o ano 1983, gerada em SPRING. ....	98
4.14 - Superfície percentual dos tipos estruturais de caatinga presentes na área de estudo em 1983. ....	99
4.15 - Superfície percentual das áreas de degradação $2\sigma$ da Imagem detecção, discriminadas por tipo de Caatinga do ano 1983. ....	100
4.16 - Superfície percentual das áreas de recuperação $2\sigma$ da imagem detecção, discriminadas por tipo de caatinga do ano 1983. ....	100
4.17 - Distribuição espacial dos pontos no levantamento de campo. ....	101
4.18 - Representação esquemática de um transecto, onde a) estrato arbóreo; b) arbustivo; c) herbáceo; d) serrapilheira; e) superfície exposta do solo. ....	102
4.19 - Carta das fácies de caatinga de 1984 e atualizada para 1996. ....	106
4.20 - Imagem composição colorida bandas 4,5,3; o quadro vermelho é a área de estudo. a) data 1984, observa-se a coloração avermelhada e b) data 1996 o vermelho somente nos riachos. ....	107
4.21 - Imagem RGB 4,5,7 mascarada, somente visível a classe caatinga arbórea com clareiras a) data ano 1984; b) data ano 1996. ....	108
4.22 - Imagem detecção com traçado de um limite estimado de área afetada pelas chuvas (cinza escuro) e não afetadas (cinza claro). Na direita da figura, diagramas de distribuição das mudanças a) na área total, b) em área não afetada, c) em área afetada pelas chuvas. ....	110
4.23 - Mudança estimada das respostas; a) por efeito das chuvas; b) por efeito da degradação propriamente dita. ....	111

4.24 -Esquema dos erros possíveis de detecção, sobre a nuvem de pixels da ACP (em números amarelos os mais freqüentes). .....	112
4.25 -Esquema das rotações propostas e dos erros de maior ocorrência; a) rotação aplicada pela ACP; b) rotação proposta com ângulo menor (Ce=centróide).....	114

## LISTA DE TABELAS

	pag.
<b>3.1-Escala de tamanhos dos sedimentos.....</b>	<b>73</b>
<b>3.2-Matriz de confusão com os erros considerados de maior importância para a análise . .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1-Descritores das bandas usadas e dos resultados da ACP.....</b>	<b>82</b>
<b>4.2-Correlações entre bandas.....</b>	<b>83</b>
<b>4.3-Parâmetros da ACP .....</b>	<b>83</b>
<b>4.4-Correlação das 2ª Componentes principais.....</b>	<b>84</b>
<b>4.5-Estatísticas da imagem (2ª CP) .....</b>	<b>91</b>
<b>4.6-Transectos em relação à Imagem detecção e às Cartas dos Tipos Estruturais de 1983. ....</b>	<b>103</b>
<b>4.7-Matriz de confusão .....</b>	<b>104</b>
<b>4.8-Casos encontrados de confusão da ACP.....</b>	<b>113</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O presente trabalho foi concebido como um subsídio para o Plano Nacional de Combate à Desertificação e Efeitos da Seca. Este plano está destinado à implementação de políticas voltadas para a minimização das perdas econômicas e ambientais, em defesa do potencial de produtividade da terra, na região do semi-árido brasileiro.

Aqui, como em outras áreas de condições semi-áridas, a situação climática comanda a evolução das paisagens e estas são responsáveis pela distribuição das populações humanas. O processo de degradação, ao qual está sendo submetida a região nordestina, tem preocupado a população, a comunidade técnico-científica e os tomadores de decisões em questões de planejamento sócio-econômico, pela significativa emigração resultante de uma redução da capacidade de subsistência e produtividade da terra.

Este processo tem sido desencadeado pela atividade agropecuária em ambientes susceptíveis à erosão e está diretamente relacionado à aridez, tipo de solo e à cobertura vegetal. O trópico semi-árido brasileiro, ou sertão nordestino, apresenta estes fatores potencializados quando aliados a um clima bastante desfavorável.

Neste contexto, alguns pesquisadores, entre eles Sobrinho (1986), propõem que a investigação de desertificação em uma determinada região empregue uma abordagem metodológica que inclua o sensoriamento remoto para subsidiar a caracterização e localização geográfica da degradação, bem como a magnitude e direção do processo expansionista da ação antropogênica para as áreas vizinhas.

Os produtos fornecidos através do sensoriamento remoto orbital, em conjunto com técnicas avançadas de extração de informação e com o suporte de dados

interpretativos convencionais, mostram-se úteis também em regiões áridas para extrair informação que subsidia o monitoramento e a avaliação do impacto das transformações dinâmicas de uso da terra.

A utilização da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP), no tratamento de dados orbitais, pode auxiliar na coleta de informações sobre mudanças relacionadas à ocupação do solo, servindo assim como ferramenta de caracterização e monitoramento ambiental básica e de baixo custo. As potencialidades desta técnica provêm, segundo Richards (1993), da exploração da correlação entre as bandas de imagens multitemporais de regiões que apresentam uma dinâmica espaço-temporal que pode ser estudada através do comportamento radiométrico das imagens de sensoriamento remoto.

## **1.1 Objetivos**

O **objetivo geral** do presente trabalho é a detecção, caracterização e quantificação de mudanças na cobertura vegetal em área do semi-árido (Quixaba-PE), utilizando a técnica da Análise por Componentes Principais (ACP), para a análise da degradação ambiental que vem se processando de forma gradual na região.

Para atingir esse objetivo geral, propõe-se os seguintes **objetivos específicos**:

- 1- Identificar e caracterizar as mudanças na paisagem do semi-árido, utilizando a técnica ACP em imagens multitemporais de TM/Landsat.
- 2- Gerar base de dados digitais atualizados (cartográficos e temáticos) para a área, através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), em escala compatível com os dados pré-existentes.
- 3- Analisar, quantificar e verificar tendências de mudanças no uso da terra, ocorridas na paisagem do semi-árido no período de 1984 a 1996.

4- Estabelecer metodologia de coleta de dados no campo para a caracterização fisionômico-estrutural, estado da cobertura vegetal e do processo indicativo de antropização da paisagem.



## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Características Espectrais da Vegetação e dos Solos

Um dos objetivos do sensoriamento remoto é identificar as características do terreno, obtidas através do fluxo radiante que é refletido em diferentes comprimentos de onda (Slater, 1980). Ao incidir sobre um alvo, a radiação proveniente do sol, interage com o material constituinte deste alvo, podendo ser parcialmente refletida, absorvida ou transmitida. O comportamento espectral da vegetação (Figura 2.1), pode ser analisado em três porções do espectro eletromagnético.

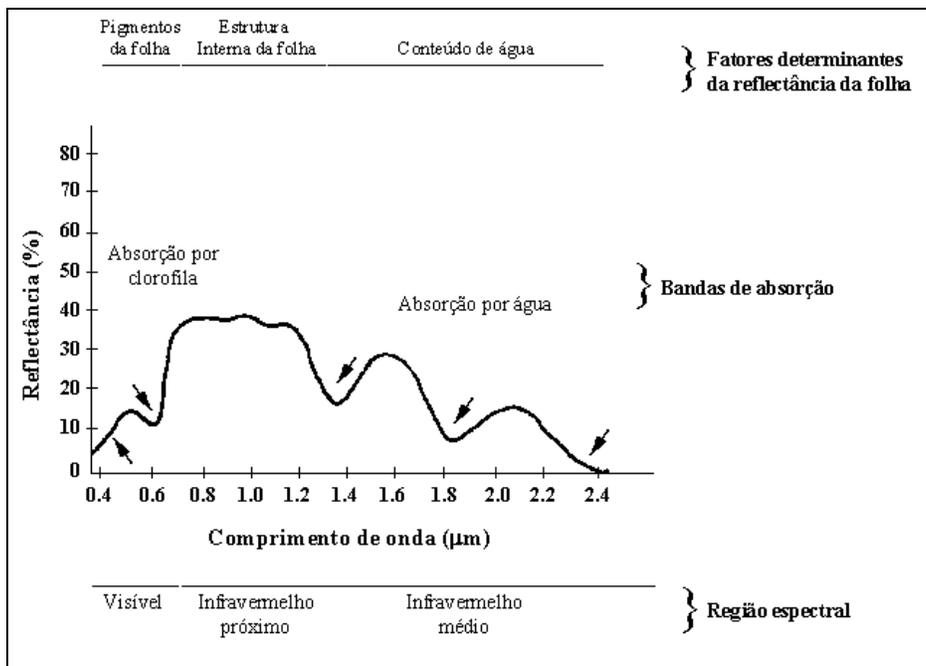


Fig. 2.1 - Comportamento espectral característico da folha verde.  
FONTE: Adaptada de Hoffer (1978).

Na primeira porção, a região do visível entre 0.4 até 0.7 $\mu$ m, os principais parâmetros que dominam os valores de refletância são os pigmentos, com a maior parte da energia sendo absorvida e pouco transmitida (Hoffer, 1978); na segunda porção, com um intervalo de 0.7 a 1,3 $\mu$ m, denominado infravermelho próximo, predominam as características da estrutura celular da folha, e na terceira porção, entre 1.3 a 2.5 $\mu$ m, os valores de refletância são determinados pelo conteúdo de água da vegetação segundo Novo (1992).

Variações de refletância na região do visível estão associadas, segundo Kumar (1972), à concentração de clorofila e de outros pigmentos em diferentes estágios de desenvolvimento da folha. A elevada refletância das folhas na faixa do infravermelho próximo, deve-se a sua estrutura celular interna mais especificamente às discontinuidades entre as células (Gausmam, 1985).

Em relação aos solos, o conteúdo de matéria orgânica e umidade tem grande importância no comportamento espectral, visto que a refletância do solo diminui quando o teor da matéria orgânica aumenta. Estudos realizados por Baumgardner et al. (1970) mostram que, quando o teor de matéria orgânica nos solos excede 2 %, é importante sua consideração na região refletiva do espectro eletromagnético. Segundo Duque (1980), com a ação do clima, os teores de matéria orgânica nos solos do semi-árido tornam-se baixos. Portanto, estes fatores não são considerado no presente trabalho e considerado-se a textura como o fator preponderante na resposta dos solos da caatinga.

Os materiais do solo sofrem intemperismo e são transportados e depositados; este processo em geral está associado às mudanças na cobertura vegetal. Algumas mudanças nos solos detectadas pelo sensor, responde às novas condições físicas da superfície quando a cobertura vegetal é aberta. Os solos litólicos observados, segundo Paton (1978) e Guerra (1997), são na sua grande maioria, produto da erosão do solo do semi-árido. A granulometria da superfície e a presença de fragmentos de quartzo vem influenciar à resposta dos solos para os sensores.

A textura (granulometria) e a estrutura, influenciam o comportamento espectral dos solos, ou seja, o tamanho e o arranjo das partículas da superfície. Stoner e Baumgardner (1980) observaram que solos de textura arenosa, aumentam a refletância à medida em que proporções de areia fina e muito fina, tornam-se maiores. A situação é oposta para solos não arenosos de textura média e fina, pois há uma formação de agregados estáveis em água, ocasionando a criação de uma superfície diferente daquela formada por grãos simples de solos arenosos, diminuindo a reflectância. O fato da umidade atuar e assim diminuir a reflectância ( Figura 2.2 ), aumenta ainda mais a complexidade nas respostas espectrais do substrato.

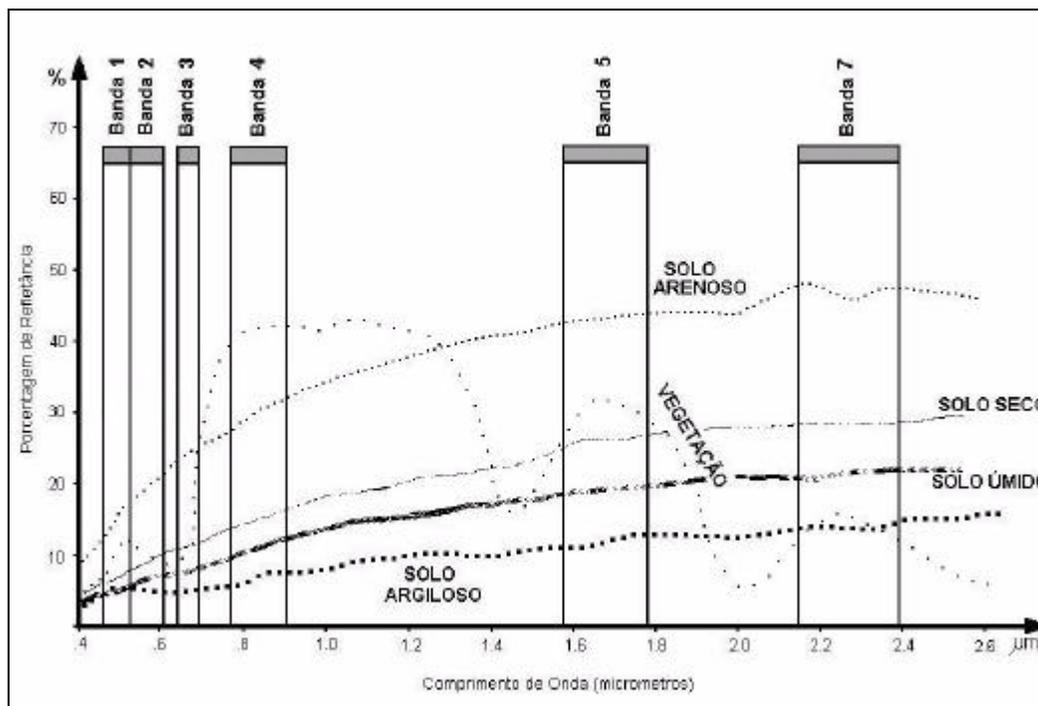


Fig. 2.2 -Resposta espectral característica da vegetação verde, solos arenoso e argiloso em condições úmida e seca, sobrepostas nas bandas Landsat TM.

FONTE: Adaptação de Valério Filho e Pinto (1996) e Myers (1983).

As bandas potencialmente úteis para a detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido, são sensíveis à diferentes feições do terreno, como as apresentadas pelo solo ou pela massa foliar respectivamente. É importante considerar algumas das particularidades da resposta espectral da vegetação da caatinga na época da seca. A baixa atividade fotossintética refletida pelo aspecto seco dos estratos que compõe as fácies de caatinga, faz com que a resposta espectral desta formação tenha um importante componente do sombreamento da porção lenhosa (troncos e galhos). A ausência de material foliar verde em grande número de espécies, diminui a influência da componente folha na resposta espectral, aumentando ainda mais a importância do sombreamento sobre o solo, da serrapilheira e da vegetação dos estratos inferiores. O efeito do sombreamento por alta densidade de galhos, produz uma diminuição da reflectância dos elementos subjacentes dos estratos inferiores. Segundo Pinker e Karnieli (1995) e Tueller (1987) quando a cobertura vegetal no semi-árido está próxima de 30%, o solo produz a principal componente da resposta espectral. De acordo com Hutchinson (1982), quando a cobertura vegetal do semi-árido é menor que 30% o sensor do satélite não pode detectar com facilidade a resposta da vegetação.

As características da vegetação natural da caatinga contrastam com as das culturas implantadas, segundo Choudhury (1992), apresentando as primeiras, características xerófilas e as segundas mesófilas, segundo Moore e Chapman (1990). Portanto, procura-se o uso de bandas sensíveis na mesma proporção aos dois tipos de vegetação presentes na cena, uma seleção apropriada deve incluir as bandas sensíveis à cobertura dos solos.

## **2.2 Experiências de uso das imagens orbitais em estudos da cobertura vegetal e uso da terra no semi-árido.**

Na literatura há extenso número de trabalhos relativos ao uso de dados orbitais na caracterização temática de uso da terra em regiões tropicais. Sob domínios de relativa e constante condição pluviométrica como o de Watrin et. al. (1998) e

Almeida et al. (1996), até a escassa e irregular pluviosidade no semi-árido. No nordeste do Brasil, Teotia et al. (1998). Aligula et al. (1997) e (Wamicha, 1997), avaliaram no semi-árido do norte da África o efeito antrópico em terras de pastoreio e o efeito da perda da cobertura vegetal sobre a erosão. No trópico semi-árido Guangwei (1997) e Perumal et. al. (1997), estudaram a degradação de terras integrando sensoriamento remoto e SIG, na China e no semi-árido da Índia respectivamente.

Os estudos da cobertura da terra vêm se valendo das características espectrométricas dos sensores orbitais. Mediante um estudo sistemático tem se empregando técnicas de processamento de imagens com combinações de bandas espectrais específicas, obtendo resultados significativos na discriminação e caracterização dos alvos sobre a superfície da terra.

Carvalho (1986), estudando a região do semi-árido brasileiro, utilizou imagens MSS/Landsat para discriminar tipos de caatingas, discriminando sete dos dezesseis tipos desta formação. Os dezesseis tipos estruturais, nos quais está baseado o presente trabalho, foram separados por este autor, com um detalhado levantamento fitossociológico de campo e análise de fotografias aéreas. Ele, considerou a época seca mais apropriada para discriminar os tipos de vegetação natural e a época úmida para discriminar o solo exposto.

Kazmierzac (1993), ao estudar os índices de vegetação, encontrou a dificuldade para o sensoriamento remoto em discriminar tipos de caatinga pela homogeneização da vegetação que ocorre na época úmida.

Sá (1991), aplicou dados do TM/Landsat para o mapeamento de tipos de caatinga na época seca, obtendo resultados satisfatórios mediante o uso combinado de imagens do sensoriamento remoto orbital e aéreo, numa abordagem multiestágio.

Nestes trabalhos, os autores dão mais importância à época seca para a discriminação e classificação da caatinga. Portanto, características importantes

para a discriminação da vegetação são melhor observadas na época da seca, quando esta se encontra pouco coberta pela folhagem.

Em relação aos termos degradação e recuperação usados no presente trabalho, o primeiro foi utilizado por Drumond (1979), para se referir às caatingas que têm perdido elementos de valor para a economia madeireira, este valor das áreas de caatinga está associado também ao uso agropecuário. O termo recuperação foi usado por Sobrinho (1986) entre outros, ao introduzir na metodologia de estudo da desertificação, considerações acerca das possibilidades de recuperação espontânea ou conduzida das áreas por ele estudadas.

Os estudos da cobertura vegetal que incluem terras agrícolas do semi-árido, precisam de métodos de avaliação que considerem o sistema de produção agrícola local. Este sistema produtivo itinerante, abrange terras em uso e em descanso ou pousio. À margem do sistema, encontram-se as terras abandonadas, as de vegetação natural e os terrenos abertos dedicados à pecuária. A avaliação do uso com precisão, necessita quantificar as mudanças diretas provocadas pelo uso intensivo da terra ou corte raso e as das terras em diferentes estados dentro do ciclo agrícola local.

Outros autores como Akibode (1996) e Hanan (1996), estudaram o aumento da severidade do clima no Sahel - África por efeito das mudanças na cobertura vegetal causada pelo incremento da população humana e da pecuária.

### **2.3 Processamento de Imagens Digitais**

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações

específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas, segundo Crosta (1993).

De acordo com Richards (1993), os dados de imagens digitais são especialmente compostos de elementos discretos ou “pixels”, que apresentam-se radiometricamente quantificados em níveis discretos de brilho. Assim, esse arranjo dos dados digitais gera uma matriz, onde as linhas e colunas definem as coordenadas do pixel e o nível de cinza ou brilho, indica a radiância presente neste pixel.

O método de análise digital envolve uma série de técnicas de manipulação numérica dos dados contidos nas imagens digitais, conforme Novo (1992), as técnicas de processamento digital de imagens podem ser separadas em três conjuntos de técnicas: pré-processamento de imagens, realce e classificação.

As técnicas de pré-processamento estão relacionadas com os parâmetros que alteram o imageamento. Estes fatores podem ser minimizados para melhoria da qualidade das imagens com a finalidade de melhorar os resultados dos processamentos digitais posteriores. Os parâmetros considerados são geométricos e atmosféricos. Os geométricos que variam e interferem na iluminação de uma cena, compreendem: o ângulo zenital do sol e o ângulo de visada do sensor. Bowker et al. (1985), enfatiza que o aumento do ângulo zenital do sol proporciona uma diminuição da irradiação na superfície de um alvo e conseqüentemente uma diminuição na porcentagem de energia refletida pelo mesmo.

Os parâmetros do imageamento tem sofrido alterações por efeito das mudanças orbitais do satélite Landsat 5, principalmente do horário do imageamento, porém estes fatores afetam de forma homogênea a cena e de forma similar aos efeitos atmosféricos. Portanto para minimizar estes efeitos, podem ser utilizados métodos de análise digital apropriados, como a Análise por Componentes Principais (ACP).

O relevo é um importante fator influente da variação do sinal detectado por um sensor remoto, segundo Kimes e Kirchner (1981), é o relevo. Em alguns casos, a parcela de um alvo voltada para o sol certamente terá um maior valor de reflectância, pois esta varia de acordo com a irradiação. A variação topográfica também interfere no ângulo de visada do sensor, a medida em que para uma superfície plana, a visada de um sensor acima dele seja a nadir. No caso de uma superfície inclinada, esta visada será oblíqua. Este efeito, embora muito importante, não tem sido considerado quando o relevo é pouco movimentado.

A atmosfera promove degradação na qualidade dos dados de sensores remotos. Este efeito varia em função dos diferentes intervalos espectrais correspondentes às bandas dos sensores em operação e diminui com o aumento do comprimento de onda, sendo maior nos comprimentos mais curtos na região do azul (Figura 2.3).

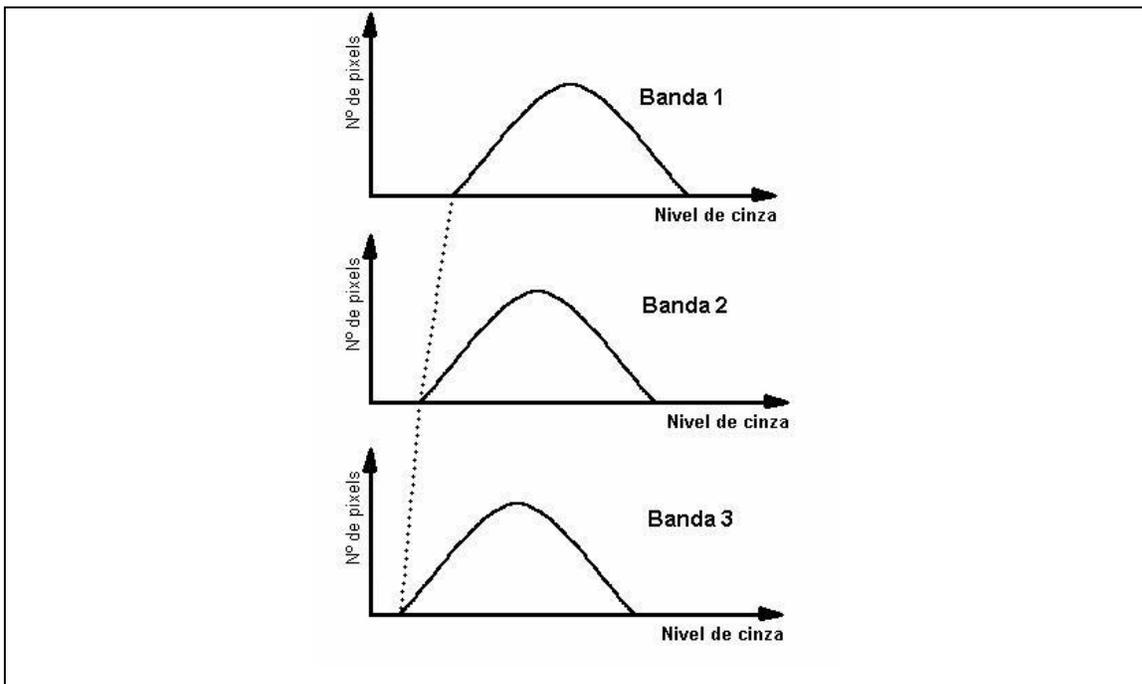


Fig. 2.3 -Efeito da atmosfera sobre os níveis de cinza em três bandas diferentes.

FONTE: Richards (1993, p. 46)

Dentre os parâmetros atmosféricos mais relevantes que interferem nas medições de refletância, estão a umidade atmosférica, a presença de aerossóis e a turbulência, segundo Novo (1992).

De acordo com Chavez Jr. (1988), os processos de absorção e espalhamento atmosférico atuam, respectivamente, para subtrair e adicionar os valores de brilho ao sinal coletado por sensores remotos, a partir de alvos da superfície terrestre. Para Cracknell e Hayes (1991) e Mather (1987), o caráter aditivo do espalhamento atmosférico é o principal processo de introdução de distorções radiométricas em dados de sensoriamento remoto, sendo a sua magnitude inversamente proporcional ao comprimento de onda.

Segundo Chuvieco (1990), a atenuação dos efeitos atmosféricos é importante em três tipos de situações: (1) ao pretender realizar combinações lineares entre bandas, visto que o efeito da espalhamento atmosférico é uma função do comprimento de onda; (2) ao relacionar os níveis de cinza com determinados parâmetros físicos: temperatura, biomassa, umidade do solo, etc. e (3) na realização de estudos multitemporais.

Pelas razões anteriores, neste trabalho de análise multitemporal foram utilizados procedimentos de análise digital para minimizar o efeito da variabilidade nas condições da atmosfera. Alguns destes procedimentos obtêm resultados evitando complicados processamentos, como a Análise por Componentes Principais (ACP), baseados em transformações que minimizam o efeito dos valores aditivos da atmosfera.

### **2.3.1 Técnicas de Pré-Processamento**

O pré-processamento consiste em minimizar algumas características das imagens digitais não provenientes da cena imageada, como as de produto da natureza do sensor, deformações geométricas, atmosfera, nuvens, etc.

O uso de imagens em conformidade geométrica é fundamental para alguns casos como a detecção de mudanças. Segundo Bernstein (1983), quando as diferenças nas feições do terreno entre imagens multitemporais são de interesse é necessário uma correção geométrica extremamente precisa.

O registro pode ser feito com uma reamostragem do vizinho mais próximo (*Nearest neighbor*), quando há a necessidade das vantagens da não alteração dos valores originais de cinza segundo Novo (1992). Porém, esta reamostragem possui desvantagens sendo a principal as descontinuidades geométricas que aparecem na imagem resultante, produto da transformação aplicada para obter a conformidade geométrica. Este efeito não desejado pode ser evitado utilizando como base do registro outra imagem com semelhante geometria, isto diminui a complexidade da transformação e minimiza as descontinuidades geométricas nas imagens referenciadas.

### **2.3.2 Análise por Componentes Principais (ACP)**

A Análise por Componentes Principais é uma transformação linear, a qual produz uma rotação dos eixos ortogonais do espaço de atributos da imagem em relação ao eixo de máxima variância ou espalhamento (eixo principal), atribuindo-se a primeira componente principal (1ª CP) ao novo eixo paralelo a este (Figura 2.4). A direção é representada pelo eixo principal da elipse, descrevendo a correlação entre as imagens da primeira e segunda data.

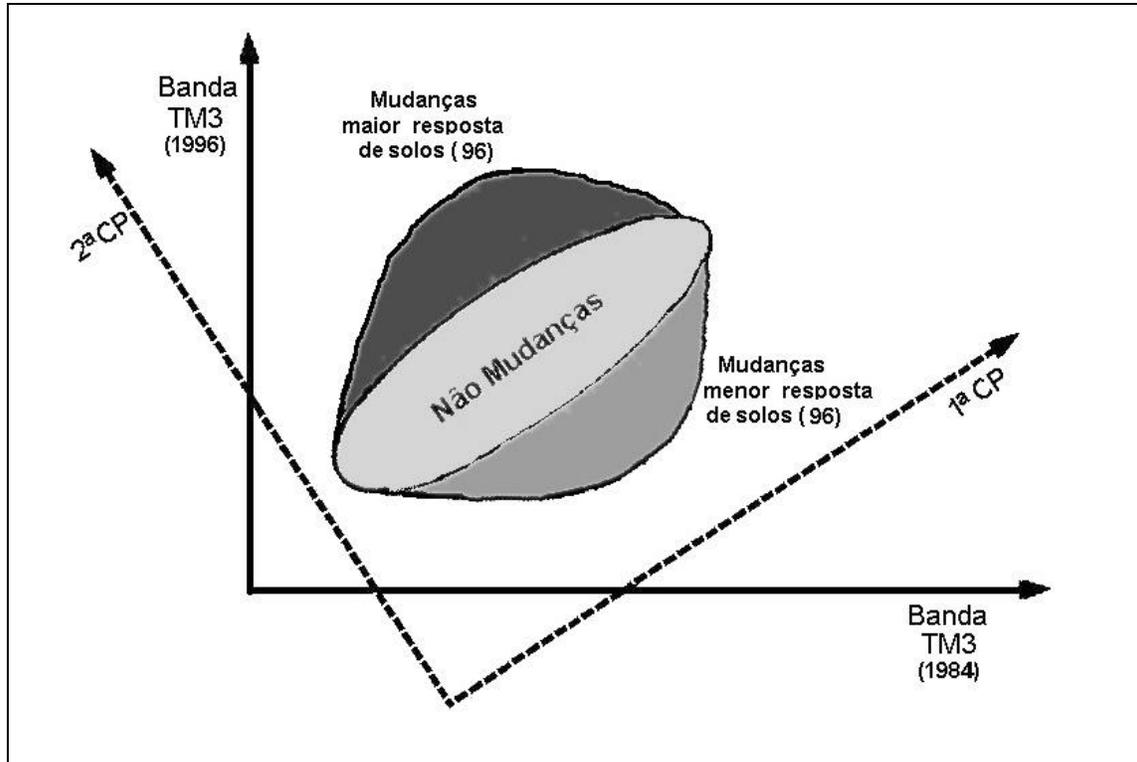


Fig. 2.4 -Distribuição hipotética do espaço de pixels para duas datas TM/Landsat em banda 3 (região do vermelho).

A direção do segundo eixo (2ª CP), é a que possui a maior variância ou espalhamento em direção ortogonal à direção da primeira componente. Portanto, a transformação por componentes principais tem como função primordial, determinar a extensão de correlação entre bandas em uma mesma cena e removê-la através de uma transformação matemática apropriada. Assim, são geradas novas imagens, cuja função de densidade de probabilidade terá eixos ortogonais ou independentes. Desta maneira a rotação aplicada permite que na ACP, mediante um simples fatiamento dos histogramas das novas bandas (1ª CP e 2ª CP), possa obter uma classificação da variabilidade associada. A variabilidade da 1ª CP está associada à cobertura vegetal que caracteriza o tipo de caatinga e a 2ª CP às mudanças na cobertura vegetal entre as duas datas.

De maneira an tica, segundo Banon (1992), tal transforma o pode-se analisada da seguinte forma; onde  $g'(x)$    a transformada de  $g(x)$ , os coeficientes da transforma o são representados pela matriz real  $A$  de dimensão  $p \times p$ , portanto tem-se:

E=espa o de atributos (NC)

$$[g'(x)] = [g(x)] \cdot A \quad (x \in E) \quad (1.1)$$

E pode-se escrever  $A = [\alpha_{ij}]$ . Sendo  $p$  o número de vetores na transforma o ou dimensão do espaço, para todo  $p \geq q$ , as fun es serão:

$$g'_j = \sum_{i=1}^p \alpha_{ij} \cdot g_i \quad (j = 1, 2, \dots, q) \quad (1.2)$$

formam as  $q$  primeiras componentes principais de  $g$ , e os elementos da diagonal da matriz transformada, os autovalores. A cada autovalor corresponde um autovetor. Os autovalores são ordenados em ordem decrescente, representam o comprimento dos eixos das CPs de uma imagem e são medidos em unidades de variância. O ordenamento dos autovetores depende da ordem obtida com os autovalores. A primeira componente está relacionada com o primeiro autovalor e assim sucessivamente.

Ao se trabalhar com duas bandas apenas,  $g'_1 = 1^aCP$  e  $g'_2 = 2^aCP$ , têm-se que:

$$1^aCP = \alpha_{11} \cdot g_1 \text{ banda 1} + \alpha_{21} \cdot g_2 \text{ banda 2} \quad (1.3)$$

$$2^aCP = \alpha_{12} \cdot g_1 \text{ banda 1} + \alpha_{22} \cdot g_2 \text{ banda 2} \quad (1.4)$$

Pode-se observar que as componentes principais de um conjunto de bandas são combinações lineares de tais bandas, cujos coeficientes são os autovetores correspondentes. Os valores dos pixels das bandas originais são convertidos em escores, que não têm um significado físico no terreno.

Esta operação representa uma rotação de um sistema de eixos ortogonais. Os autovetores representam, geometricamente, a direção, orientação e a escala dos novos eixos ortogonais, sendo o primeiro orientado ao longo da linha de maior variância. Os autovetores representam as direções dos eixos das CPs, assim graficamente o primeiro autovetor da 1ª CP é o coseno do ângulo de rotação aplicado na transformação. Os autovalores correspondentes são numericamente iguais à variância dos escores da respectiva componente principal. O conjunto de autovetores e autovalores é conhecido como auto-estrutura.

A segunda componente principal (2ª CP) é de suma importância para o estudo das mudanças na cobertura do terreno, sendo que há grande correlação entre bandas de diferentes datas. Esta correlação em geral diminui na medida em que a diferença de tempo entre as datas é maior e há maiores mudanças nas feições imageadas. Isto pode-se observar quando são representados graficamente os níveis de cinza correspondentes à duas bandas num sistema de eixos ortogonais (Figura 2.4). Se a correlação fosse muito alta, todos os pontos se localizariam próximos à reta de regressão entre as duas imagens. Contudo, a correlação não é perfeita, embora a diferença de tempo entre as datas de aquisição das imagens seja pequena por vários motivos, entre os quais as condições de iluminação e visada, as variações no desempenho do sensor e o processamento do registro das imagens.

A Análise por Componentes Principais possui múltiplos usos no processamento digital de imagens e a seleção de bandas necessárias é feita em função dos objetivos pretendidos. Nos estudos de detecção de mudanças, pode-se trabalhar somente com duas imagens de duas diferentes datas e da mesma

faixa espectral de interesse. Desta forma, a segunda componente principal contém informação sobre as mudanças nas feições que discrimina a banda situada nesta faixa espectral.

Uma das maiores vantagens desta técnica, é a eliminação da maior parte das diferenças de baixas frequências do conjunto da imagem, realizando automaticamente uma calibragem relativa entre imagens.

A análise por componentes principais para estudos de desertificação, já foi utilizada por Lee et al. (1990) e Gomes et al. (1998) no Brasil para delimitar áreas antropizadas na caatinga. Carrilho (1996) e Sirtoli (1998) testaram no cerrado e floresta, os métodos mais utilizados para a detecção de mudanças na cobertura do terreno, obtendo com a ACP resultados satisfatórios com pouco gasto de tempo computacional. Também os componentes principais foram usados, por Navone (1998), para o estudo da degradação na região da Puna Argentina.

A técnica de análise por componentes principais de imagens multitemporais foi utilizada por Jiaju (1988) e por Chavez e MacKinnon (1994), pela vantagem de realçar a informação da dinâmica entre as datas e a possibilidade de obter resultados sem a necessidade de calibrações e correções atmosféricas.

Em estudos multitemporais, segundo Richards (1993), a utilização da ACP explora a correlação das bandas de imagens multitemporais de regiões que sofrem modificações substanciais na paisagem. Ela pode também ser utilizada para integrar a informação de imagens de duas datas, bem como, segundo Byrne et al. (1980), na preparação dos dados para posteriores análises e processamentos digitais.

## **2.4 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**

A informação extraída das imagens de sensoriamento remoto necessita, em muitas situações, ser integrada a outros tipos de informação e representadas em forma de mapas. Além disso, as imagens do Sensoriamento remoto são uma das principais fontes de dados para o SIG, segundo Crosta (1993).

Um SIG permite a entrada, armazenagem, recuperação, manipulação, análise e saída de informações geográficas, descrevendo os objetos do mundo real em termos de duas componentes fundamentais: suas coordenadas e seus atributos, segundo Chrisman (1997) e Aronoff (1989). De acordo com Câmara (1995), as informações geográficas podem ser distinguidas nas categorias temática, numérica e imagem. A primeira compreende informações qualitativas referentes a um tema específico, a segunda compreende valores que descrevem aspectos do mundo real, segundo regras pré-estabelecidas, e a terceira consiste em representações da medida da radiação eletromagnética emitida/refletida por uma área da superfície terrestre, realizada por um sensor remoto.

Em SIG, as informações geográficas são representadas pelos formatos matricial ou vetorial (Figura 2.5), de acordo com o mundo real (Figura 2.5a) que permitem associações entre as componentes de localização espacial e atributos.

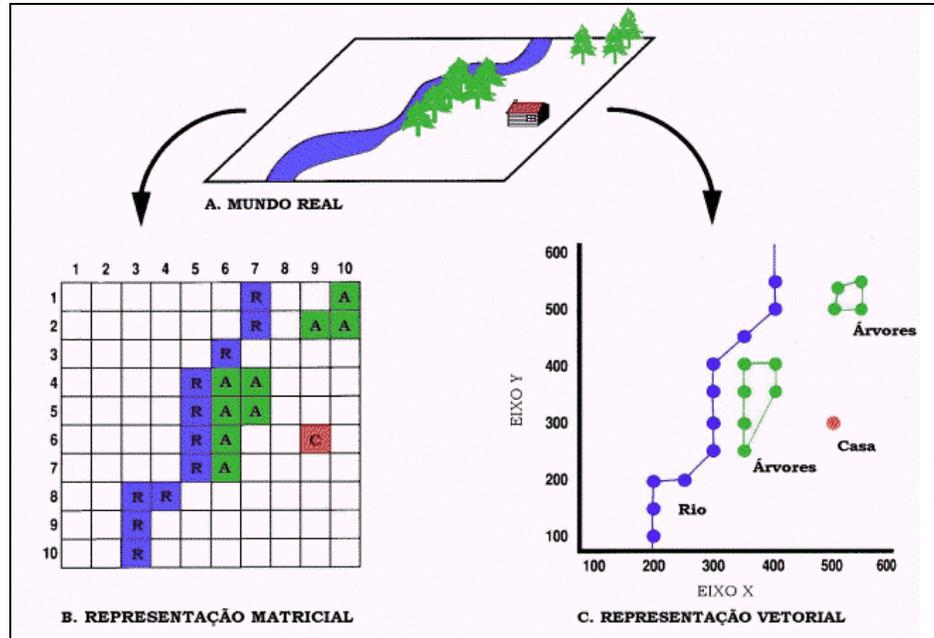


Fig. 2.5 -Modelos de representação matricial e vetorial.

FONTE: adaptada de Aronoff (1989).

Na representação matricial, o espaço geográfico é tratado como uma superfície cartesiana plana, consistindo numa matriz de células, onde cada célula é referenciada por números de linhas e colunas e contém um valor representativo do atributo do objeto mapeado (Figura 2.5b). A resolução ou escala da matriz é dada pela relação entre a dimensão de sua célula e sua dimensão na superfície do terreno, podendo ser igualada com a resolução de imagem orbital; a representação vetorial permite representar um objeto através de três entidades geográficas principais: pontos, linhas e áreas, que podem ser associadas a atributos dos objetos do mundo real (Figura 2.5c).

De acordo com Barbosa (1997), análises em SIG envolvem operações realizadas sobre números e caracteres, de forma que se faz necessário descrever a realidade em forma matemática, considerando-se os dados geográficos como variáveis espaciais, ou seja, variáveis cujos valores estão associados à posições geográficas. Estas podem ser campo geográfico (geo-

campo) ou objetos geográficos (geo-objetos). As variáveis da classe geo-campo são espacialmente contínuas, com valores definidos em todas as posições da região em estudo, como é o caso da topografia, geologia, geomorfologia, uso e cobertura da terra e áreas de uso restrito; as variáveis da classe de geo-objetos não são continuamente distribuídas em toda a área de estudo, como é o caso de rios e feições específicas distinguidas em uma imagem ou num mapa cadastral.

Conforme Aronoff (1989), quatro fatores determinam o sucesso na utilização de um SIG: o conjunto de informações selecionadas, a organização dos dados, o modelo conceitual elaborado e o critério de análise: o conjunto de dados utilizado em SIG consiste necessariamente de abstrações da realidade, sobre as quais se desenvolve o raciocínio de planejamento, devendo ser coletadas apenas as informações mais relevantes ao projeto. A organização da base de dados constitui um sistema simples que permite a entrada, a armazenagem e a recuperação dos dados; o modelo conceitual consiste em abstrações, generalizações e aproximações que representam um objeto ou fenômeno que existe no mundo real.

Segundo Burrough e Mc Donnel (1998), uma outra vantagem do SIG é a facilidade que oferece ao estudo de dados que demandam interação entre análises estatísticas e mapeamento. Já para a caracterização de mudanças é importante a possibilidade de experimentar combinações com diferentes representações gráficas, além da facilidade na produção de mapas e sua atualização quando os dados estão em formato digital.

A integração de informações geográficas em SIG consiste em agrupar e/ou transformar a informação espacializada proveniente de diversas fontes (mapas, dados de levantamentos de campo e de sensores remotos, além de outros) por meio da álgebra de mapas, ou seja, na utilização de um conjunto de operadores para manipular dados de geo-campo. Desta maneira, as informações geográficas são reunidas para que se possa: 1) determinar quais

os tipos de feições que ocorrem num dado local, 2) procurar feições que possuam determinadas características e 3) monitorar as feições que variam com o tempo, segundo Maguire (1991) e Shepherd (1991). A integração de dados realizada neste trabalho enquadra-se no primeiro e no segundo caso já que utiliza as operações algébricas pontuais (Figura 2.6), para identificar as áreas de mudança. Estas operações são pontuais porque são realizadas isoladamente para cada célula das matrizes de entrada (que podem ser tanto da categoria temática, quanto numérica e imagem).

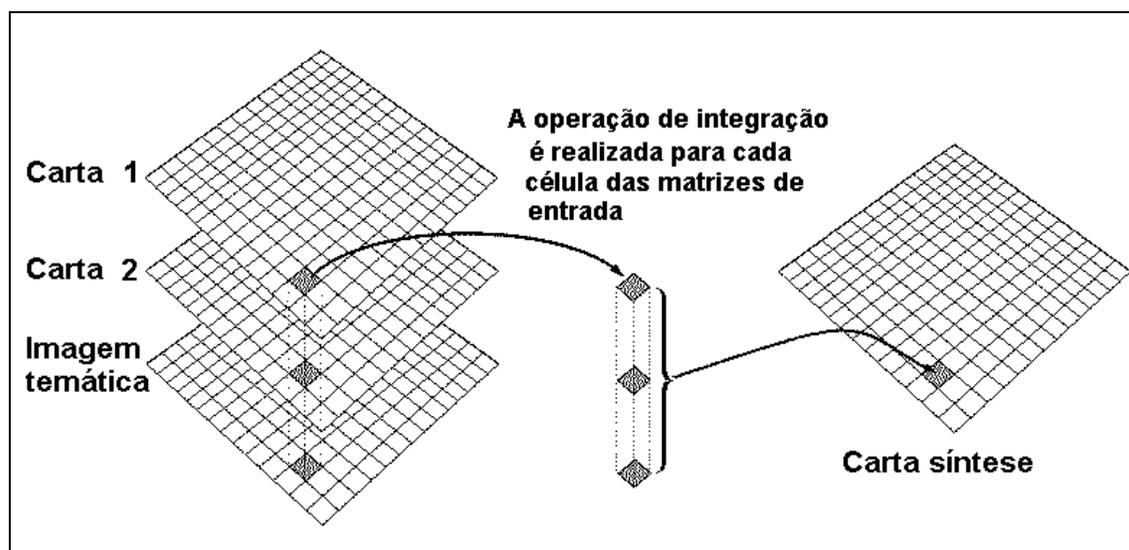


Fig. 2.6 -Exemplo de operação de integração de informações geográficas através de operação algébrica pontual.

FONTE: modificada de Aronoff (1989)

As operações algébricas pontuais utilizadas neste trabalho são: combinação booleana, fatiamento e reclassificação. Barbosa (1997) apresenta estas operações da seguinte forma: a combinação booleana, também denominada por operação de cruzamento, é realizada sobre dados temáticos e gera um mapa-síntese onde o valor em cada posição geográfica é o resultado da aplicação de um operador da lógica booleana (AND, OR, NOT, XOR) sobre os valores dos atributos na mesma posição geográfica dos mapas básicos (mapas

temáticos de entrada); a reclassificação agrega classes temáticas distintas, segundo regras definidas pelo usuário.

O SIG foi utilizado por Ringrose (1997) para estudos da paisagem no ambiente árido, onde segundo este autor, a principal vantagem foi a integração de dados das mais diferentes e complexas formas, sendo uma opção para estruturar uma base de dados para estabelecer estratégias no controle da degradação.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área selecionada para a realização deste estudo, visualizada na Figura 3.1, está situada no centro-sul do Estado de Pernambuco, na área central do Trópico Semi-Árido brasileiro.

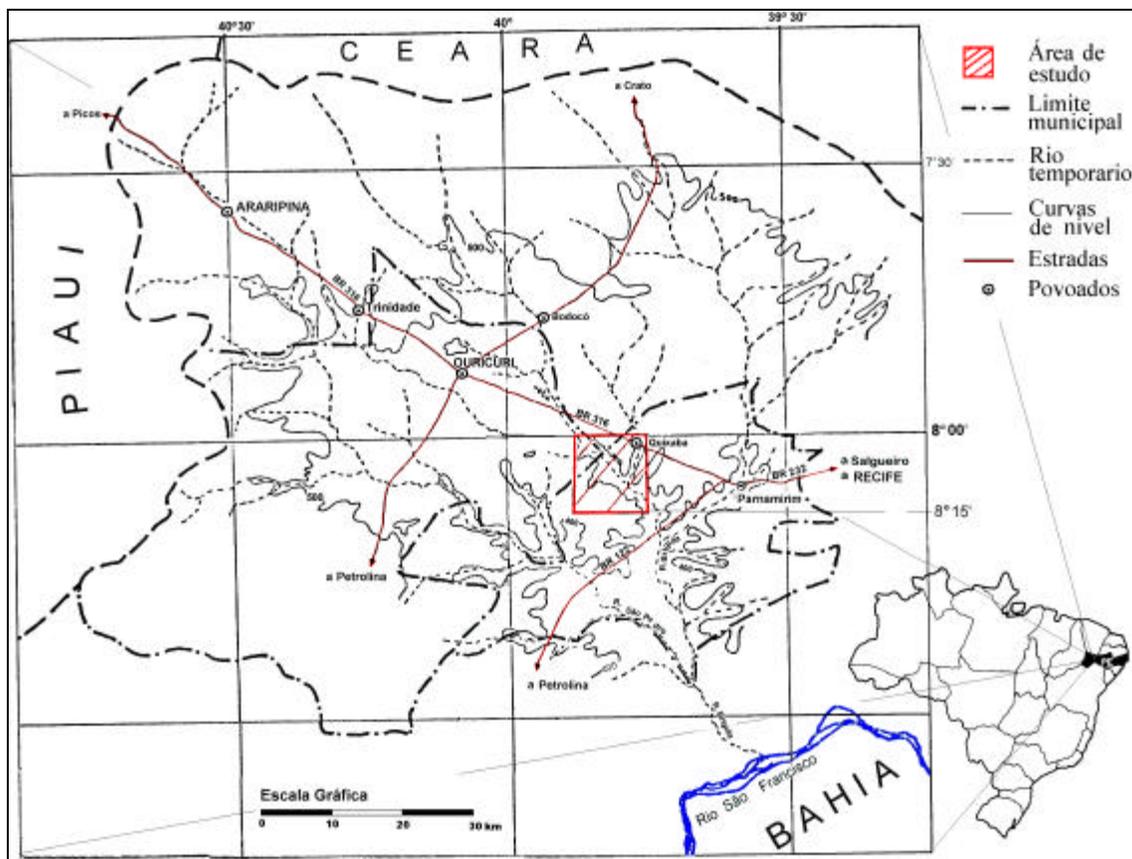


Fig. 3.1 -Localização da área de estudo, no centro-sul do estado de Pernambuco

Esta área corresponde à uma superfície de 190,37 Km<sup>2</sup> (aprox.14 x 14 Km) é definida pelas coordenadas geográficas 8° 00' a 8° 07' de latitude sul e de 39° 45' a 39° 53' de longitude oeste.

A mencionada área está inserida na Bacia do Rio Brígida e possui como referência o povoado de Quixaba no extremo Noroeste, sendo esta área escolhida por estar localizada numa zona de transição entre o semi-árido seco ao extremamente seco e por ser representativa da caatinga submetida à processos de degradação e já ter sido objeto de estudos de vegetação detalhados.

A atividade antrópica da região ocorre desde longa data. A ocupação da caatinga ainda hoje esta baseada principalmente na formação de pequenos vilarejos em área favoráveis para atividade agropecuaria. Pode-se perceber a utilização predominante como a pecuária extensiva de bovinos e caprinos, associada às culturas de forrageiras como a palma e capim buffel, e ainda à uma agricultura de subsistência itinerante e de vazante, como plantios de feijão preto, milho e mandioca (Carvalho, 1986). A maior parte da área é recoberta por uma vegetação natural de porte arbóreo baixo e denso, sendo que em seu quadrante SE, apresenta uma estrutura arbórea-arbustiva aberta (condições climáticas mais áridas).

### **3.1.1 Aspectos Fisiográficos**

A área de estudo está situada no centro de um grande domínio cristalino de rochas precambrianas do Escudo Guiano-brasileiro. As rochas do tipo granitóide-gneisses pertencem à Província Geológica da Borborema (complexos Monteiro e Presidente Juscelino). A área pertence ao Pediplano Sertanejo, caracterizado localmente por relevo pouco movimentado e altitudes médias de 300 a 500m, que dão origem a solos rasos e pedregosos, com grande susceptibilidade à erosão (RADAMBRASIL, 1983).

As características climáticas, geológicas e geomorfológicas produzem solos silicosos ou silico-argilosos, enxutos, quase sem húmus, pedregosos ou arenosos, pobres em nitrogênio, porém com grau médio de fertilidade por seu regular teor de cálcio e potássio, como atesta a vegetação do algodoeiro e do caroá, segundo Negreiros Bessa (1982).

Os solos, pouco desenvolvidos, pertencem ao complexo bruno não cálcicos, que é o tipo dominante nos níveis intermediários em relevos pouco ondulados. Estes solos estão associados aos tipos de regossolos e de podzólicos vermelho-amarelos eutróficos e outros do complexo latosol.

Em parte da área, a superfície do solo encontra-se coberta por fragmentos litólicos. A origem destes fragmentos de quartzo na superfície do solo, ou "*stone line*", é atribuída ao acúmulo durante a intemperização e rebaixamento da superfície diretamente a partir dos veios de quartzo do migmatito, segundo Guerra (1996). Os fragmentos se acumulam nos primeiros centímetros da camada do solo superficial limitando a possibilidade de lavouras agrícolas, segundo Guerra (1997), estes solos litólicos são característicos da geologia da caatinga (Figura 3.2).



Fig. 3.2 - Superfície litólica em algumas áreas da caatinga.

A natureza do solo da caatinga está controlada pelas condições climáticas e geomorfológicas, como; a quantidade e intensidade da chuva, radiação solar, temperatura, umidade; declividade do terreno e comunidades de plantas que nele se desenvolvem. O escoamento de água de chuva e a umidade do solo são os fatores limitantes, segundo Faria (1992), para a produção agrícola no semi-árido brasileiro.

### 3.1.2 Aspectos Climáticos

A região apresenta forte irradiação solar e uma significativa homogeneidade térmica, onde as temperaturas médias anuais estão ao redor de 25°C, com uma amplitude térmica menor que 5°C, típicas das zonas intertropicais. As menores temperaturas médias são de 22°C no mês de julho, e as maiores de 27°C no mês de janeiro (Figura 3.3).

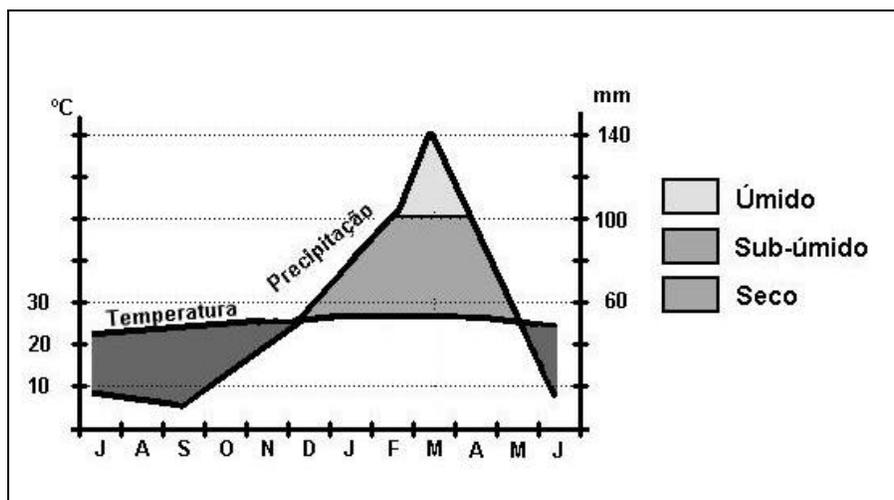


Fig. 3.3 -Diagrama ombrotérmico representativo da área de Quixaba.

A época seca é muito longa e irregular, a evaporação é muito intensa e os solos são geralmente rasos e secos (Figura 3.3). As folhas caem, com raras exceções, quando a seca aumenta e de acordo com Rizzini (1976), mesmo durante a época chuvosa, quase todas as plantas já sofrem restrições transpiratórias.

A região é caracterizada principalmente pelas fortes variações interanuais e intra-anuais das chuvas. As condições climáticas são de transição entre semi-aridez média (precipitação de 500 a 750mm, com 7 a 8 meses secos) e semi-aridez acentuada (Figura 3.4) (precipitação inferior a 500mm, com mais de 9 meses secos), sendo que a precipitação média anual é de 580mm, conforme relatado por Moliniero e Magalhães (1985).

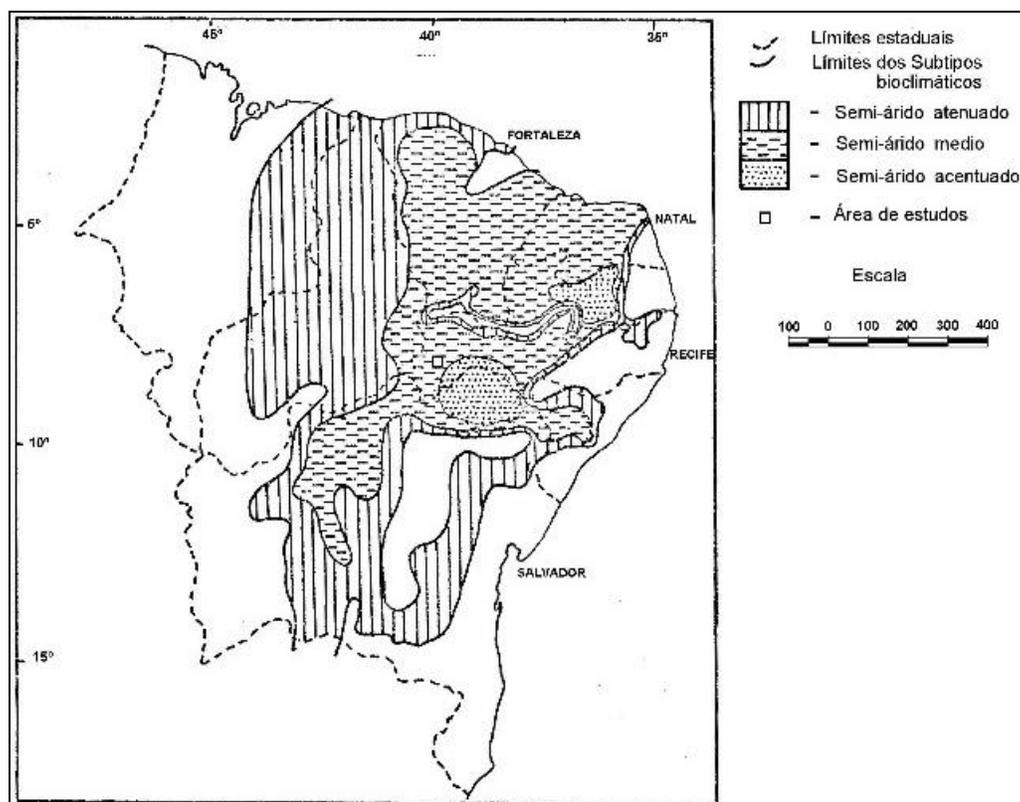


Fig. 3.4 -Localização da área no semi-árido.

### 3.1.3 Aspectos da Vegetação

A área de estudo está ocupada pela vegetação da caatinga, a qual segundo Walter (1986) e Rizzini (1976), forma um mosaico de vegetação com excelente plasticidade e boa adaptação às alternâncias de carência e abundância hídrica.

A caatinga está formada por um conjunto de árvores e arbustos espontâneos, densos, baixos, retorcidos, de aspecto seco, de folhas pequenas e caducas no verão seco, com proteção contra a desidratação pelo calor e pelo vento. Segundo Duque (1980), as espécies lenhosas, arbóreas e arbustivas, por efeito do clima, ocorrem em maior proporção que as plantas herbáceas e anuais, sendo portanto, definida como uma associação de árvores e arbustos unidos, dotados de espinhos, de folhas caducas, caules retorcidos, porte baixo, com sub-vegetação de bromeliáceas. Estas características florísticas da caatinga variam, segundo Duque (1980) e Carvalho (1986), conforme a localização das mesmas, considerando áreas altas ou baixas, solo arenoso sedimentar ou de origem arqueano.

O estrato herbáceo da caatinga de Quixaba é pobre em capins e está formado principalmente pela “caroá” (*Neoglaziovia variegata*), “macambira” (*Bromelia laceniosa*) e malvaceas semi-lenhosas como a “malva lava-prato” (*Herissantia crispa*). A paisagem de Quixaba, foi dividida por Carvalho (1986), em sete fácies de caatinga que agrupam 17 tipos estruturais, as espécies identificadas são listadas no Apêndice A e a seguir uma descrição simples:

**Fácie Agrícola:** São espaços desprovidos de cobertura vegetal, com formas geométricas irregulares a retangulares, contornos retilíneos, limites abruptos. Estes espaços também podem estar ocupados por um Complexo Arbustivo-Herbáceo ou Arbustivo denso, conservando em geral as formas geométricas e os limites abruptos. Estas áreas agrupam: reconquista vegetal e roçados

abandonados ou áreas de ocupação humana abandonadas, onde há grande dominância de herbáceas semi-lenhosas como malva lava-prato e arbustiva-lenhosas, como o Marmeleiro ou Jurema preta, ambas pioneiras na ocupação destas áreas.

As modificações mais intensas na vegetação, têm lugar como consequência dos trabalhos de agricultura realizados pelo homem e segundo Braun-Blanquet (1979), com abundantes espécies características que refletem a ecologia do habitat, qualidade do solo, necessidades de adubo, tipo de tratamento do solo ou superexploração.

Encontram-se, em geral, culturas sem práticas de cobertura com restos vegetais e com disposição para irrigação por dispersão da enxurrada para infiltração no solo. Pode se encontrar três tipos de lavouras: a roçada, a mecanizada e em covetas. A prática mais comum na área de Quixaba é o roçado da caatinga, que em geral se produz com queima sem destocamento nos dois primeiros anos com intercalados cultivos de milho, capim buffel, feijão ou mandioca, sendo o ciclo de exploração de dez anos em média. Este ciclo pode ser seguido do alqueive ou pousio com vegetação nativa e em alguns casos de degradação, ou abandono. A mecanizada ou meia-mecanizada, é usada para plantações em terrenos mais planos, com solos mais leves com menores quantidades de componentes litólicos. As lavouras são feitas com o uso de arado ou da grade de discos, com o aproveitamento da tração animal. Esta prática meia-mecanizada é desenvolvida geralmente em propriedades de pequenas dimensões, que na área de Quixaba tem dimensões em torno de 10 Ha, segundo Carvalho (1986).

Na fácies agrícola, encontram-se coberturas vegetais cuja dinâmica depende das características agronômicas das culturas, como as anuais: Feijão (*Faseolus* sp.) (Figura 3.5), Arroz (*Oriza sativa*), Milho (*Zea maiz*), Algodão (*Grossipum* sp.) ou culturas plurianuais : Palma (*Opuntia ficus-indica*), ou capins plantados em covetas sobre solos litólicos ou em solos medianamente apropriados para lavouras.



Fig. 3.5 - Cultura de feijão, sob irrigação artificial.

Também são encontradas pastagens plantados, áreas em que são cultivadas algumas gramíneas forrageiras para a alimentação do gado. Nestas pastagens temos o capim bufel (*Cenchrus ciliaris*), cultivado em solos leves e profundos, de porte baixo, formando touceiras e segundo Oliveira (1993), plantado em áreas de caatinga recém destocadas e desmatadas e em covetas nas encostas pedregosas. É comum o capim elefante (*Panisetum purpureum*), pluri-anual de grande desenvolvimento, o que segundo Martins et al. (1994), não é cultivado em áreas de relevo acidentado, preferindo-se áreas de baixada não sujeitas à inundação. A cobertura vegetal de um roçado, também pode estar formada por espécies nativas quando se trata de alqueive ou pousio: este é o repouso do solo com a vegetação nativa, seja herbácea ou arbustivo. Na prática agrícola típica da área, quando um terreno novo é roçado, deixa-se o roçado mais antigo entregue às plantas espontâneas.

Os terrenos da fâcie agrícola podem estar desprovidos da cobertura vegetal, estes casos de solo exposto, ocorrem na época seca em culturas com solo

após colheita, solos em preparação, ou roçados dedicados às práticas de manejo do gado como encerramento.

A fície agrícola é sub-dividida em quatro tipos estruturais, um deles é a reconquista vegetal: são áreas roçadas ou degradadas onde uma vez abandonadas ou deixadas em descanso ocorre a ocupação por espécies nativas. As espécies pioneiras mais importantes nesta ocupação são o marmeleiro (Croton sonderianus), a Jurema preta (Mimosa hostilis) e a malva lava-prato (Herissantia crispa).

**Fície Aclareirada:** Esta fície agrupa alguns tipos estruturais como a caatinga aclareirada arbórea-arbustiva, a arbórea e a arbórea clara. A característica dominante é a presença de descontinuidades na formação arbustiva, com pouca cobertura do solo.

**Fície Arbórea-Arbustiva:** Agrupa os tipos estruturais de Caatinga arbórea-arbustiva contínua e Caatinga arbórea-arbustiva descontínua. O estrato arbóreo está dominado pela jurema preta (Mimosa hostilis), catingueira (Caesalpinia pyramidalis) e pelo pereiro preto (Aspidosperma pyrifolium).

**Fície Arbórea clara:** Esta fície agrupa o tipo estrutural de Caatinga arbórea clara. Está dominada em quase sua totalidade pelo estrato arbóreo, normalmente de altura elevada e rico em espécies, e quase sem indivíduos nos estratos arbustivo e herbáceo.

**Fície Arbórea:** Esta é a fície dominante na área de Quixaba. É a forma florestal da caatinga, segundo Lima (1986), que no passado apresentou o tipo de caatinga de maior distribuição e atualmente quase inexistente, somente encontrada em sua forma degradada. Agrupam esta fície os tipos estruturais: Caatinga Arbórea contínua e Caatinga Arbórea descontínua.

**Fície em Galeria:** Compreende o Complexo Arbóreo semi-decíduo, localizado geralmente em áreas baixas adequadas, para as árvores e os vegetais

perenes, segundo Duque (1980). Está formado principalmente por árvores de grande porte e folhagem perene como o juazeiro (*Zizyphus juazeiro*) e quixabeira (*Bumelia sartorum*). O uso agropecuário ocupa grande extensão desta fácies e em geral, mantêm a superfície do solo com baixa cobertura.

**Outras fácies:** Nesta categoria estão englobadas outras classes como as depressões fechadas e as de águas permanentes, de menor expressão em área.

## **3.2 Materiais e Equipamentos**

### **3.2.1 Produtos Orbitais**

Foram utilizadas duas imagens TM/Landsat, órbita 217 ponto 66, com data de 10 novembro de 1984 e de 23 de outubro de 1996, nas bandas 3 (0,45 a 0,52  $\mu\text{m}$ ), 4 (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ ), 5 (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ ), 7 (2,08 a 2,35  $\mu\text{m}$ ) em formato digital. Estas bandas foram usadas em conjunto para compor combinações coloridas e as bandas 3 e 4 foram usadas individualmente para a Análise por Componentes Principais (ACP). É conveniente ressaltar que a escolha das bandas a serem testadas para a ACP foi em razão de serem as mais usadas, para o estudo das feições de interesse apresentadas pela cobertura vegetal e solo.

No nordeste brasileiro, a irregularidade espacial e temporal das chuvas se traduz em uma complexidade que afeta em grande medida os estudos multitemporais de mudanças na cobertura vegetal. Assim, as imagens escolhidas são datadas do final da época seca, principalmente devido a uma menor complexidade de interpretação das imagens em relação às da época úmida, conforme estudos de Carvalho (1986) e Kazmierczac (1993).

### **3.2.2 Materiais Cartográficos**

Os materiais cartográficos utilizados foram: a Carta de Parnamirim-PE (IBGE - MIR 1362) na escala de 1:100.000, a Carta do Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos (Folha Parnamirim SC-24-C-I - Zoneamento Agro-ecológico do Estado de Pernambuco, 1997) na escala 1:100.000, e a Carta dos Tipos Estruturais da Vegetação de Caatinga da área de Quixaba para o ano 1983, feita por Carvalho (1986) na escala 1:100.000.

### **3.2.3 Dados Pluviométricos**

Em trabalhos de detecção de mudanças, têm-se observado a importância da consideração das chuvas quando se utilizam dados do sensoriamento remoto. Geoffrey (1997), observou que os resultados da detecção de mudanças tem forte influência da variabilidade climática em estepes arbustivas. Com o objetivo de considerar as condições pluviométricas que antecederam as aquisições das imagens selecionadas na etapa de caracterização e monitoramento das mudanças, foram utilizados os dados dos postos pluviométricos da vizinhança da área para o ano 1984, fornecidos pela SUDENE, sendo eles: Colinas, Parnamirim, Estaca, Icaçara, Poço do Fumo, Jacaré, Canto das Pedras e Matias (Figura 3.6).

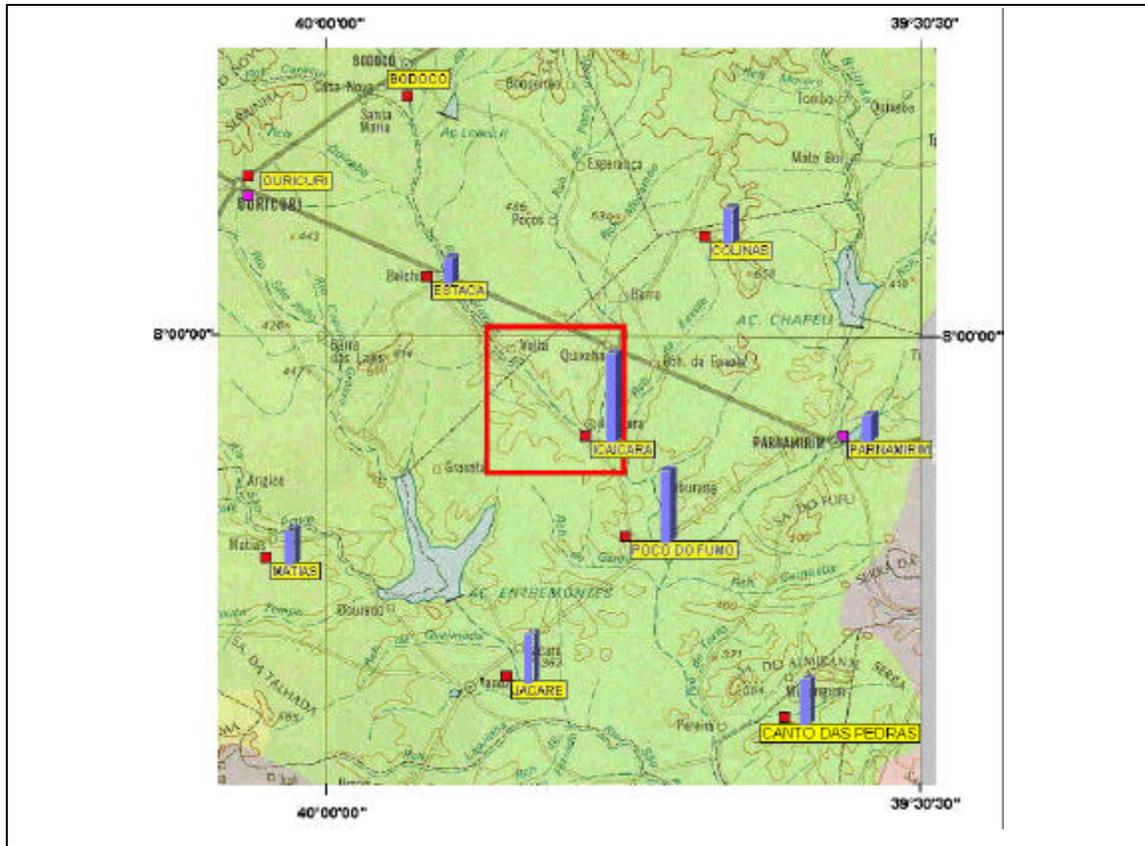


Fig. 3.6 -Disposição dos postos pluviométricos e chuva acumulada para os seis meses antes da data do imageamento em novembro de 1984.

FONTE: SECTMA-PE (1998)

A tabela com os dados da precipitação usados para a confecção da Figura 3.5 é apresentada no Apêndice C.

### 3.2.4 Sistemas de Processamento de Imagens e Sistemas de Informação Geográfica.

Foram utilizados três “softwares” com três diferentes objetivos. Na primeira fase, foi usado o ERDAS Imagine 8.3 para o processamento digital de imagens e SPSS 6.0 (Software de Análise Estatística), com a finalidade da análise

estatística dos produtos e resultados dos processamentos. Na segunda fase foi usado o software Sistema de Processamento de Imagens e Informações Georeferenciadas ( SPRING 2.3 ) para as atividades de geoprocessamento, construção e análise do banco de dados geocodificados.

### 3.3 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi sub-dividida em duas fases; uma primeira fase de detecção e uma outra de caracterização e análise das mudanças (Figura 3.7).

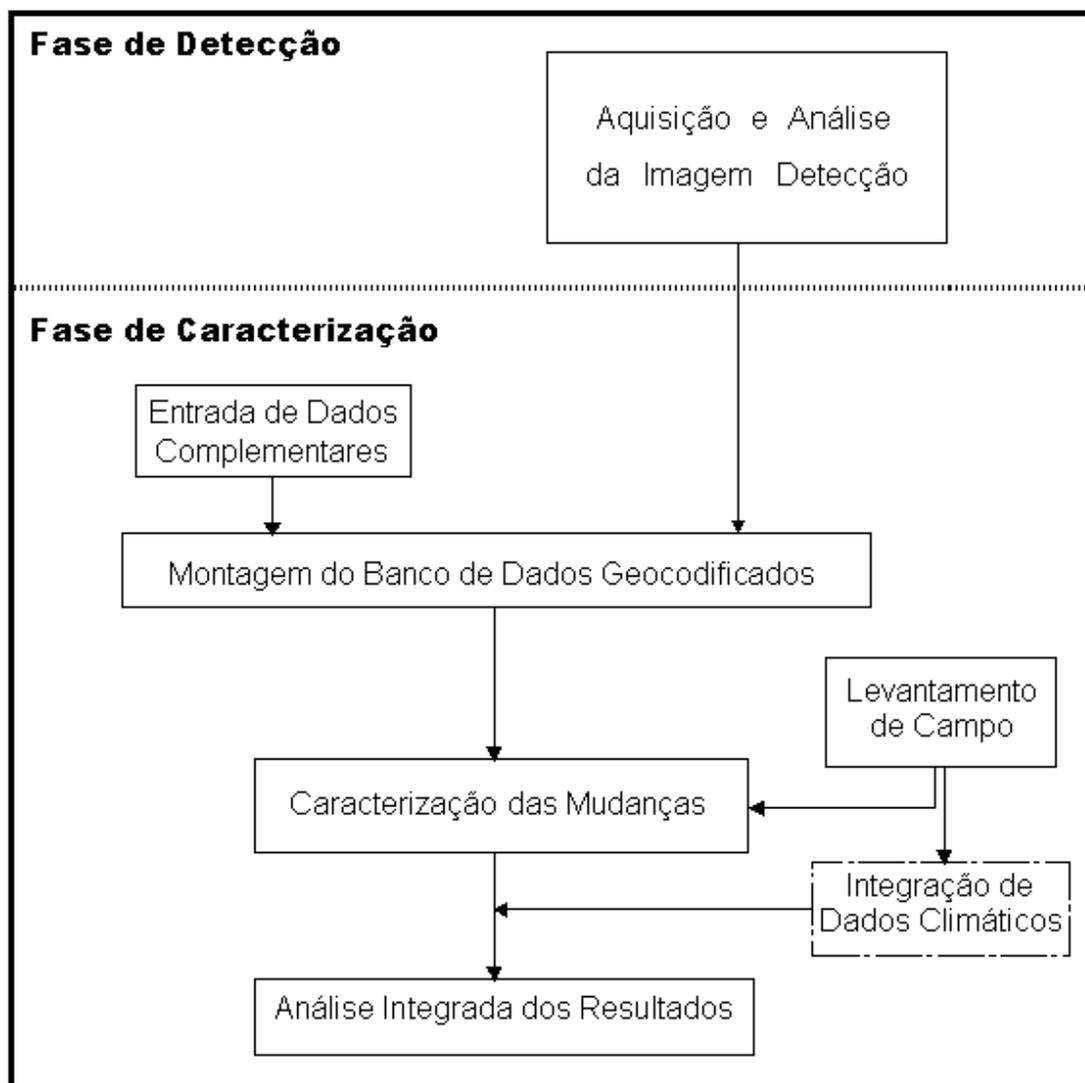


Fig. 3.7 - Fluxograma metodológico geral

Na primeira, predomina o tratamento digital de imagem, principalmente a Análise por Componentes Principais (ACP). Na segunda fase, predomina o geoprocessamento, incluindo a montagem do banco de dados geocodificados, operações de mapeamento e álgebra de mapas. Esta fase, também inclui a análise integrada dos dados geocodificados, informação de campo e de pluviometria.

### 3.3.1 Fase de detecção

Esta fase tem como principal processamento digital a Análise por Componentes Principais (Figura 3.8).

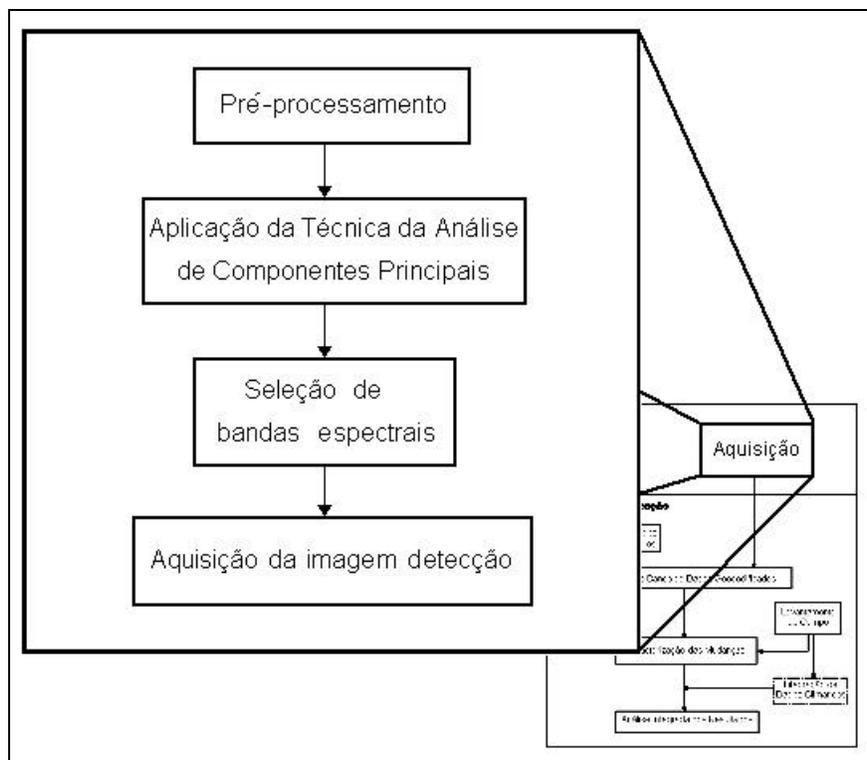


Fig. 3.8 - Fluxograma da Aquisição e Análise da imagem detecção

Esta análise é utilizada para gerar produtos que alimentam duas etapas posteriores. A primeira (seleção de bandas) testa o desempenho das bandas 3

e 4, com a finalidade de determinar se o uso de uma ou outra apresentam diferenças para a detecção de mudanças. Na seguinte etapa, o produto da ACP selecionado como o mais apropriado é usado para a aquisição da imagem detecção. A etapa final desta fase, a aquisição da imagem-detecção, é apresentada detalhadamente na seção 3.3.1.4.

### **3.3.1.1 Pré-Processamento de Imagens TM/Landsat**

As técnicas de pré-processamento são um conjunto de procedimentos de correção radiométrica e geométrica dos dados digitais. As imagens foram processadas objetivando prepará-las para a Análise por Componente Principais (ACP). Com este fim, os procedimentos incluem o registro imagem-imagem das bandas das duas datas e a eliminação de pixels com valores de níveis de cinza extremos, não associados com as feições do terreno, como são as nuvens e sombras das nuvens.

As imagens foram processadas em uma área maior que a área de trabalho, em aproximadamente 3 km em todas as direções, com o objetivo que os produtos gerados possam ser registrados no SIG. Esta margem é determinada pelo registro, o que produz uma rotação da cena de aproximadamente 9°.

**Registro de Imagens:** O registro foi feito em ERDAS, tomando como imagem de referência a banda da primeira data, do ano de 1984. Foram selecionados pontos de controle nas imagens a serem registradas, geralmente pontos notórios como os cruzamentos de estradas ou caminhos de terra. As coordenadas foram utilizadas como dado de entrada do módulo *Data Preparation* de ERDAS, onde este registro imagem-imagem foi feito utilizando uma correção geométrica polinomial de 2º grau e uma reamostragem pelo vizinho mais próximo (*Nearest neighbor*). O referido “software” toma a primeira delas como base para o registro, aplicando a transformação e a reamostragem à segunda imagem. Embora o registro com um polinômio de segundo grau,

tenha a necessidade de um maior número de pontos de controle, este tipo de registro foi usado com o objetivo de minimizar as diferenças de posicionamento entre os pixels da cena de referência e a cena ajustada.

Cabe mencionar que na presente metodologia, a operação de registro é usada em duas instâncias. Um primeiro registro imagem-imagem em ERDAS objetivando à Análise por Componentes Principais (ACP) e numa fase posterior um registro dos produtos da ACP no “software” SPRING, objetivando a montagem do banco de dados geocodificados e posteriores análises no SIG.

**Técnicas de Mascaramento de Nuvens-sombra da Cena:** A ocorrência de nebulosidade durante o imageamento da cena incorpora na imagem, uma série de elementos que são independentes à cena imageada, portanto os mesmos devem ser extraídos. Os níveis de cinza (NC) das nuvens são muito altos e de suas sombras baixos, por efeito do ângulo de iluminação do sol constante em toda a cena, formando um par nuvem-sombra facilmente reconhecível na imagem. Este afeta os estudos de mudanças, incorporando novos valores e variabilidade entre datas, o que é erroneamente discriminada pela ACP, como mudanças nas feições do terreno.

O mascaramento das nuvens (Figura 3.9), foi feito por interpretação das imagens na tela do computador, considerando para o reconhecimento dos pixels afetados, a disposição do par nuvem-sombra antes mencionado.

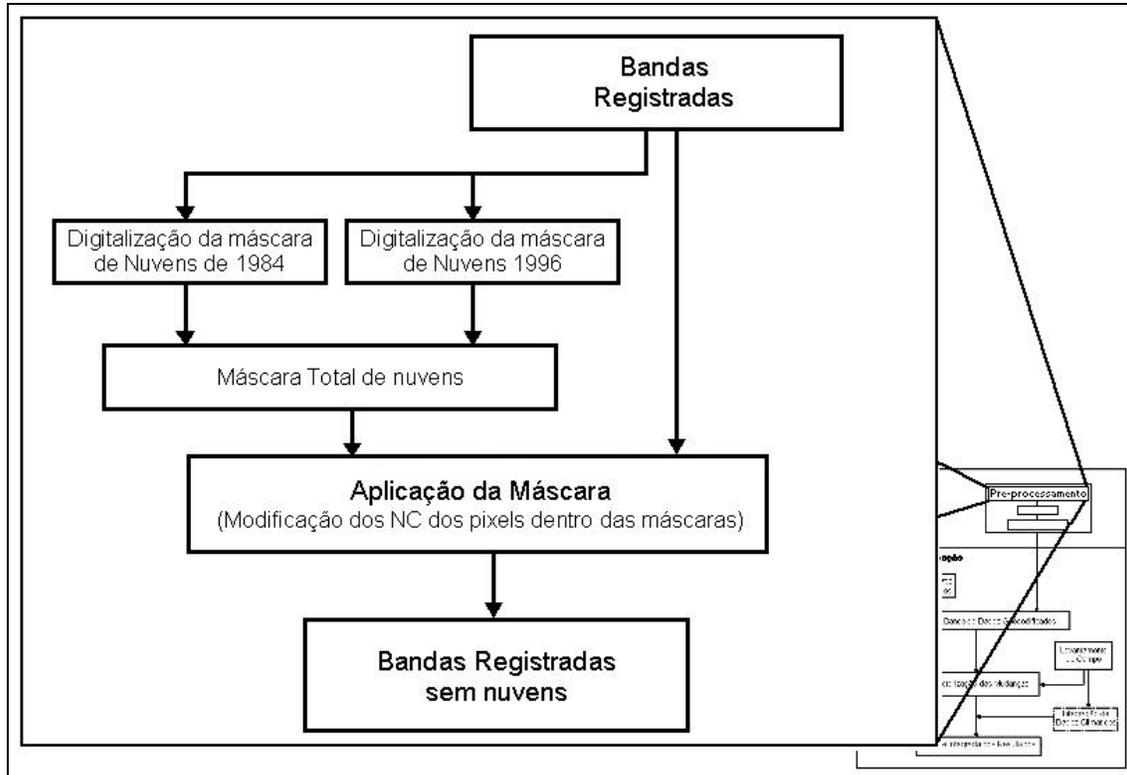


Fig. 3.9 - Fluxograma do pré-processamento.

A máscara total de nuvem-sombra é conformada pela união de duas máscaras. Uma primeira, digitalizada sobre a imagem da primeira data e uma segunda digitalizada sobre a imagem da segunda data. Como resultado do mascaramento obtêm-se novas bandas com os níveis de cinza (NC) dos pixels zerados dentro das máscaras. Estes valores (zero) não são computados pelo “software” nas estatísticas das imagens e não afetam a Análise por Componentes Principais.

Para obter os mesmos resultados que o mascaramento utilizado no presente trabalho, o “software” ERDAS 8.3 oferece também outra possibilidade, implementada com o nome de “*Area of interesting*” (AOI). Porém, foi adotada a abordagem de mascaramento, para manter a compatibilidade das imagens processadas com “software” SPSS utilizado para a análise estatística.

### **3.3.1.2 Aplicação da Técnica da Análise por Componentes Principais (ACP)**

Neste trabalho a ACP foi aplicada em apenas duas bandas de duas datas diferentes, o que segundo Lee et al. (1990); Byrne et al., (1980); Richards (1993); e Eastman e Fulk, (1993), ajuda a evitar as dificuldades da interpretação que ocorrem com o uso de maior número de bandas. Portanto, trata-se de uma análise seletiva, a qual segundo Chavez e MacKinnon (1994), é mais apropriada para estudos específicos com imagens que contêm heterogeneidade de alvos, como no caso do semi-árido.

Para a aplicação da técnica de ACP, toma-se a mesma banda de datas diferentes TM (1ª data) e TM (2ª data). A partir daí, são calculadas as duas componentes principais (CPs). Como já foi mencionado no Capítulo 2, a primeira componente principal (1ª CP) está associada ao eixo de maior correlação, sendo a segunda componente principal (2ª CP), a expressão das mudanças ocorridas de uma data para outra (Figura 2.4).

Esta técnica foi aplicada também para as bandas TM/3 e TM/4 separadamente, com a finalidade de testar os resultados, visual e analiticamente, numa terceira etapa da fase de aquisição da imagem detecção.

O processamento foi feito em ERDAS 8.3, mediante a aplicação “Principal Components” do módulo “Spectral Enhancement”, sendo os parâmetros do programa “Stretch to Unsigned 8 bit” e “Ignore Zero in Stats” para a obtenção das duas imagens 1ª e 2ª Componente principal com valores de pixels entre 0 e 255. Para a análise visual das distribuições dos pixels, foram utilizados os módulos de ERDAS Imagine 8.3, *Feature space image* e *Feature space thematic*. Esta análise visual foi complementado com o programa SPSS 6.0, para obter a análise estatística entre bandas e produtos da ACP.

### 3.3.1.3 Seleção de Bandas Espectrais

A detecção das mudanças de cobertura do terreno entre duas datas é feita selecionando apenas aquelas bandas que discriminam a informação mais relevante, referente ao solo e da cobertura vegetal para a detecção de mudanças.

A seleção de bandas para a detecção foi feita ao comparar visualmente as imagens detecção geradas separadamente com o uso da banda 3 e com uso da banda 4 (Figura 3.10). As duas ACP geraram duas 2ª CP que foram comparadas estatisticamente.

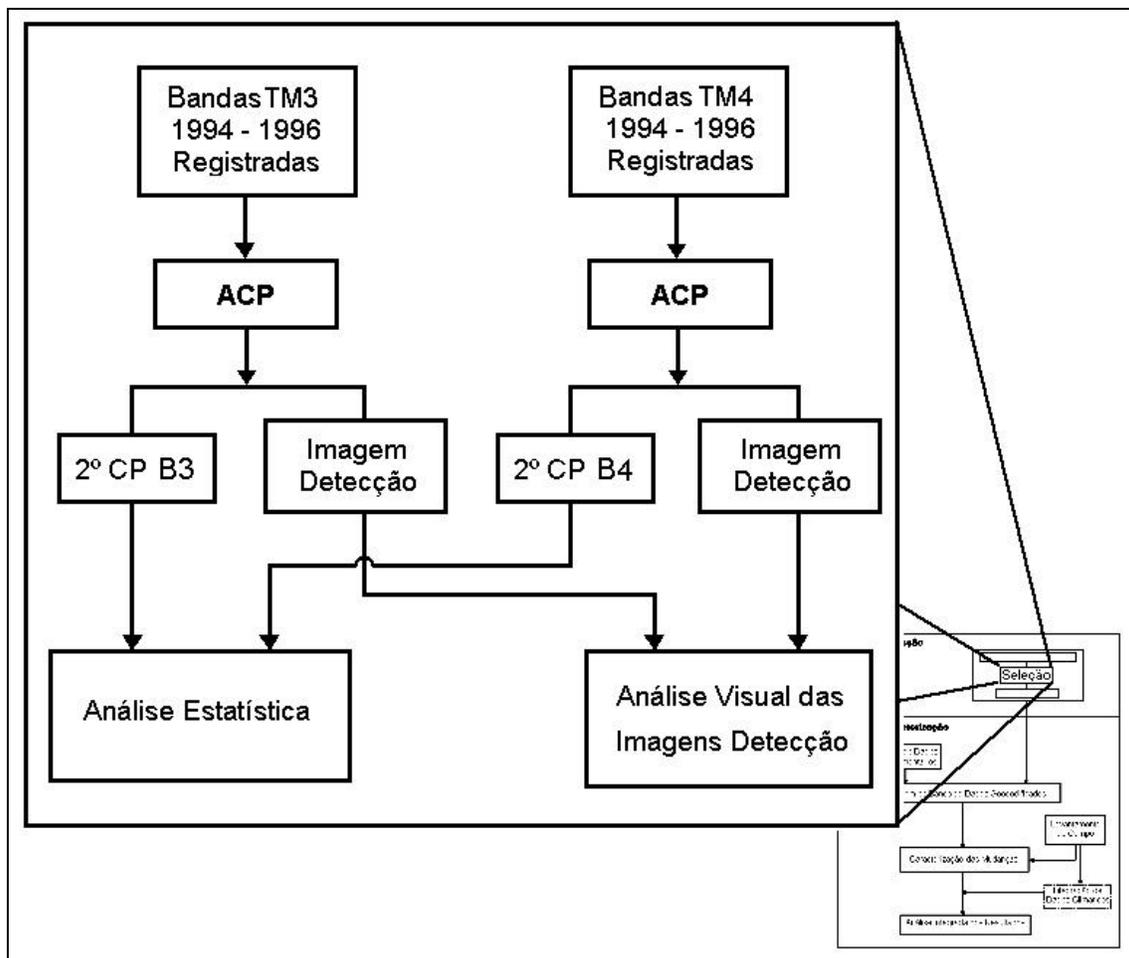


Fig. 3.10 - Fluxograma dos processamentos da banda 3 e banda 4 para análise e comparação dos produtos da ACP.

A detecção foi feita sobre a 2ª CP ao definir os limiares de não-mudança em um desvio padrão, seguindo o proposto por Eastman e Fulk (1993). Objetivando a análise visual, as imagens foram fatiadas com limiares situados a  $-1\sigma$  e  $1\sigma$  da média dos histogramas, associando cores verde e vermelho às mudanças, permitindo que os objetos sejam diferenciados através da cor, dimensões, padrões na imagem, melhorando assim a comparação visual dos produtos.

A análise estatística foi baseada numa correlação linear simples, complementada com um teste de significância de duas vias em SPSS 6.0. Os últimos critérios para a seleção de bandas foram baseados principalmente nas inconsistências apresentadas pelos produtos da detecção gerados. Estas inconsistências foram atribuídas, na análise, à heterogeneidade na paisagem do semi-árido.

#### **3.3.1.4 Aquisição da Imagem Detecção**

A segunda componente principal (2ª CP) objeto do processamento desta fase, teve que ser preparada para o cálculo dos limiares. A razão disso, é a aparição dos pixels de nuvem-sombra, extraídos na fase anterior, com valores diferentes de zero. Na Análise por Componentes Principais, o algoritmo determinou a auto-estrutura da transformação sem utilizar os níveis de cinza (NC) com valor zero das máscaras de nuvem-sombra, porém estes pixels foram transformados no conjunto da nuvem de pixels, apresentando na 1ª CP valores zero e na 2ª CP valores diferentes de zero. Este valores não devem tomar parte das estatísticas da imagem e precisam ser extraídos. Portanto, para isto foi aplicada novamente a máscara total de nuvem-sombra (Figura 3.11) e os NC dos pixels no seu interior foram zerados.

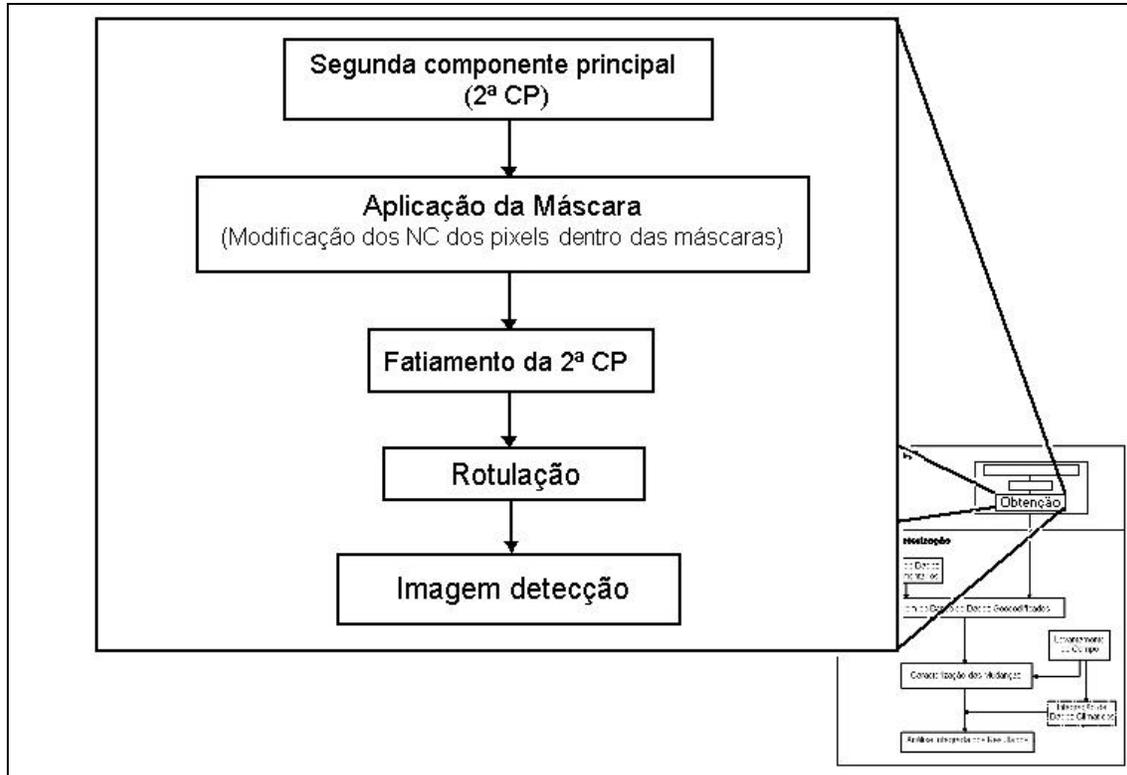


Fig. 3.11 - Passos para a obtenção da imagem detecção.

A aquisição da imagem detecção, destinada à análise e caracterização das mudanças, está baseada no fatiamento em cinco partes do histograma da segunda componente principal (2ª CP). O fatiamento é feito com limiares localizados a 1 e 2 desvios padrão ( $\sigma$ ) da média. Este número de classes foi determinado em razão de ter duas causas de mudanças na cobertura vegetal, a atividade agrícola e a atividade pecuária.

O primeiro limite a  $1\sigma$  foi adotado, de acordo com Eastman e Fulk (1993) e Goeffrey (1997), que obtiveram uma discriminação satisfatória das mudanças produzidas pela atividade pastoril em savanas. Além disso, na área de estudo também se encontra atividade agrícola, não menos importante. Para discriminar um segundo grau de mudança de maior magnitude foi adotado um

limiar a mais na posição  $2\sigma$ . A rotulação da imagem detecção é apresentada na Figura 3.12 em conjunto com um esquema do fatiamento.

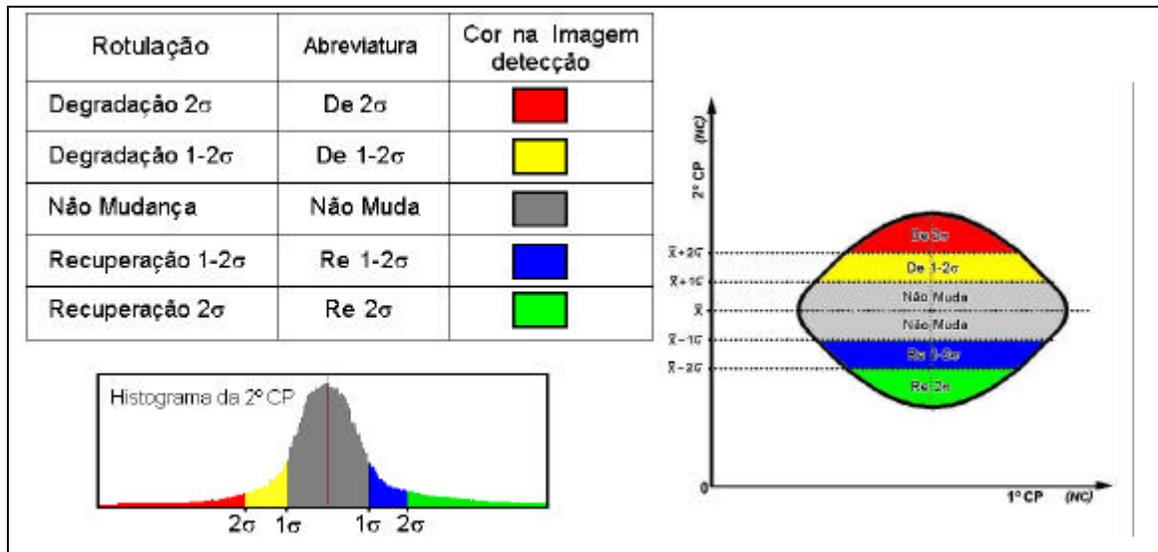


Fig. 3.12 - Rotulação e esquema do fatiamento do histograma da 2ª CP e da nuvem de pixel, produto da ACP.

Após a rotação aplicada pela ACP, a nova imagem contém os pixels de nuvens e nuvens-sombra da cena, já mascarados no pré-processamento, com valores zero na 1ª CP e com os mesmos valores da média na 2ª CP. Portanto, para o fatiamento da 2ª CP, os pixels anteriormente mascarados, são novamente eliminados dos procedimentos estatísticos, repetindo o procedimento de mascaramento e colocando-os com valor zero. Desta maneira a 2ª CP foi preparada para o cálculo dos parâmetros estatísticos que serão usados para o fatiamento. Este processo foi feito com limiares em uma distância de  $1\sigma$  e  $2\sigma$ , para ambos lados da média ( Figura 3.12 ). Conforme Spiegel (1961), numa distribuição normal entre os limiares  $1\sigma$  e  $-1\sigma$  encontra-se 68,27% dos dados, cuja porcentagem de pixels na cena de trabalho serão definidos como de “Não-mudança” e entre os limiares  $2\sigma$  e  $-2\sigma$ , encontra-se 95,45%. Baseados nesta

distribuição 27,18 % dos dados representados serão pixels de mudança entre  $1\sigma$  e  $2\sigma$ , e 4,55% de mudanças após  $2\sigma$  (Figura 3.12).

Neste trabalho, são usados os termos “degradação” para caracterizar a diminuição da cobertura vegetal ou no caso de uma banda inversamente correlacionada (como a Banda TM3), aumento da refletância; e o termo “recuperação” para o aumento da cobertura vegetal ou a diminuição da refletância. A classe recuperação, inclui a reconquista vegetal, além de outros casos associados com o ganho de cobertura vegetal ou aumento de vegetação, como os que ocorrem nas culturas, embora na época seca estes casos sejam restritos às culturas invernais, forrageiras ou às outras culturas perenes como Palma (*Opuntia ficus indica*).

As legendas usadas no presente trabalho, foram adotadas como um subsídio para os estudos de desertificação, portanto as mudanças incluem os termos degradação e recuperação. Estes termos são usados por Sobrinho (1978), que define desertificação como “o processo de *degradação* progressiva da cobertura vegetal, do solo e do regime hídrico resultante das condições climáticas e edáficas ou da ação do homem, ou de ambas coisas conjugadamente, conduzindo à destruição dos ecossistemas primitivos e à perda da produtividade dos mesmos e da capacidade de se *recuperarem*”.

### **3.3.2 Fase de Caracterização e análise das mudanças**

Com o objetivo de compor a base cartográfica e aproximar à situação da caatinga para o ano 1984, foram incorporados os dados da Carta dos tipos estruturais de Caatinga de Carvalho (1986) e Imagens digitais do ano 1984 e 1996, com quatro bandas TM3, TM4, TM5 e TM7.

### **3.3.2.1 Montagem do Banco de Dados geocodificados**

A utilização de um SIG, requer a elaboração de um modelo conceitual do mundo real que, baseado na coleta de dados relevantes ao estudo, busca descrever e entender o fenômeno estudado, simplificando assim a realidade. Um esquema de análise geográfica em SIG, onde as atividades iniciam e terminam no mundo real, tem informações coletadas, depuradas e organizadas num banco de dados, que manipuladas e analisadas com o objetivo de se tomar decisões, podem prever corretamente os resultados decorrentes das ações que devem ser implementadas.

Para cada um dos temas foram definidos planos de informação, visando armazenar dados específicos. Através das diversas rotinas disponíveis, foram feitos os processamentos necessários para garantir a aplicação do algoritmo e para a elaboração de um produto final.

Visando combinar os dados e informações levantadas nas fases de gabinete e de campo, bem como permitir a execução de análises mais complexas, foi empregado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 2.3), “software” desenvolvido pelo INPE, que atende perfeitamente ao tipo de estudo proposto.

O Banco de Dados foi montado em escala de 1:50.000, compatível com os dados disponíveis. O processo de incorporação da informação cartográfica foi feito através de um módulo específico de digitalização em mesa digitalizadora e mediante importação de coordenadas geográficas em arquivo ASCII obtidas com “Global Positioning System” (GPS). Grande parte dos dados (Cartas do IBGE, mapas em diferentes escalas como a carta dos tipos estruturais de caatinga, imagens e produtos da análise digital das imagens) foram integrados sobre uma base cartográfica (SIG).

O modelo conceitual elaborado para a análise geográfica realizada neste trabalho contempla apenas variáveis espaciais da classe geo-campo (Figura 3.13).

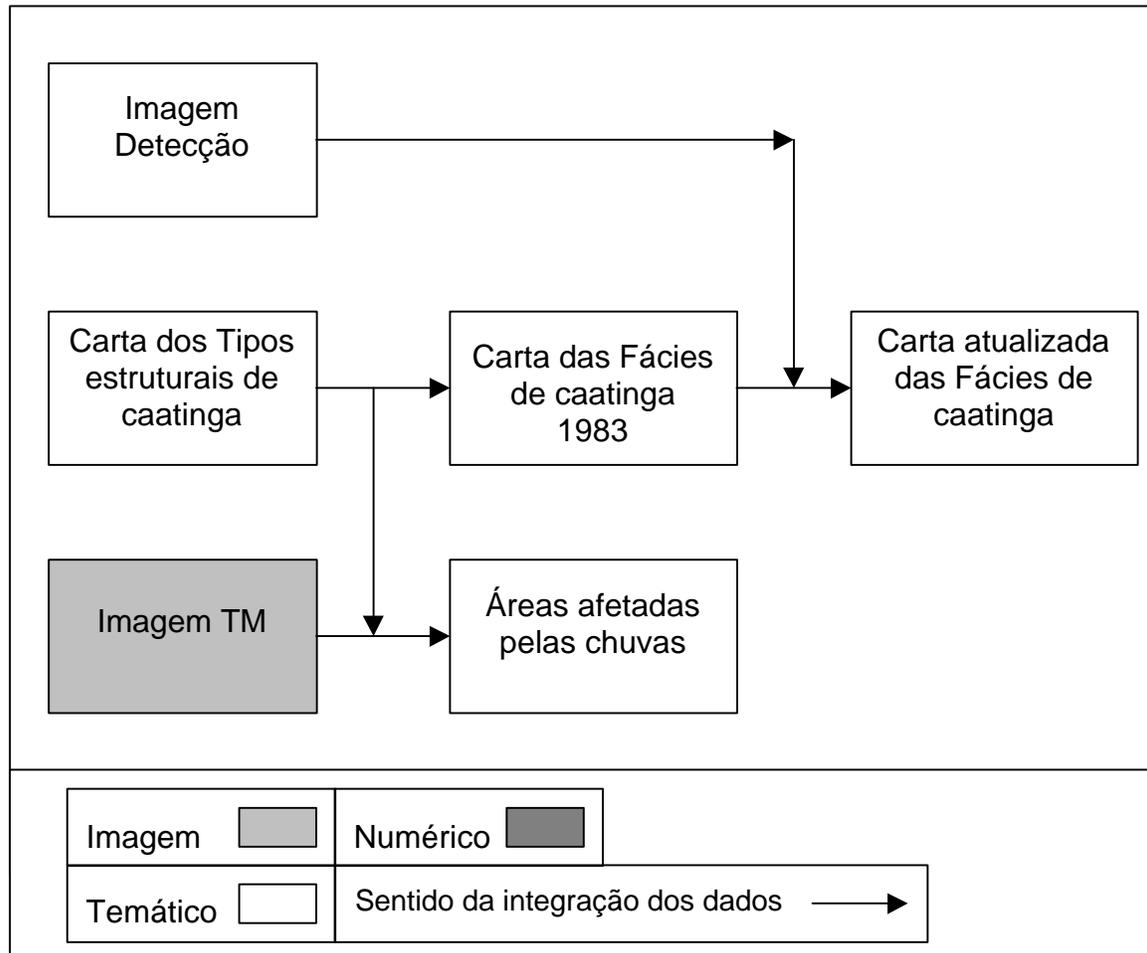


Fig. 3.13 - Esquema conceitual de integração de dados.

A formação dos diferentes Planos de informação (“PI’s”) foi baseada nas três categorias possíveis de representação de dados no SPRING/INPE: a categoria polígono, modelo numérico e a categoria imagem multiespectral. A categoria polígono reuniu os “PI’s” cujos dados foram extraídos das cartas ( tipos estruturais de vegetação da caatinga, máscara de nuvens, degradação e recuperação) na escala 1:50.000, contendo o limite preciso da área de estudo.

Este conjunto de dados foi introduzido no sistema através da digitalização dos temas, sendo cada tema correspondente à um “PI” distinto.

Adicionalmente, os pontos de GPS coletados foram também inseridos no SPRING/INPE através de um arquivo no formato ASCII, contendo os respectivos dados de latitude e longitude, constituindo desta forma, um novo Plano de informação. Tal “PI” foi utilizado como ferramenta auxiliar no processo de determinação da exatidão da detecção, atuando como apoio na definição das amostras de treinamento.

**Registro dos Produtos da Detecção, geração de um PI no SIG:** A imagem detecção é registrada no SIG para digitalizar e gerar um PI que permita a análise espacial para caracterizar as mudanças. Os produtos gerados pela ACP, são a 1ª CP , a 2ª CP e a imagem detecção (2ª CP fatiada e rotulada).

Na fase final, após a obtenção dos resultados da Detecção, os produtos foram registrados no Banco de Dados, mediante uma interpolação híbrida do “software”, segundo NETGIS (1997). A etapa posterior, de caracterização das mudanças, foi baseada no trabalho de campo e na análise visual das intersecções entre vários PIs (operações booleanas entre mapas temáticos) dentro do SIG.

### **3.3.2.2 Levantamento de Campo**

As atividades desenvolvidas no campo ocorreram no período de Julho de 1998, com a finalidade de descrever as áreas amostrais de ocorrência de mudanças e de não-mudança em caatinga e não caatinga. A imagem detecção de mudanças, objeto do presente trabalho, abrange o espaço de tempo 1984 a 1996. E sendo o levantamento de campo realizado dois anos após a última data da imagem, foi considerada na análise a ocorrência de um erro de julgamento devido a esta defasagem de tempo. Com o objetivo de evitar este

erro, foram observados durante o trabalho de campo certos indicadores para efetuar uma aproximação das condições da data de 1996.

Foram feitos os levantamentos fitofisionômicos com apoio de uma imagem georeferenciada TM 4,5,3 com a superposição das áreas de mudanças da imagem detecção. Este material de campo foi realçado para melhorar a discriminação visual das texturas da imagem. Também foi usada no campo a Carta dos tipos estruturais da caatinga para o ano 1983 elaborada por Carvalho (1986).

Os critérios para a definição das amostras foram baseados na delimitação e identificação dos diversos padrões tonais, formas e padrões observados na imagem detecção. As feições identificadas foram devidamente marcadas e localizadas na Imagem RGB TM 4,5,3; sendo depois rotuladas numericamente e feita uma descrição das mesmas no campo, correspondendo assim, à verdade terrestre.

Foram primeiramente reconhecidas as principais feições de cobertura vegetal e uso da terra presentes na área de estudo sendo, nesta etapa, coletados setenta e três (73) pontos de controle de caatinga, localizados com o auxílio de um GPS (GARMIN II Plus). Estas medições permitiram a localização geográfica (latitude e longitude) das feições identificadas, com uma precisão da localização da ordem de 30m a 100m (1 a 3 pixels), segundo as especificações do instrumento, porém quando havia certa confusão em relação à classe amostrada o ponto foi eliminado.

Com a finalidade de otimizar a relação custo/benefício do levantamento de campo, foram utilizados três maneiras de amostragem, adequadas em relação às circunstâncias apresentadas pelo ponto a ser caracterizado. Assim, foram utilizados 1) “transectos” para caracterizar a vegetação de caatinga, 2) descrições fisionômicas simples para roçados e culturas e 3) descrições fitofisionômicas complexas usando atributos de abundância/dominância para áreas de caatinga que apresentavam claros indicadores do estado de uso,

como identificação de espécies características dominantes, alqueives ou roças abandonadas. Todo isto com a finalidade de acrescentar com maior rapidez às observações de áreas similares já descritas com “transectos”. Foram tiradas fotografias 35mm em todos os pontos amostrados para melhorar o trabalho de gabinete.

O número de pontos amostrados, levou em conta a distribuição esperada por razões estatísticas e de tempo, como já temos dito, ou seja aproximadamente 68% dos pixels da imagem detecção de não-mudança, 16% dos pixels são de degradação e 16% de recuperação. Baseada nesta proporção aplica-se a amostragem de campo, podendo aumentar o número de amostras das classes que se apresentam formando texturas menores de três pixels. Os pontos amostrados em áreas com estas texturas, em geral, apresentaram confusão e algum deles foram descartados, em razão de não haver certeza no posicionamento do pixel na imagem detecção e de limitações na precisão do GPS na tomada de referências geográficas no campo.

Os roçados (fácie agrícola) foram avaliados com fotos e observações sobre o tipo de uso atual e anterior e quando abandonados ou em pousio, o tempo do abandono do roçado. Foram anotados na planilha de campo o tipo de cerca, estado de manutenção ou de abandono do cercado e outros descritores do manejo e uso desses roçados. As observações pontuais também foram completadas com três percursos a pé de 6, 7 e 9 km, atravessando algumas variações fisionômicas da área.

As áreas que foram inclusas dentro da classe “não caatinga”, compreendem as áreas de roçados com culturas, roçados abandonados, açudes, campos roçados cercados para pastagem, antigos campos roçados abandonados, etc. Com o objetivo de caracterizar as mudanças observadas na imagem detecção, fez-se a descrição do tipo de uso, estado, idade aproximada, culturas instaladas, técnicas de cultivo e manejo, sendo as mesmas fotografadas para análise posterior no trabalho de gabinete.

Os pontos observacionais também abrangem áreas de caatinga com mudança e não-mudança, com formas regulares e homogêneas, que são feições significativas na imagem de satélite. Neste contexto, realizou-se o levantamento de campo com o uso das Planilhas “Cottam-Curtis” segundo Küchler e Zonneveld (1988), modificado com acréscimo de dados fenológicos das espécies identificadas, além de dados e informações de diferentes naturezas sobre o estado e uso da terra observados para cada ponto amostrado. A seguir, um esquema da planilha de amostragem com transecto, preenchida em campo (Figura 3.14).

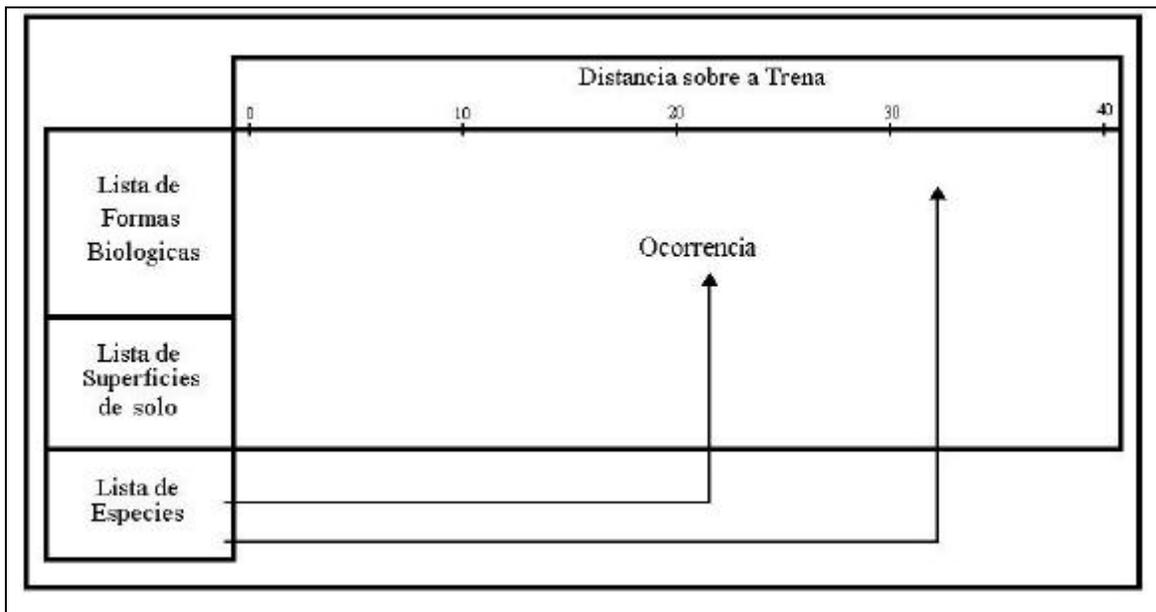


Fig. 3.14 - Representação esquemática da planilha de campo.

Nestas áreas, foram apontados também outros parâmetros tais como histórico de uso da terra, além dos aspectos fitofisionômicos (tipo, idade e uso da formação vegetal); e dados do meio físico, como solo e topografia.

Com base nos padrões observados no campo, foram selecionados para amostragem, estágios de reconquista vegetal e de tipos de caatinga com

padrões regulares de mudança e de não mudança, pois as mesmas constituem-se nas unidades de interesse. Tomando-se como base a representatividade de área, foram feitos 21 pontos amostrais em áreas de caatinga por transectos de tamanho fixo posicionados geograficamente com GPS. Os transectos foram lineares sem largura e com 40m de comprimento. A longitude de 40m foi utilizada anteriormente para representar os tipos estruturais de caatinga por Carvalho, (1986) e em trabalhos no Chaco árido da Argentina por García et al. (1996).

Para a escolha do tipo de amostragem a ser usado em vegetação natural, foi analisado o desempenho de faixa contra o transectos em linha. Foram verificados em campo alguns aspectos da operação de amostragem como a dificuldade de deslocar a trena lateralmente, provocada pela densidade arbustiva e a quantidade de espinhos na maioria dos casos. Estes foram alguns dos critérios que levaram ao uso de transecto em linha ou “Cottam-Curtis modificado”. O transecto em linha precisa a mínima perturbação da vegetação que ocorre ao longo da trena, esta dificuldade diminuiu o tempo da amostragem ao eliminar o trabalho de abrir uma picada.

Para caracterizar a recuperação e degradação, além da estrutura e do porte do indivíduo, é necessário saber quais espécies são encontradas. A exposição do solo, a erosão e a atividade e tipo de pecuária, são indicadores de áreas de possível degradação. As áreas de possível recuperação são observadas em roçados abandonados em reconquista vegetal, roçados em alqueive, áreas cercadas novas (caracterizando novas condições de manejo da pecuária) ou roçados com culturas perenes.

Neste censo, os indivíduos são considerados através de dados como: altura total, nome científico da espécie e porte (conforme a planilha apresentada na Figura 3.14). O porte dos indivíduos e seu estado fenológico são registrados metro a metro na planilha de campo, bem como a posição do indivíduo na parcela, copa, presença de solo exposto, etc., podendo inferir, segundo

Burrows (1990) a estrutura vertical e horizontal da comunidade, indicando espécies arbóreas na linha de porte arbustivo ou herbáceo, obtendo assim descritores de estado fisionômico. Também foi anotada a dominância de algumas árvores ou arbustos na paisagem, de maneira a se referenciar e procurar explicação sobre a textura e aspecto apresentado pelo ponto na imagem.

Os portes foram estabelecidos em conformidade com os critérios: porte herbáceo até 0,60m; porte arbustivo indivíduos com altura inferior a 5m e ramificação baixa e, porte arbóreo com altura superior a 5m, tronco principal e grande desenvolvimento lenhoso. Tais critérios descritos, foram considerados na construção das planilhas para obter a maior representatividade, comparabilidade e agrupamento dos censos, embora as fácies de caatingas amostradas sejam muito heterogêneas entre si.

No trabalho de gabinete, os valores de cobertura do solo foram calculados sobre as planilhas, somando os pontos da mesma classe sobre o transecto. Esta cobertura foi classificada em densa, quando superior a 40%, aberta entre 10 e 40%, esparsa entre 2 e 10% e ausente ou rara quando inferior a 2%.

Posteriormente, os dados coletados foram manipulados em conjunto com uma planilha auxiliar, visando a caracterização fitofisionômica das formações vegetais de interesse, sendo analisados os parâmetros de cobertura, tipo de superfície do solo, grau de exposição da superfície do solo e selagem, indicadores de reconquista vegetal, de atividade animal ou da pecuária, vizinhança com povoados, assentamentos humanos e açudes.

A cobertura do solo foi registrada desde os fragmentos pétreos sobre a superfície do solo, folhagem, serapilheira até a lenha (Figura 3.15).



Fig. 3.15 - Fotografia de um ponto amostrado sob a trena. Faz-se notar a cobertura do solo composta por galhos e folhagem.

Os grandes fragmentos de material pétreo foram discriminados segundo a Tabela 2.4.

**TABELA 3.1 - ESCALA DE TAMANHOS DOS SEDIMENTOS**

<b>Tipo de fragmento</b>	<b>Tamanho [ cm ]</b>
Matacão	102.4 - 25.6
Bloco	25.6 - 6.4
Seixo	6.4 - 0.4
Grânulo	0.4 - 0.2
Areia muito grossa	0.1 - 0.05

FONTE: Cunha (1996, p.174)

A Figura 3.16, ilustra o cuidado que se teve para a aplicação da amostragem, evitando-se alterações na vegetação dentro da linha do transecto.



Fig. 3.16 -Aplicação da amostragem sobre a trena, em área de caatinga arbustiva aberta.

A planilha de campo é formada por dois setores principais: um setor onde é indicada a ocorrência das espécies em relação á distância sobre a trena e outro setor onde se encontram os itens principais de ocorrência. Na interseção da coluna da distância e da linha do item se indica com um “x” a ocorrência. A principal modificação deste método clássico de amostragem, foi a substituição de “x” pelo número indicador da espécie vegetal encontrada. Assim, podemos estimar o estado sucessional do ponto amostrado, mediante a observação da forma biológica da espécie, o tipo de espécie e sua abundância ou cobertura. Sendo também importantes as observações gerais sobre a planilha, como as de diversidade e equitatividade.

Por exemplo, um estado de reconquista pode estar definido pela abundância de espécies pioneiras na reconquista e pelo porte ou pela presença de espécies arbóreas com porte arbustivo ou herbáceo, ou espécies arbustivas com porte herbáceo. Isso permite diferenciar, quando preciso, um estado de degradação de outro em recuperação, pela falta de elementos característicos dessa fácies, alturas dos estratos, ocorrência de tocos, arbustos secos, caminhos da pecuária ou outros indicadores de atividade animal como

vizinhança de açudes ou currais, estado e distribuição da serrapilhera, selagem da superfície do solo, erosão, etc., todos esses elementos observados tem um espaço para serem indicados na planilha (Figura 3.14).

### **3.3.2.3 Caracterização das Mudanças**

Nesta fase, as mudanças são caracterizadas mediante a intersecção (operações booleanas entre mapas temáticos) entre os PIs da informação da imagem detecção, com outros planos de informação, tais como as Cartas dos tipos de caatinga e os pontos e atributos do levantamento de campo e dentro do SIG.

#### **3.3.2.3.1 Uso do SIG**

O uso principal do SIG nesta fase de caracterização, está relacionado com a localização precisa dos pontos amostrais sobre as cartas, a imagem detecção e composições coloridas das duas datas estudadas, fornecendo maiores detalhes para completar as observações de campo. Deste uso, podem-se obter observações de vizinhança e relações horizontais com outras áreas. Estas observações em geral não formam parte dos levantamentos de campo.

Para a montagem de um banco de dados é necessário considerar a estrutura hierárquica, sendo preciso o manejo de dados espaciais e temporais, a forma, a dimensão e a escala dos dados de entrada, os quais são parâmetros a serem considerados antes do início da montagem. Portanto, estes parâmetros foram definidos em relação à imagem e suas possibilidades, como a escala de trabalho de 1:50000 e o tamanho do pixel ou célula de resolução no SIG de 30x30m.

O outro uso do SIG, está relacionado com a análise espacial qualitativa a partir de regras aplicadas para gerar um PI TEMÁTICO obtendo informação das

distribuições espaciais, a relação entre áreas e informação quantitativa obtida dos Pis gerados. Este foi feito utilizando operações booleanas de intercessão (“e” lógico) entre mapas temáticos, e para tal foram realizados programas no SPRING, na linguagem LEGAL (INPE, 1998).

#### **3.3.2.3.2 Definição e Caracterização da Legenda Temática**

**Legenda de degradação:** Encontramos este processo em duas dimensões, sendo uma como produto da ocupação agrícola e outra como produto das atividades pecuárias, extrativistas ou até por erosão e perda da fertilidade. No presente trabalho há uma intenção em separar estes dois tipos de processos através da definição de dois limiares a  $1\sigma$  e  $2\sigma$ .

**Legenda de recuperação:** Encontramos esta classe nas fácies de vegetação natural e na fácies agrícola. Nesta última, está a chamada reconquista vegetal, a que será tratada conforme a descrição de Carvalho (1986). A caracterização destas áreas é baseada na idéia de uma sucessão vegetal previsível a qual, segundo Burrows (1990), pode nos fornecer uma estimativa do espaço de tempo percorrido desde o começo da reconquista.

#### **3.3.2.3.3 Avaliação do mapeamento e da ACP**

A análise da matriz de confusão está baseada na diagonal principal, mas a importância dos valores fora da diagonal encontra-se no uso para determinar a precisão e avaliar a ACP. Nesta fase de análise dos valores fora da diagonal principal, eles são observados sob a hipótese de um melhoramento da ACP mediante a redefinição dos limiares.

**TABELA 3.2 - MATRIZ DE CONFUSÃO COM OS ERROS CONSIDERADOS DE MAIOR IMPORTÂNCIA PARA A ANÁLISE**

		Imagem detecção (ACP)				
		De $2\sigma$	De $1-2\sigma$	Não mudança	Re $1-2\sigma$	Re $2\sigma$
Levantamento de campo + SIG	De $2\sigma$	ok	-	-	-	-
	De $1-2\sigma$	-	ok	I e II	-	-
	Não mudança	-	V e VI	ok	VII e VIII	-
	Re $1-2\sigma$	-	-	III e IV	ok	-
	Re $2\sigma$	-	-	-	-	ok

Os erros foram analisados segundo a ocorrência na matriz de confusão e sua localização dentro da nuvem de pixels da ACP, sendo que estão relacionados ao limiar  $1\sigma$ .

### 3.3.3 Análise Integrada dos Resultados da Detecção

A análise integrada dos resultados, necessita de uma gestão ágil de dados complexos, os quais se apresentam em variados formatos. Objetivando estas operações e análises foi usado nesta etapa o SIG, o qual também permitiu a generalização da análise.

As mudanças foram analisadas mediante a caracterização de campo, a superposição dos Planos de informação e cálculos de superfícies dentro do SIG. Também foram usados outros parâmetros como padrões horizontais e relações de vizinhança, observados na imagem detecção. Os critérios de regularidade nas formas das mudanças, bem como as legendas usadas foram aquelas contidas na Tabela 2.5.

A atualização das Cartas de Fácies de caatinga, foi feita considerando o estudo de Carvalho (1986). Segundo este autor pode-se estimar o estado final da

vegetação afetada por degradação  $2\sigma$ , cuja resultante provoca mudança de fácies, portanto qualquer que seja o tipo de caatinga o tipo final será aclareirado. Assim, numa primeira etapa, pode-se atualizar a carta das fácies de caatinga no período compreendido entre 1983 e 1996, acrescentando o tipo aclareirado com a classe degradação  $2\sigma$ .

As fácies que apresentam casos de recuperação  $2\sigma$ , são em geral, fácies agrícolas e de não caatinga, cuja classe de mudança produz segundo Carvalho (1986), a formação de um complexo arbustivo herbáceo. Assim, mediante as operações booleanas de intersecção (“e” lógico) dos Planos de informação através da linguagem LEGAL, foi atualizada a Carta das fácies de caatinga do ano 1983 e gerada uma Carta das fácies de caatinga para o ano 1996.

#### **3.3.4 Integração de Dados Climáticos**

Considera-se neste estudo, dados das chuvas com a finalidade de melhorar a interpretação das mudanças detectadas. Para a etapa da análise integrada dos resultados, primeiramente foi feita uma aproximação das condições diferenciais provocadas pelas chuvas na data do imageamento, com uso dos dados de seis postos pluviométricos (Fig. 3.6), dispostos na vizinhança da área de estudo, análise das imagens (composições coloridas) e as cartas dos tipos de caatinga (Figura 3.17).

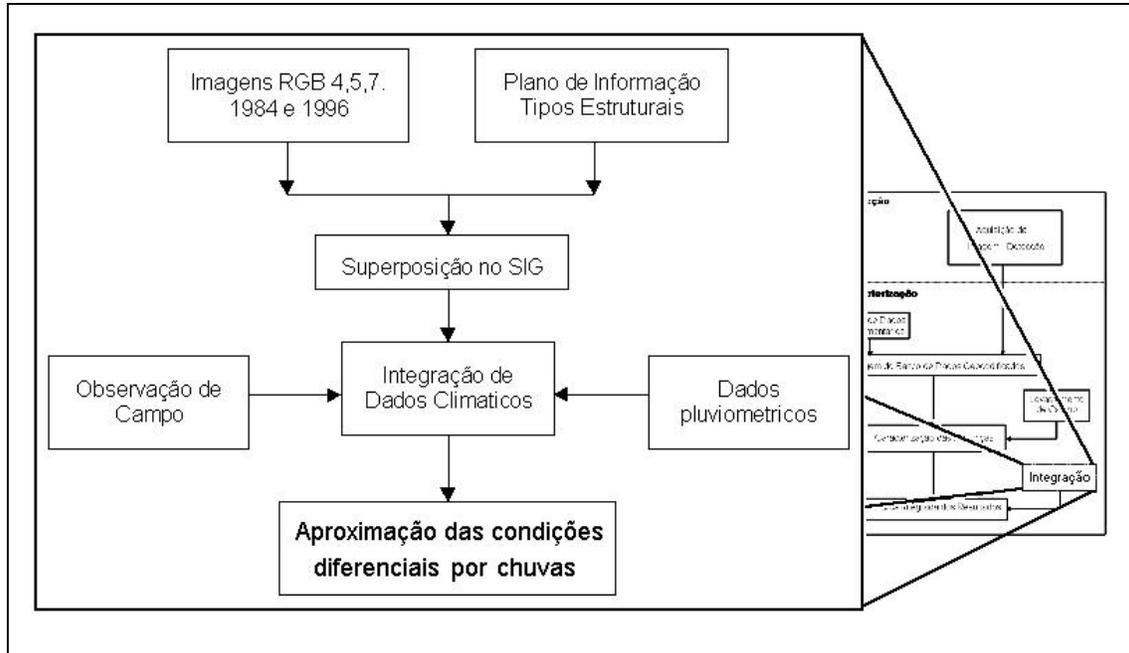


Fig. 3.17 - Fluxograma da integração de dados climáticos

O fato da imagem trabalhada ser do final da época seca, contribuiu para a diminuição da complexidade da análise e da consideração das chuvas. Assim, os dados dos postos pluviométricos foram usados principalmente para explicar as possíveis mudanças detectadas pela ACP na imagem de detecção, com uma distribuição não explicada pela análise dos mapas de uso e pelo levantamento de campo.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Fase de Detecção de Mudanças

O êxito desta fase depende da qualidade do registro imagem-imagem, o que foi realizado com erros de 0.3865 em “x” e de 0.3377 em “y”, sendo que o erro total de 0.5133, é menor que um pixel na ordem de 15m. Estes valores de erro são os mesmos para todas as bandas, já que foram registradas em conjunto.

Após o registro, foram mascaradas as nuvem e os pixels afetados pela sombra das nuvens. Cabe mencionar que as imagens usadas contêm pouca nebulosidade e a máscara total de nuvem-sombra ocupa uma superfície de 1,94% da área de estudo. Embora a máscara fosse feita com as devidas precauções, seguindo a configuração facilmente reconhecível da nuvem e da sombra com forma similar direcionada à oeste, alguns pixels afetados com valores altos e baixos escaparam ao mascaramento. Estes ocorrem em quantidade desprezível e são reconhecíveis nos gráficos das distribuição dos pixels.

Uma vez preparadas as imagens, a aquisição da imagem detecção foi precedida pela seleção da banda espectral mais apropriada para a identificação de mudanças na cobertura vegetal da caatinga.

##### 4.1.1 Seleção de Bandas Espectrais

A seleção da banda a ser utilizada para a detecção de mudanças na cobertura vegetal, foi baseada na avaliação das bandas mais usadas para os estudos de solos e de vegetação. Para isto, foi aplicada a ACP sobre as bandas 3 e em seguida sobre as bandas 4, e os resultados foram comparados e analisados individualmente e em conjunto. A Tabela 4.1, apresenta os descritores das

bandas obtidos na análise estatística, média,  $\sigma$  (desvio padrão) e coeficiente de variação percentual (CV%).

**TABELA 4.1 - DESCRITORES DAS BANDAS USADAS E DOS RESULTADOS DA ACP**

<b>Banda</b>	<b>Média (NC)</b>	$\sigma$	<b>CV ( %)</b>	<b>Mínimo (NC)</b>	<b>Máximo (NC)</b>
<b>B3 1984</b>	56,01	12,69	22,65	0	255
<b>B3 1996</b>	58,55	14,03	23,96	0	255
<b>B4 1984</b>	149,67	27,09	18,10	0	255
<b>B4 1996</b>	148,84	25,79	17,33	0	255
<b>B3 2ª CP</b>	124,93	18,45	14,76	0	238
<b>B4 2ª CP</b>	139,45	11,80	8,52	0	215

Em relação às médias dos NC (Tabela 4.1), pode-se observar que aquelas das bandas 3 são apreciavelmente menores do que aquelas da banda 4, de forma que, após a transformação, as médias das 2ª CPs estejam próximas. Esta similaridade, após a transformação, ocorre em razão de ser a rotação da nuvem de pixels complementada por uma translação para o primeiro quadrante com a finalidade de evitar os valores negativos. É notório que para a banda 3 os valores do coeficiente de variação porcentual (CV%) são mais elevados que os da banda 4, portanto, como primeira aproximação à análise, pode-se inferir que a banda 3 pode separar melhor os alvos da cena. O CV% das 2ª CPs são menores, que os das bandas antes da transformação, em razão de representar a variância do eixo ortogonal ao de maior variação da nuvem de pixels após a transformação por componentes principais.

Com a finalidade de comparar as bandas entre si, podem ser analisadas as correlações apresentadas na Tabela 4.2.

**TABELA 4.2 - CORRELAÇÕES ENTRE BANDAS**

<b>Coefficiente de Correlação</b>	<b>B3 1984</b>	<b>B3 1996</b>	<b>B4 1984</b>	<b>B4 1996</b>
B3 1984	1	<b>0,7448**</b>	0,8926**	-
B3 1996	<b>0,7448**</b>	1	-	0,8740**
B4 1984	0,8926**	-	1	<b>0,7849**</b>
B4 1996	-	0,8740**	<b>0,7849**</b>	1

\*\* Significativos ao 0,01%

Na Tabela 4.2 podem ser observadas correlações significativas e positivas entre as bandas da mesma data, assim como entre datas. As correlações mais altas, próximas a 0,9, são encontradas entre as distintas bandas da mesma data, significando uma alta similaridade. Os coeficientes entre diferentes bandas e datas não têm, aparentemente, significado, portanto não são apresentados nesta tabela. Após a transformação por componentes principais são apresentados na Tabela 4.3, os parâmetros que descrevem a ACP, ou auto-estruturas das duas bandas.

**TABELA 4.3 – PARÂMETROS DA ACP**

ACP Banda TM3	AUTO-ESTRUTURA	
	1ª CP	2ª CP
Autovalor	<b>307,7036</b>	<b>68,9532</b>
1º Autovetor	<b>0,7642</b>	<b>-0,6450</b>
2º Autovetor	<b>0,6450</b>	<b>0,7642</b>
ACP Banda TM4	AUTO-ESTRUTURA	
	1ª CP	2ª CP
Autovalor	<b>1249,9968</b>	<b>240,2880</b>
1º Autovetor	<b>0,7427</b>	<b>-0,6696</b>
2º Autovetor	<b>0,6696</b>	<b>0,7427</b>

Na Tabela 4.3, a auto-estrutura de ambas as bandas, apresenta-se muito similares, com autovalores proporcionais, sendo a relação entre autovalor da 1ª CP e o autovalor da 2ª CP igual a 0,22 para a banda 3 e de 0,20 para a banda 4, mostrando a proporcionalidade das formas. O ângulo de rotação “ $\theta$ ”, aplicado sobre a nuvem de pixels pela ACP é representado pelo arco coseno do 1º autovetor da 1ªCP, portanto encontramos que a ACP aplicou um ângulo de rotação sobre a banda 3, com  $\theta_3 = 40^\circ 09' 51''$ , e um pouco maior sobre a banda 4, com  $\theta_4 = 42^\circ 02' 17''$ .

A similaridade das 2ª componentes principais pode ser observada nas auto-estruturas e com um simples teste de correlação como apresentado na Tabela 4.4.

**TABELA 4.4 – CORRELAÇÃO DAS 2ª COMPONENTES PRINCIPAIS**

	Coeficientes de Correlação	
	2ª CP B3	2ª CP B4
2ª CP B3	<b>1</b>	<b>0,6689**</b>
2ª CP B4	<b>0,6689**</b>	<b>1</b>

\*\* Significativo a 0,01 %

Pode-se observar que as 2ª CP, de ambos os testes, são significativamente diferentes de zero, mas em menor grau que as observadas entre bandas. Estas correlações explicam aproximadamente 70% das variações cuja correlação, embora significativa, não apresenta um valor que possa ser usado como critério para a seleção de bandas.

Com a finalidade de analisar graficamente os resultados da ACP, são apresentadas a seguir, as figuras que mostram as nuvens de pixels num sistema de eixos ortogonais para diferentes datas da mesma banda (Figura 4.1a e 4.2a) e após a transformação (Figura 4.1b e 4.2b) mostram as nuvens de pixels das componentes principais.

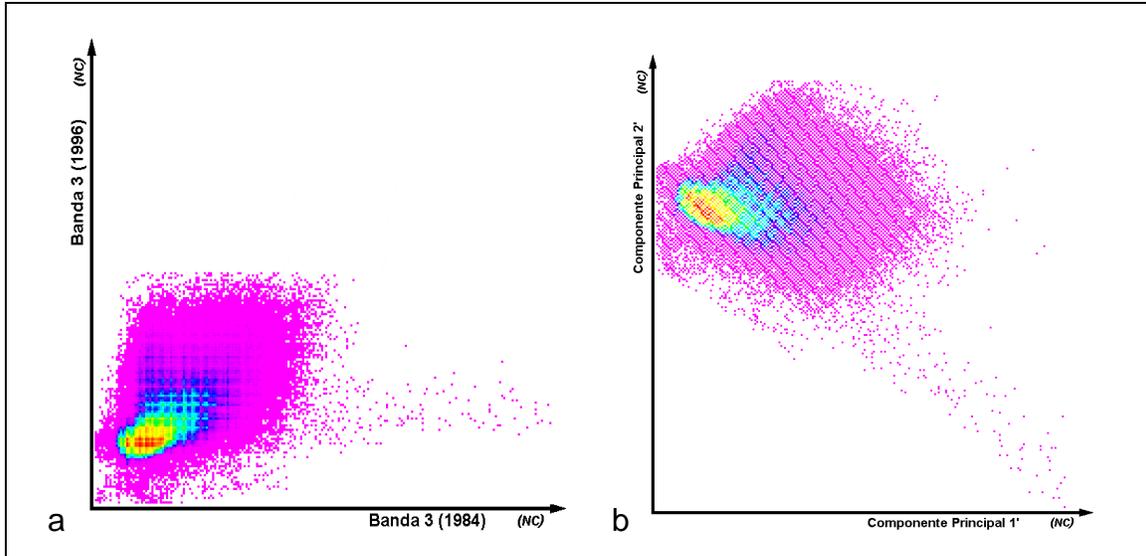


Fig. 4.1 - Distribuição das nuvens de pixels a) Bandas TM3 (1984-1996); b) componentes principais.

As nuvens de pixels mostradas nas Figuras 4.1 e 4.2 representam a distribuição dos números digitais (NC), que variam de 0 a 255 e as cores apresentadas pelas nuvens indicam a freqüência dos pixels para cada nível de cinza. Os tons avermelhados indicam as maiores freqüências e os tons magenta, as menores.

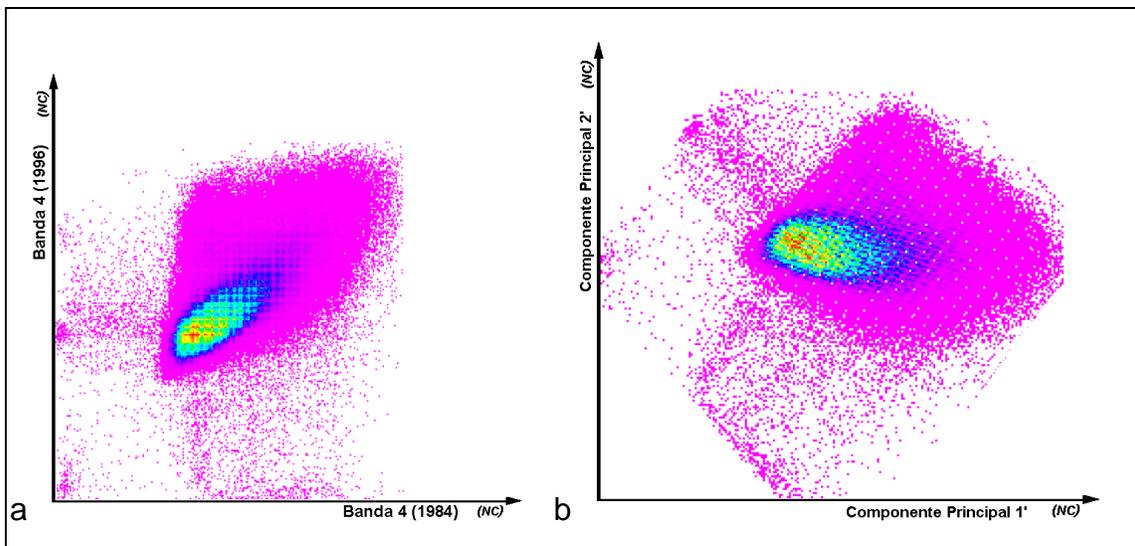


Fig. 4.2 - Distribuição da nuvem de pixels, a) bandas TM4 (1984-1996); b) componentes principais.

Pode-se observar graficamente a similaridade das formas entre nuvens da Figura 4.1 e da Figura 4.2, já estabelecida anteriormente com a análise das auto-estruturas. Ao observar as Figuras 4.1a e 4.2a, nota-se o deslocamento próprio da banda TM4 que apresenta valores de NC em média mas altos que a banda TM3. Além dessa particular diferença, há grande semelhança entre estas duas figuras, primeiramente as nuvens são ligeiramente assimétricas em relação à um eixo diagonal (eixo de regressão), em razão desta assimetria, os gráficos das Figura 4.1a e 4.2a apresentam maior quantidade de pixels com NC maiores na segunda data. Outra semelhança, é o fato de encontrar a maior freqüência, em pixels dos menores valores de NC da nuvem, correspondendo à fície de caatinga arbórea que ocupa a maior superfície da cena. Esta similaridade dos desempenhos das bandas possui significado importante em relação à banda TM4, o que será analisado em conjunto com os resultados da análise visual das Figura 4.3b e 4.4b.

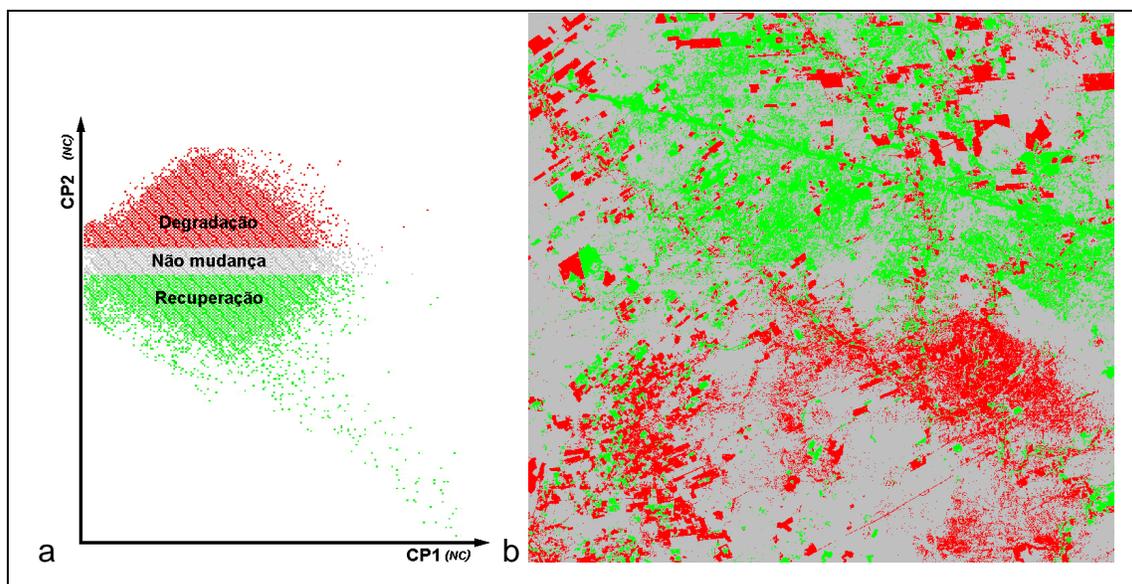


Fig. 4.3 - a) Nuvem de pixels da ACP da Banda TM3; b) 2ª CP fatiada, em cor verde NC menores que  $X - 1\sigma$ , e em vermelho valores maiores que  $X + 1\sigma$ .

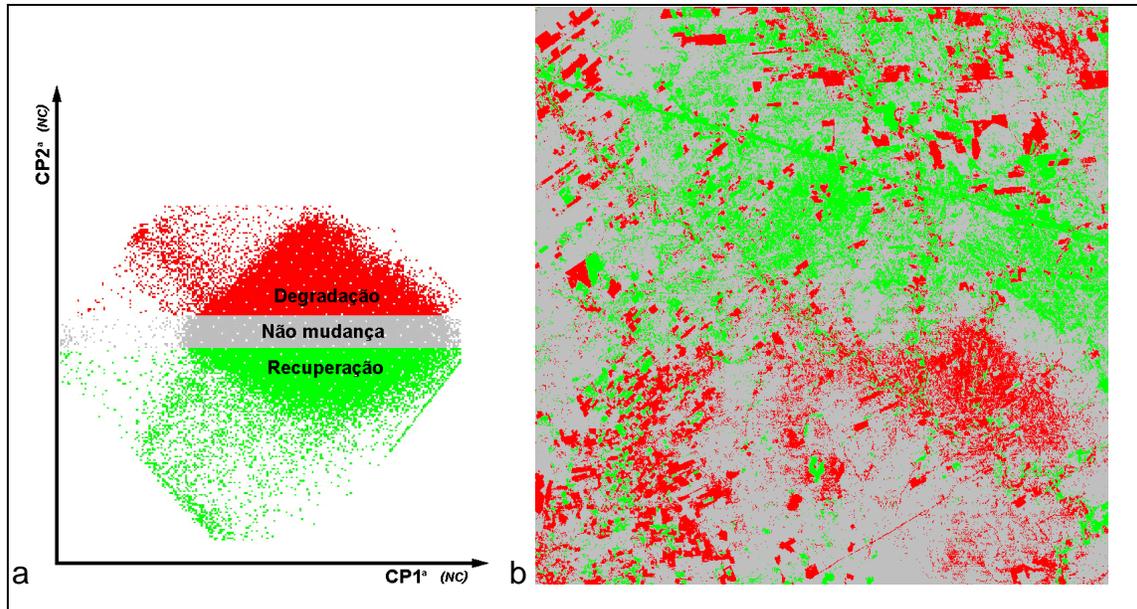


Fig. 4.4 - a) Nuvem de pixels da ACP da Banda TM4; b) 2ª CP fatiada, em cor verde NC menores que  $X - 1\sigma$ , e em vermelho valores maiores que  $X + 1\sigma$ .

Como já foi descrito anteriormente na metodologia, objetivando à análise visual nesta etapa, os resultados das ACP (2ª CP) foram fatiados em  $1\sigma$  e  $-1\sigma$ . Os pixels correspondentes à primeira classe foram colocados em vermelho e para a segunda, em verde. Esta configuração de cores e limiares foi adequada para facilitar a análise visual.

Nas Figuras 4.3b e 4.4b, pode-se observar que encontram-se padrões similares ao sul e ao norte em ambas as cenas. Ao nordeste da cena na banda TM4 é observada uma área vermelha, que não existe na banda TM3, cujas diferenças correspondem a um terreno de topografia medianamente movimentada com riachos e baixios arenosos úmidos, cobertos com caatinga densa de menor perda da folhagem na época seca. Em relação às formas, estas apresentam alta similaridade entre as imagens das duas bandas e correspondem à culturas após a colheita ou pastagens com aspecto palha da época seca.

A análise visual das imagens de detecção mostram similaridade entre elas, reafirmando a análise estatística na qual se obteve um coeficiente de correlação significativo de 0,6689, indicando que encontram-se desempenhos similares nas duas bandas.

Após os resultados anteriores, foram analisadas as duas bandas sob o ponto de vista espectral, porque em áreas vegetadas as bandas do vermelho e infravermelho próximo, segundo Huete et al. (1985), estão inversamente correlacionadas como mostra a Figura 4.5.

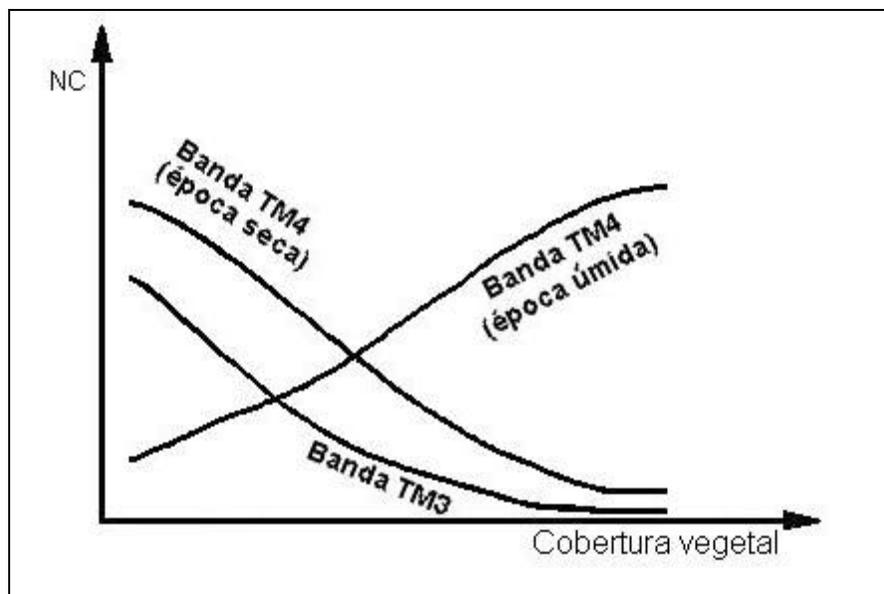


Fig. 4.5 - Estimativa do comportamento das bandas TM3 e banda TM4 na época seca e época úmida.

Este comportamento radiométrico já foi observado na caatinga por Kazmierczac (1993), em relação ao NDVI (diferença normalizada entre banda TM3 e TM4). Este autor estudou o comportamento da banda TM3 em relação à banda TM4 e observou que a banda TM4 responde rapidamente ao começo da época úmida atingindo valores quase tão altos como os da floresta úmida e radiometricamente em forma inversa à banda TM3.

No presente trabalho, observamos que a caatinga em época seca na banda TM4 se comporta de forma similar à banda TM3, porém de forma inversa à banda TM3 na época úmida (Figura 4.5).

Observa-se que os resultados da ACP para as duas bandas testadas apresentaram muita similaridade, embora fosse esperado um comportamento inverso da banda TM4 em relação à banda TM3. Na época testada o comportamento radiométrico foi similar, sendo a perda da cobertura vegetal acompanhada por um aumento da refletância do alvo na banda TM4, de maneira similar à apresentada tipicamente pela banda TM3 (Figura 4.5). De maneira sintetizada pode-se comentar que é esperado que a banda TM4 apresente significativa confusão para a detecção ao se usar imagens de épocas de transição entre a seca e a úmida. Após esta análise, pode ser assinalado que a banda TM4 não tem valor significativo para a detecção de mudanças na caatinga.

A banda TM3, além das considerações anteriores, foi selecionada para a detecção de mudanças por discriminar o solo exposto e ser em menor grau, dependente da folhagem a qual tem caráter muito variável na caatinga. Além disso há também o efeito da caducifolia.

#### **4.1.2 Aquisição da imagem detecção**

Após a decisão de utilizar a banda TM3 para a detecção, foi analisada a nuvem da ACP, em conjunto com os histogramas das componentes principais. (Figura 4.6)

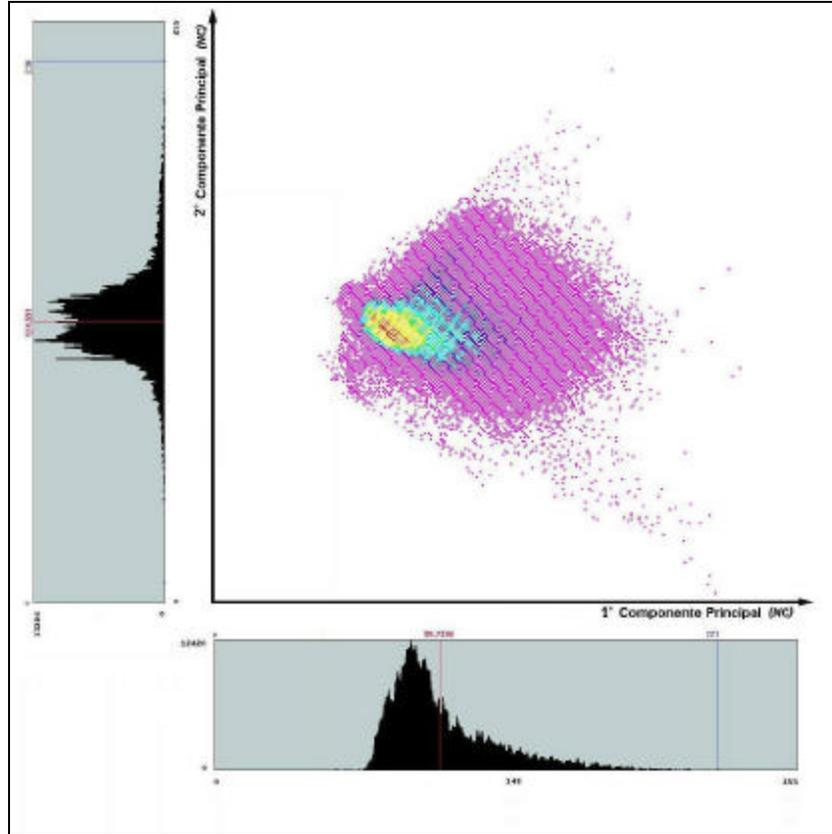


Fig. 4.6 - Nuvem resultante da ACP e histogramas das 1ª CP e 2ª CP.

A observação conjunta da 1ª e 2ª CP da Figura 4.6, dá uma idéia da forma tridimensional da distribuição da nuvem de pixels. Nesta figura, as cores apresentadas indicam a freqüência dos pixels para cada nível de cinza, os tons avermelhados indicam as maiores freqüências, os amarelos as freqüências seguintes e os tons azuis e magentas, sendo estas, as menores. Pode ser observado na Figura 4.6 que o histograma da 2ª CP tem distribuição bimodal. Embora a distribuição da 2ª CP não seja normal, as estatísticas foram calculadas e utilizadas para fatiar o histograma conforme o procedimento estabelecido para a ACP para a obtenção da imagem detecção.

A imagem detecção foi obtida do fatiamento do histograma da 2ª CP, com limiares localizados a  $1\sigma$  e a  $2\sigma$ , conforme a Figura 4.7 e a Tabela 4.5.

**TABELA 4.5 - ESTATÍSTICAS DA IMAGEM (2ª CP)**

Variável	Valor	Descrição
X	124,937	média
Mínimo	9	mínimo
Máximo	238	máximo
$\sigma$	18,456	desvio padrão
$X+\sigma$	143	1º limiar de degradação
$X+2\sigma$	162	2º limiar de degradação
$X-\sigma$	106	1º limiar de recuperação
$X-2\sigma$	88	2º limiar de recuperação

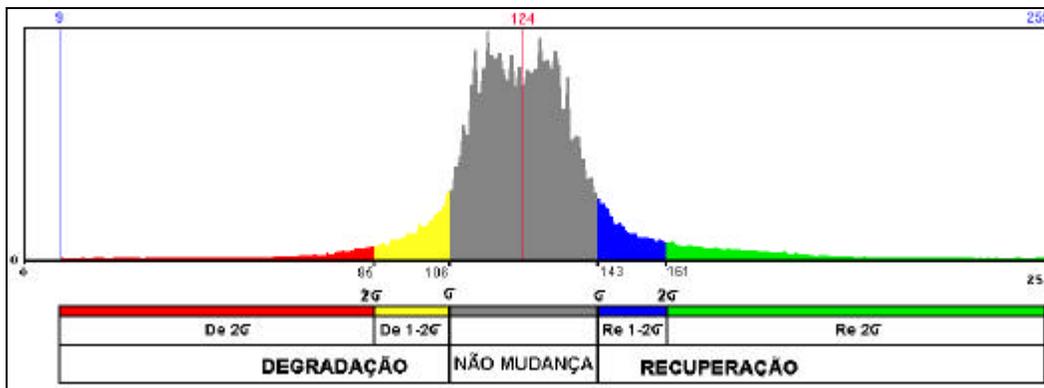


Fig. 4.7 - Histograma fatiado à distância de  $1\sigma$  e a  $2\sigma$  da média e rotulado.

Do fatiamento do histograma, apresentado na Figura 4.7, obteve-se uma nova imagem que se rotulou para a obtenção da imagem temática composta por 5 classes; uma de não-mudança, duas de degradação e duas de recuperação.

Após a observação e análise das figuras apresentadas anteriormente, seria oportuno ampliar o conceito de “degradação”, “não-mudança” e “recuperação” em termos radiométricos em relação ao uso da banda 3. No presente trabalho são usados os termos degradação para caracterizar a diminuição da cobertura vegetal ou no caso, o aumento da refletância na banda 3; e o termo recuperação para o aumento da cobertura vegetal ou a diminuição da

refletância nesta banda. O aumento da cobertura vegetal na classe recuperação, inclui a reconquista vegetal e outros casos que ocorrem na caatinga e nas culturas com ganho de cobertura vegetal. Os alvos que podem estar inseridos na classe  $2\sigma$  estão associados, em geral, com a atividade agrícola e os alvos na classe  $1-2\sigma$ , em geral, com a atividade pecuária. Esta atividade quando se encontra associada à recuperação, em geral, é por efeito de novos cercados e abandono ou realocação de açudes. Após o fatiamento foram rotuladas as classes e associadas à uma cor (Figura 4.8).

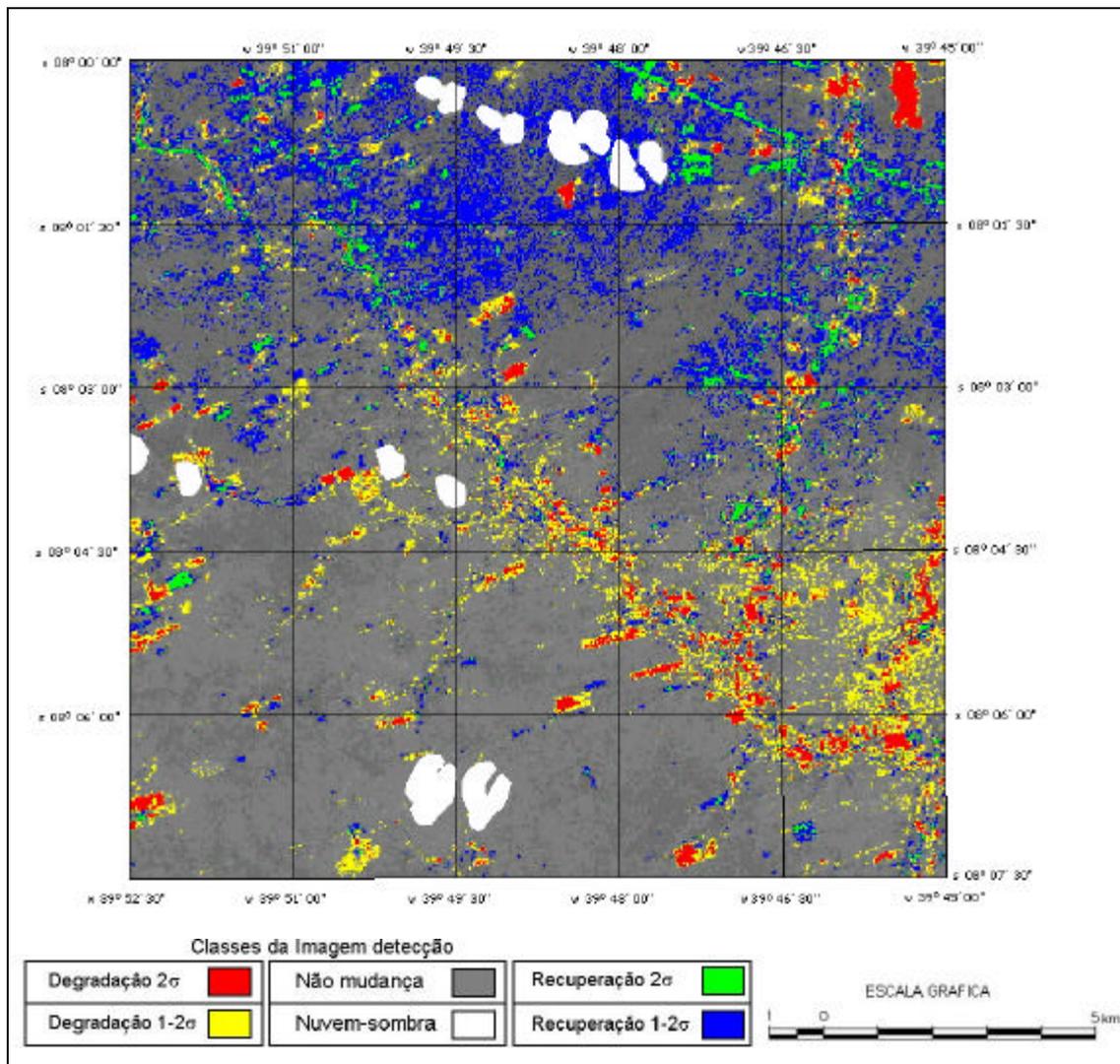


Fig. 4.8 - Imagem Detecção da área de Quixaba.

Obtida a imagem de detecção, foram devidamente analisadas as classes seguindo critérios de formas e padrões. Na primeira observação geral da cena, denota-se que no setor norte predominam os padrões de recuperação  $1-2\sigma$ , já na porção sul, os padrões predominantes são homogêneos de não-mudança (Figura 4.8). Em relação à distribuição das mudanças, observamos que as áreas de atividade agrícola, associadas às classes  $2\sigma$ , ocorrem preferencialmente aproveitando a fertilidade dos baixios da rede de drenagem. Esta atividade explica o mosaico de degradação e recuperação observado, associado à rede de drenagem. Pode-se observar que as mudanças definidas pelos limiares  $2\sigma$ , cores vermelha e verde, são áreas com formas regulares e em geral, homogêneas e associadas com roçados.

As mudanças definidas entre limiares  $1\sigma$  e  $2\sigma$ , cores amarela e azul, referem-se à degradação e recuperação, respectivamente. Nestas classes não se observam formas regulares quando formam áreas homogêneas. Na imagem de detecção, observou-se em algumas áreas, padrões mistos de recuperação, degradação e não mudança. Isto ocorre em áreas de alta variabilidade de usos e solos, em geral na vizinhança da drenagem.

O zoneamento norte-sul observado na Figura 4.8, será analisado em conjunto com os levantamentos de campo, procurando relacioná-lo com as grandes áreas de novos cercados observados no setor norte ou com a questão pluviométrica que será desenvolvida *a posteriori*.

Na Figura 4.9 podem-se observar alguns dos padrões e formas usadas para interpretar as imagens. Em alguns casos, como nas áreas agrícolas, predominam as formas regulares, já nas áreas de pecuária extensiva predominam os padrões.

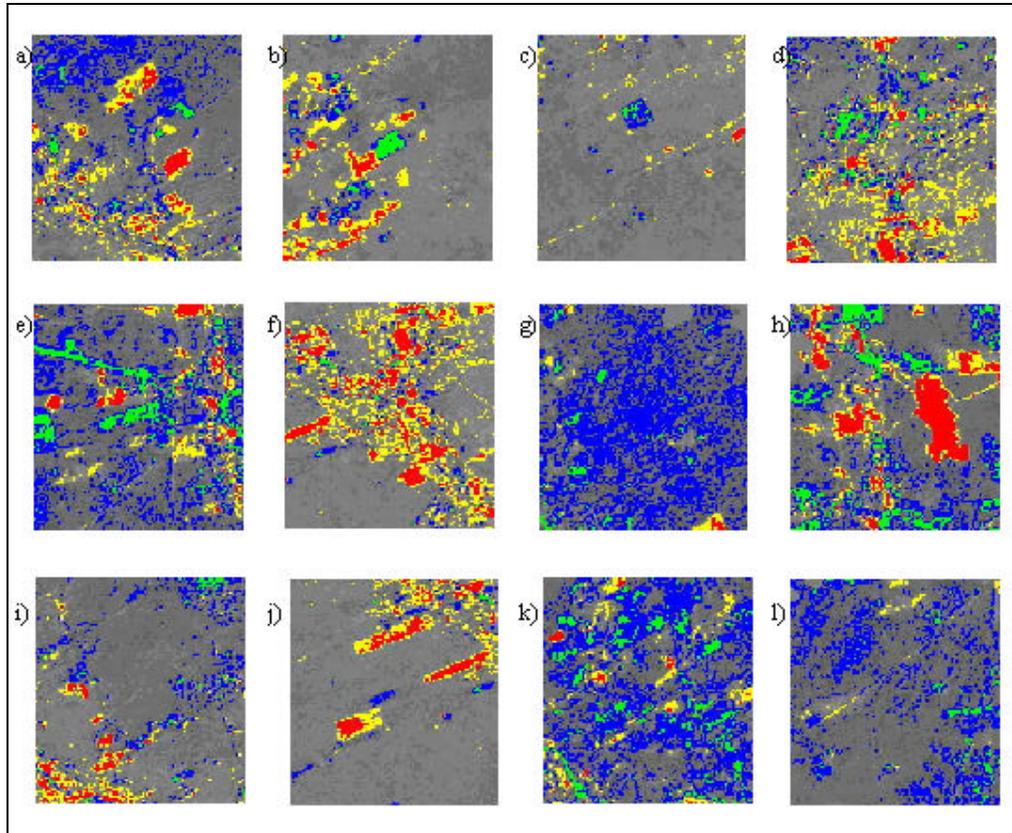


Fig. 4.9 - Formas e padrões dos alvos na imagem detecção, resultantes dos processos antrópicos.

Na figura 4.9 pode ser observada a diversidade de alvos encontrados. No quadro “a”, a degradação  $1-2\sigma$  e  $2\sigma$  apresenta formas regulares em caatinga arbórea em recuperação ao norte e não-mudança ao sul do quadro. Em “b”; o roçado novo na classe degradação  $2\sigma$  (vermelho) e recuperação  $2\sigma$  (verde) roçado antigo com nova cultura perene de palma, em caatingas arbórea descontinua predominantemente em não-mudança. Já no caso “c”; roçado em recuperação em caatinga arbórea descontinua e com clareiras em não-mudança. Para “d”; observa-se o padrão misto dos roçados da fície agrícola, em não-mudança de caatinga arbóreo-arbustiva. Embora seja esta, uma fase puramente de detecção, é oportuno ilustrar a razão dos padrões, como neste caso em particular da Figura 4.10.



Fig. 4.10 - Fotografia de uma área de culturas e pastagens, onde é observada a razão das texturas mistas na Imagem detecção.

Na Figura 4.10 num primeiro plano, a encosta coberta por marmeleiro e na mesma parcela, cultura de Palma (*Opuntia ficus-indica*). Em segundo plano, nas parcelas vizinhas há cultura de milho e área em pousio. No terceiro plano da mesma figura, apresenta-se parcela com grandes árvores de Quixabeira (*Bumelia sartorum*) e ao fundo da figura, nota-se a caatinga arbóreo-arbustiva de aspecto seco.

Retornando à análise da Figura 4.9, em “e” observa-se o padrão misto sobre recuperação em caatinga arbóreo arbustiva aberta e no centro deste quadro encontra-se o povoado de Quixaba e ao sul, a calha de entrada do açude com uma cobertura do solo definida na classe recuperação  $2\sigma$  (verde), ilustrada na Figura 4.11.



Fig. 4.11 - Em primeiro plano entrada do açude e em segundo plano, a calha do açude em estado avançado da reconquista vegetal, na imagem detecção pertence à classe recuperação  $2\sigma$ .

Novamente citando a Figura 4.9 encontra-se no caso do quadro “f” um padrão de degradação em caatinga aclareirada e de não-mudança em aclareirada arbórea. No “g” um padrão de recuperação em caatinga arbórea descontinua. Para o caso “h” grande roçado irregular na classe degradação em caatinga arbórea descontinua. Em “i” observam-se formas regulares e homogêneas de não-mudança em caatinga arbóreo arbustiva continua. Em “j” nota-se roçados na classe degradação sobre não-mudança em caatinga arbórea continua. Em “k” observa-se um padrão misto em caatinga aclareirada, arbustivo densa e arbóreo-arbustivo aberta. Por último, em “l” é apresentado o padrão de recuperação em caatinga arbórea descontinua.

#### **4.2 Fase de Caracterização e Análise das Mudanças**

A fase de caracterização e análise das mudanças baseia-se quase por completo no cruzamento da informação georreferenciada, ocorrendo a análise

por inteiro dentro do SIG. O uso deste sistema configurou um ambiente de trabalho onde a análise utilizou as informações disponíveis nos mais diversos formatos, cartas, imagens, informação de planilhas e fotografias de campo georreferenciadas.

O SIG forneceu uma grande facilidade para a análise visual da integração das classes, dos Planos de informação (PI), com as imagens TM/Landsat e temáticas. Desta análise assistida foram também produzidas novas medidas, levando à descoberta de novas relações entre as áreas, baseado em operações de mapeamento e análise da superposição dos planos de informação da Figura 4.11.

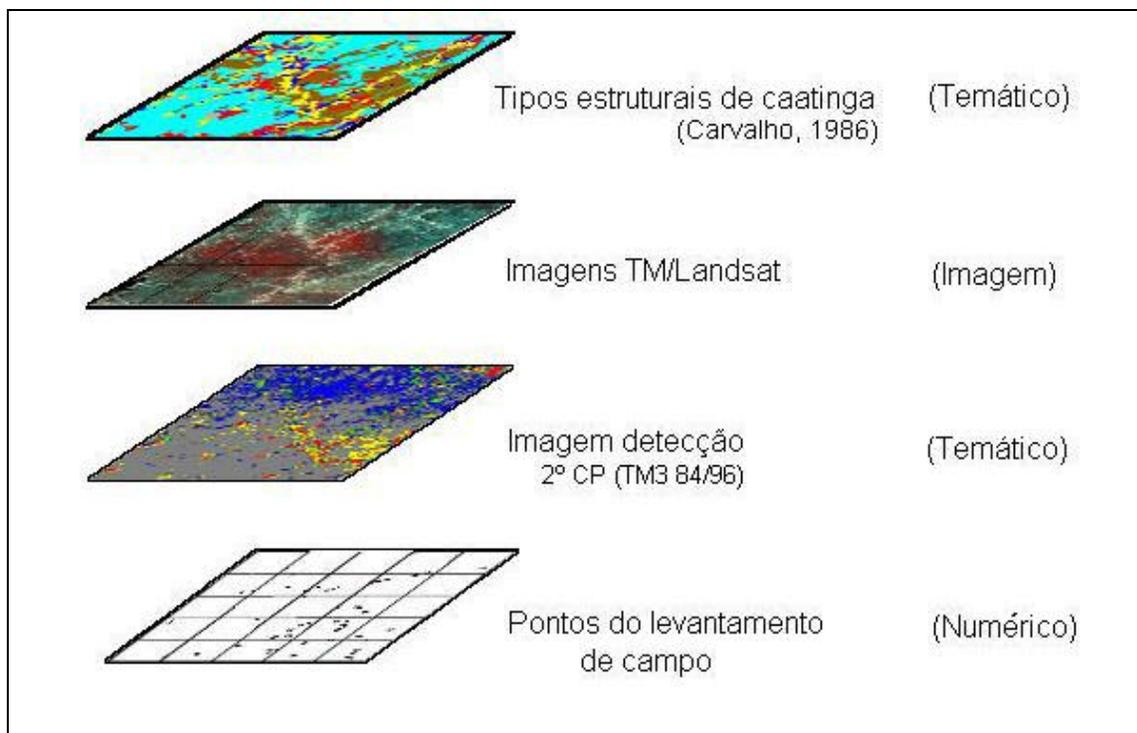


Fig. 4.12 -Planos de informação (PI) sobre os quais foi efetuado o geoprocessamento em que está baseado a fase de caracterização e análise das mudanças

No desenvolvimento do trabalho, importantes resultados foram obtidos do geoprocessamento e numa etapa final o banco de dados ofereceu um ambiente ideal para a análise integrada dos resultados.

#### 4.2.1 Distribuição e cálculo de áreas da Carta dos Tipos Estruturais de Caatinga.

Para a obtenção de maior informação da análise no SIG, foi digitalizada a carta dos tipos estruturais de caatinga (Figura 4.13) e gerado um Plano de informação (PI) para as operações de mapeamento.

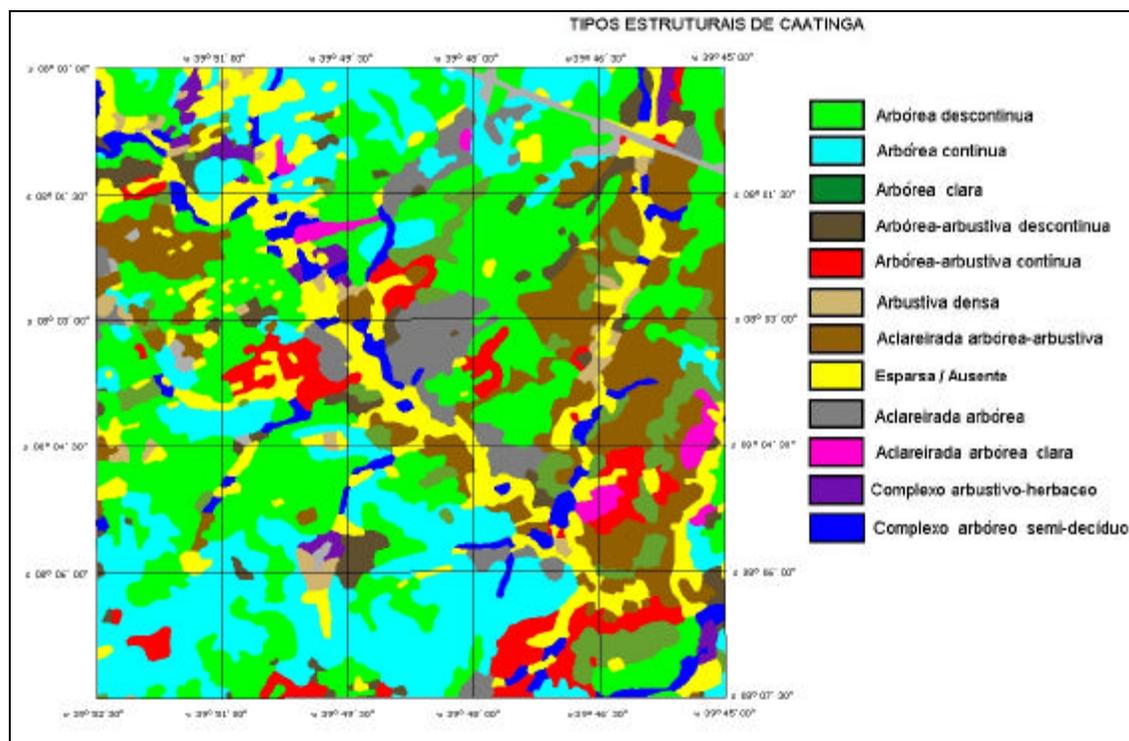


Fig. 4.13 - Carta dos tipos estruturais de caatinga da região de Quixaba para o ano 1983, gerada em SPRING.

FONTE: Digitalizada de Carvalho (1986, p.184)

Este plano de informação foi a base para o geoprocessamento associado à distribuição espacial de fácies e tipos de caatinga. Primeiramente foram calculadas as áreas para cada uma das feições identificadas, cujo percentual da área total (190,38 km<sup>2</sup>) está ilustrado na Figura 4.14.

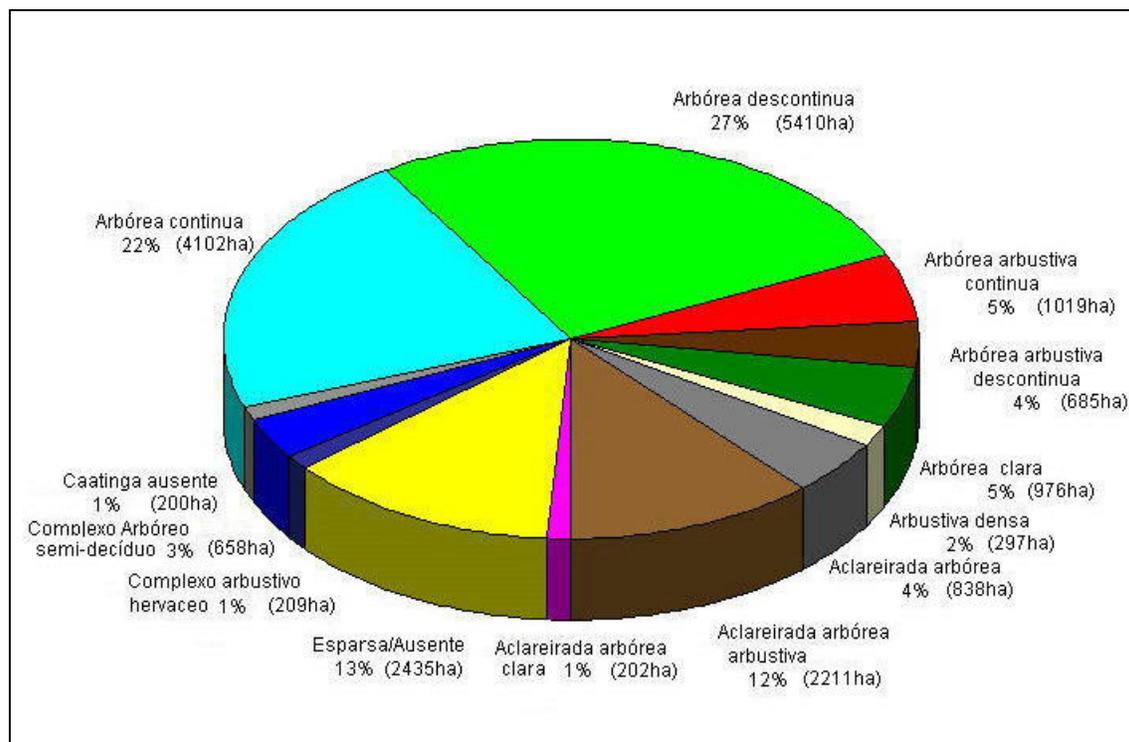


Fig. 4.14 - Superfície percentual dos tipos estruturais de caatinga presentes na área de estudo em 1983.

Da operação de intersecção (“e” lógico) do plano de informação da imagem detecção com o plano Tipos estruturais de caatinga, é quantificada a distribuição da degradação  $2\sigma$  na Figura 4.15. Pode-se observar que esta se apresenta preferencialmente na caatinga arbórea descontinua e arbórea-arbustiva descontinua, o que pode significar um tipo preferencial de uso pela agricultura, em relação às condições de fertilidade e aptidão do solo para as lavouras.

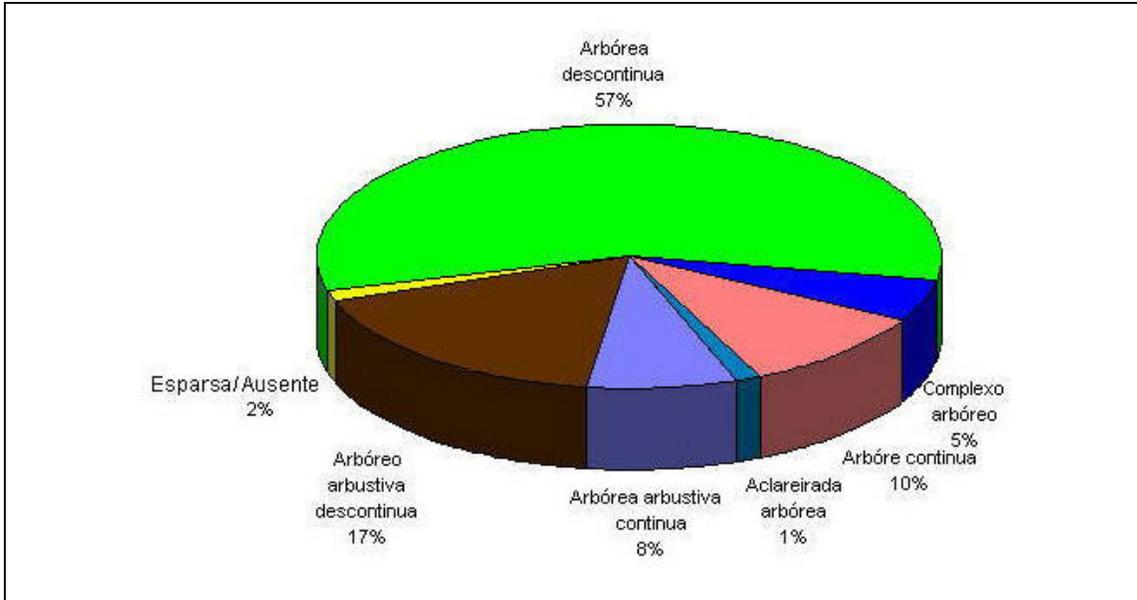


Fig. 4.15 - Superfície percentual das áreas de degradação  $2\sigma$  da Imagem detecção, discriminadas por tipo de Caatinga do ano 1983.

Da superposição dos planos de informação de tipos estruturais de caatinga e a informação de recuperação  $2\sigma$  na imagem detecção, obtêm-se os valores apresentados percentualmente na Figura 4.16.

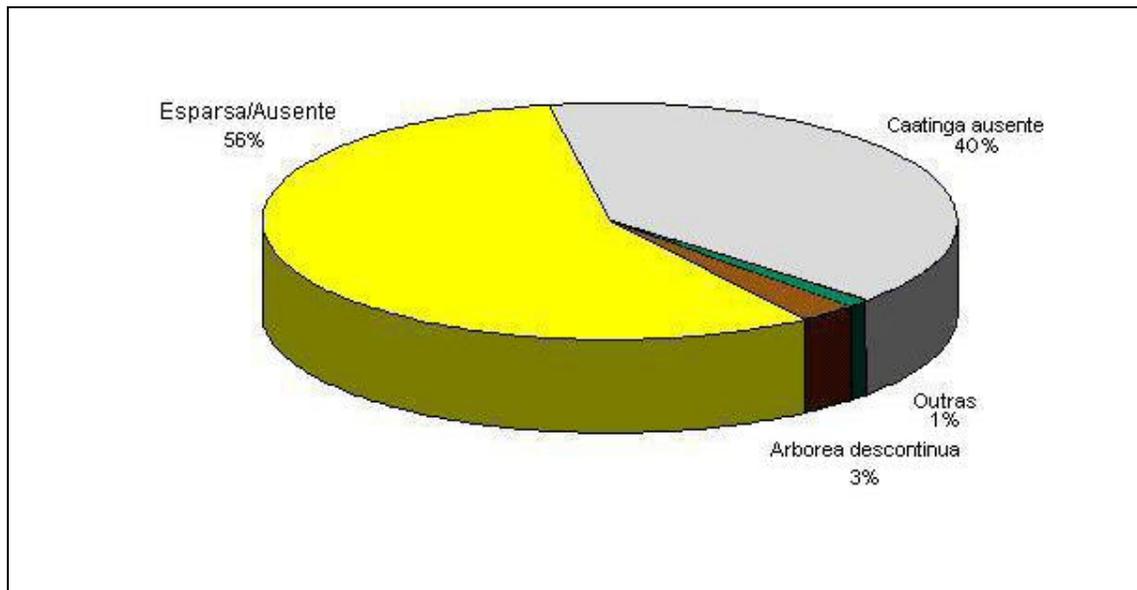


Fig. 4.16 - Superfície percentual das áreas de recuperação  $2\sigma$  da imagem detecção, discriminadas por tipo de caatinga do ano 1983.

Como pode ser esperado, a recuperação  $2\sigma$  ocorre nas áreas anteriormente degradadas pela atividade agrícola, onde 56 % destas áreas se encontram na fácies agrícola. A experiência de campo mostrou que este grau de recuperação produz uma mudança dentro da fácies agrícola, e estas áreas podem ser inclusas nos tipos complexos arbustivos ou arbustivo-herbáceo.

#### 4.2.2 Caracterização das Mudanças

Com o objetivo de caracterizar as mudanças no campo, foram selecionados setenta e três pontos observacionais, dos quais vinte e um foram caracterizados utilizando transectos (Figura 4.17).

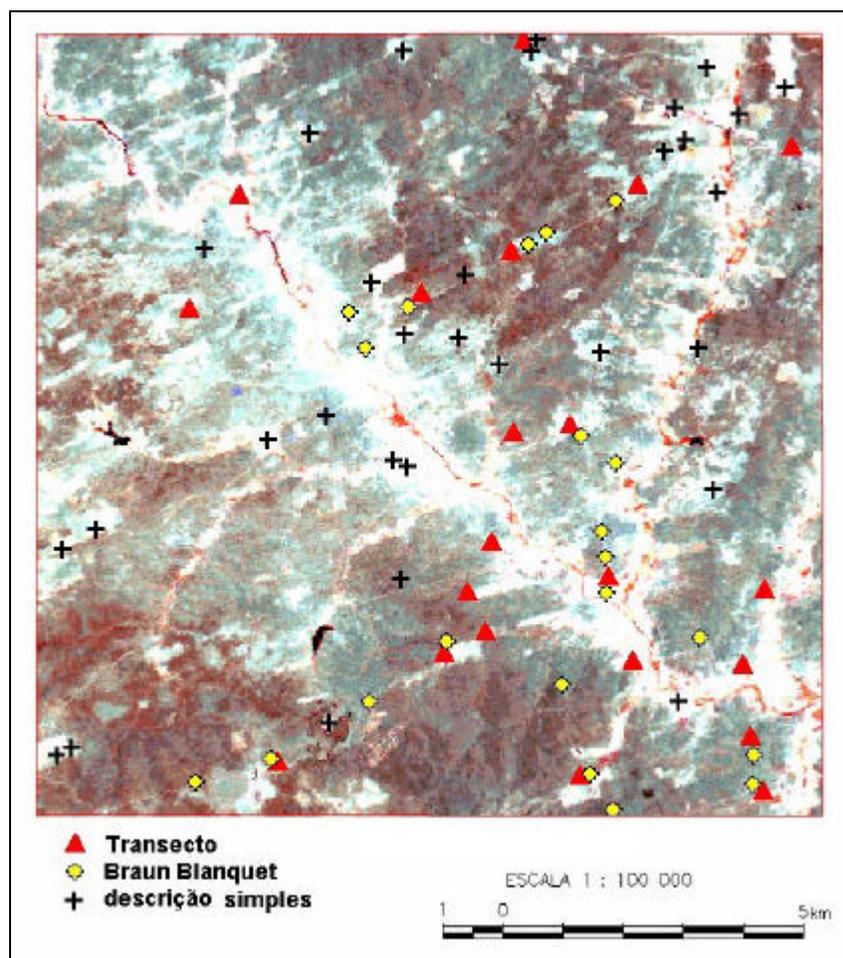


Fig. 4.17 - Distribuição espacial dos pontos no levantamento de campo.

O levantamento de campo, utilizando transectos com descrições complexas e fisionômicas simples, resultou numa caracterização apropriada dos pontos e otimizou o tempo e recursos disponíveis,.

A caatinga amostrada apresentou grande heterogeneidade de paisagens e o método do transecto permitiu caracterizar com ótima relação custo/benefício esta heterogeneidade de tipos estruturais. Os pontos amostrados com transectos são apresentados graficamente com um diagrama sintético que esquematiza a cobertura vegetal ao longo da trena, segundo a Figura 4.18.

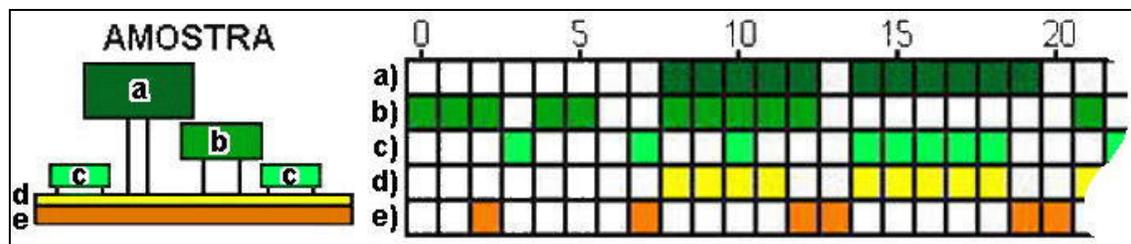
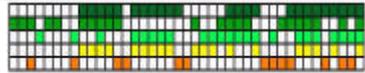
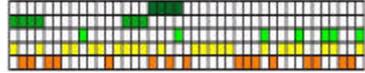
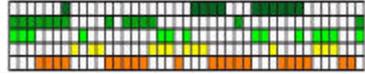
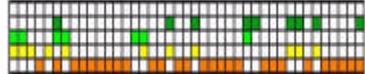
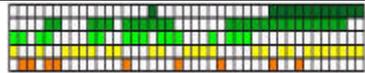
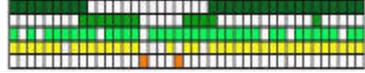
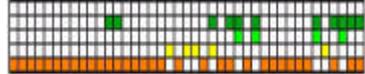
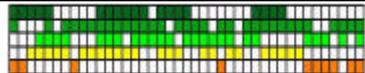


Fig. 4.18 -Representação esquemática de um transecto, onde a) estrato arbóreo; b) arbustivo; c) herbáceo; d) serrapilheira; e) superfície exposta do solo.

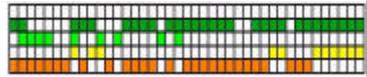
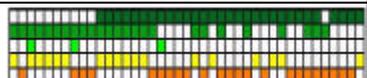
A representação gráfica do transecto foi organizada de maneira esquemática, mantendo a representatividade e sem perder aspectos de importância para a caracterização da caatinga amostrada. Estas representações gráficas (Tabela 4.6) usadas em forma conjunta com as observações das respectivas planilhas, possibilitaram o agrupamento dos pontos observacionais e desta maneira, melhorar a caracterização de outros pontos amostrados de características similares.

**TABELA 4.6 - TRANSECTOS EM RELAÇÃO À IMAGEM DETECÇÃO E ÀS CARTAS DOS TIPOS ESTRUTURAIS DE 1983.**

Amostra	Transecto	Imagem Detecção	Fácie em 1983
1		Recuperação 1-2 $\sigma$	Arbórea
2		Recuperação 1-2 $\sigma$	Arbórea
3		Recuperação 1-2 $\sigma$	Aclareirada
4		Não-mudança	Arbórea
5		Recuperação 1-2 $\sigma$	Arbórea
6		Recuperação 2 $\sigma$ (reconquista)	Aclareirada
7		Não-mudança	Aclareirada
8		Não-mudança	Arbóreo - arbustiva
9		Não-mudança	Arbórea
10		Degradação 1-2 $\sigma$	Arbóreo - arbustiva
11		Não-mudança	Arbóreo - arbustiva
12		Não-mudança	Arbóreo-arbustiva
13		Degradação 1-2 $\sigma$	Aclareirada
14		Degradação 1-2 $\sigma$	Arbórea
15		Não-mudança (homogênea)	Aclareirada
16		Recuperação 1-2 $\sigma$	Agrícola
17		Não-mudança	Arbórea
18		Não-mudança	Arbórea

(continua)

Tabela 4.6 - Conclusão

19		Degradação 1-2 $\sigma$	Arbóreo- arbustiva
20		Não-mudança	Arbórea
21		Não-mudança	Arbórea

A modificação do transecto incorporando a informação das espécies encontradas na planilha, foi adequada, permitindo diferenciar a reconquista vegetal na fície agrícola da recuperação em caatinga arbustiva, como no caso do ponto 6 da Tabela 4.6, onde o marmeleiro de 2,5m de altura é o indivíduo dominante. Como pode ser visto em casos particulares, mais complexos na análise, no ponto 9 foi identificada uma etapa estável da arbustização, tendo em conta que o ponto estava localizado dentro de um antigo roçado abandonado há vinte anos. Na carta de 1983, o ponto pertence a uma fície arbórea, sendo que teria que estar indicado dentro da fície agrícola, isto pode estar em relação à escala das cartas e o pequeno tamanho do roçado amostrado.

Com o uso destes pontos amostrados com transectos e pontos observacionais, foi construída a matriz de confusão da Tabela 4.7.

**TABELA 4.7 – MATRIZ DE CONFUSÃO**

		Imagem detecção				
		De 2 $\sigma$	De 1-2 $\sigma$	Não-mudança	Re 1-2 $\sigma$	Re 2 $\sigma$
<b>Levantamento de campo + SIG</b>	De 2 $\sigma$	9	-	-	-	-
	De 1-2 $\sigma$	1	10	7	-	-
	Não-mudança	-	3	15	5	-
	Re 1-2 $\sigma$	-	-	6	10	1
	Re 2 $\sigma$	-	-	-	-	6

Nesta matriz, observa-se 68% de coincidência entre as classes da imagem detecção e das observações de campo. Os casos de confusão na discriminação, serão vistos a seguir na análise integrada, para avaliar uma proposta de modificação da posição dos limiares da ACP.

A degradação não apresentou dificuldades para ser caracterizada, sendo que está associada à antropização como roçados, vizinhança de açudes, etc.. Contudo, a recuperação necessitou de uma melhor definição de campo, porém em geral, se espera encontrar a classe recuperação e não a classe “não-mudança”, quando se tem dominância de espécies que caracterizam recuperação ou de espécies arbóreas apresentando ainda um porte arbustivo ou mesmo herbáceo, característico de um processo de sucessão ou, até mesmo a presença de tocos ou indícios de roçados em alqueive ou abandonados. A ACP teve 32% de confusão, cujo percentual pode-se estratificar aproximadamente, em classe recuperação  $1-2\sigma$  (33%), classe degradação  $1-2\sigma$  (23%), e o restante (46%) em relação à classe não-mudança.

As classes recuperação e degradação  $2\sigma$ , foram satisfatoriamente discriminadas com um desempenho de 85% (Tabela 4.7), o que permitiu sugerir que tais classes pudessem ser usadas para atualizar as cartas temáticas para o ano 1996. O efeito da degradação  $2\sigma$ , qualquer que seja o tipo de caatinga leva a que o tipo final seja aclareirado. As fácies agrícolas e de não caatinga, apresentam casos de recuperação  $2\sigma$ , passando a formar parte de um complexo arbustivo ou arbustivo-herbáceo. Assim, foi atualizada a Carta das fácies de caatinga do ano 1983 e gerada uma carta das fácies de caatinga para o ano 1996 (Figura 4.19).

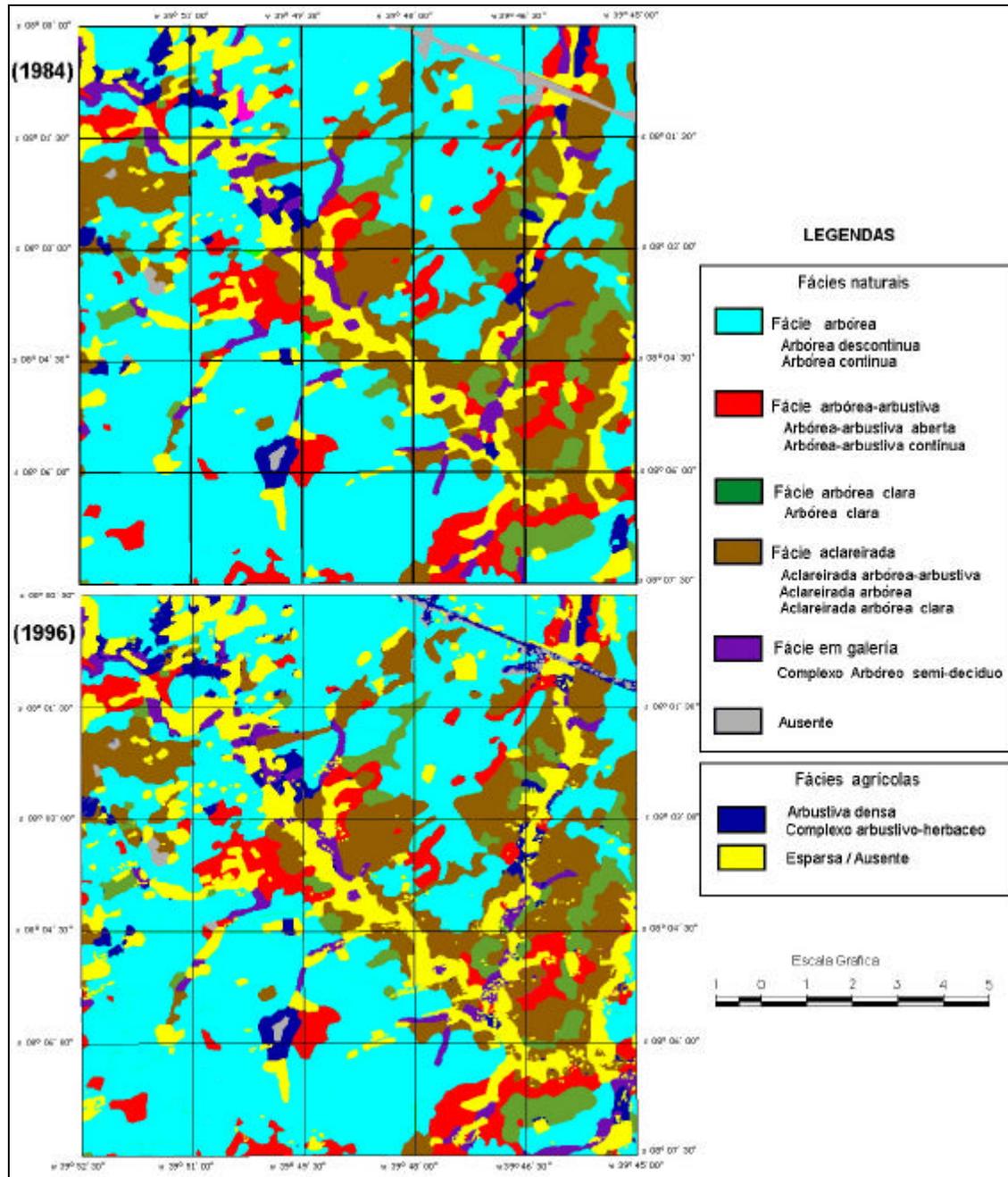


Fig.4.19 - Carta das fácies de caatinga de 1984 e atualizada para 1996.

Considerando de que as mudanças  $1-2\sigma$ , em geral, não levam às mudanças de fácies foi atualizada somente a carta das fácies de caatinga, mas em estudos futuros com o conhecimento dos efeitos das mudanças  $1-2\sigma$  sobre cada um

dos tipos estruturais, a carta dos tipos estruturais pode ser atualizada sem maiores dificuldades.

#### 4.2.3 Análise da ocorrência de chuvas de distribuição espacial irregular

Na imagem TM\Landsat, composição colorida RGB 4,5,7, é observada para a data de 1984, uma descontinuidade espacial em relação a um aumento na resposta espectral da vegetação no infravermelho próximo (banda 4) com forma oval de Este à Oeste (Fig.4.20a).

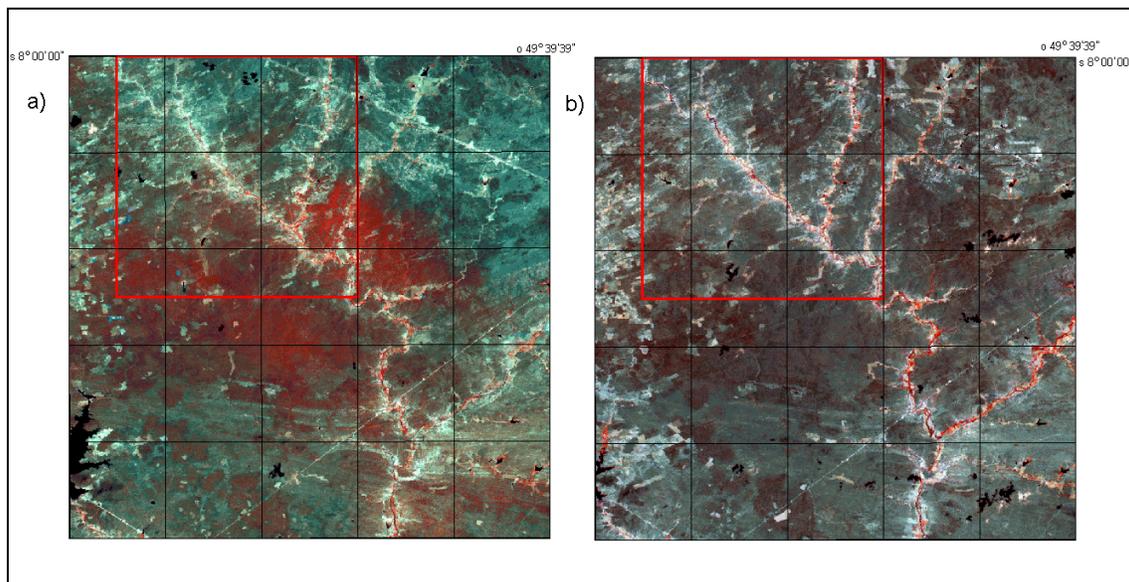


Fig. 4.20 - Imagem composição colorida bandas 4,5,3; o quadro vermelho é a área de estudo. a) data 1984, observa-se a coloração avermelhada e b) data 1996 o vermelho somente nos riachos.

Esta descontinuidade não pode ser explicada pelos mapas dos tipos estruturais de caatinga gerados por Carvalho (1986), o que também levou à consulta da Carta do Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos. Este comportamento observado parece corresponder aos valores de precipitação obtidos com as leituras dos pluviômetros de Icaçara e Poço do

Fumo, os quais possuem leituras maiores, em média de 30mm, que o resto do postos pluviométricos da área para os seis meses anteriores à data do imageamento.

Embora não tenha sido possível a obtenção dos dados do postos pluviométricos para o ano 1996, a mesma composição colorida da imagem para essa data, não apresenta descontinuidades de textura e coloração; apresentando consideráveis coincidências com a carta dos tipos estruturais de caatinga, sendo que a data do imageamento foi em plena época da seca, pode-se assumir que não existiram descontinuidades pluviométricas na área estudada para o ano de 1996 (Figura 4.20b). Para a imagem da primeira data esta combinação colorida mostra o aumento de folhagem e de umidade da vegetação aparecendo com alta resposta na banda 4 e baixa nas bandas 5 e banda 3, aparecendo uma coloração avermelhada na imagem. Para melhorar a interpretação, foi mascarada a imagem deixando a caatinga arbórea com clareiras visível (Figura 4.21).

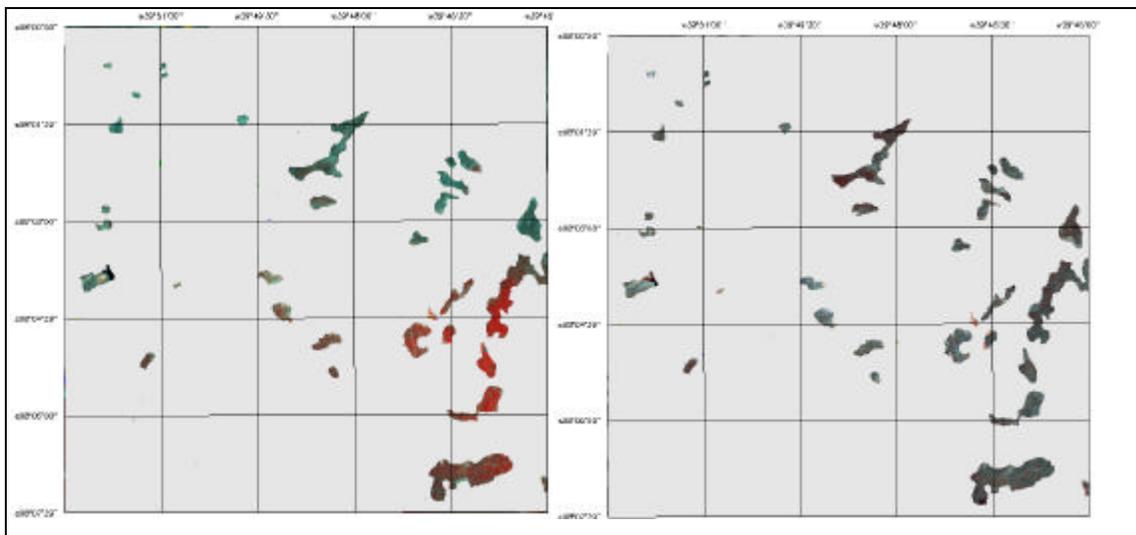


Fig. 4.21 - Imagem RGB 4,5,7 mascarada, somente visível a classe caatinga arbórea com clareiras a) data ano 1984; b) data ano 1996.

Na Figura 4.21, observa-se que a classe caatinga arbórea com clareiras, não apresenta o mesmo aspecto de coloração homogênea na data de 1984 (Figura

4.21a), mas na mesma combinação colorida de data 1996, não há registro de diferenças (Figura 4.21b).

Nesta figura, as classes do sul da cena são observadas com textura e coloração diferente às do norte da cena. Esta coloração avermelhada, de maior resposta da vegetação, no sul da cena, aparenta estar em correspondência com os dados dos postos pluviométricos da Figura 3.2. As diferenças observadas na composição colorida da data de 1984 (Figura 4.21a) são provavelmente por efeito das chuvas de distribuição irregular e rápida resposta de cobertura vegetal às primeiras chuvas, podendo também fazer uma estimativa das dimensões da área afetada. O tipo de caatinga arbórea com clareiras apresenta rápida resposta às primeiras chuvas após a época seca. Esta resposta ocorre pelas boas condições de fertilidade e o importante estrato herbáceo. Sobre estas diferenças de resposta às chuvas, encontram-se comunidades arbóreas que respondem com lentidão, contrastando com a velocidade de resposta das comunidades com abundante estrato herbáceo.

O efeito das chuvas pode ser avaliado tendo em conta que o método de detecção de mudanças adotado, está baseado principalmente em parâmetros estatísticos da imagem total. Estes estão determinados primeiramente pelo cálculo da auto-estrutura da transformação da ACP e em segundo lugar pelo fatiamento da 2ª CP a distâncias estatísticas da média da distribuição. Como já foi dito, as posição dos limiares usados no fatiamento do histograma determinam porcentagens fixas de pixels para cada classe na totalidade da área de estudo.

Seguindo as considerações sobre as chuvas feitas no ponto anterior, foi traçado um limite aproximado na imagem detecção, separando a área afetada pelas chuvas ao sul e ao norte não afetada (Figura 4.22). Sobre esta figura foram feitas operações de mapeamento no SIG obtendo os valores das mudanças para as duas áreas (Figura 4.22b e 4.22c).

A distribuição esperada para cada área é a da Figura 4.22a, mas pode-se observar que para as áreas afetadas (Figura 4.22c), a porcentagem de

recuperação é 12% menor do valor esperado e a porcentagem de não-mudança é aproximadamente 11% maior do que o esperado.

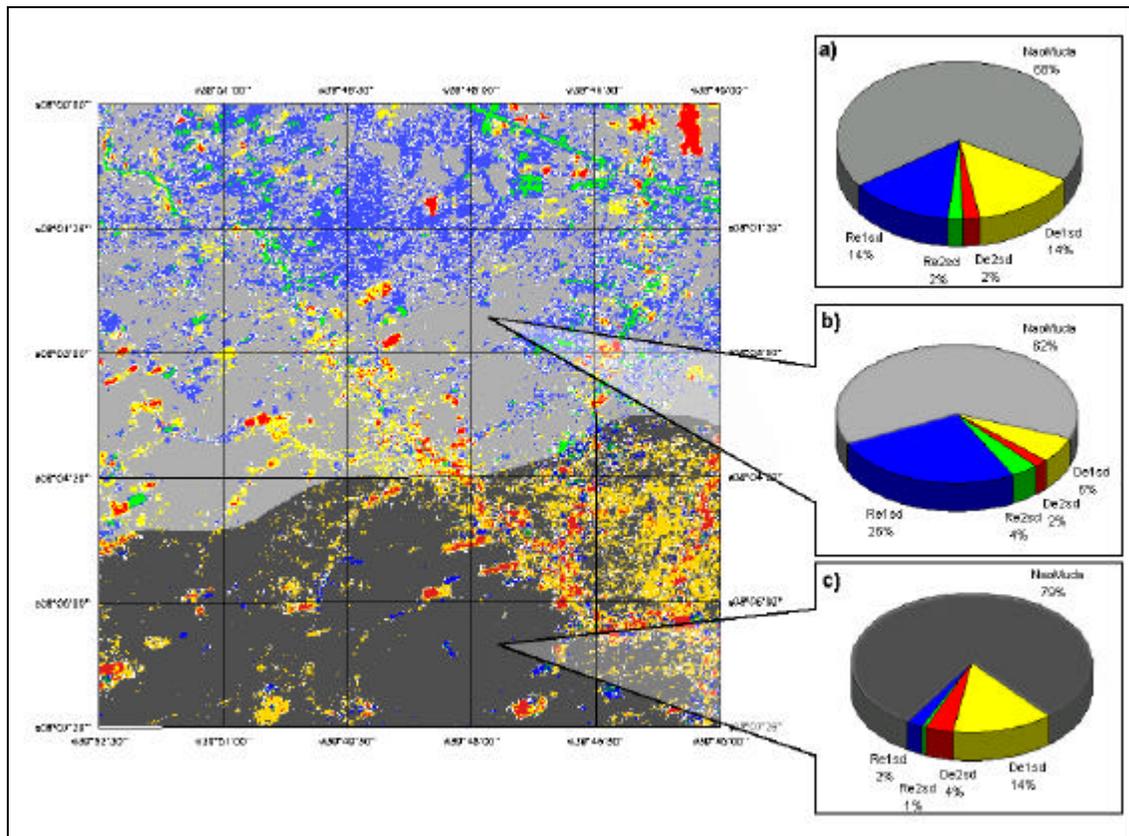


Fig. 4.22 - Imagem detecção com traçado de um limite estimado de área afetada pelas chuvas (cinza escuro) e não afetadas (cinza claro). Na direita da figura, diagramas de distribuição das mudanças a) na área total, b) em área não afetada, c) em área afetada pelas chuvas.

Na Figura 4.22b observa-se a situação contrária, os valores de não-mudança são menores em 6% e os valores de recuperação são muito superiores aos esperados. Após esta análise, pode-se estimar que as chuvas que afetam a imagem da primeira data, produzem na área afetada um aumento das classes “não-mudanças” e “degradação”. Porém, em razão da base estatística da ACP a detecção também é afetada no resto da imagem. Observa-se na Figura 4.22, que o aumento da degradação na área afetada da imagem é acompanhada em

forma recíproca por um aumento da recuperação no resto da imagem detecção. Portanto, pode-se encontrar confusão na discriminação das mudanças em ambos os sentidos na imagem detecção.

Pode-se explicar este comportamento, analisando as nuvens de pixels, na Figura 4.23a, onde o efeito das chuvas na primeira data, produz movimento do pixel afastando-se do eixo principal da nuvem em sentido horizontal da posição A, até a A'. Na Figura 4.23b pode-se observar as mudanças por efeito da degradação propriamente dita. Na segunda data o efeito das chuvas segue a mesma direção que as mudanças reais provenientes da ação humana.

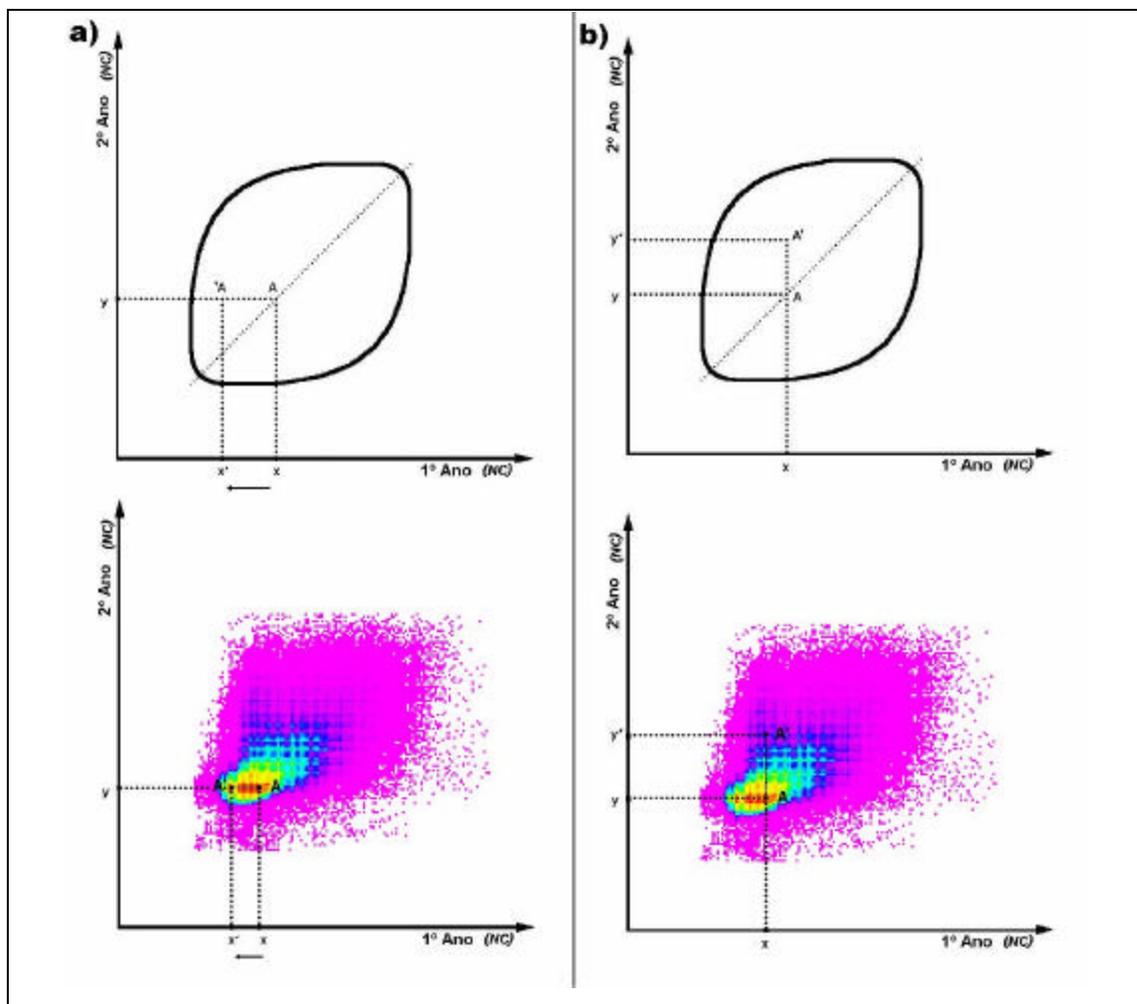


Fig. 4.23 -Mudança estimada das respostas; a) por efeito das chuvas; b) por efeito da degradação propriamente dita.

As chuvas, além de afetar uma parte da imagem como já foi analisado, altera os parâmetros estatísticos da imagem total. O método da ACP, está baseado nestes parâmetros. Portanto, podemos concluir desta análise que, as chuvas afetam a totalidade da detecção, estejam ou não as classes na área afetada por chuvas (Figura 4.22). A posição dos limiares para a detecção dependem da transformação e como já foi visto, as chuvas alteram a auto-estrutura da transformação, modificando os resultados do fatiamento sobre toda a imagem.

#### 4.2.4 Análise da matriz de confusão para avaliar alternativas à ACP

Como já foi visto no ponto anterior, as chuvas alteram a detecção de mudanças para a totalidade da imagem. Portanto, a matriz de confusão (Tabela 4.5), foi analisada objetivando a medição da precisão do método em conjunto com o tipo de erros mais frequentes. Nesta análise, foi encontrada uma exatidão de 68%. Na análise da matriz de confusão foram estudados os erros, os quais foram examinados através do esquema da Figura 4.24.

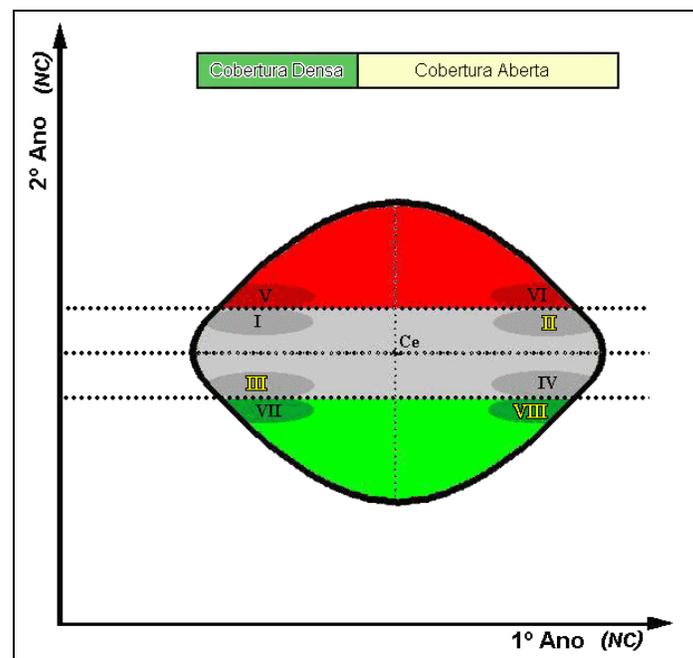


Fig. 4.24 -Esquema dos erros possíveis de detecção, sobre a nuvem de pixels da ACP (em números amarelos os mais freqüentes).

Da análise da Tabela 4.7 pode-se encontrar confusão nos casos de: degradação em caatingas abertas discriminadas como não-mudanças (erro tipo II); não-mudança em coberturas densas discriminada como degradação (erro tipo V); recuperação em coberturas densas discriminadas como não-mudança (erro tipo III); não-mudança em coberturas abertas discriminadas como recuperação (erro tipo VIII). Em menor medida, encontra-se não-mudança em cobertura densa discriminada como recuperação (erro tipo V) e recuperação em coberturas abertas discriminadas como não-mudança (erro tipo IV). Na tabela 4.8 pode-se observar que os casos de confusão mais freqüentes são os de tipo II, III e VIII.

**TABELA 4.8 – CASOS ENCONTRADOS DE CONFUSÃO DA ACP**

<b>Casos</b>	<b>Imagem detecção</b>	<b>Campo + SIG</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Ocorrência (%)</b>
II	Não-mudança	De 1-2 $\sigma$	Aberta	9,5
III	Não-mudança	Re 1-2 $\sigma$	Densa	8,2
IV	Não-mudança	Re 1-2 $\sigma$	Aberta	1,4
V	De 1-2 $\sigma$	Não-mudança	Densa	4,1
VIII	Re 1-2 $\sigma$	Não-mudança	Aberta	6,8

Neste trabalho, é proposta uma modificação no método da ACP. Esta é resultante de uma transformação linear análoga à transformação por componentes principais, tendo o ângulo da rotação de menor grau (Fig.4.25) que o aplicado na ACP.

A rotação com um ângulo menor que o usado pela ACP, é proposta com base nos resultados deste estudo, ou seja devido a uma maior ocorrência dos erros do tipo: II, III, VIII.. Segundo a Tabela 4.8 e Figura 4.25, a rotação espectral

proposta com ângulo menor, pode ser mais satisfatória que a aplicada pela ACP.

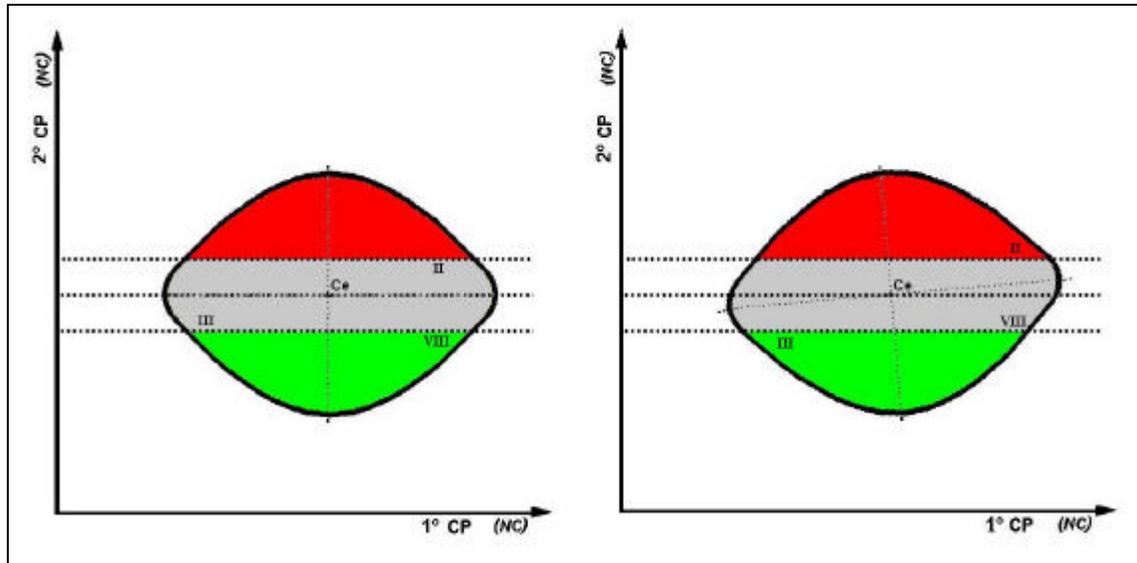


Fig.4.25 -Esquema das rotações propostas e dos erros de maior ocorrência; a) rotação aplicada pela ACP; b) rotação proposta com ângulo menor (Ce=centróide).

Esta rotação menor também pode melhorar os resultados quando se tem um efeito significativo das chuvas. Segundo o estudo da distribuição espacial dos casos de confusão, as chuvas parecem afetar a detecção, na forma de acrescentar os casos de erro do tipo II e III.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso da ACP, demonstrou ser adequado para a detecção de mudanças na vegetação e uso da caatinga, com acurácia de 68%, sem a necessária utilização de dispendiosos processamentos digitais.

É proposto um método de análise digital alternativo, como a rotação espectral, que poderia ser aplicada com ângulo menor.

Em relação ao uso de uma base de dados geocodificados, esta fornece um ambiente ideal para a análise das mudanças na cobertura vegetal. Assim, recomenda-se, para este tipo de estudo, utilizar um Sistema de Informação Geográfica que efetue todas as fases de detecção e caracterização de mudanças em forma integrada dentro do “software”.

A metodologia de coleta de dados adotada em campo foi eficiente, sendo de grande importância a estratificação das observações, aplicando o método amostral adequado para cada caso, o que melhorou o uso do tempo e dos recursos disponíveis.

A área de Quixaba-PE encontra-se, no período estudado, em uma fase moderada de degradação. A Caatinga arbórea descontínua é a preferida para a expansão da ocupação agrícola detectada entre os períodos de 1984-96. Pode-se concluir que na totalidade da área o processo de degradação/recuperação está ocorrendo em forma aproximadamente compensada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akibode, K. Spatial patterns of land use and land degradation. In: Fresco, L. ed. **Land use and cover change (LUCC)**, Amsterdam, 1996. Open science meeting Proceeding. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya, 1996. p.83-84. (LUCC Report Series, N<sup>o</sup>1).
- Aligula, H. M.; Said, M. Y.; Njuguna, E. C.; Leeuw, J. and Skidmore, A. K. Geo-Information for sustainable rangeland management: a case study of the arid and semi-arid lands in Kenya. [CD-ROM] In: International Conference on Geo-Information for Sustainable Land Management, Enschede, 1997. **Proceeding**. The Netherlands: Multimedia, 1997.
- Almeida, S. A.; Silva, O. F.; Melo, E. M.; Moreira, J. C.; Ortiz, J. O.; Amaral, S.; Soares, J. V.; Alves, D. S. Mapeamento de cobertura da terra utilizando técnicas de processamento de imagens na região de Ariquemedes (RO-BR) com ênfase às florestas secundárias. [CD ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Multimedia, 1996. Seção de comunicações técnico-científicas.
- Aronoff, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL. 1989. 294p.
- Banon, G. J. F. **Análise por componentes principais: texto de apoio para as aulas do IV Curso Internacional**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. 14p.

- Barbosa, C. C. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. São José dos Campos. 152p. (INPE-7115-TDI/667) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Baumgardner, M.F.; Kristof, S.J.; Johannsen, C.J.; Zachary, A.L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. **Proceedings of the Indiana Academy of Science**, v.1,n.79, p.413-422, 1970.
- Bernstein, R. Image geometry and rectification. In: Cowel, R.N. ed. **Manual of remote sensing**. 2.ed. Falls Church: ASP, 1983. v.1, cap. 21, p.857-922.
- Bowker, D. E.; Davis, R.E.; Myrick, D.L.; Stacy, K.; Jones, W.T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. Washington D.C.: NASA, 1985.181p.
- Braun Blanquet, J. **Fitosociología**. Bases para el estudio de las comunidades. Madrid, España: Blume, 1979. 820p.
- Burrows, C.J. **Process of vegetation change**. London: Unwin Hyman, 1990. 552p.
- Burrough, P.A; Mc Donnel, R.A. **Principles of geographical information system**. Spatial information systems and geostatistics. London: Oxford University Press, 1998. 344p.

Byrne,G.F.; Crapper,P.F.; Mayo,K.K. Monitoring land cover change by principal componentes analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.10, p.175-185, 1980.

Câmara, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. São José dos Campos. 286p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

Carrilho, J. M. Z. **Detecção de mudanças da cobertura do terreno em uma região do cerrado**. São José dos Campos. 110p. (INPE-5979-TDI/575-96). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

Carvalho, V.C. **Structure et dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat**. São José dos Campos. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tesis (Doctorat) - Université de Toulouse-Le Mirail. INPE, 1986.

Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, n.3, p.459-479, 1988.

Chavez, P.S. ; MacKinnon, D.J. Automatic detection of vegetation changes in Southwes United States using remotely sensed images. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, 1994.

- Choudhury, B.J. Multispectral satellite observations for arid land studies.  
**Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.47, p.101-126, 1992.
- Chuvieco, E. **Fundamentos de teledeccion espacial**. Madrid: Ediciones Real, 1990. 551p.
- Chrisman, N. **Exploring geographic information system**. New York: John Wiley & Sons. 1997. 298p.
- Cracknell, A. P.; Hayes, L. W. **Introduction to remote sensing**. London: Taylor & Francis, 1991. 294p.
- Crosta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1993.
- Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. **Geomorfologia: exercicios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 345p.
- Drumond, M.A.; Lima, P.C.F.; Souza, S.M.; Lima, J.L.S. **Sociabilidade das espécies que ocorrem na caatinga**. Petrolina: CPATSA/EMBRAPA. 1979. 14p.
- Duque, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Mossoró: Centro Gráfico Senado Federal, 1980. 332p.

- Eastman, J.R.; Fulk, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.6, p.991-996, 1993.
- Faria, C. M. B. **Práticas que favorecem a capacidade produtiva do solo na agricultura de sequeiro do semi-árido brasileiro**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, 1992. 30p. (Circular técnica N°28)
- Garcia, Z. E.; Salmuni, G.; Marquez, J. A.; Murua, F. A.; Maldonado, F. D.; Ortiz, H. P.; Pastran, S. G.; Bracco, A. C.; Varela, S. T.; Lund, M. I. **La Desertificación en el Gran Bajo Oriental del Departamento de Valle fértil. San Juan - Argentina**. Estado de situación y propuestas. San Juan: UNSJ-CICITCA, 1996. 324p. (UNSJ-CICITCA/21-1996).
- Gausman, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.11, n.51, p.1725-1734, Nov. 1985.
- Guangwei, C. Land Degradation Approach - Methodology and Practice. [CD-ROM] In: International conference on geo-information for sustainable land management. Enschede, 1997. **Proceeding**. The Netherlands: Multimedia, 1997. ISSS sub-commission F land evaluation.
- Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996. 372p.
- Guerra, A. T.; Guerra, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1997. 652p.

Goeffrey, M. H. Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence whit Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v.46, n.4, p.223-234, 1997.

Gomes, A. R.; Maldonado F D. Análise por componentes principais em imagens multitemporais TM/Landsat como subsídio aos estudos de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido. [CD ROM]. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. São José dos Campos: Multimídia, 1998. Sessão apresentações orais.

Gomes, P. **A lavoura seca**. Mossoró: Fundação Guimarães Duque, 1984. 170p.

Hanan, N. Land use and land cover change in the Sahel and effects on regional climate. In: Fresco, L. ed. **Land use and cover change (LUCC)**, Amsterdam, 1996. Open Science meeting Proceeding. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya, 1996. p.90-93. (LUCC Report Series, N<sup>o</sup>1).

Hoffer, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Swain P. H.; Davis S. M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 1978. p. 227-290.

Huete, A.R.; Jackson, R.D.; Post, D.F. Spectral response of a Plant canopy whit different soil backgrounds. **Remote sensing of environment**, v.17, n.1, p.37-53, 1985.

Hutchinson, C. F. Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement. **Photogramétric Engineering and Remote Sensing**, v.48, n.2, p.123-130. 1982.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Programação em LEGAL: álgebra de mapas** [online].  
<<http://sputnik.dpi.inpe.br/spring/usuario/legal.htm>>. 1998.

Jiaju, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.12, p.1895-1907, 1988.

Kazmierczac, M.L. **Índice de vegetação derivado do NOAA/AVHRR: Análise da sazonalidade da cobertura vegetal em região de clima semi-árido (caatinga)**. Fortaleza: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1993. 106p.

Kimes, D.S.; Kirchner, J.A. Modeling the effects of various radiant transfers in mountainous terrain on sensor response. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 19, n.2, p.100-108, 1981.

Küchler, A. W.; Zonneveld, I. S. Floristic Analysis of vegetation. In: Küchler, A. W.; Zonneveld, I. S. ed. **Vegetation mapping**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. v.2, cap.5, p.51-80.

- Kumar, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review.**  
Lafayette Purdue Research Foundation. (Research Project nº 5543), 1972.  
88p.
- Lee, D. C. L.; Shimabukuro, Y. E.; Hernandez Filho, P. Análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1990. v. 1, p. 48-60.
- Lima, D.A. Exame da situação atual dos ecossistema do nordeste Brasileiro e atividade humana. In: Massangana ed. **Estudos Nordestinos do Meio ambiente.** Recife, 1986. Cap.3. p. 98-141.
- Maguire, D. J. An overview and definition of GIS. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. ed. **Geographical information systems.** New York: John Wiley, 1991. cap. 1. p. 9-20.
- Martins, C.E.; Derez, F.; Lopes de Mato, L. **Capim-elefante, implantação e utilização.** Petrolina: EMBRAPA/CNPGL. Jan 1994. p.1-9. (Circular Nº13)
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed Images.** An introduction. New York: John Wiley & sons. 1987. 352p.
- Molineiro, M. L.; Magalhães, P. S. de S. **Estudo espaço-temporal da pluviometria da região de Ouricuri, PE.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA/SUDENE, 1985. 62 p. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, n.36)

Moore, P. D.; Chapman, S. B. **Methods in plant ecology**. London: Blackwell Scientific. 1990. 589p.

Myers, V. I. Remote sensing application in agricultural. In: Cowel, R.N. ed. **Manual of remote sensing**. 2.ed. Falls Church: ASP, 1983. v.2, cap. 33, p.2111-2228.

Navone, S. M. Assesment of thematic mapper imagery for desertification in the Puna region (Argentina). In: Symposium Resource and environmental monitoring. International society for photogrammetry and remote sensing. **Proceeding**. Budapest, 1998. v.32, part 7, p.383-391.

Negreiros Bessa, M. **A macambira (Bromelia forrageira)**. Recife: EMPARN, 1982. 135p.

NETGIS. Geoprocessamento e Informática. **SPRING** : Sistema de processamento de informações georreferenciadas. São José dos Campos, 1997. v.2.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: principios e aplicações. 2ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308p.

Oliveira, M.C. **Capim buffel - produção e manejo nas regiões secas do nordeste**. Petrolina: EMBRAPA-CEPATSA, 1993. 18p. (Circular Técnica N°27). 1993.

Paton, T. R. **The formation of soil material**. London: George Allen & Unwin, 1978. 145p.

Perumal, P.; Rao, S. V. K.; Bhaskar, N. U. A synergetic approach towards sustainable land resources management using remote sensing and GIS techniques - an indian experience in the semi-arid tropics under the national project. [CD-ROM]. In: International Conference on Geo-information for Sustainable Land Management, Enschede, 1997. **Proceeding**. The Netherlands: Multimidia, 1997. ISSS Sub-Commission F land evaluation.

Pinker, R. T.; Karnieli, A. Characteristic spectral reflectance of a semi-arid environment. **International journal of remote sensing**, v.16, n.7, p.1341-1362, 1995.

Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SC 24/25. Aracaju/Recife**. Rio de Janeiro: MME/SG/Projeto RADAMBRASIL, 1983. 856p.

Richards, J. A. **Remote Sensing digital image analysis: an introduction** 2.ed. Austrália: Springer-Verlag, 1993. 340p.

Ringrose, S.; Vanderpost, C.; Matheson, W. Use of image processing and GIS techniques to determine the extent and possible causes of land management/fenceline induced degradation problems in the Okavango area, northern Botswana. **International Journal and Remote Sensing**, v.18, n.11, p.2337-2364, 1997.

Rizzini, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1976. 328p.

Sá, I. B. **Aplicações da abordagem multiestágio em sensoriamento remoto para mapeamento da vegetação de caatinga: estudo de caso**, Petrolina, PE. São José dos Campos. 78p. (INPE-5280-TDI/450). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.

Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (SECTMA-PE). **Módulo de consulta georeferenciada visual**. Sistema de informação sobre recursos hídricos. [online] <<http://sectma.pe.gov.br/>>. Mar. 1998.

Shepherd, I. D. H. Information integration and GIS. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. ed. **Geographical information systems**. New York: John Wiley, 1991. Cap. 22. p. 337-360.

Sirtoli, A. E. **Detecção da expansão de área de mineração através de técnicas de sensoriamento remoto**. Curitiba. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 1998.

Slater, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. New York: Addison-Wesley, 1980. 575p.

Sobrinho, J. V. **Identificação de processos de desertificação no Polígono das secas do Nordeste Brasileiro**. Recife: SEMA/SUDENE, Departamento de Desenvolvimento Local, Divisão de Saneamento Geral, 1978.

\_\_\_\_\_. O Grave problema ecológico da desertificação. In: Massangana. **Estudos Nordestinos de Meio Ambiente**. Recife, 1986. p.128-146.

Spiegel, M.R. **Theory and problems of statistic**. New York: Mc Graw-Hill, 1961. 359 p.

Stoner, E.R.; Baumgardner, M.F. **Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette: Purdue University, 1980. (LARS Technical Report 111679).

Teotia, H. S.; Santos, J. R.; Ulbricht, K.A. Multitemporal effects in regional planning over a part of semi-arid region of Paraíba, Brazil. [CD-ROM] In: V International symposium GIS - Between visions and applications. Stuttgart, 1998. **Proceeding**. Germany: Multimedia, 1998. ISPRS Commission IV.

Tueller, P. T. Remote sensing science application in arid environment. **Remote sensing and environment**, v.23, n.2, p.143-154, 1987.

Valério Filho, M.; Pinto, S. A. F. **Análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto**: texto de apoio para as aulas do Curso do mestrado em sensoriamento remoto. São José dos Campos: INPE, 1996. 42p.

Walter, H. **Vegetação e zonas climáticas**: tratado de ecologia global. São Paulo: EPU, 1986.

Wamicha, W. N. Soil erosion hazards in Kieni division, Kenya. [CD-ROM] In: International Conference on Geo-information for Sustainable Land Management, Enschede, 1997. **Proceeding**. The Netherlands: Multimedia, 1997. ISSS Sub-Commission F land evaluation.

Watrin, O. S.; Venturieri, A.; Sampaio, S. M. N. Análise multitemporal do uso da terra e suas interrelações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do nordeste paraense. [CD ROM]. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**. São José dos Campos: Multimedia, 1998. Seção apresentações orais.

## APÊNDICE A

### LISTA DE NOMES VULGARES E CIENTÍFICOS DAS ESPECIES ENCONTRADAS NA CAATINGA DE QUIXABA.

<b>Nome vulgar</b>	<b>Nome científico</b>
Angico	<i>Anadenantera macrocarpa</i>
Angico bravo	<i>Piptadenia zenhieri</i>
Angico de bezerro	<i>Piptadenia obliqua</i>
Aroeira	<i>Astronium urundeuva</i>
Barauna	<i>Schinopsis brasiliensis</i>
Barriguda	<i>Chorizia ventriosa</i>
Bom-nome ou Pão de colher	<i>Maytenus rigida</i>
Burra leitera	<i>Euphorbia hyssopifolia</i>
Canafístula	<i>Cassia excelsa</i>
Capin buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>
Caroá	<i>Neoglaziovia variegata</i>
Carqueija	<i>Calliandra depauperata</i>
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i>
Coroa de frade	<i>Melacactus bahiensis</i>
Facheiro	<i>Cereus squamosus</i>
Favela de cachorro ou Favaleira	<i>Cnidocolus phyllacanthus</i>
Favela de galinha	<i>Cnidocolus bahianus</i>
Favela de tingui	<i>Mascagnia cartacea</i> Loefg.

(continua)

Apendice A - Continuação

Imburana de cambão	<i>Bursera leptophloeos</i>
Imburana de cheiro	<i>Amburana cearensis</i> Smith
Imbuzeiro	<i>Spodias tuberosa</i>
Juazeiro	<i>Zizyphus jazeiro</i>
Jurema branca	<i>Pithecellobium viridiflorum</i>
Jurema preta	<i>Mimosa hostilis</i>
Macambira	<i>Bromelia laciniosa</i>
Mandacarú	<i>Cereus jamacaru</i>
Maniçoba brava	<i>Manihot pseudoglaziovii</i>
Marmeleiro	<i>Croton hemiargyreus</i>
Marmeleiro preto	<i>Croton sonderianus</i>
Moleque duro	<i>Cordia leucocephala</i>
Palma forrageira	<i>Opuntia ficus indica inerme</i>
Para-raio ( <i>exótica</i> )	<i>Nicotiana glauca</i>
Pau branco	<i>Fraunhoferia multiflora</i>
Pau ferro	<i>Caesalpinia ferrea</i>
Pau piranha	<i>Pisonia tomentosa</i>
Pau violeta	<i>Dalbergia cearensis</i>
Pereiro	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>
Pinhão bravo	<i>Jatropha pohliana</i>
Quebra-faca	<i>Croton sp.</i>
Quipá	<i>Opuntia inamoema</i>
Quixabeira	<i>Bumelia sartorum</i>

(continua)

Apendice A - Conclusão

Rama de boi	<i>Acacia piauhyensis</i>
Sete-cascas	<i>Tabebuia spongiosa</i>
Umbuzeiro	<i>Spondias tuberosa</i>
Xique-xique	<i>Pilosocereus gounelli, P. setosus</i>

## APÊNDICE B

**DADOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO ANO 1984, DE MAIO ATÉ OUTUBRO.**

<b>Postos Pluviométricos</b>	Maio (mm)	Junho (mm)	Julho (mm)	Agosto (mm)	Setemb (mm)	Outubr (mm)
ICAICARA	17.5	6.1	10.6	0.0	5.6	58.4
PARNAMIRIM	5.5	0.0	9.7	0.0	0.0	15.0
POÇO DO FUMO	28.8	4.0	9.8	0.0	0.0	37.2
ESTACA	0.0	5.3	11.5	2.6	3.3	6.0
JACARÉ	29.4	3.2	11.9	2.8	7.3	0.0
MATIAS	26.0	0.0	5.3	0.0	5.5	3.1
CANTO DAS PEDRAS	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0

## GLOSSÁRIO

**Alqueive:** Terra lavrada que se deixou em pousio. Estado de terra alqueivada.

**Atravessamento:** É o ato das gotas de chuva atravessarem a copa das árvores, durante um evento chuvoso. O atravessamento inclui as gotas de chuva que caem direto no solo, sem bater nas copas das árvores, e também as gotas que são interceptadas pelas folhas e depois gotejam no solo.

**Bruno não cálcico:** Classe de solo que compreende indivíduos pouco profundos e/ou rasos, com horizonte B textural (Bt) de coloração avermelhada viva, atividade de argila e saturação de base muito alta. O horizonte A é, em geral, fracamente desenvolvido e de estrutura maciça. Estas paisagens estão relacionadas quase que exclusivamente com a zona fisiográfica do Sertão Nordestino sob vegetação da Caatinga hiperxerofila árvore - arbustiva. Ocorre em topografias de superfície suave e fortemente ondulados com vales em “V” abertos e vertentes de dezenas de metros. Na superfície é comum a ocorrência de cascalhos e calhaus de quartzo formando um tipo de pavimento desértico.

**Litter:** ver. Serrapilheira

**Mulches:** são práticas de cobrir a terra das culturas com camadas de capins, palha, resíduos ou qualquer material que pode apodrecer, de modo de cobrir todo o solo, para evitar a erosão e perda da umidade do solo segundo Duque (1980) e Gomes (1984).

**Pousio:** Repouso periódico de um ou mais anos, em que se deixam certas terras de semeadura para recuperarem a fertilidade. Terreno cuja a cultura se interrompeu para esse repouso.

**Reconquista vegetal:** Termo para se referir à ocupação sucessional da vegetação natural das áreas modificadas ou desprovidas de cobertura vegetal e abandonadas.

**Saprólito:** Material intemperizado do qual procede a formação do solo.

**Seixos pequenos ou pedregulho:** Fragmentos de rochas transportados pelas águas, de 2 a 10 mm (Guerra, 1997). Em alguns casos podem ser de origem local do saprolito.

**Selagem:** É o processo que dá origem à formação de crostas no solo. Ele ocorre em função da ruptura dos agregados que se depositam nos poros superficiais do topo do solo, fazendo diminuir a porosidade superficial. A selagem faz que haja aumento do índice de escoamento superficial (Guerra, 1997). Este pode ser produto da exposição do solo ao impacto das gotas de chuva.

**Serrapilheira:** É a matéria orgânica decomposta, que ocorre no topo do solos. Pode ser formada a partir de restos de folhas, sementes, frutos, galhos e restos de animais que vivem nas áreas florestais. Essa matéria orgânica decomposta, além de contribuir para maior fertilidade dos solos, também auxilia em diminuir o efeito do impacto das gotas de chuva, que ocorrem pelo atravessamento (Guerra, 1997).

**Tipos estruturais:** Bases do sistema de classificação estrutural, formulado pela repetição ou distribuição no espaço horizontal e vertical dos indivíduos que formam a vegetação, segundo Carvalho (1986). Podem-se distinguir três componentes estruturais, a estrutura horizontal ou padrão, a estrutura vertical ou estratificação, e a estrutura quantitativa ou recobrimento do solo pela biomassa. Esta cobertura pode ser classificada em: Densa com cobertura superior ao 40%, Aberta com cobertura entre 10 e 40%, Esparsa com cobertura entre 2 e 10% e Ausente ou rara cuja cobertura é inferior a 2%.