

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE BATIMETRIA E A DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE-TUCURUÍ

Fernando Pereira Fernandes

Aluno da Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC/CNPQ

Orientadora: Dra. Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo

Divisão de Sensoriamento Remoto

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Por possuir características naturais que favorecem a produção de energia através de recursos hídricos, o Brasil tem grande parte de sua produção de energia baseada na hidreletricidade. Por esta razão são necessários o monitoramento e o planejamento adequados das regiões fornecedoras de hidreletricidade.

Dentre as áreas úmidas artificiais, são os reservatórios de barragens destinadas à produção de energia elétrica os que ganham maior expressão, seja pelo peso que exercem no setor energético, seja pela dimensão espacial que ocupam ou ainda pelos impactos sócio-ambientais que ocasionam.

O represamento de rios para a geração de energia elétrica envolve uma série de modificações ambientais. Suas conseqüências são o deslocamento de populações da área a ser alagada, modificações no sistema de navegação e disponibilidade de água e alimentos para as populações ribeirinhas (Leite e Bittencourt, 1991), alterações climáticas e ecológicas que, de modo geral afetam profundamente a flora e a fauna, tanto aquáticas como terrestres.

No reservatório da UHE de Tucuruí houve um grande desenvolvimento de macrófitas aquáticas, que são consideradas uma das plantas mais produtivas do mundo, sendo de fundamental importância não só para a região litorânea, mas para todo o ecossistema lacustre. Estes vegetais participam da ciclagem de nutrientes, produzem biomassa e servem como habitat para a reprodução e crescimento de inúmeros organismos aquáticos (Junk, 1979; Junk e Howard-Williams, 1984).

Entretanto, apesar da reconhecida importância das comunidades de macrófitas aquáticas para o ecossistema lacustre, sabe-se que a proliferação excessiva destes vegetais pode resultar em inúmeros problemas para os múltiplos usos de um reservatório. Entre estes, podem ser citados a obstrução do fluxo d' água, o aumento da evaporação, o impedimento à navegação, restrição a alguns tipos de pesca, a alteração da qualidade da água devido ao excesso de biomassa e conseqüente redução de oxigênio da água, a proliferação de vetores de doença, além de muitos outros problemas (Noernberg, 1995).

Tendo em vista todos estes fatos, é importante um estudo que demonstre a relação entre a batimetria e a distribuição das macrófitas aquáticas no reservatório de Tucuruí, pois através dos dados levantados, pode-se acompanhar as áreas de maior e

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**RELATÓRIO REFERENTE À BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CNPQ
“O ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE BATIMETRIA
E A DISTRIBUIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS
NO RESERVATÓRIO DA UHE-TUCURUÍ”**

Fernando Pereira Fernandes

**INPE
São José dos Campos**

RESUMO

Este relatório possui como objetivo mostrar o desenvolvimento do processo de estudo do projeto de estudo da bolsa PIBIC que é o estudo da relação entre batimetria e a distribuição de plantas aquáticas no reservatório da UHE-Tucuruí, referente ao segundo semestre de 1996 e ao primeiro semestre de 1997. Apresenta a revisão bibliográfica que foi necessária ao complemento do estudo e os procedimentos técnicos necessários ao desenvolvimento do projeto.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.....</u>	4
2.1 - Macrófitas aquáticas.....	4
2.2 - Sistema radar.....	10
2.3 - Sistema de Informações Geográficas.....	12
<u>CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODÓLICOS.....</u>	14
3.1 - Área de estudo.....	14
3.2 - Aquisição de dados.....	15
3.3 - Metodologia.....	16
3.4 - Cópia da carta “Repartimento” em papel Terkron.....	17
3.5 - Digitalização da carta ‘Repartimento’ no SGI.....	18
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....</u>	26
4.1 - Discussão dos resultados.....	26
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....</u>	27
<u>CAPÍTULO 6 - ETAPAS A SEREM REALIZADAS.....</u>	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Plantas superiores flutuantes.....	5
2.2 - Plantas superiores enraizadas.....	5
2.3 - Comunidade de macrófitas aquáticas distribuídas na região litorânea de acordo com a profundidade.....	8
2.4 - Seqüência de eventos em um reservatório formado sobre floresta tropical e as implicações sobre o crescimento de macrófitas aquáticas.....	10
2.5 - Representação diagramática de sistema de imageamento de radar.....	11
3.1 - Localização da área de estudo.....	15
3.2 - Fluxograma da metodologia adotada.....	16
3.3 - Os planos de informação.....	19
3.4 - As curvas de nível e os pontos cotados digitalizados.....	21
3.5 - Os afluentes do rio Tocantins e as principais estradas digitalizadas.....	21
3.6 - O rio Tocantins com suas respectivas ilhas e os lagos encontrados no terreno.....	22
3.7 - A visualização em três dimensões do terreno digitalizado.....	24
3.8 - Um dos fatiamentos de MNTs realizados.....	24
3.9 - Imagem de radar da região do reservatório de Tucuruí, obtida pelo satélite Radarsat em maio de 1996.....	25

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Por possuir características naturais que favorecem a produção de energia através de recursos hídricos, o Brasil tem grande parte de sua produção de energia baseada na hidreletricidade. Por esta razão são necessários o monitoramento e o planejamento adequados das regiões fornecedoras de hidreletricidade (Pereira Filho, 1991):

Dentre as áreas úmidas artificiais, são os reservatórios de barragens destinadas à produção de energia elétrica os que ganham maior expressão, seja pelo peso que exercem no setor energético, seja pela dimensão espacial que ocupam ou ainda pelos impactos sócio-ambientais que ocasionam.

O represamento de rios para a geração de energia elétrica envolve uma série de modificações ambientais. Suas conseqüências são o deslocamento de populações da área a ser alagada, modificações no sistema de navegação e disponibilidade de água e alimentos para as populações ribeirinhas (Leite e Bittencourt, 1991), alterações climáticas e ecológicas que, de modo geral afetam profundamente a flora e a fauna, tanto aquáticas como terrestres.

As barragens podem perturbar profundamente não só o comportamento natural dos rios represados como também atingir as regiões circunvizinhas - produzindo modificações hidrológicas, geológicas e paisagísticas - e alterar as próprias características físicas e químicas da água (Branco e Rocha, 1977).

De forma geral, os impactos ambientais resultantes deste tipo de empreendimento são proporcionais ao tamanho do projeto. Após a década de 50, inúmeras barragens com área de alagação individual igual ou superior a 1.000km² foram construídas em todo o mundo, gerando uma série de efeitos adversos (Ackerman et al., 1973). Na região neotropical, diversas barragens dessa magnitude estão em operação construção ou em planejamento (Ackerman et al., 1973; Paiva, 1981; Allen, 1982; Castro e Galan, 1984; Bernacsek, 1984; Sternberg, 1985ab).

No reservatório da UHE de Tucuruí houve um grande desenvolvimento de macrófitas aquáticas, que são consideradas uma das plantas mais produtivas do mundo, sendo de fundamental importância não só para a região litorânea, mas para todo o ecossistema lacustre. Estes vegetais participam da ciclagem de nutrientes, produzem biomassa e servem como habitat para a reprodução e crescimento de inúmeros organismos aquáticos (Junk, 1979; Junk e Howard-Williams, 1984).

Entretanto, apesar da reconhecida importância das comunidades de macrófitas aquáticas para o ecossistema lacustre, sabe-se que a proliferação excessiva destes vegetais pode resultar em inúmeros problemas para os múltiplos usos de um reservatório. Entre estes, podem ser citados a obstrução do fluxo d' água, o aumento da evaporação, o impedimento à navegação, restrição a alguns tipos de pesca, a alteração da qualidade da água devido ao excesso de biomassa e conseqüente redução de oxigênio da água, a proliferação de vetores de doença, além de muitos outros problemas (Noernberg, 1995).

A ocorrência de macrófitas aquáticas está associada aos nutrientes disponíveis no ambiente aquático, e a atividade do homem pode gerar agentes eutrofizantes que estão relacionados com a atividade fotossintética e de crescimento das plantas aquáticas superiores (Esteves e Camargo, 1986). Sua ocorrência está associada as variações de profundidade ou batimetria do reservatório, pois as regiões menos profundas são mais afetadas pela luz solar, o que resulta em uma maior ocorrência de macrófitas aquáticas nesta região. Por esta razão, a medida em que resulta em que a profundidade do reservatório vai aumentando a incidência de macrófitas começa a diminuir, até se tornar impossível a vida desses organismos em grandes profundidades, especialmente quando se trata de águas dotadas de elevada cor ou turbidez.

Um exemplo da capacidade danosa da proliferação excessiva das macrófitas aquáticas em um reservatório, é o que ocorreu na UHE de Curuá-Una, localizada na Amazônia, onde além da produção excessiva de gás sulfídrico, houve uma proliferação exagerada de macrófitas aquáticas. Com tal ambiente, morreram peixes e surgiram mudanças na paisagem daquele lugar, sendo essas a tônica das modificações oferecidas pelo lago formado artificialmente. Ocorreram interrupções na geração de eletricidade, motivadas por obstrução do sistema de refrigeração das turbinas devido ao desenvolvimento de massa de bactérias. As turbinas tiveram que ser trocadas e houve a

introdução de peixes-boi no lago, numa tentativa de controlar a proliferação das macrófitas aquáticas (Mello, 1993).

Em face da necessidade de se conhecer a área afetada por plantas aquáticas do reservatório da UHE de Tucuruí, em 1988 a ELETRONORTE e o INPE passaram a desenvolver trabalhos de cooperação científica visando o uso de imagens do satélite Landsat para o monitoramento das plantas aquáticas e da qualidade da água (Novo, et al., 1995).

Através deste acordo de cooperação, foi possível o desenvolvimento deste projeto, que para desenvolvê-lo, se utiliza, entre outros, dados de sensoriamento remoto.

O principal objetivo deste trabalho é mostrar o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, sendo constituído primeiramente em uma extensa revisão bibliográfica com posterior execução de monografia e formação de banco de dados com as imagens digitalizadas da carta "Repartimento", através do Sistema Geográfico de Informações (SGI), utilização de imagem de radar interpolada no Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM) e com o software PCI.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Segundo Burrows (1990) in Noernberg (1996), a vegetação pode ser classificada, quanto a fisionomia da plataforma e estatura, em três tipos:

a) floresta - vegetação dominada por plantas com madeira (tronco e galhos), com 6 metros de altura, ou mais:

b) cerrado - vegetação dominada por plantas com madeira (tronco e galhos), com 6 metros de altura, ou menos;

c) herbáceas - vegetação dominada por plantas sem madeira.

As plantas aquáticas ou macrófitas aquáticas, são plantas herbáceas especializadas, são vegetais que habitam brejos e até mesmo ambientes verdadeiramente aquáticos (Esteves, 1988), desempenhando um importante papel no metabolismo do ecossistema, devido as suas altas taxas de produtividade (Wetzel, 1964, 1981; Davies, 1970, Rich et al., 1971) e como fonte de proteínas e carboidratos solúveis para os animais aquáticos (Goevskaa, 1969 in Camargo, 1984).

As figuras 2.1 e 2.2 representam algumas espécies de macrófitas aquáticas, sendo duas superiores flutuantes e duas superiores enraizadas ao fundo.

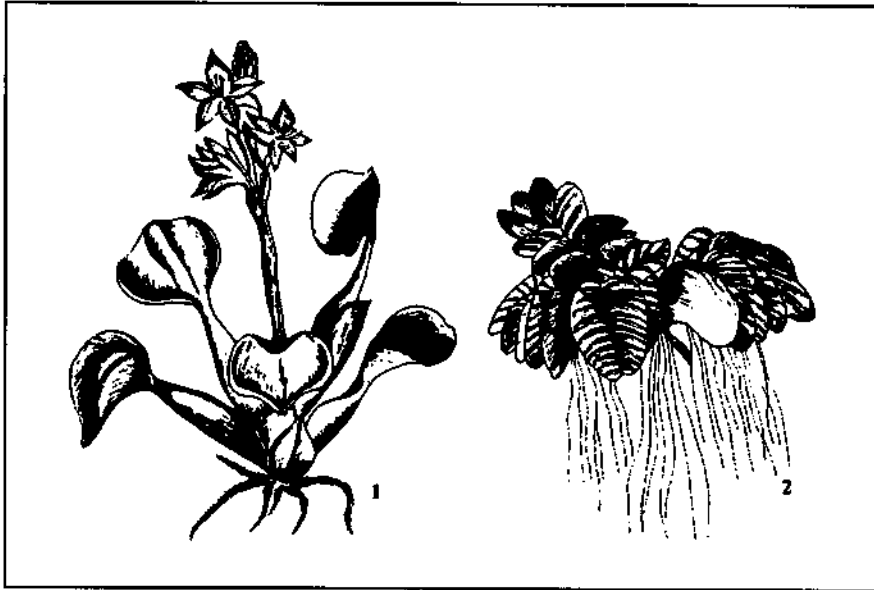


Fig. 2.1. - Plantas superiores flutuantes - 1) *Eichhornia*; 2) *Salvinia*. Fonte: Branco, 1986

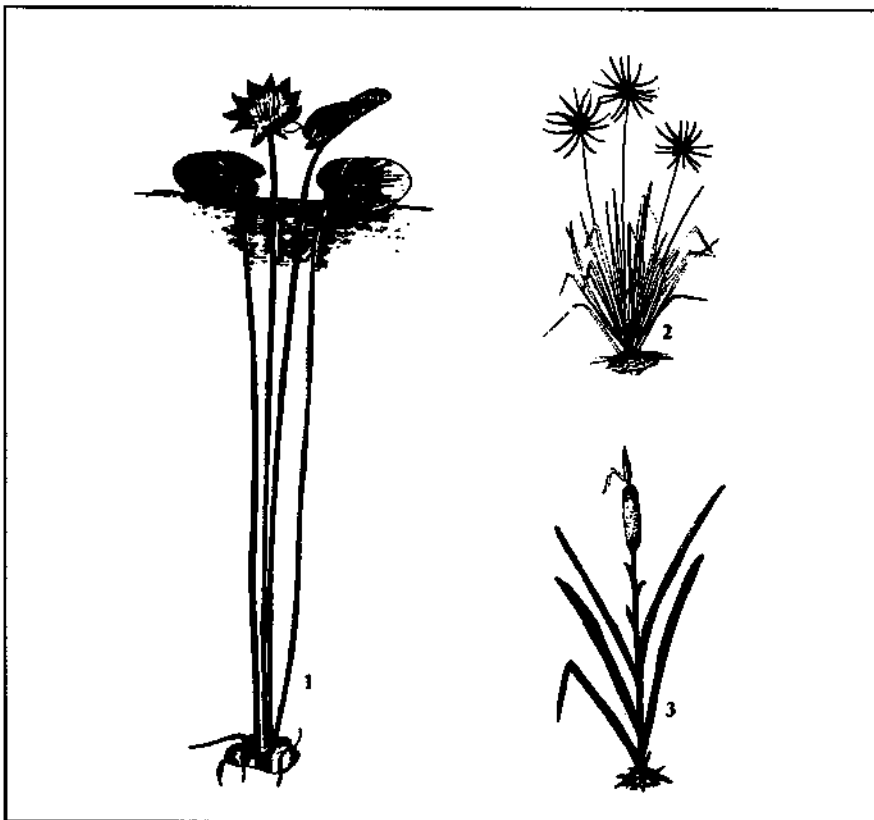


Fig. 2.2 - Plantas superiores enraizadas no fundo: 1) *Nymphaea*; 2) *Cyperus*; 3) *Typha*. Fonte: Branco, 1986.

As macrófitas aquáticas são vegetais que durante sua evolução retornaram do ambiente terrestre para o aquático. Em consequência apresentam ainda várias características de vegetais terrestres, como a presença de cutícula, embora fina, e de estômatos, na sua maioria das espécies, não funcionais (Esteves, 1988).

As macrófitas aquáticas apresentam grande capacidade de adaptação e grande amplitude ecológica. Este fato possibilita que a mesma espécie colonize os mais diferentes tipos de ambientes. Por exemplo: *Ranunculus circinatus*, pode habitar desde ambientes de água doce até aqueles com diferentes concentrações salinas (0,5-6⁰/₀₀) (Remane e Schieper, 1971) in Branco (1986).

O ambiente propício ao desenvolvimento das plantas aquáticas é chamado de área alagadiça, e é definido como o lugar onde a água é o substrato, ou possui influência dominante no crescimento da planta, ou ambos. A água pode estar acima ou logo abaixo da superfície do solo, contínua ou freqüentemente. As plantas podem estar enraizadas no solo ou flutuando (Burrows, 1990) in Noernberg (1996).

Segundo Esteves (1988), as macrófitas aquáticas podem colonizar os mais diferentes ambientes dentre os quais destacam-se:

- a) Fitotelmos - várias espécies de *Utricularia* crescem na água acumulada na bainha de bromeliáceas;
- b) Fontes termais - a macrófita aquática *Najas Tequifolia* habita nascentes com água de até 60⁰C;
- c) Cachoeiras - várias espécies da família *Podostemonaceae*, são restritas a estes ambientes;
- d) Lagos, represas e brejos - maioria das espécies de macrófitas aquáticas;
- e) Rios, riachos e corredeiras - *Nupha Lutea* e *Ranunculus Aquatilis*.
- f) Ambientes salobros, como: estuários, lagunas e lagos de regiões áridas - *Najas Marina* e *Scirpus Maritimus*.

g) Ambientes salgados, como baías e recifes de corais e praias arenosas e rochosas - *Ruppia Maritima*, *Zannichellia Palustris* (ocorrem também em águas salobras), os gêneros *Halophilia*, *Thalassia* e *Zosfera*, ocorrem principalmente em águas com salinidade acima de 5⁰/₀₀.

Na região litorânea podem ser encontradas várias comunidades vegetais, que tornam este compartimento um dos mais produtivos e com muitos habitats, na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais. Estas comunidades variam desde algas unicelulares até angiospermas, sendo estes últimos vegetais, os que apresentam, geralmente, a maior biomassa. Além disto são capazes de influenciar fortemente a diversidade e a densidade das demais comunidades vegetais presentes nesta região (Esteves, 1988).

Ainda segundo Esteves (1988), dada a heterogeneidade filogenética e taxonômica das macrófitas aquáticas, estes vegetais são preferencialmente classificados quanto ao biótipo. Esta classificação reflete, em primeiro lugar, o grau de adaptação das macrófitas ao meio aquático. Este fenômeno pode ser observado, de um lado, nos vegetais anfíbios que são macrófitas aquáticas submersas. Abaixo, são relacionados os principais grupos de macrófitas aquáticas quanto ao seu biótipo, que são denominados genericamente de grupos ecológicos (Fig. 2.3).

a) Macrófitas aquáticas emersas: plantas enraizadas no sedimento e com folhas fora d' água. Ex.: *Typha*, *Pontederia*, *Echinodorus*, *Eleocharis*, etc.

b) Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: plantas enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex.: *Nymphaea*, *Vitoria* e *Nymphoides*.

c) Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: plantas enraizadas no sedimento, que crescem totalmente submersas na água. Podem crescer, via de regra, até 11m de profundidade, dependendo da disponibilidade de luz. A maioria tem seus órgãos reprodutivos flutuando na superfície ou aéreos. Ex.: *Myriophyllum*, *Elodea*, *Egeria*, *Hydrilla*, *Vallisneria*, *Mayaca* e a maioria das espécies do gênero *Potamogeton*.

d) Macrófitas aquáticas submersas livres: são plantas que possuem rizóides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência. Geralmente ficam presas aos pecíolos e talos das macrófitas aquáticas de

folhas flutuantes e nos caules das macrófitas emersas. Durante o período reprodutivo emitem flores emersas (exceção de *Ceratophyllum*). Ex.: *Utricularia* e *Ceratophyllum*.

e) Macrófitas aquáticas flutuantes: são aquelas que flutuam na superfície da água. Geralmente seu desenvolvimento máximo ocorre em locais protegidos pelo vento. Neste grupo, destacam-se: *Eichhornia Crassipes*, *Salvinia*, *Pistia*, *Lemna* e *Azolla*.

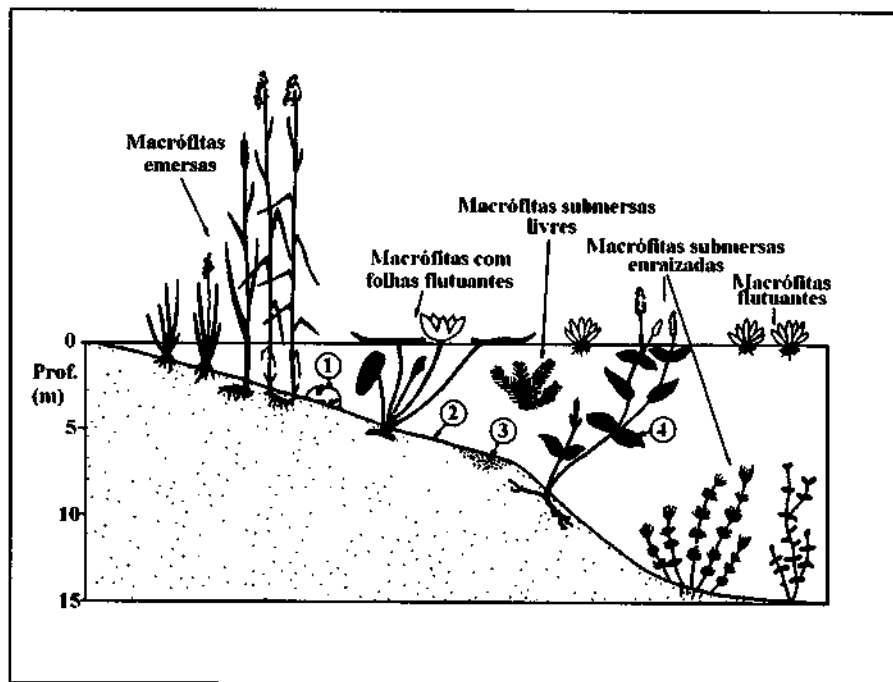


Fig. 2.3 - Comunidade de macrófitas aquáticas distribuídas na região litorânea, de acordo com a profundidade. Modificado de Esteves, 1988.

Estes grupos ecológicos podem estar distribuídos de maneira organizada e paralela à margem, formando um gradiente de distribuição da margem para o interior do lago, iniciado pelas macrófitas emersas, passando pelas de folhas flutuantes até as submersas enraizadas. Na maioria dos casos, no entanto, fatores ambientais, como a turbidez da água e o vento, favorecem o crescimento heterogêneo dos diferentes grupos ecológicos. Nestes casos, é freqüente observar-se macrófitas submersas e macrófitas com folhas flutuantes crescendo entre as emersas. O primeiro tipo de gradiente geralmente está ligado a ambientes pouco produtivos (Esteves, 1988).

Segundo Marouelli et al. (1988), em países de clima tropical, onde a temperatura da água é mais elevada, desenvolvem-se condições próprias para o crescimento de macrófitas. Este crescimento, dependendo de certas condições físico-químicas e biológicas, torna-se exponencial. Deste modo, deparamo-nos com um problema grave de produção excessiva, geralmente agravado por condições de desequilíbrio do sistema aquático como é o caso da eutrofização artificial. O número crescente de projetos de irrigação e construção de represas tem colaborado para a reprodução das macrófitas e conseqüentemente causam efeitos adversos, como:

- Bloqueio de canais e bombas dos projetos de irrigação;
- Obstrução do tráfego de embarcações;
- Aumento de doenças de veiculação hídrica;
- Interferência na pesca e no cultivo de peixes;
- Impedimento de drenagem de rios e canais, causando inundações;
- Impedimento da passagem da luz;
- Acumulação de seus restos em profundidade produzindo fenômenos de decomposição que reduz e esgotam o oxigênio dissolvido e com isto cria-se condições para a formação de H_2S , que é um gás nocivo à vida, além de ser um dos principais responsáveis pelos baixos valores de pH da água destes ambientes;
- Alta perda de água por evapo-transpiração.

A Fig. 2.4 representa uma das várias alterações ambientais atribuídas ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas em reservatórios formados sobre florestas tropicais. Entre as várias modificações pode-se citar a redução da turbulência da água e o aumento da concentração de nutrientes. Como conseqüência destas modificações e também devido à condições climáticas favoráveis e ausência de espécies competidoras e predadoras, muitas espécies como *Eichhornia Crassipes*, *Pistia Stratiotes* e *Salvinia Auriculata*, apresentam altas taxas de crescimento, transformando-se, segundo os técnicos de represa, em verdadeiras “pragas”.

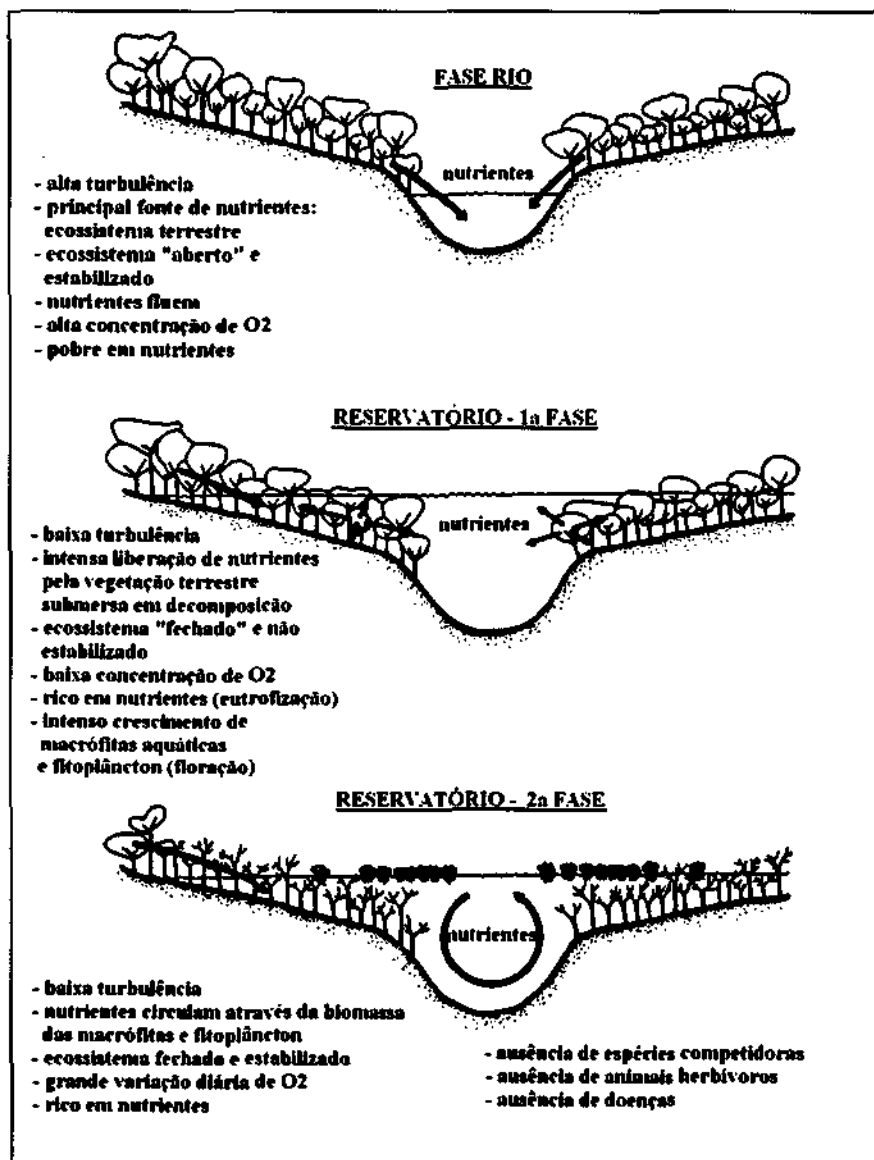


Fig. 2.4 - Seqüência de eventos em um reservatório formado sobre floresta tropical e as implicações sobre o crescimento de macrófitas aquáticas. Modificado de Esteves e Camargo, 1986.

2.2 SISTEMA RADAR

Radar (Radio Detection And Ranging - *Detecção e Medida de Distância por Rádio*) é um sistema sensor ativo, ou seja, possui sua própria fonte de energia, emitindo e recebendo radiação eletromagnética na faixa das microondas. Os

comprimentos de onda que compreendem a faixa das microondas variam de 1mm a 1m (Novo, et al., 1996).

Os sistemas de microondas usados em Sensoriamento Remoto são aqueles que produzem uma imagem no terreno.

Os componentes básicos de um sistema Radar são: antena transmissora/receptora, receptor, detector e registrador (Novo, 1989).

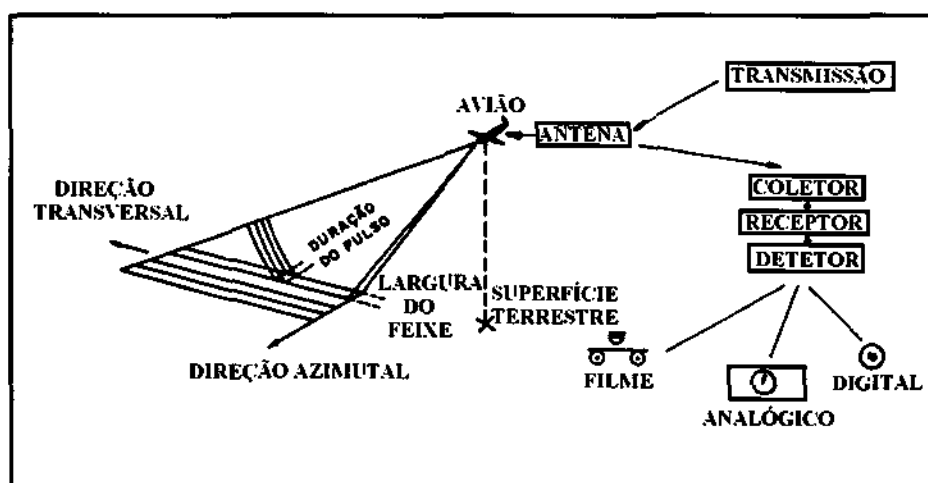


Fig. 2.5 - Representação diagramática de sistema de imageamento de Radar. Fonte: Curran (1985).

A antena transmissora produz pulsos de energia na faixa de microondas. Os pulsos são produzidos a intervalos de tempo regulados por um sincronizador com uma potência padronizada por um modulador com uma potência padronizada por um modulador. Desta maneira, por uma fração de tempo determinado, a antena transmite um "pulso" de energia. Este pulso é enviado a uma direção perpendicular ao deslocamento da plataforma que transporta o sistema sensor. A energia é refletida pela superfície e retorna à antena, que nesse instante encontra-se sincronizada para receber a energia refletida pela superfície imageada. Esta energia refletida é convertida num sinal passível de ser amplificado. Após esta transformação, o sinal é transferido para o receptor e amplificador, atingindo então o detector que produz um sinal elétrico passível de ser registrado em filme ou em fitas magnéticas (Novo, 1989).

As imagens de radar também têm sido utilizada para o mapeamento de plantas aquáticas. Trabalhos realizados por Costa (1995), Noernberg (1995) e Novo et al. (1995) no reservatório de Tucuruí demonstram a utilidade dos dados de radar para identificar gêneros de plantas aquáticas. Nestes trabalhos foram utilizados dados da missão SAREX 92, que operou com um radar de visada lateral na banda C que permitiu a aquisição de imagens em diferentes polarizações e ângulos de incidência (Palme et al., 1996)

O uso de imagens de Radar para o estudo da distribuição de bancos de plantas aquáticas no reservatório de Tucuruí é bem mais vantajoso em relação a utilização de sensores óticos, pois como a região amazônica possui uma grande incidência de nuvens, dados adquiridos pelo satélite Landsat, por exemplo, limitam-se ao período seco, enquanto que os sistemas Radar, que operam na faixa de rádio ou microondas, podem ser operados, de modo geral, sob qualquer condição atmosférica, pois além das microondas penetrarem nas nuvens, os sistemas Radar não dependem da luz solar como fonte de iluminação, representando a vantagem adicional de uso de imagens de radar obtidas durante a noite.

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como um banco de dados no qual a maior parte das informações está espacialmente indexada (Smith et al, 1986). Este banco de dados permite armazenar, combinar, analisar e recuperar informações espacialmente codificadas (Engespaço, 1990). A figura 3 demonstra alguns planos de informações possíveis de se trabalhar em um SIG.

Uma grande contribuição deste sistema para pesquisas é a possibilidade de manipular dados de diferentes origens, o que permite o uso integrado com produtos de sensoriamento remoto. O SIG permite também trabalhar com informações de diferentes datas, o que possibilita um monitoramento preciso das condições ambientais de uma determinada região (Johnston et al., 1988; Prince, 1989).

Os SIGs evoluíram a partir dos avanços tecnológicos nas áreas de computação, cartografia e fotogrametria nas décadas de 50 e 60. O primeiro SIG operacional foi desenvolvido pelo Canadá: o Canadian Geographic Information System,

implementado em 1964. Este e os sistemas dele derivados baseavam-se no conceito de superposição de dados espacialmente indexados e foram utilizados em planejamento regional e urbano. Com os avanços na ciência da computação e com a maior disponibilidade de dados espacialmente referenciados houve uma rápida evolução dos SIGs (Smith et al., 1987).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através da Divisão de Processamento de Imagens (DPI), desenvolveu um Sistema de Informações Geográficas com algumas características que o tornam bastante eficiente para a integração de dados de sensoriamento remoto com dados originários de outras fontes. Este sistema é o SGI, que utiliza ambientes de microcomputadores, compatíveis com a linha IBM-PC, sob o sistema operacional DOS, possui interface com o banco de dados relacionais dBASE IV e sistema de tratamento de imagens (SITIM) além de outros sistemas de apoio a desenhos, como por exemplo os CAD's (Rosa e Brito,1996)

O SGI possui como principais objetivos:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de mapas, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno, (incluindo topografia, dados geofísicos e geoquímicos).
- Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamento derivados.
- Reproduzir, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A usina hidroelétrica de Tucuruí - UHE de Tucuruí, que se situa a 300Km ao sul de Belém (estado do Pará), entre $3^{\circ}43'$ e $5^{\circ}15'S$ e $49^{\circ}12'$ e $50^{\circ}00W$ (Figura 3.1), bloqueando o rio Tocantins na altura da cidade de Tucuruí (PA). Sua construção foi iniciada em 1976 e, em setembro de 1984, suas comportas foram fechadas para a formação do lago-de-represa. O fluxo do rio ficou totalmente interrompido por quase 3 meses e atingiu 72 metros acima do nível do mar (cota 72), abrigando um volume de água de aproximadamente 45 bilhões de m^3 em uma área estimada em $2.875km^2$. A profundidade máxima do reservatório está em torno de 72m e a profundidade média em 18m. O tempo de residência hidráulica pode variar entre 20 e 500 dias, devido às características do reservatório. A potência instalada é de 4.000MW, mas com uma previsão de expansão de 7.960MW até o final do empreendimento.

Devido às características do regime hidrológico da bacia, ocorre uma grande variação no nível do reservatório. O período de cheias ocorre entre fevereiro e abril e o período de vazões mínimas ocorre entre setembro e outubro. O nível mínimo normal do reservatório, em relação ao nível do mar, é de 58m e o nível máximo normal é de 72m (Pereira et al., 1990).

A superfície do reservatório é extremamente dentrificada, possuindo um perímetro externo de 7.700km. Este caráter dentrificado cria condições para que apareçam inúmeros compartimentos estanques de água com propriedades limnológicas diversas (Noernberg, 1996).

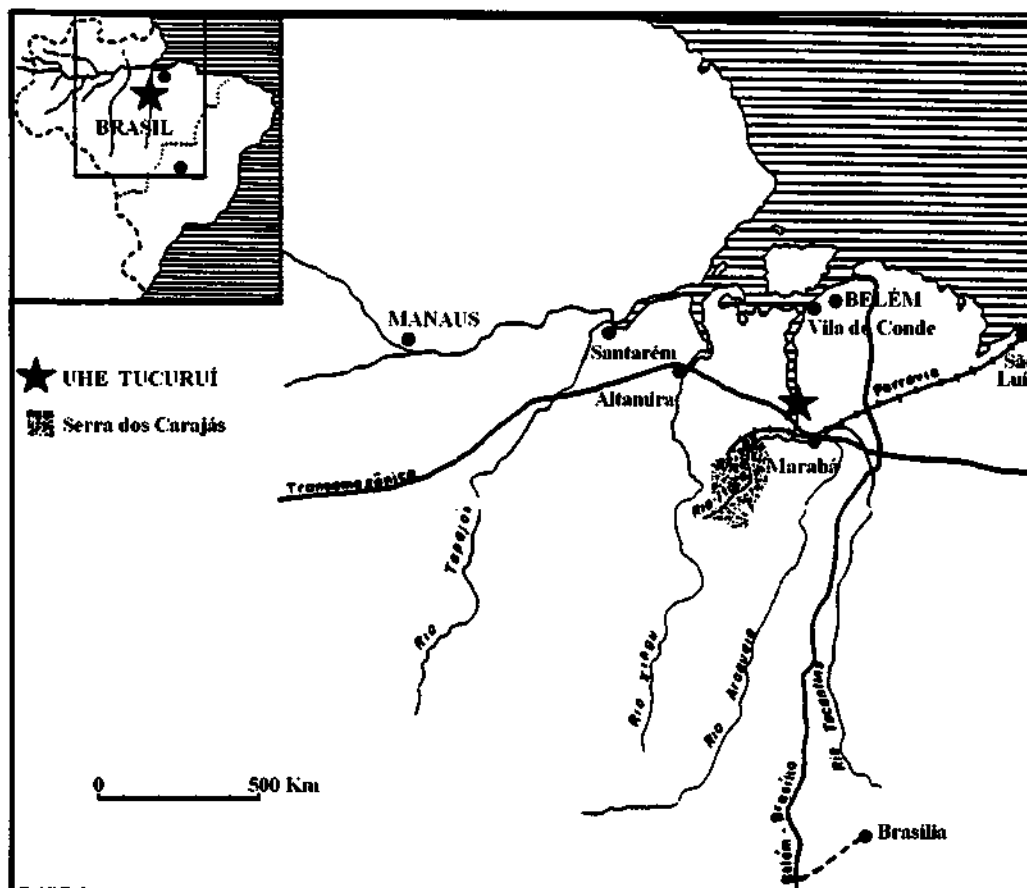


Fig. 3.1 - Localização da área de estudo. Fonte: Modificada de Barrow (1987) in Silva (1987).

3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a realização deste projeto de pesquisa, foram adquiridos dados da carta topográfica “Repartimento”, que se encontra na escala de 1:100.000 e imagem de radar da região da hidrelétrica de Tucuruí, obtida em maio de 1996, pelo satélite canadense Radarsat.

Maiores informações sobre o satélite Radarsat podem ser encontradas com detalhes na apostila do curso de Sensoriamento Remoto por Radars, Novo et al., 1996.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada (Figura 3.2), se constitui primeiramente em levantar e estudar bibliografias referentes ao projeto para posterior execução de serviços técnicos, visando o suporte para a conclusão do projeto.

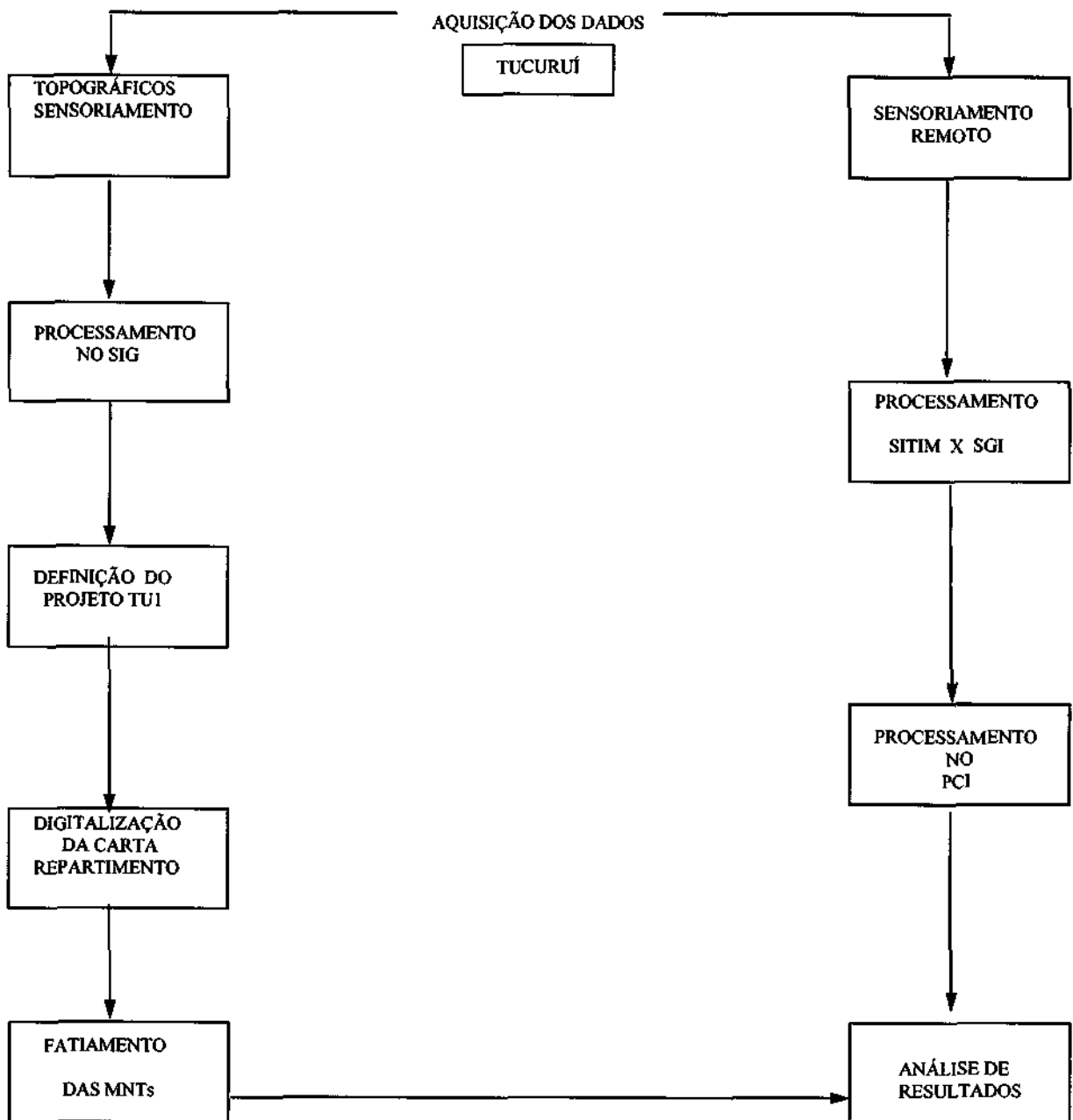


Fig. 3.2 - Fluxograma da metodologia adotada.

Em referência a digitalização da carta topográfica “Repartimento”, primeiramente foi analisada a carta topográfica para posteriormente fazer o desenho da mesma em papel Terkron, fazendo o levantamento das curvas de nível, da hidrografia, das estradas e as delimitações das cotas altimétricas.

Levantadas estas informações em papel Terkron, foi possível iniciar a fase de digitalização no SGI, em que foram digitalizadas as MNTs (Modelos Numéricos de Terreno), que são as grandezas físicas da distribuição espacial de uma carta topográfica (topografia, teor de minerais, etc.), a rede hidrográfica, as principais estradas da região e os pontos altimétricos. Concluída a fase de digitalização, foi iniciada o fatiamento das MNTs, para posterior interpolações com a imagem obtida através de sensoriamento remoto que foi analisada no SITIM.

Em seguida, foram digitalizadas 38 fotografias aéreas da região do reservatório de Tucuruí, que se encontram na escala de 1:10.000. Digitalizadas, estas fotografias foram convertidas da extensão .tif para a extensão .pix que é usual no PCI.

Posteriormente a digitalização das fotografias aéreas do reservatório da UHE de Tucuruí, foi realizado um mosaico com as fotos através do software PCI.

3.4 CÓPIA DA CARTA “REPARTIMENTO” EM PAPEL TERKRON

O primeiro passo para a digitalização da Carta "Repartimento", carta topográfica que especifica a provável área de inundação da UHE-Tucuruí, foi a reprodução de toda a carta original, que não possui curvas de nível cotadas, para papel Terkron, que possui mais baixo índice de dilatação em relação a produtos similares.

A reprodução da carta topográfica “Repartimento” para papel Terkron foi necessária pelo fato da carta original não possuir curvas de nível cotadas, sendo que a identificação das cotas correspondentes as curvas de nível, foram utilizados os seguintes critérios:

- a) identificação de pontos cotados na imediação da cota;
- b) análise da rede de drenagem.

Esta reprodução em papel Terkron foi realizada com grafites 0,5 coloridos, resultando em uma maior distinção entre a hidrografia (grafite azul), as curvas de nível (grafite vermelho), as estradas (grafite verde) e as cotas altimétricas (grafite preto).

Terminada a fase do desenho da carta Repartimento em papel Terkron, deu-se início a fase de digitalização no SGI.

3.5 DIGITALIZAÇÃO DA CARTA “REPARTIMENTO” NO SGI

O primeiro passo para o início da fase de digitalização foi a definição do projeto a ser processado no SGI, que foi denominado TU1.

Projeto no SGI se refere a reunião de dados de interesse da região a ser estudada. Cada projeto corresponde um referencial geográfico distinto, que pode ser escolhido pelo usuário.

Posteriormente foram definidos os planos de informação (PI) que seriam digitalizados no projeto TU1.

Um Plano de Informação (PI) é a reunião de todas as representações de um mesmo dado geográfico, o que simplifica em muito o tratamento de distintos formatos pelo sistema. O usuário deve, no início do projeto, definir todos Pis presentes, indicando as suas principais características.

Um PI contém a mesma informação nas mais diversas representações. Por exemplo, um PI correspondente à altimetria pertence à categoria Modelo Numérico de Terreno (MNT), que são categorias de dados que representam a distribuição espacial de uma grandeza física (altimetria, teor de minerais, etc.), podendo conter, entre outro, as representações: vetorial (isolinhas), amostras 3D (amostras esparsas), árvore 2D (amostras ordenadas para facilitar a busca na operação de interpolação), grade regular (resultado da interpolação) e imagem (arquivo no formato de varredura) (Engespaço, 1988).

Um projeto possui vários Planos de Informação (PI) (Figura 3.3), onde cada PI pertence a uma das categorias do SGI. Cada PI é composto de um conjunto de objetos, onde cada objeto terá identificação única (Engespaço, 1988).

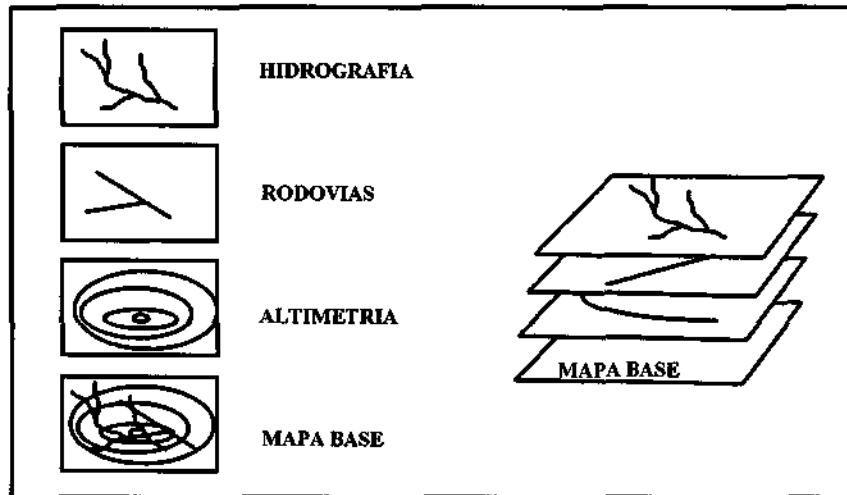


Fig. 3.3 - Os planos de informação. Um mapa base pode ser separado em diversos planos de informação, como por exemplo hidrografia, rodovias e altimetria (adaptado de Eastman, 1982).

Para se criar um PI devem ser fornecidos os seguintes atributos:

_Nome: Utiliza-se um mnemônico de até quatro letras, sendo que no projeto TU1 foram criados quatro PIs:

- . plano de informação cuni, PI representativo as curvas de nível e aos pontos cotados;
- . plano de informação hidr, PI representativo a rede hidrográfica de bacia;
- . plano de informação estr, PI representativo as principais estradas encontradas na carta;
- . plano de informação mol, PI representativo a moldura da carta digitalizada.

_ *Categoria*: Indica se o PI é do tipo dados poligonais, modelo numérico de terreno (MNT), imagem ou pontos. No projeto TU1 as categorias foram definidas como MNT no PI cuni e dados poligonais nos PIs hidr, estr e mol.

_ *Escala do Mapa Original*: Indica a escala original da carta a ser digitalizada, 1:100.000 neste projeto.

Definidos os PIs, foram determinados os parâmetros finais para poder iniciar os trabalhos de digitalização, que foram:

a) Escala: foi utilizada no projeto a mesma escala da carta topográfica, ou seja, 1:100.000.

b) Projeção Cartográfica: neste item, também foi utilizado o mesmo dado constante na carta topográfica, que foi a projeção UTM (Universal Transverse de Mercator), em que as coordenadas são expressas em metros.

c) Unidade de Trabalho: deve-se optar entre metros e quilômetros, sendo escolhida a utilização de metros.

d) Datum (se projeção UTM): o Datum definido para o projeto TU1 foi o mesmo constante na carta topográfica, ou seja, o Datum SAD-69.

e) Coordenadas Geográficas da Quadrícula: foram expressas as coordenadas geográficas de quadrícula indicadas nos quatro cantos da carta "Repartimento", que são: s 04°00' o 50°00' / s 04°00' o 49°00' / s 04°30' o 49°30' / s 04°30' o 50°00'.

f) Meridiano Central: Utiliza-se o mesmo meridiano central indicado na carta topográfica, ou seja 51o w. G.R.

Criado e definido todo o projeto, o próximo passo é a digitalização das MNTs e dos polígonos, que é realizada com a centralização do alvo do mouse da mesa digitalizadora nas referidas linhas da carta topográfica, mas primeiramente é necessário fixar as cartas na mesa digitalizadora e realizar a calibração das mesmas. (Procedimento em uso sempre que se retira as cartas da mesa digitalizadora).

Primeiramente foi realizada a digitalização das MNT e dos pontos cotados constantes na carta topográfica (Figura 3.4).

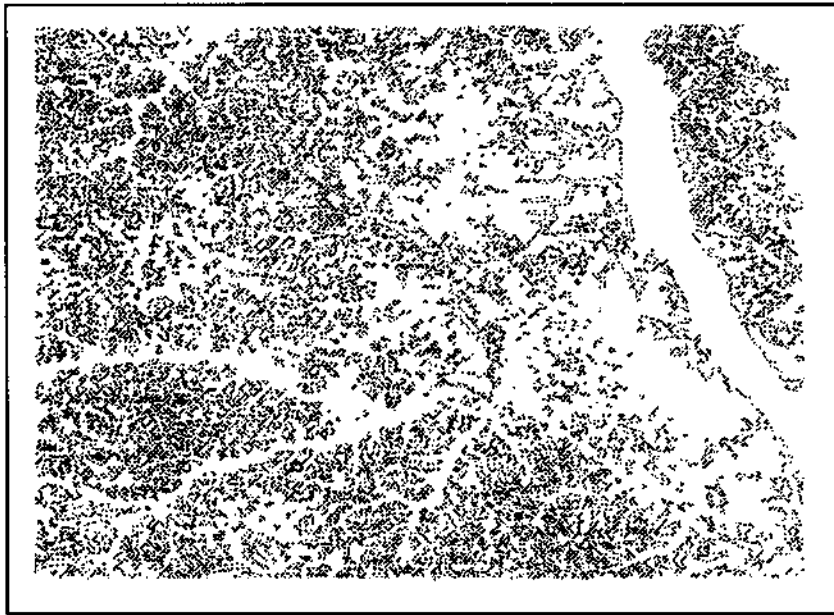


Fig. 3.4 - As curvas de nível e os pontos cotados digitalizados.

Posteriormente foi realizada a digitalização dos dados poligonais referentes a hidrografia do terreno. Sendo que esta digitalização foi realizada em dois modelos:

a) *Digitalização de polígonos abertos*: neste tópico foram digitalizados os rios afluentes do rio Tocantins e as estradas principais (Figura 3.5);

b) *Digitalização de arcos*: neste tópico foram digitalizados o rio Tocantins, que está representado na carta topográfica como um rio de margem dupla, devido a suas grandes dimensões, as ilhas localizadas no rio Tocantins e os lagos contidos em todo o terreno (Figura 3.6).

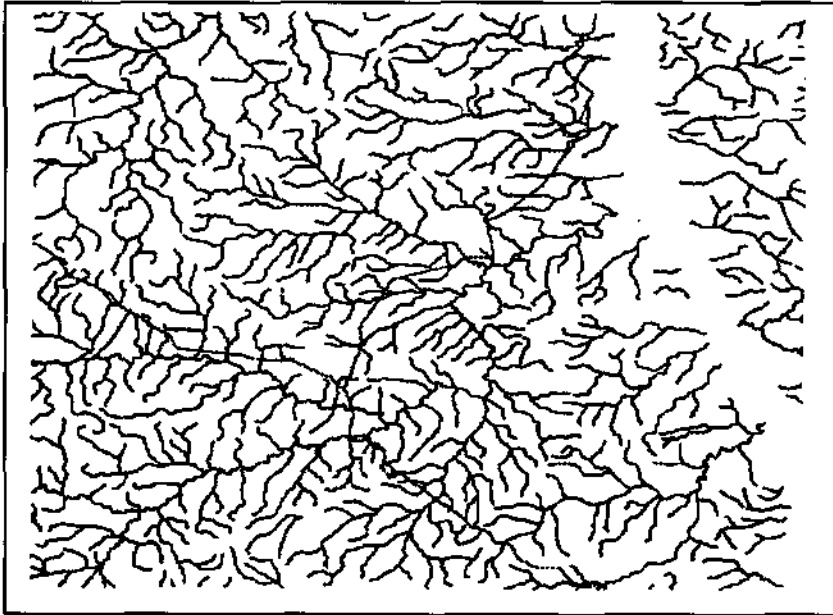


Fig. 3.5 - Os afluentes do rio Tocantins e as principais estradas digitalizadas.

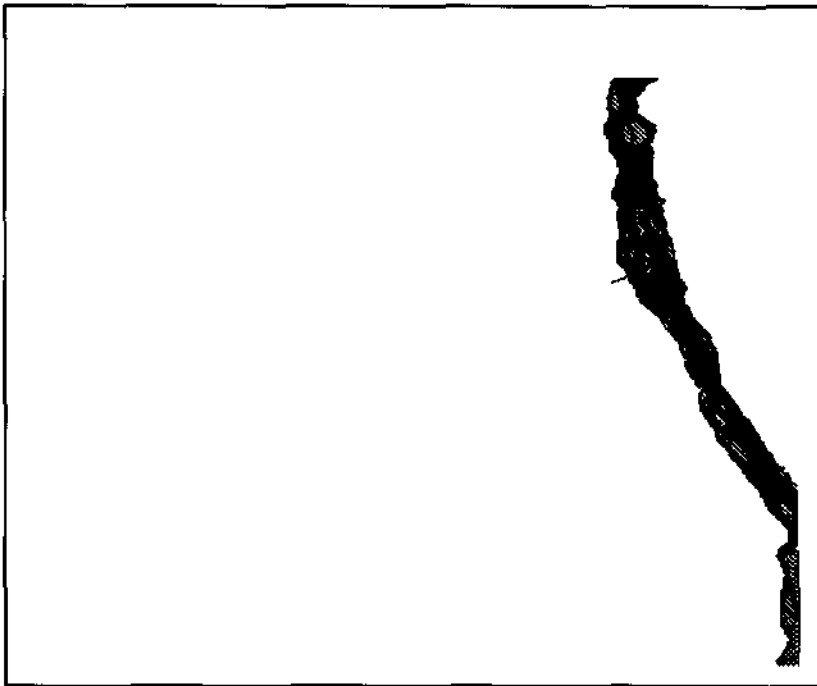


Fig. 3.6 - O rio Tocantins com suas respectivas ilhas e os lagos encontrados no terreno.

Terminada a fase de digitalização, teve início a fase de ajuste dos arcos digitalizados.

Os primeiros passos nesta fase foram *Ajustar Linhas* e também a *Separação de Linhas*, que possuem como objetivo organizar as linhas do PI ativo, que tenham sido digitalizadas via mesa digitalizadora, de tal forma a possibilitar a poligonalização.

Organizadas as linhas, o passo seguinte foi *Inserir Centróides* no interior dos arcos digitalizados. Cada arco recebe um centróide, inserido preferencialmente no canto superior direito para facilitar a poligonalização. A função do centróide é realizar a identificação de cada arco para poder separá-los e colorí-los de acordo com suas respectivas classes.

Em seguida foi realizada a *poligonalização*, que tem como objetivo gerar os polígonos do PI, a partir das linhas e centróides.

Terminada a *poligonalização*, foi possível realizar a conversão vetor-varredura e selecionar os formatos "preenchido" e varredura para visualização. Esta operação é executada após o acionamento da função, sem a intervenção do usuário, exceto nos casos de erro durante a execução do comando.

Ao término da poligonalização, foram organizados os pontos através do tópico *Organizar Pontos*, que tem como objetivo a criação de uma estrutura de árvore sobre os pontos armazenados no arquivo de pontos. Essa estrutura é conhecida como árvore 2-D, e possibilita um acesso mais rápido aos vizinhos mais próximos de um ponto no espaço bi-dimensional.

Encerrada a organização dos pontos, foi finalizada a fase de digitalização da carta "Repartimento", abrindo caminho para os passos seguintes, referentes a interpretação da carta, que são os comandos *Visualização em 3D* e *Fatiar MNT*.

O comando *Visualisar em 3D* possui como objetivo reproduzir no monitor ou na plotadora uma vista tridimensional de um terreno, possibilitando assim, uma visualização mais real do terreno digitalizado.

O passo seguinte ao comando *Visualizar em 3D* é o comando *Fatiar MNT* (Figura 3.8), que possui como objetivo gerar diferentes planos de informações com regiões que agrupam classes de intervalos de cota de um MNT.

Foram realizados onze fatiamentos diferentes das MNTs, estipulando diferentes limites altimétricos para posterior verificação, através de comparação com a imagem do satélite canadense Radarsat, obtida em maio de 1996 na UHE-Tucuruí (Figura 3.9), os verdadeiros pontos de inundação e suas discrepâncias em relação a antiga carta topográfica bem como a influência da topografia com a distribuição das plantas aquáticas.

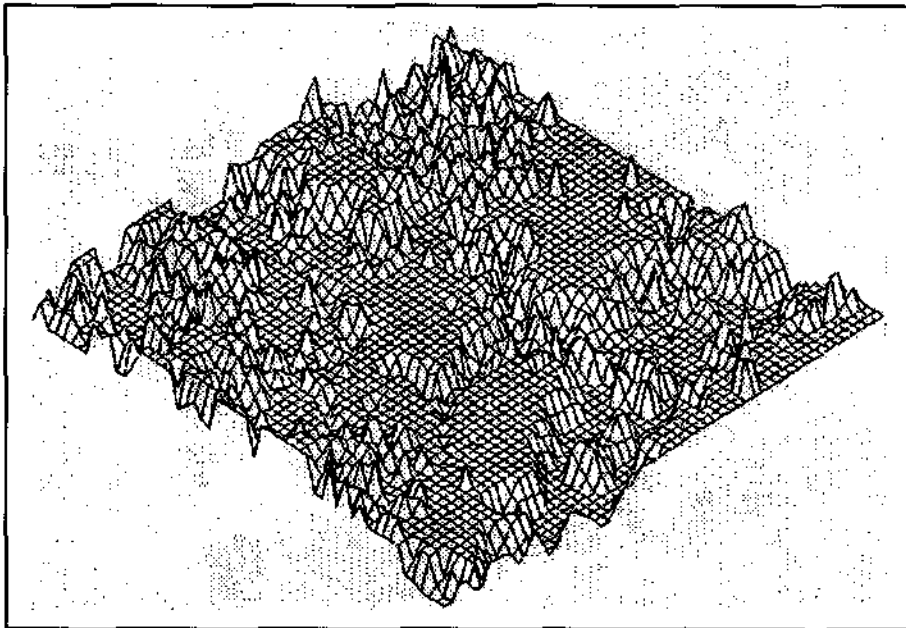


Fig. 3.7 - A visualização em três dimensões do terreno digitalizado



Fig. 3.8 - Um dos fatiamentos de MNTs realizados. Pode-se observar nas partes mais claras a estipulada área de inundação do reservatório (cota 72).

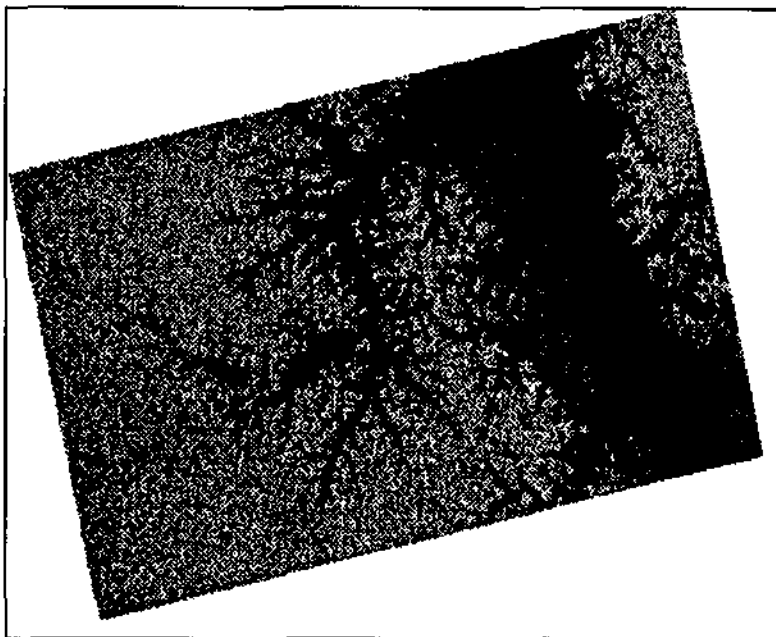


Fig. 3.9 - Imagem de Radar da região do reservatório de Tucuruí, obtida pelo satélite Radarsat em maio de 1996.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

A digitalização da carta topográfica “Repartimento” e a criação do mosaico na interpolação do software PCI foram importantes etapas para o estudo da relação entre a batimetria e a distribuição das plantas aquáticas no reservatório da UHE-Tcuruí, pois com a carta digitalizada pôde-se fazer o levantamento das cotas topográficas da região do reservatório e através de interpolações com imagem de radar e também através de diferentes interpolações de fatiamentos das MNTs, foi possível levantar a verdadeira área de inundação do reservatório.

4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Entre os resultados alcançados, há de se frisar o reconhecimento da verdadeira área de inundação do reservatório, pois em interpolações de imagem de radar com a carta topográfica “Repartimento”, pode-se perceber uma discrepância entre a provável área de inundação estipulada na carta com a verdadeira área inundada, revelada através de imagem de radar. Um dos motivos desta variação de cotas deve-se ao fato de que a cota 72 na carta topográfica ter sido obtida, erroneamente, através da copa das árvores, que naquela região da amazônia chegam a atingir cerca de 30 metros.

É importante colocar ainda que o problema da alta incidência de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais poderia ser diminuído consideravelmente se existisse um planejamento para com a floresta a ser inundada, como por exemplo, extrair a nobre madeira da futura área de inundação, evitando desta forma, um reservatório com muita matéria orgânica em decomposição, que propicia um ótimo ambiente para alta incidência de macrófitas aquáticas.

Alegam-se que as árvores não foram extraídas dos reservatórios que já se encontram em operação, pelo fato de tal operação só poder ser concretizada após grandes investimentos em infra-estrutura, tais como: estradas, máquinas, moradias para os trabalhadores, etc. No entanto, é interessante questionar se tal investimento não é mais rentável, tanto financeiramente como ecologicamente, do que os prejuízos causados pela

alta incidência de macrófitas aquáticas em reservatórios, que vão desde a redução da vida útil da hidrelétrica, até a diversos prejuízos ambientais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

No decorrer do projeto, o SGI se mostrou uma ferramenta muito eficiente, respondendo a todos os comandos de maneira clara e objetiva, demonstrando ser um grande instrumento para o trabalho do geógrafo, entre outros mais.

Com a interrelação do SGI, SITIM e do software PCI, através de imagens de radar, os dados da carta topográfica “Repartimento” poderão ser atualizados, pois na carta estão apresentados dados anteriores a inundação do reservatório, portanto somente dados estipulados.

CAPÍTULO 6

ETAPAS A SEREM REALIZADAS

Restam ainda as seguintes etapas do projeto de pesquisa:

- .Processar digitalmente os dados conforme metodologia descrita em Costa (1995);
- .Mapear a distribuição de plantas aquáticas no braço do rio Pucuruí;
- .Estabelecer relações entre a distribuição de profundidade e a distribuição espacial de plantas aquáticas a partir de procedimentos de tabulação cruzada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANCO, S.M.; Rocha, A A **Poluição, proteção usos múltiplos de represas**. Edgard Blücher, CETESB, São Paulo, 1977.
- BRANCO, S.M.. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. CETESB / ASCETESB, São Paulo, 1986.
- BUDWEG, F.M.G. **As reações ecológicas provocadas pelo represamento de rios**. VII^o. Seminário Nacional de Grandes Barragens, São Paulo, 1972.
- ENGESPAÇO. **Sistema Geográfico de Informações: Manual do Usuário**. São José dos Campos, 1988.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência, Rio de Janeiro, 1988.
- FERRAZ, F.F.B. **Aplicação de sistema de informações geográficas em estudo de área de inundação urbana**. Dissertação de Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, 1996.
- JUNK, W.J; PIEDADE, T.F.; SALATI, E. Recursos hídricos na Amazônia: perspectivas perspectivas para os anos noventa. In: Ferreira et al. Ed. **Bases Científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas**. vol.1. Manaus, INPA, 1991 p. 85-100.
- LEITE, R.A.N.; BITTENCOURT, M.M. Impacto das hidrelétricas sobre a ictofauna da da Amazônia: O exemplo de Tucuruí. In: Val et al. ed. **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas**. vol. 1. Manaus, INPA, 1991 p. 85-100.
- MAROELLI, M.H.; EMERIC, R.H.S.; CAVALCANTE, C.G.B.; RUTKWSK, E. **Bases para um manejo racional de reservatórios**. In Tundisi, J.G. ed. **Limnologia e Manejo de represas**. São Paulo, v. 1, 1988. p. 225-287.

- NOERNBERG, M.A. **Aplicação de dados de radar para a discriminação de espécies de plantas aquáticas.** (Monografia Referente ao Exame Integrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995. INPE-5629-PUD/066.
- NOVO, E.M.; KRUG, T.; NOERNBERG, M.A. Aplicação de sistemas Radar no monitoramento de plantas aquáticas em reservatórios: vantagens e limitações. **Revista brasileira de recursos hídricos.** no. 1, 1996.
- NOVO, E.M.; COSTA, M.P.; NOERNBERG, M.A. **Primeiro relatório do projeto SAREX-92 - Tucuruí.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995. INPE-5621L-PRP/190.
- NOVO, E.M. **Sensoriamento remoto - princípios e aplicações.** São Paulo, Edgar Blucher, 1989.
- NUNES, J.A.S de Mello. Hidrelétricas na Amazônia e o meio-ambiente. In: Ferreira et al. ed. **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da amazônia.** Vol.2. Manaus, INPA, 1993. p.11-16.
- PEREIRA FILHO, W.P. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo da influência das características da bacia de captação na concentração e sólidos em suspensão em reservatório: o exemplo de Tucuruí.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991. INPE-5967/571.
- PEREIRA, M.N.; VASCONCELLOS, R.; **Fundamentos de sensoriamento remoto e sua aplicação no ensino da geografia de 1º e 2º graus.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. INPE-5976-PUD/026.
- ROSA, R.; BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: sistema de Informação Geográfica.** Edufu, Uberlândia, 1996.

SILVA, O.F.da Caracterização dos gradientes longitudinais e laterais do reservatório Tucuruí/PA, através da análise dos bancos de dados imnológico e de magens TM-Landsat. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São osé dos Campos, 1994. INPE-5967-TDI/571