

USO DA TERRA AO REDOR DA UHE TUCURUÍ - PARÁ UMA ANÁLISE HISTÓRICA

Luiz Dario Gutierrez Mere

Eletronorte - Ed.Supercenter Venancio 3000
SCN Q.06 - Conj.A - Bl.B - Sala 905
70710 Brasília, DF, Brasil

Raul E.G. Braga

Centro Científico do Rio - IBM
Caixa Postal 4624
20001 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

O objetivo principal do trabalho foi o de avaliar o potencial da utilização de imagens Landsat como instrumento de Planejamento Regional, especificamente no estudo historico do uso da terra.

A área geográfica escolhida situa-se ao redor da UHE (Usina Hidrelétrica) de Tucuruí no Estado do Pará e abrange cerca de 2000 quilometros quadrados.

Foram utilizadas imagens Landsat dos anos de 1976, 1979, 1984, 1985 e 1986 por serem historicamente representativas da construção da barragem, das obras de apoio e, conseqüentemente, da ação antrópica na região.

Para tanto, foram utilizadas, além do material bibliográfico de apoio, imagens Landsat contidas em fitas magnéticas CCT (Computer Compatible Tape) processadas no equipamento IBM-7350.

Através da classificação supervisionada das cinco épocas citadas, pode-se determinar as modificações (aumento ou diminuição) das áreas plantadas, desmatadas, de florestas naturais, de emprestimo (de material para as construções) e das áreas urbanas, principalmente na cidade de Tucuruí e nas Vilas Residenciais construídas pela Eletronorte.

Além do estudo comparativo das cinco épocas, foi realizada, ainda, uma classificação mais detalhada da imagem de 1984, por ter sido obtida pelos sensores TM (Thematic Mapper) do Landsat-5 (resolução 30 m x 30 m) diferentemente das imagens de 1976 e 1979 obtida pelos sensores MSS (Multispectral Scanner System - resolução 80 m x 80 m).

Também são citados os procedimentos computacionais utilizados, tais como o programa que modifica a dimensão dos "pixels" e o filtro digital utilizado.

ABSTRACT

The main object of this paper was to estimate the potential of using LANDSAT images as a regional planning instrument specifically in a land use historical study.

The geographic area selected was located near the Tucuruí Hydroelectric Power Plant in the Pará State and covers about 2000 Km².

Were used Landsat images of the years 1976, 1979, 1984, 1985 and 1986 to historically represent the construction of dam, the supporting infrastructure and consequenty the anthropic action in this region.

Towards this end was used supporting bibliographic material, Landsats images as magnetic tape CCT (Computer Compatible Tape) were processed in an IBM 7350.

By supervised classification of the five mentioned dates we wew able to establish the changes (increase ou decrease) of the planted areas, deforested, natural forests, borrow areas (material for the dam construction) and the urban areas mainly in Tucuruí city and in the residencials villages built by Eletronorte.

Besides the comparative study of the five dates, one classification was detailed of the 1984 image of TM (Thematic Mapper) sensors of the Landsat-5 (resolution 30m x 30m) different from the 1976 and 1979 images of sensors MSS (Multispectral Scanner System - resolution 80m x 80m).

The computing routines utilized were described, for example, the program of how to modify the dimension of the pixels and the digital filter.

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 ANTECEDENTES

A Eletronorte já utiliza, regularmente, dados de sensoriamento remoto obtidos por fotografias aéreas, radar e por satélites de observação terrestre, para aplicações em hidrologia, geologia e cartografia, visando a implantação de usinas hidrelétricas em sua área de atuação.

Presentemente a Eletronorte examina o potencial de técnicas de tratamento digital de imagens aplicadas aos problemas específicos relacionados à sua operação.

Considerando-se a velocidade das transformações do meio ambiente natural e artificial no contexto do desenvolvimento urbano e rural, aliada ao fato dessas transformações situarem-se em extensas áreas geográficas, procura-se um meio dinâmico que proporcione o acompanhamento destas transformações ao longo do tempo (análise histórica, atual e futura) a custos reduzidos.

O Convênio Eletronorte-IBM visa validar as técnicas de sensoriamento remoto, particularmente as de processamento digital de imagens Landsat, para a análise do espaço regional inerente ao raio de influência correspondente à implantação de uma barragem de grande porte, procurando satisfazer as necessidades citadas acima.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

- Acompanhamento dos impactos no uso do solo regional (urbano e rural) causados pela implantação de usinas hidrelétricas na Amazônia, na área de atuação da Eletronorte.
- Capacitar técnicos da Eletronorte no uso de técnicas e equipamentos vinculados à análise e

estudos de problemas de planejamento regional, utilizando-se das técnicas de sensoriamento remoto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pretende-se analisar e acompanhar determinados impactos em áreas urbanas e rurais, que ofereçam subsídios para uma análise histórica da dinâmica do espaço regional atingido, devido à implantação da usina hidrelétrica de Tucuruí, utilizando-se imagens obtidas pelos satélites da série Landsat.

A área de interesse situa-se na Bacia do Rio Tocantins, próxima à cidade de Tucuruí, analisada em cinco datas no período de 1976 a 1986.

- Proceder ao acompanhamento e identificação das alterações de uso do solo regional nos seguintes níveis:
 - Análise e registro da assinatura espectral da vegetação natural existente (tipo, extensão, qualidade e densidade) na área do reservatório.
 - Determinar as características do sistema agrícola (tipo de cultivo, extensão, área degradada e modificação espacial da estrutura fundiária) na região.
 - Análise das extensas movimentações de terra, tais como a construção da barragem, das obras de apoio e dos grandes desmatamentos das áreas a serem cobertas pelas águas quando do enchimento do reservatório.
 - Análise das mudanças das estruturas urbanas existentes (crescimento urbano e densidade das estruturas urbanas).
 - Estudo da área de inundação.

1.4 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

Características gerais

A área de interesse corresponde a Bacia do do Rio Tocantins, mais especificamente o Baixo Tocantins, compreendendo uma área de cerca de 2.000 km² em torno da represa de Tucuruí.

Este trabalho de pesquisa se propõe a realizar uma análise histórica da área em questão, utilizando as imagens obtidas pelos satélites da família Landsat, correspondentes aos anos 1976, 1979, 1984, 1985 e 1986, que são datas historicamente representativas da construção da barragem e das obras de apoio.

A região atingida pelo reservatório, abrangia, no início das obras, as seguintes cidades (Relatório Basevi, 1980):

| CIDADE | POPULACAO | DISTANCIA DA OBRA |
|-------------------|-----------|-------------------|
| Tucuruí | 3000 hab. | 8 km |
| Breu Branco | 705 hab. | 25 km |
| Pucuruí | 225 hab. | 45 km |
| V. Repartimento | 2060 hab. | 50 km |
| Remansão da Beira | 200 hab. | 64 km |
| Jacundá | 760 hab. | 72 km |
| Jatobal | 955 hab. | 70 km |

O início efetivo das obras está determinado pelo ano 1976, já que anteriormente à essa data, foram feitos apenas os trabalhos preliminares correspondentes ao Acampamento pioneiro, que precede à toda obra com essas características.

A obra está aproximadamente a 8 km em linha reta da cidade de Tucuruí. Esta cidade, apesar de não ter sido atingida pelo reservatório, foi a que sofreu os maiores impactos decorrentes da implantação da obra.

Constatou-se no "pico da obra" em 1981 (pico de concretagem) um aumento explosivo do contingente populacional na cidade, totalizando cerca de 50.000 pessoas. O potencial provocador de uma obra deste porte é enorme, e no caso de Tucuruí, o aspecto migracional teve uma relação 1:1 em comparação ao P.E.A. (população economicamente ativa) da obra.

Características físicas

A tipologia do clima é Aw e úmido megatérmico (Thorntwaite e Mater) (Prodiat, 1982).

A região estudada está compreendida, aproximadamente, entre os paralelos 3 graus e 30 minutos e 4 graus; e entre os meridianos 49 graus e 30 minutos e 50 graus.

A vegetação natural caracteriza-se por Floresta submontana à margem esquerda e por Floresta de platôs à margem direita (Prodiat, 1982).

A geomorfologia (Radam - Brasil, 1982) apresenta-se com áreas dissecadas em colinas com ravinas e vales encaixados (à margem esquerda) e com superfícies pediplanadas com aplainamentos em retomada de erosão recente (à margem direita).

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí está localizada numa região de rochas pertencentes ao Grupo Tocantins, de idade Pré-Cambriana. À oeste, estas rochas recobrem rochas pertencentes ao escudo cristalino do Complexo Xingu, do Pré-Cambriano Médio. À leste, é coberto por sedimentos terciários da Formação Barreiras.

Uma falha de empurrão de direção norte-sul e de caráter regional, separa dois tipos de seqüências litológicas e de eventos tectônicos diferentes.

Para oeste e mergulhando por baixo da falha, ocorrem rochas de baixo grau de metamorfismo da Formação Tucuruí pertencentes ao Grupo Tocantins.

Para leste e por cima das rochas de baixo grau, ocorrem rochas mais velhas, de mais alto grau metamorfismo, que foram colocadas por cima das rochas mais jovens, pela falha de empurrão.

No local da barragem de Tucuruí, esta falha de empurrão de caráter regional é localizada no leito do rio e controla a direção do rio aproximadamente 12 km.

2.0 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS E IMAGENS UTILIZADAS

2.1 SISTEMAS UTILIZADOS

Software utilizado

Foram utilizados dois sistemas de software no processamento digital das imagens Landsat:

- O primeiro sistema chama-se HLIPS (High Level Image Processing System) e foi desenvolvido no Centro Científico de Paris-IBM (manual IBM, 1984). O presente trabalho baseia-se quase inteiramente neste software.

- O segundo sistema chama-se TRIM2 (TRatamento de IMagens versão 2) foi desenvolvido no Centro Científico de Brasília-IBM (Banon, 1984). Foi empregado para o redimensionamento dos "pixels" das imagens

Landsat, obtidas pelos sensores do tipo MSS (Multispectral Scanner System).

Hardware utilizado

Os sistemas acima foram utilizados no equipamento IBM-7350 IPS (Image Processing System), que possui um vídeo a cores (com resolução de 1024 linhas por 1024 colunas) e 6 "buffers" com 1 megabyte cada, para processamento de imagens.

Tal estação de trabalho acha-se conectada a um processador IBM-4381 com 16 megabytes de memória.

Imagens utilizadas

Procurou-se obter imagens de diferentes anos, correspondentes à mesma época do ano (período da seca), para que a área estudada apresentasse características semelhantes nas diferentes imagens.

Além disso, procurou-se também selecionar as imagens de acordo com as datas representativas das alterações efetuadas.

Foram utilizadas as seguintes imagens Landsat:

1) Imagem de 1976:

Landsat-1
Órbita 240 - Base 62
Data: 19/Julho/1976
Sensores: MSS
Bandas: 4, 5, 6 e 7

2) Imagem de 1979:

Landsat-2
Órbita 240 - Base 62
Data: 25/Junho/1979
Sensores: MSS
Bandas: 4, 5, 6 e 7

3) Imagem de 1984:

Landsat-5
Órbita 224 - Base 62
Data: 16/Junho/1984
Sensores: TM
Bandas: 2, 3, 4 e 7

4) Imagem de 1985:

Landsat-5
Órbita 224 - Base 62
Data: 21/Julho/1985
Sensores: TM
Bandas: 3, 4 e 7

5) Imagem de 1986:

Landsat-5
Órbita 224 - Base 62
Data: /Junho/1986
Sensores: TM
Bandas: 2, 3 e 4

3.0 METODOLOGIA EMPREGADA

3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

As imagens Landsat foram obtidas em fitas magnéticas CCT (Computer Compatible Tape).

1. As imagens de 1976 e 1979 obtidas em fitas de 1600 bpi foram convertidas para fitas de 6250 bpi.
2. As imagens de 1976 e 1979 que estavam codificadas no formato BIP2 (Band Interleaved Pixel-2) foram convertidas para o formato BSQ (Band Sequential) que é o formato apresentado pelas imagens de 1984, 1985 e 1986.
3. Todas as imagens foram transferidas de fitas para discos magnéticos, devido à maior velocidade de acesso aos dados.
4. As imagens obtidas através dos sensores MSS (1976 e 1979) apresentavam os pixels com resolução de 57 m x 79 m, aproximadamente. Foi utilizada uma função do TRIM2 para o redimensionamento destes pixels para a resolução de 60m x 60m, visando compatibilizar esta nova dimensão com a resolução original das imagens TM, que já apresentam os pixels na dimensão de 30m x 30m.

Além disso, como o sistema IBM-7350 possui a capacidade de fazer ampliações, rapidamente, através do hardware, pode-se comparar, ao mesmo tempo, uma imagem MSS com uma imagem TM, pois ambas apresentam, agora, a mesma escala. Tais fatos auxiliaram bastante nas análises das imagens.

5. Foi selecionada, em todas as imagens, a mesma área geográfica, de maneira a trabalharmos com uma sub-imagem com um tamanho adequado. Tal área compreende cerca de 1969,92 quilômetros quadrados em torno da usina hidrelétrica de Tucuruí.

Nas imagens de 1976 e 1979, do tipo MSS (Multispectral Scanner System), essa área compreende 640 linhas por 855 colunas, totalizando 547.200 pixels, tendo o pixel resolução de 60m x 60m.

Nas imagens de 1984, 1985 e 1986, do tipo TM (Thematic Mapper), essa área compreende

1280 linhas por 1710 colunas, totalizando 2.188.800 pixels, tendo o pixel resolução de 30m x 30m.

3.2 CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA:

O processo de classificar uma imagem em diversas classes (dentro de determinado tema) consiste em relacionar cada pixel desta imagem à uma das classes.

As rotinas de classificação utilizadas encontram-se no software HILIPS e baseiam-se no cálculo de Máxima Verossimilhança, no modelo de Bayes.

Tal classificação supervisionada consiste, em resumo, de duas etapas:

- As classes de interesse são caracterizadas através da análise de dados (representando as classes) dos campos de treinamento.

- Os dados são classificados segundo a regra de decisão de Bayes, utilizando-se as características das classes.

Classificação da imagem de 1976

Foram definidos 26 campos de treinamento distribuídos em 7 classes de interesse:

VEGOND Floresta natural, em terreno ondulado.

VEGACD Floresta natural, em terreno dissecado.

DMTPST Pastagens naturais e introduzidas.

TERMOV Desmatamento para construção da barragem e obras de apoio. Inclui a área de construção do aeroporto.

AREURB Área urbana, principalmente, a cidade de Tucuruí e a Vila Pioneira.

AREIA Areias existentes nas margens do Rio Tocantins.

ÁGUA Corpos d'água, principalmente, o Rio Tocantins.

As assinaturas espectrais encontradas para estas classes estão detalhadas na Figura 1 e o cálculo estimado das áreas na Figura 2.

A imagem original, mostrando a demarcação da área classificada, pode ser vista na Fotografia 1 e o mapa final, mostrando o resultado da classificação, pode ser visto na Fotografia 2.

| NOME DA CLASSE | BANDA-4 | | BANDA-5 | | BANDA-6 | | BANDA-7 | |
|----------------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|------|
| | Med | DP | Med | DP | Med | DP | Med | DP |
| VEGOND | 34,37 | 1,11 | 18,25 | 1,03 | 41,47 | 3,36 | 62,63 | 3,62 |
| VEGACD | 34,84 | 1,31 | 18,51 | 1,19 | 43,59 | 5,98 | 65,36 | 7,20 |
| DMTPST | 39,46 | 4,46 | 25,79 | 5,87 | 44,41 | 8,59 | 62,85 | 8,52 |
| TERMOV | 63,56 | 8,16 | 75,99 | 13,75 | 71,12 | 12,90 | 67,56 | 9,08 |
| AREURB | 52,66 | 7,98 | 58,04 | 13,68 | 58,45 | 12,16 | 60,43 | 7,61 |
| AREIA | 87,10 | 4,63 | 111,85 | 7,30 | 100,31 | 7,11 | 89,08 | 5,29 |
| AGUA | 38,40 | 1,40 | 20,82 | 1,19 | 2,08 | 1,55 | 11,12 | 2,04 |

Figure 1. Assinaturas espectrais - Classificação de 1976

| Classe | Numero de pixels | Area (em km2) | % da area total |
|--------|------------------|---------------|-----------------|
| TERMOV | 4.006 | 14,42 | 0,73 |
| DMTPST | 81.971 | 295,10 | 14,98 |
| VEGOND | 243.064 | 875,03 | 44,42 |
| AGUA | 13.198 | 47,51 | 2,41 |
| AREIA | 929 | 3,34 | 0,17 |
| AREURB | 3.379 | 12,17 | 0,62 |
| VEGACD | 200.653 | 722,35 | 36,67 |

Figure 2. Áreas estimadas - 1976

Classificação da imagem de 1979

Foram definidos 37 campos de treinamento distribuídos em 7 classes de interesse:

VEGOND Floresta natural, em terreno ondulado.

VEGACD Floresta natural, em terreno dissecado.

DMTPST Pastagens naturais e introduzidas.

MOVTER Desmatamento para construção da barragem, obras de apoio e material de empréstimo.

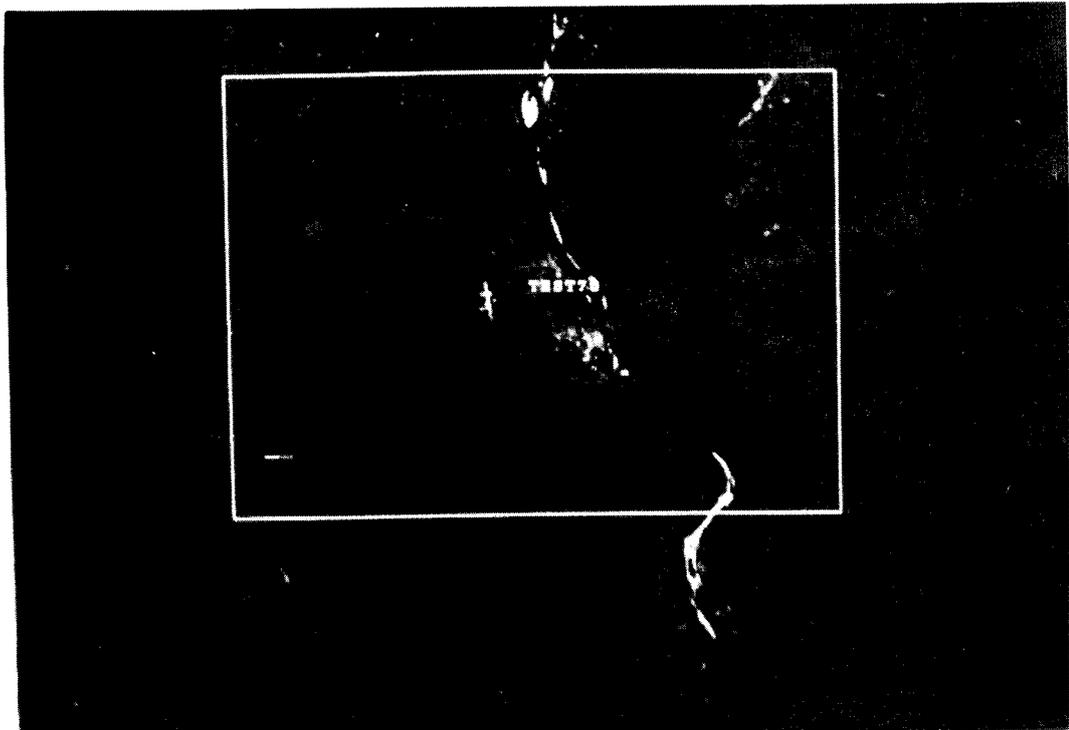
URBAER Área urbana, principalmente, a cidade de Tucuruí, Vila Pioneira, Vila Temporária-1, Vila Permanente e o aeroporto já construído.

AREIA Areias existentes nas margens do Rio Tocantins.

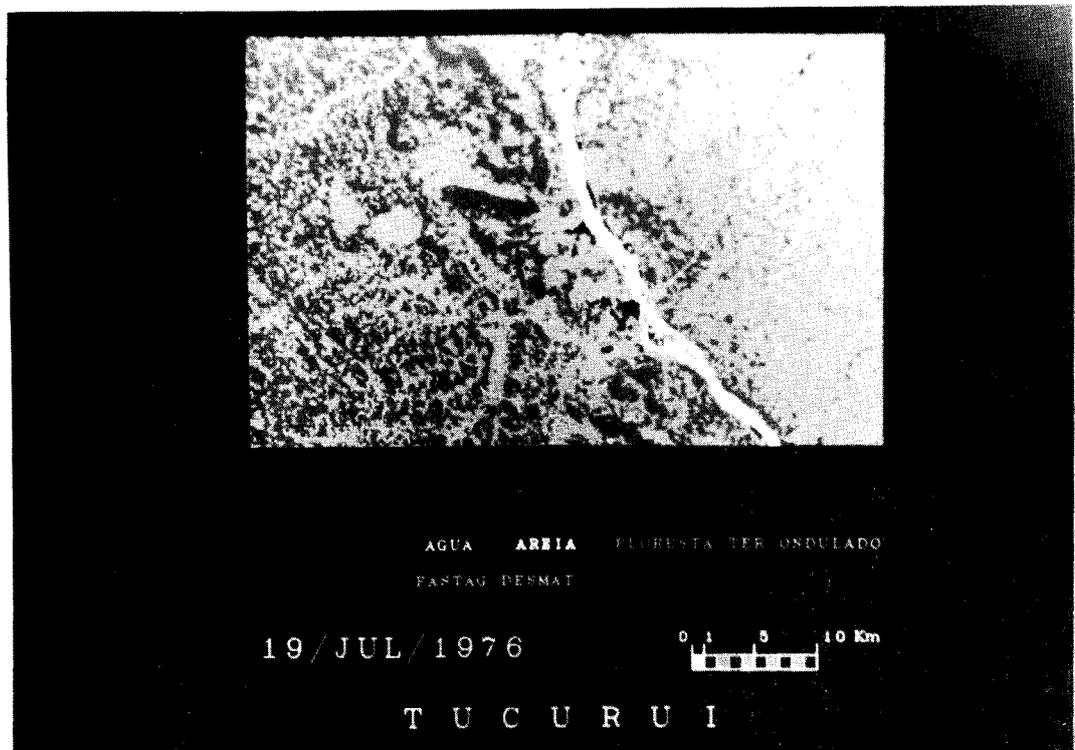
ÁGUA Corpos d'água, principalmente, o Rio Tocantins.

As assinaturas espectrais encontradas para estas classes estão detalhadas na Figura 3 e o cálculo estimado das áreas na Figura 4.

A imagem original de 1979 pode ser vista na Fotografia 3 e o mapa final da classificação na Fotografia 4.



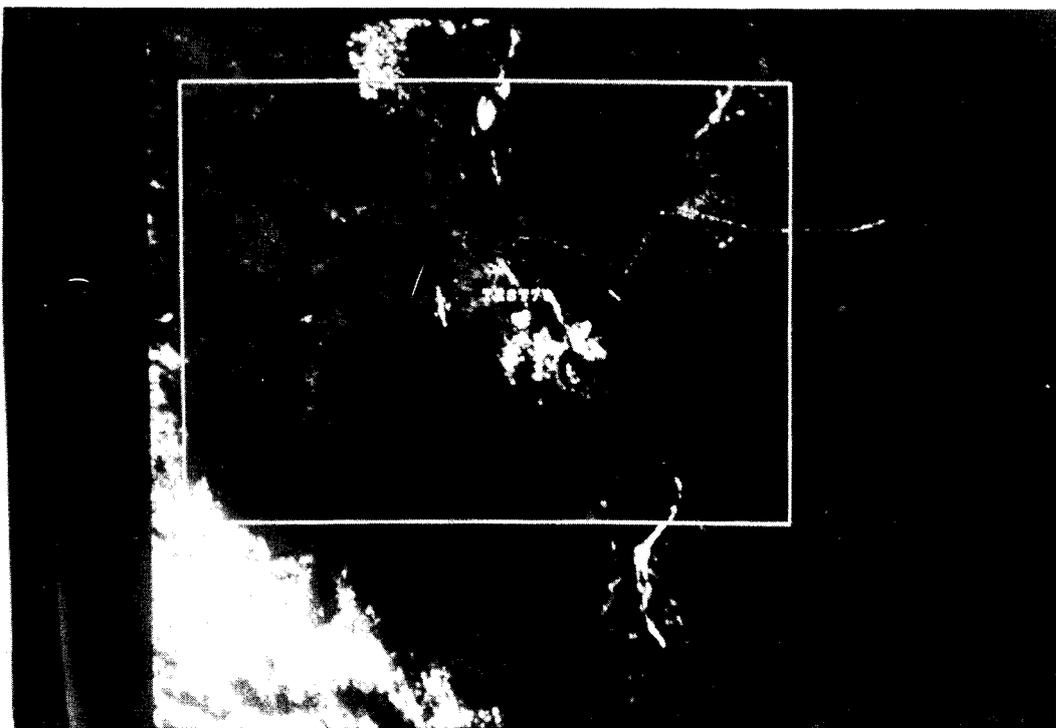
Fotografia 1 - Imagem de Tucuruí - 1976



Fotografia 2 - Classificação Temática de 1976



Fotografia 3 - Imagem de Tucuruí - 1979



Fotografia 4 - Classificação Temática de 1979

| NOME DA CLASSE | BANDA-4 | | BANDA-5 | | BANDA-6 | | BANDA-7 | |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Med | DP | Med | DP | Med | DP | Med | DP |
| VEGOND | 14,95 | 1,17 | 25,79 | 1,15 | 59,02 | 3,39 | 70,84 | 3,62 |
| VEGACD | 15,92 | 1,40 | 18,51 | 1,45 | 63,79 | 6,78 | 75,87 | 8,07 |
| DMTPST | 21,30 | 4,76 | 58,04 | 7,27 | 84,61 | 11,75 | 95,06 | 14,28 |
| MOVTER | 57,82 | 11,25 | 100,56 | 23,15 | 101,08 | 24,52 | 74,23 | 19,21 |
| URBAER | 44,78 | 10,63 | 18,25 | 19,98 | 89,84 | 10,67 | 74,83 | 9,26 |
| AREIA | 80,27 | 7,52 | 20,82 | 12,29 | 131,91 | 12,73 | 103,78 | 10,29 |
| AGUA | 21,19 | 1,39 | 111,85 | 1,50 | 7,72 | 1,67 | 2,22 | 1,55 |

Figure 3. Assinaturas espectrais - Classificação de 1979

| Classe | Numero de pixels | Area (em km ²) | % da area total |
|--------|------------------|----------------------------|-----------------|
| MOVTER | 6.935 | 24,97 | 1,27 |
| URBAER | 12.023 | 43,28 | 2,20 |
| VEGOND | 194.966 | 701,88 | 35,63 |
| AGUA | 15.094 | 54,34 | 2,75 |
| AREIA | 875 | 3,15 | 0,16 |
| VEGACD | 217.632 | 783,47 | 39,77 |
| DMTPST | 99.675 | 358,83 | 18,22 |

Figure 4. Áreas estimadas - 1979

Classificação da imagem de 1984

Foram definidos 82 campos de treinamento distribuídos em 27

Classes de interesse:

CORPOS D'ÁGUA:

- ÁGUA** Águas do rio Tocantins, sem sedimentos.
- ÁGUAS** Águas do rio Tocantins, com sedimentos.
- ÁGUA2** Águas do igarapé Cagancho.
- ÁGUA3** Corpos d'água diversos.
- ÁGUA4** Água estagnada.

ÁREAS URBANAS:

- ARURB1** Área urbana da cidade de Tucuruí, com alta densidade.
- ARURB2** Área urbana da cidade de Tucuruí, com média densidade.
- ARURB3** Área urbana da cidade de Tucuruí, com baixa densidade.
- VIURB1** Área urbana da vila de Tucuruí, com alta densidade, população de baixa renda.

ARURB2 Área urbana da vila de Tucuruí, com média densidade, população de renda média.

VIURB3 Área urbana da vila de Tucuruí, com baixa densidade, população de alta renda.

CANTEIRO DE OBRAS:

CANTE1 Área do canteiro de obras, com intensa movimentação de terra.

CANTE2 Áreas de empréstimo de material para a construção da barragem.

DESMATAMENTOS DA FLORESTA, EM ÁREAS A SEREM COBERTAS PELAS ÁGUAS QUANDO DO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO:

DESARE Desmatamento com as madeiras sendo cobertas com terra arenosa, e depois de ocorrer a lixiviação, apresenta-se na imagem em formas de "canaletas".

DESQMD Desmatamento com a madeira sendo abandonada no local.

DETER1 Desmatamento antigo, com soterramento da derrubada e havendo, posteriormente, rebrota da vegetação.

DETER2 Desmatamento recente, com soterramento da derrubada e sem rebrota.

DAREMP Desmatamento com o objetivo de obter material de empréstimo para a barragem.

ÁREAS DE AREIAS EM TERRA FIRME

SIL11 Areia a céu aberto.

SIL12 Areia coberta parcialmente por vegetação.

PASTAGENS:

VEGET1 Pastagens em recuperação.

VEGET2 Pastagens em degradação.

VEGET3 Pastagens naturais ou introduzidas.

FLORESTAS:

VEGET4 Floresta natural em terreno dissecado.

VEGET5 Floresta natural em terreno ondulado.

OUTRAS CLASSES:

AEROPRO Aeroporto, incluindo pista de aterrisagem e prédio da Administração.

AREIA Areia das margens do rio Tocantins.

As assinaturas espectrais encontradas para estas classes estão detalhadas na Figura 5 e o cálculo das áreas na Figura 6.

A Fotografia 5 mostra a área em 1984 e a Fotografia 6 o mapa final da classificação temática.

| NOME DA CLASSE | BANDA-2 | | BANDA-3 | | BANDA-4 | | BANDA-7 | |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Med | DP | Med | DP | Med | DP | Med | DP |
| AEROPRO | 54,19 | 9,56 | 74,88 | 15,62 | 59,47 | 11,76 | 39,09 | 4,97 |
| AGUA | 30,03 | 0,83 | 28,23 | 1,23 | 10,33 | 0,64 | 0,63 | 0,81 |
| AGUAS | 32,89 | 1,79 | 32,46 | 2,37 | 10,99 | 1,17 | 1,31 | 1,29 |
| AGUA2 | 42,10 | 0,74 | 62,83 | 0,90 | 22,58 | 0,82 | 2,46 | 1,46 |
| AGUA3 | 33,20 | 3,43 | 44,58 | 6,54 | 18,73 | 2,48 | 3,32 | 1,66 |
| AGUA4 | 20,44 | 0,67 | 18,64 | 0,82 | 9,88 | 0,74 | 0,48 | 0,71 |
| AREIA | 83,78 | 5,61 | 130,87 | 9,38 | 98,44 | 6,75 | 129,52 | 7,98 |
| ARURB1 | 41,25 | 4,00 | 58,80 | 8,96 | 56,06 | 6,20 | 52,89 | 7,42 |
| ARURB2 | 42,02 | 4,91 | 57,81 | 10,02 | 62,46 | 5,22 | 45,51 | 6,79 |
| ARURB3 | 37,36 | 3,62 | 46,36 | 8,72 | 70,36 | 9,29 | 37,37 | 7,83 |
| CANTE1 | 48,90 | 7,38 | 66,60 | 13,59 | 45,22 | 10,21 | 29,93 | 12,11 |
| CANTE2 | 53,08 | 6,74 | 86,25 | 12,91 | 63,06 | 8,98 | 42,22 | 8,53 |
| DAREMP | 66,10 | 4,69 | 108,96 | 7,44 | 80,43 | 6,02 | 73,90 | 17,94 |
| DESARE | 71,58 | 8,93 | 99,42 | 13,46 | 67,17 | 9,20 | 26,51 | 9,96 |
| DESQMD | 32,41 | 1,80 | 39,36 | 3,66 | 53,82 | 3,49 | 33,17 | 3,92 |
| DETER1 | 47,65 | 8,16 | 65,74 | 17,18 | 82,93 | 11,23 | 45,56 | 12,29 |
| DETER2 | 63,63 | 8,54 | 101,86 | 15,03 | 81,26 | 11,42 | 62,05 | 10,64 |
| SILI1 | 104,63 | 28,46 | 145,10 | 35,42 | 112,87 | 20,47 | 111,39 | 28,28 |
| SILI2 | 31,78 | 5,43 | 32,37 | 8,90 | 64,86 | 4,30 | 19,08 | 8,41 |
| VEGET1 | 32,00 | 2,53 | 32,35 | 4,33 | 79,27 | 10,50 | 23,69 | 3,45 |
| VEGET2 | 31,92 | 1,71 | 31,85 | 2,89 | 75,31 | 7,07 | 20,44 | 2,65 |
| VEGET3 | 26,38 | 2,18 | 21,82 | 2,12 | 90,76 | 11,93 | 13,46 | 2,58 |
| VEGET4 | 23,27 | 1,37 | 19,55 | 1,46 | 63,06 | 9,07 | 9,39 | 1,70 |
| VEGET5 | 23,26 | 1,05 | 20,06 | 1,20 | 59,12 | 5,60 | 9,69 | 1,39 |
| VIURB1 | 43,98 | 4,19 | 54,68 | 7,67 | 58,56 | 4,82 | 45,05 | 5,22 |
| VIURB2 | 39,85 | 4,70 | 47,15 | 8,31 | 63,49 | 7,10 | 38,36 | 6,18 |
| VIURB3 | 44,98 | 4,86 | 56,81 | 7,43 | 62,51 | 7,17 | 41,62 | 6,75 |

Figure 5. Assinaturas espectrais - Classificação de 1984

Classificação da imagem de 1985

Foram definidos 43 campos de treinamento distribuídos em 10 classes de interesse:

AREIA Areia das margens do rio Tocantins.

AGUA Águas do rio Tocantins (incluindo área do reservatório).

AGUAN Águas do rio, apresentando-se, porém, com cobertura de nuvens.

PAST1 Pastagens naturais ou introduzidas - primeiro tipo.

PAST2 Pastagens naturais ou introduzidas - segundo tipo.

| Classe | Numero de pixels | Area (em km2) | % da area total |
|--------|------------------|---------------|-----------------|
| AGUA | 46.428 | 41,79 | 2,12 |
| AGUAS | 16.249 | 14,62 | 0,74 |
| AGUA2 | 147 | 0,13 | 0,01 |
| AGUA3 | 2.396 | 2,16 | 0,11 |
| AGUA4 | 1.735 | 1,56 | 0,08 |
| AREIA | 2.481 | 2,23 | 0,11 |
| ARURB1 | 3.762 | 3,39 | 0,17 |
| ARURB2 | 9.042 | 8,14 | 0,41 |
| ARURB3 | 22.566 | 20,31 | 1,03 |
| CANTE1 | 22.242 | 20,02 | 1,02 |
| CANTE2 | 11.822 | 10,64 | 0,54 |
| DAREMP | 9.913 | 8,92 | 0,45 |
| DESARE | 6.641 | 5,98 | 0,31 |
| DESQMD | 24.859 | 22,37 | 1,14 |
| DETER1 | 43.315 | 38,98 | 1,98 |
| DETER2 | 27.424 | 24,68 | 1,25 |
| SILI1 | 11.123 | 10,01 | 0,51 |
| SILI2 | 133.750 | 120,38 | 6,11 |
| VEGET1 | 124.052 | 111,65 | 5,67 |
| VEGET2 | 114.089 | 102,68 | 5,21 |
| VEGET3 | 264.306 | 237,88 | 12,08 |
| VEGET4 | 602.303 | 542,07 | 27,52 |
| VEGET5 | 642.289 | 578,06 | 29,34 |
| VIURB1 | 2.905 | 2,61 | 0,13 |
| VIURB2 | 18.396 | 16,56 | 0,84 |
| VIURB3 | 11.628 | 10,47 | 0,53 |

Figure 6. Áreas estimadas - 1984

CANTE1 Área do canteiro de obras, com intensa movimentação de terra.

CANTE2 Áreas de empréstimo de material para a construção da barragem.

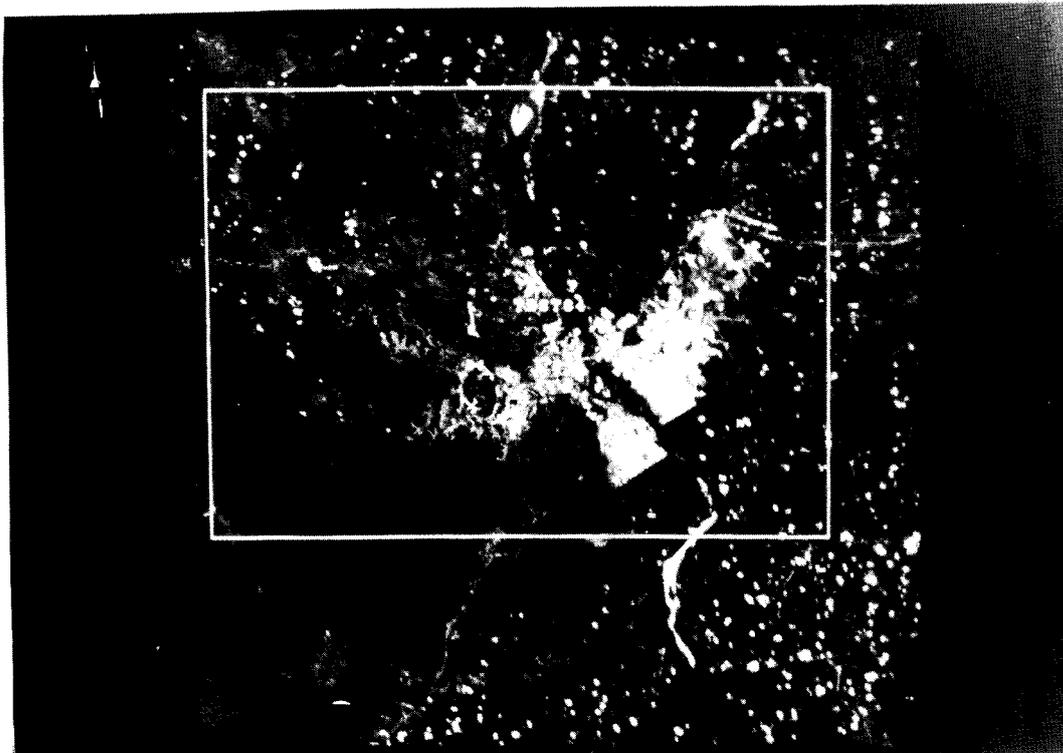
AREURB Áreas urbanas (incluindo a cidade de Tucuruí e as Vilas construídas pela Eletronorte).

VEGACD Floresta natural em terreno dissecado.

VEGOND Floresta natural em terreno ondulado.

As assinaturas espectrais encontradas para estas classes estão detalhadas na Figura 7 e as estimativas das dimensões das áreas estão explicitadas na Figura 8.

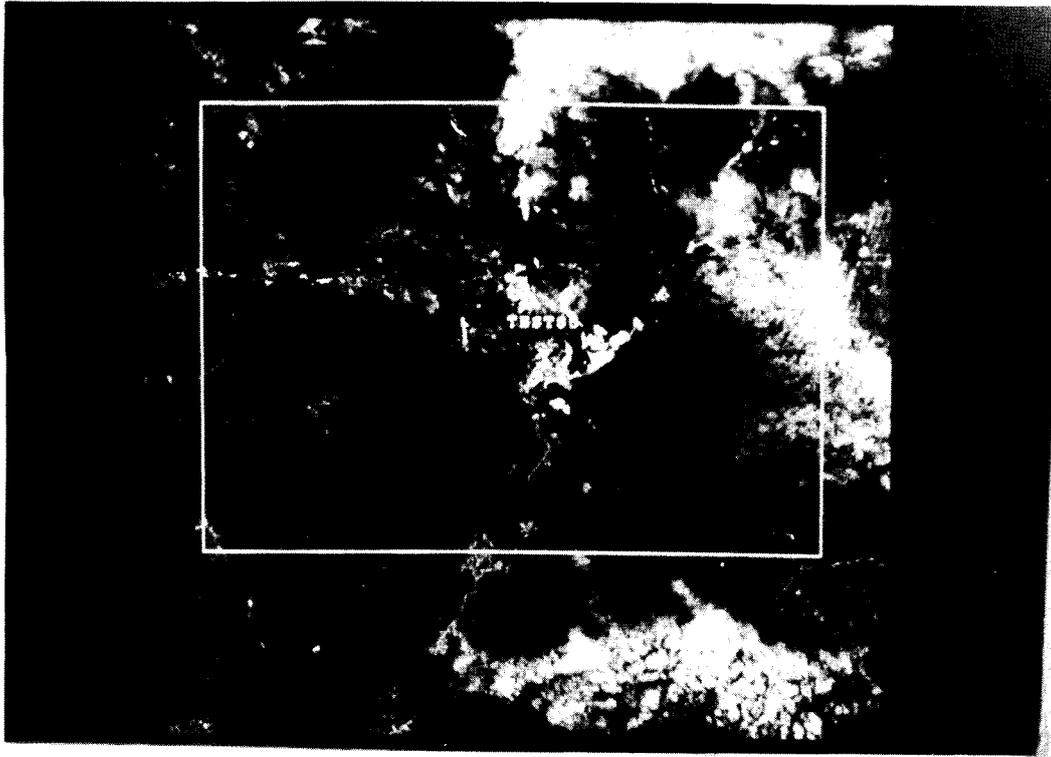
A imagem original está na Fotografia 7 e o resultado da classificação na Fotografia 8.



Fotografia 5 - Imagem de Tucuruí - 1984



Fotografia 6 - Classificação Temática de 1984



Fotografia 7 - Imagem de Tucuruí - 1985



Fotografia 8 - Classificação Temática de 1985

| NOME DA CLASSE | BANDA-3 | | BANDA-4 | | BANDA-7 | |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Med | DP | Med | DP | Med | DP |
| AGUA | 18,14 | 5,42 | 9,45 | 6,00 | 3,74 | 5,55 |
| AGUAN | 41,05 | 12,58 | 37,81 | 13,63 | 24,40 | 10,70 |
| AREIA | 89,76 | 17,59 | 79,89 | 12,78 | 62,23 | 11,74 |
| AREURB | 52,76 | 13,40 | 62,51 | 10,89 | 43,54 | 10,91 |
| CANTE1 | 64,07 | 11,12 | 48,89 | 8,89 | 36,14 | 9,11 |
| CANTE2 | 115,86 | 14,32 | 86,37 | 9,24 | 80,92 | 14,07 |
| PAST1 | 22,48 | 3,21 | 98,07 | 14,48 | 16,20 | 3,29 |
| PAST2 | 35,50 | 5,05 | 65,82 | 6,81 | 28,84 | 5,78 |
| VEGACD | 18,51 | 1,57 | 66,35 | 9,63 | 9,44 | 1,75 |
| VEGOND | 24,25 | 6,63 | 66,88 | 8,63 | 14,72 | 6,82 |

Figure 7. Assinaturas espectrais - Classificação de 1985

| Classe | Numero de pixels | Area (em km2) | % da area total |
|--------|------------------|---------------|-----------------|
| AGUA | 381.078 | 342,97 | 17,41 |
| AGUAN | 82.003 | 73,80 | 3,74 |
| AREIA | 17.104 | 15,39 | 0,78 |
| AREURB | 153.188 | 137,87 | 7,00 |
| CANTE1 | 18.531 | 16,68 | 0,85 |
| CANTE2 | 4.190 | 3,77 | 0,19 |
| PAST1 | 199.642 | 179,68 | 9,12 |
| PAST2 | 233.048 | 209,74 | 10,65 |
| VEGACD | 749.940 | 674,95 | 34,26 |
| VEGOND | 350.076 | 315,07 | 16,00 |

Figure 8. Áreas estimadas - 1985

Classificação da imagem de 1986

Foram definidos 50 campos de treinamento distribuídos em 11 classes de interesse:

| | |
|---------------|--|
| AGUA | Águas do rio Tocantins (incluindo área do reservatório) |
| AREIA | Areia das margens do rio Tocantins. |
| ARUR1 | Áreas urbanas - tipo 1 |
| ARUR2 | Áreas urbanas - tipo 2 |
| ARUR3 | Áreas urbanas - tipo 3 |
| CANTE1 | Área do canteiro de obras, com intensa movimentação de terra. |
| CANTE2 | Áreas de empréstimo de material para a construção da barragem. |
| PAST1 | Pastagens naturais ou introduzidas - primeiro tipo. |

PAST2 Pastagens naturais ou introduzidas - segundo tipo.

VEGDIS Floresta natural em terreno dissecado.

VEGOND Floresta natural em terreno ondulado.

As assinaturas espectrais encontradas para estas classes estão detalhadas na Figura 9 e as estimativas das dimensões das áreas estão explicitadas na Figura 10.

| NOME DA CLASSE | BANDA-2 | | BANDA-3 | | BANDA-4 | |
|----------------|---------|------|---------|-------|---------|-------|
| | Med | DP | Med | DP | Med | DP |
| AGUA | 20,51 | 4,38 | 16,15 | 5,91 | 7,90 | 5,75 |
| AREIA | 77,46 | 2,85 | 121,48 | 4,76 | 94,71 | 3,40 |
| ARUR1 | 37,61 | 5,29 | 50,49 | 10,98 | 58,27 | 6,95 |
| ARUR2 | 36,71 | 4,95 | 42,94 | 9,66 | 56,84 | 6,82 |
| ARUR3 | 52,16 | 9,80 | 70,89 | 17,29 | 55,34 | 13,88 |
| CANTE1 | 41,36 | 6,45 | 51,42 | 10,78 | 38,19 | 8,49 |
| CANTE2 | 66,96 | 5,13 | 108,25 | 8,82 | 80,17 | 6,07 |
| PAST1 | 25,78 | 1,57 | 20,67 | 1,25 | 98,74 | 11,39 |
| PAST2 | 31,01 | 2,31 | 31,73 | 3,95 | 68,56 | 7,76 |
| VEGDIS | 21,83 | 1,52 | 17,23 | 1,84 | 63,16 | 9,15 |
| VEGOND | 22,81 | 1,93 | 18,91 | 2,50 | 59,40 | 6,64 |

Figure 9. Assinaturas espectrais - Classificação de 1986

| Classe | Numero de pixels | Area (em km2) | % da area total |
|--------|------------------|---------------|-----------------|
| AGUA | 466.711 | 420,04 | 21,71 |
| AREIA | 2.331 | 2,10 | 0,12 |
| ARUR1 | 19.591 | 17,63 | 0,91 |
| ARUR2 | 28.256 | 25,43 | 1,31 |
| ARUR3 | 5.582 | 5,02 | 0,26 |
| CANTE1 | 25.545 | 22,99 | 1,19 |
| CANTE2 | 3.560 | 3,77 | 0,19 |
| PAST1 | 194.584 | 175,13 | 9,05 |
| PAST2 | 228.223 | 205,40 | 10,62 |
| VEGDIS | 705.438 | 634,89 | 32,82 |
| VEGOND | 468.903 | 422,03 | 21,82 |

Figure 10. Áreas estimadas - 1986

3.3 COMPARAÇÕES DAS CLASSIFICAÇÕES:

As classes de maior interesse estão detalhadas na Figura 11, discriminadas por área e por data das imagens utilizadas. A área total corresponde a 1969,92 km².

| | 1976 | 1979 | 1984 | 1985 | 1986 |
|--------------------|----------|----------|----------|--------|--------|
| AREA URBANA | 12,17 | 43,28 | 73,12 | 137,87 | 153,77 |
| AGUA | 50,83 | 57,49 | 62,49 | 432,16 | 420,04 |
| PASTAGEM | 295,10 | 358,83 | 462,22 | 389,42 | 380,53 |
| FLORESTA | 1.597,38 | 1.485,35 | 1.240,51 | 990,02 | 951,21 |
| MOVIMENTO DE TERRA | 14,47 | 24,97 | 131,58 | 20,45 | 26,76 |

Figure 11. Quadro Comparativo - por km2

Além da comparação acima, por km2, essas classes estão também relacionadas por porcentagem da área total na Figura 12.

| | 1976 | 1979 | 1984 | 1985 | 1986 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AREA URBANA | 0,62 | 2,20 | 3,74 | 7,00 | 7,94 |
| AGUA | 2,58 | 2,91 | 3,17 | 21,94 | 21,71 |
| PASTAGEM | 14,98 | 18,22 | 23,47 | 19,77 | 19,67 |
| FLORESTA | 81,09 | 75,40 | 62,97 | 50,25 | 49,18 |
| MOVIMENTO DE TERRA | 0,73 | 1,27 | 6,68 | 1,04 | 1,38 |

Figure 12. Quadro Comparativo - por porcentagem

3.4 FILTRO UTILIZADO:

Para cada imagem, após sua classificação, foi construída uma nova imagem com um filtro de suavizamento.

Dos filtros de suavizamento estudados, foi adotado o "median filter" (embutido no sistema HLIPS) por apresentar resultados mais adequados às classificações efetuadas.

O "median filter" consiste em considerar para cada pixel da imagem, uma janela de 3*3 pixels à sua vizinhança. Os valores desses nove pixels são classificados em ordem crescente e o valor do pixel "médio" (o quinto pixel na lista classificada) atualiza o valor do pixel considerado.

Exemplo:

```

30 32 31
30 32 30
40 29 30

```

A lista classificada é: 29 30 30 30 30 31 32 32 40.

O pixel considerado (valor = 32) terá agora o quinto valor da lista (valor = 30).

4.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram processadas as imagens obtidas pelos satélites da família Landsat em cinco épocas distintas (1976, 1979, 1984, 1985 e 1986) o que permitiu acompanhar as transformações ocorridas na área estudada.

Estas cinco datas são marcos representativos das grandes alterações ocorridas. Fica demonstrado que, para uma análise histórica como a do presente trabalho, foi fundamental a obtenção de imagens de anos passados, como as imagens Landsat obtidas do Inpe e as imagens fotográficas obtidas do arquivo da Eletronorte.

A área analisada (cerca de 1969,92 km2 em torno da barragem de Tucuruí) foi escolhida por ter sido a área que sofreu os maiores impactos (em todos os aspectos) devido à construção da barragem e serviu como área-teste para a avaliação da presente metodologia.

As imagens Landsat, em especial as obtidas pelos sensores TM (Thematic Mapper), devido à sua resolução espacial (30m x 30m) mostraram-se adequadas ao atingimento dos objetivos propostos. Deve-se ressaltar ainda que, além do material de apoio, (mapas, fotografias, relatórios etc&rbr. foram também de valia as informações obtidas de vários profissionais da Eletronorte.

Nas classificações temáticas do ano de 1984 foram utilizadas as bandas 2, 3, 4 e 7; do ano de 1985 foram utilizadas as bandas 3, 4 e 7 e; do ano de 1986, as bandas 2, 3 e 4. Um novo estudo poderia ser realizado com a utilização de todas as bandas do TM (em número de sete) com o objetivo de melhorar ainda mais as classificações, ou, pelo menos, avaliar se uma análise com um maior número de bandas acarretaria ou não, um ganho substancial nos resultados.

Um outro estudo poderia ainda ser concretizado para a análise mais detalhada da expansão e densidade urbana, possibilidade esta antevista que foi pelo presente trabalho, pois foi possível estimar as áreas urbanas com diferentes

densidades populacionais numa mesma época e em diferentes épocas.

Em resumo, as imagens Landsat e o processamento computacional desses dados demonstraram ser de grande importância em estudos semelhantes aos do presente trabalho, (sempre apoiados por outras fontes de informações) pois foi possível coligir dados e obter resultados de uma grande extensão geográfica e em épocas diferentes, a custo reduzido.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANON, G. J. F. Implementação de um sistema de tratamento de imagens usando uma definição ampla para imagem. Anais do III Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro 28-30 de Novembro de 1984.
- BASEVI Relatório Estudos das Condições Sócio-Econômicas das Áreas de Influência do Reservatório da UHE de Tucuruí, 1980.

CADMAN, J.D. et alli, The Complex Metamorphic Rock Foundation Condition of the Tucuruí Hydroelectrical Project, Anais do XIV Congresso de Grandes Barragens, Rio de Janeiro, 1982.

ELETRONORTE Arquivo fotográfico contendo diversas fotografias de toda a região estudada, durante todos os períodos da construção da barragem.

ESCUDERO, L. P. Reconocimiento de Patronos, Ed. Paraninfo, Madrid 1977.

FRANCHI, P.; GONZALEZ, J.; MANTEY, P.; PAOLI, C.; PAROLO, A.; SIMMONS, J. Design Issues and Architecture of HACHENDA, an Experimental Image Processing System. IBM Journal of Research and Development, 27(2): 116-126, 1983.

IBM High Level Image Processing System. Manual IBM, SB11-5864, 4-0. 1984.

RADAM-BRASIL. Mapa de Geoformologia, compilado por Prodiat, escala 1:1.000.000, 1982.