



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL  
PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA**



**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E  
DO ASSOREAMENTO DO AÇUDE VACA BRAVA, AREIA-PB**

**BRENO TAVARES DA SILVA**

**AREIA - PB  
SETEMBRO - 2012**

BRENO TAVARES DA SILVA

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E  
DO ASSOREAMENTO DO AÇUDE VACA BRAVA, AREIA-PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Orientador: Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino

AREIA – PB  
SETEMBRO – 2012

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da  
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S586m Silva, Breno Tavares da.

Uso de geotecnologia na determinação das condições ambientais e do  
assoreamento do Açude Vaca Brava, Areia, PB. / Breno Tavares da Silva. - Areia:  
UFPB/CCA, 2012.  
68 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Manejo de Solos e Água) - Centro de Ciências Agrárias.  
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012.

Bibliografia.

Orientador: Guttemberg da Silva Silvino.

1. Geoprocessamento 2. Assoreamento 3. Cobertura vegetal I. Silvino, Guttemberg  
da Silva (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 528.8(043.3)

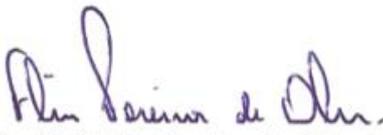
BRENO TAVARES DA SILVA

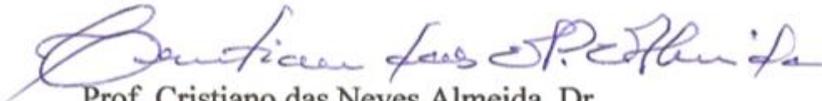
**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DO ASSOREAMENTO E DAS  
CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA MICRO BACIA DE VACA BRAVA**

DATA E LOCAL DA DEFESA: 28/10/2012, Areia - PB

COMISSÃO EXAMINADORA:

  
Prof. Guttenberg da Silva Silvano, Dr.  
DSER/CCA/UFPB  
Orientador

  
Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.  
DSER/CCA/UFPB  
Examinador

  
Prof. Cristiano das Neves Almeida, Dr.  
CT/UFPB  
Examinador

## DEDICATÓRIA

À Deus por mais esta etapa concluída em minha vida.

Aos meus pais, Iratan Cassiano da Silva e Vaudete Tavares da Silva, pelos ensinamentos de vida, pelo exemplo de honestidade, e por nunca ter medido esforço e dedicação na minha formação escolar. Minhas mais sinceras gratidão!

Aos meus irmãos, Simone Tavares, Silvia Tavares, Saulo Tavares, Amanda Simplício que estiveram sempre ao meu lado nas horas mais difíceis.

À minha cunhada Renata Kelly e meu sobrinho Arthur César por tudo.

“Voltei-me e vi debaixo do sol que não é dos ligeiros a carreira, nem dos valentes, a peleja, nem tampouco dos sábios, o pão, nem ainda dos prudentes, a riqueza, nem dos inteligentes o favor, mas que o tempo e a sorte pertencem a todos..”

Eclesiaste 9:11

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de me tornar Mestre.

Ao prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino, por toda orientação, empenho e simplicidade com que norteou nosso trabalho.

Aos professores das disciplinas que sempre estiveram solícitos a ajudar-me na formação profissional

À coordenação do Programa de Manejo de Solo e Água na pessoa da professora Vânia Fraga, à secretária do Programa Cláudia, aos funcionários do Centro, aos técnicos de laboratórios que sempre me ajudaram nas tarefas mais difíceis, meus sinceros agradecimentos.

À Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, pela realização da parceria com a Universidade Federal da Paraíba e por ter cedido gentilmente todo material necessário para a realização da batimetria, bem como o apoio logístico cedido. A todo corpo técnico envolvido, os nossos sinceros agradecimentos, principalmente ao Gerente de Bacias Isnaldo Costa, pelo empenho e envolvimento nos trabalhos. Ao topógrafo Roberto, por todo trabalho realizado. Sinceros agradecimentos!

Aos meus amigos de turma do mestrado pelos bons momentos de aprendizado e descontração: Anailson, João, Jhony, Manoel Euba, Walda, Renata, Emanuel, Augusto César, Dylamarck, Guttemberg, Tadeu Montenegro, Robinho, Elaine, Thiago, Rodolpho, Fabiana, Tancredo, Elder, Franciezer, Adriana, Tinoco, Jailma, Talita, Denísia, Mesquita, Dácio, Leandro e Nicolás (da Agronomia, juntamente com Rodolpho. Obrigado pelos finais de semana de estudos. Sem vocês minha estatística teria sido mais difícil.).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil; pela bolsa de incentivo ao estudo concedida;

A todos, muito obrigado!

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Bacias Hidrográficas .....	4
2.1.1. Área e perímetro da bacia.....	5
2.1.2. Ordem da bacia.....	5
2.2. Ciclo hidrológico .....	6
2.3. Áreas de Preservação Permanente – APP’s .....	7
2.4. Erosão .....	8
2.4.2. Problemas decorrentes da erosão.....	9
2.4.3. Elementos formadores .....	11
2.4.4. Deposição e distribuição dos sedimentos no reservatório .....	12
2.5. Geoprocessamento.....	14
2.5.1. Sistema de informação geográfica (SIG).....	15
2.5.2. Estrutura básica de um SIG .....	16
2.5.3. Conceitos geográficos de banco de dados .....	17
2.5.4. Aplicabilidade dos SIG’s.....	19
2.6. Sistema de Posicionamento Global – GPS .....	19
2.6.1. Características do sistema.....	20
2.6.2. Receptores .....	20
2.6.3. Aplicações .....	22
2.7. Sensoriamento remoto (SR) .....	21
2.7.1. Conceitos preliminares .....	21
2.7.2. Radiação Eletromagnética (REM).....	22

2.7.3. Espectro eletromagnético .....	23
2.7.4. Comportamento espectral dos alvos .....	23
2.7.5. Sistemática para o georreferenciamento de imagens .....	24
2.7.6. Técnicas de realce.....	25
2.7.7. Processos de segmentação de imagens .....	25
2.7.8. Classificação de imagens .....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1. Caracterização da área de estudo.....	27
3.2 Materiais Utilizados.....	28
3.2.1. Levantamento batimétrico e topográfico .....	28
3.2.1.1. Batimétrico .....	29
3.2.1.2. Levantamento topográfico com estação total.....	31
3.2.1.3. Levantamento do uso do solo a partir de técnicas do geoprocessamento.....	32
3.3. Metodologia utilizada .....	32
3.3.1. Levantamento batimétrico automatizado do açude vaca brava .....	32
3.3.1.1. Instrumentação do açude .....	32
3.3.1.2. Levantamento planimétrico da bacia hidráulica do açude .....	33
3.3.1.3. Planejamento das seções batimétricas .....	33
3.3.1.4. Levantamento das seções batimétricas .....	35
3.3.1.5. Levantamento da área de terra da bacia hidráulica.....	38
3.3.1.6. Cálculo do volume e assoreamento .....	38
3.3.2. Levantamento topográfico da área seca.....	39
3.3.3. Uso do solo .....	40
3.3.3.1. Análise das imagens digitais do CBRES_2 para interpretação preliminar ..	40
3.3.3.2. Georreferenciamento da imagem.....	40
3.3.3.3. Processamento digital das imagens.....	42
3.3.3.3.1. Manipulação de contraste .....	42
3.3.3.3.2. Operações aritméticas – razão entre bandas – IVDN .....	43

3.3.3.3.3. Composição Multiespectral Ajustada – CMA (B3+IVDN+B1).....	43
3.3.3.3.4. Segmentação.....	43
3.3.3.3.5. Classificação de padrões.....	44
3.3.3.4. Degradação da vegetação .....	44
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Geração da tabela cota x área x volume .....	45
4.1.1 Geração das curvas cota (m) x área (m <sup>2</sup> ) e cota (m) x volume (m <sup>3</sup> ).....	47
4.1.2 Mapa do levantamento batimétrico automatizado.....	48
4.1.3 Mapa do levantamento topográfico da área seca .....	49
4.2 Cobertura Vegetal.....	49
4.3 Mapa Digital das Classes de Cobertura Vegetal .....	51
4.4 Degradação das Terras.....	54
5. CONCLUSÕES .....	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Classificação de reservatórios pela capacidade Fonte: Carvalho (2000).....	34
Tabela 2	Distanciamento entre seções batimétricas .....	34
Tabela 3	Configuração básica do ecobatímetro.....	36
Tabela 4	Qualidade dos pontos de controle.....	42
Tabela 5	Valores de cota x área x volume atualizados .....	45
Tabela 6	Dados de cota x área x volume do reservatório Vaca Brava nos anos 1937 e 2012. ....	46
Tabela 7	Classes de cobertura vegetal para o ano de 2007 .....	52
Tabela 8	Demonstrativo de áreas das respectivas clareiras.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de uma bacia hidrográfica.....	4
Figura 2	Ordem dos cursos de água numa bacia segundo Chow (1959).....	6
Figura 3	Áreas de preservação permanente referente à mata ciliar Fonte: SEMA/PR, 2007.....	8
Figura 4	Vista parcial da tomada d'água do açude Vaca Brava .....	10
Figura 5	Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes. Fonte Carvalho (1994).....	13
Figura 6	Representa a hierarquia relacional dos principais componentes do sistema, segundo CÂMARA (1995).....	16
Figura 7	Comparação entre estrutura matricial e vetorial. Adaptado de Câmara & Medeiros (1998). .....	17
Figura 8	Organização de uma base de dados geográfica – Adaptado Silvino (2000) .....	18
Figura 9	Receptor GPS Trimble R4.....	21
Figura 10	Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto. Fonte: FLORENZANO (2002).....	22
Figura 11	O espectro eletromagnético. Fonte: Moraes (2000). .....	23
Figura 12	Comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre. Fonte: Moraes (2000). .....	24
Figura 13	Localização geográfica da área de estudo .....	27
Figura 14	GPS Trimble R4 - RTK utilizado para levantamento dos pontos do açude.....	29
Figura 15	GPS Garmin modelo 60 CSx .....	29
Figura 16	Barco de alumínio utilizado no levantamento de campo.....	30
Figura 17	Ecobatímetro Sonarlite, modelo OHMEX. ....	30
Figura 18	Estação Total modelo FOIF.....	32
Figura 19	Lance de réguas instaladas no açude Vaca Brava .....	33
Figura 20	Levantamento do contorno do reservatório Vaca Brava .....	33
Figura 21	Distribuição das seções no caso de pequeno reservatório. Fonte: Carvalho (2000). .....	34
Figura 22	Ecobatímetro medindo profundidade. ....	35
Figura 23	Metodologia de calibração do ecobatímetro.....	35
Figura 24	Processo de identificação de profundidade inconsistente	

	(GUIMARÃES, 2007).....	37
Figura 25	Seções batimétricas levantadas.....	38
Figura 26	Disposição dos pontos de controle na rede de drenagem de na imagem.....	41
Figura 27	Curva cota (m) x área (m <sup>2</sup> ) do reservatório Vaca Brava. ....	47
Figura 28	Curva cota (m) x volume (m <sup>3</sup> ) do reservatório Vaca Brava. ....	48
Figura 29	Mapa de isolinhas das profundidades.....	48
Figura 30	Mapa de isolinhas da área seca.....	49
Figura 31	Composição Multiespectral Ajustada (CMA) – data de passagem 06/04/2007 .....	50
Figura 32	Mapa Digital da bacia hidrográfica de Cachoeira dos Alves (GUIMARÃES, 2008 .....	51
Figura 33	Mapa das classes de cobertura vegetal para o ano de 2007 .....	52
Figura 34	Mata ciliar do reservatório de Vaca Brava .....	53
Figura 35	Detalhe da chegada do rio no reservatório de Vaca Brava.....	54
Figura 36	Localização das clareiras ao longo da reserva da Mata do Pau Ferro (SILVA, 2007 .....	56
Figura 37	Clareira 12- Mata do Pau Ferro. ....	57
Figura 38	Área antrópica e área de mata da área de estudo .....	58
Figura 39	Área desmatada para criação de animais.....	58
Figura 40	Área de capim na região da micro bacia de Vaca Brava .....	59
Figura 41	Solo exposto na região da micro bacia de Vaca Brava.....	59

SILVA, BRENO TAVARES. **Uso de geotecnologias na determinação das condições ambientais e do assoreamento do açude vaca brava, Areia - PB**, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Areia, PB, Setembro de 2012, 67f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Orientador: Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino.

## RESUMO

Atualmente, parece que os políticos e a população esqueceram o que é mata ciliar e sua importância, pois ao lado dos rios, reservatórios e lagos urbanos, em geral, não encontramos mais florestas conservadas. No meio rural o avanço da agricultura, pecuária e outras atividades contribuíram para a redução da vegetação original nas margens dos corpos d'água, criando um ambiente de escassez e insegurança hídrica nunca visto antes. O reflexo dessas atividades, desenvolvidas nas bacias hidrográficas, é sentido diretamente nos rios e reservatórios. Com o solo descoberto ou com pouca vegetação, ocorre o transporte de sedimentos pela ação das chuvas, ocasionando o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. O assoreamento é um processo natural e muito antigo. Porém, as atividades antrópicas vêm acelerando este processo através de desmatamentos, técnicas agrícolas inadequadas, urbanização. O processo de assoreamento tem trazido grandes prejuízos aos mananciais, como o aumento do nível dos leitos dos rios, desaparecimento de suas nascentes e diminuição da capacidade de armazenamento de reservatórios. Desta forma, é de suma importância a aplicação de metodologias e técnicas que visem quantificar, de forma precisa, o grau de assoreamento dos reservatórios. Por conseguinte, este trabalho objetivou realizar um levantamento batimétrico automatizado para calcular o grau de assoreamento do açude de Vaca Brava, situado no município de Areia – PB. A metodologia consistiu na utilização de técnicas de posicionamento por satélites (GPS) para a realização da batimetria, bem como de topografia convencional para complementação do cálculo do volume, além de recursos do sensoriamento remoto para a confecção de cartas digitais da cobertura vegetal da microbacia de Vaca Brava. Os dados do projeto inicial indica um volume de **3.699.613,00 m<sup>3</sup>**, sendo este açude responsável pelo abastecimento de três cidades, contemplando aproximadamente uma população de 92 mil pessoas. Os resultados da batimetria comparados com os dados do projeto inicial nos mostrou que houve uma diminuição no volume do reservatório de **10,50%**, em 75 anos de funcionamento, correspondendo a uma taxa de **0,14% ao ano** (abaixo da média nacional que é de 0,5%). Este baixo valor na taxa de assoreamento nos faz concluir o quanto é importante a conservação e preservação da mata ciliar no entorno e principalmente a montante dos reservatórios. Desta feita, o uso de geotecnologias se mostrou imprescindível na gestão dos recursos hídricos pela rápida eficiência e na precisão dos dados coletados e gerados.

**Palavras-chave:** assoreamento; geoprocessamento; cobertura vegetal.

SILVA, BRENO TAVARES. **Use of geotechnologies in determining the environmental conditions and the silting of the dam Vaca Brava, Areia - PB**, Center for Agricultural Sciences, UFPB, Areia, September 2012, 67f. Dissertation. Postgraduate Program in Management of Soil and Water. Advisor: Dr. Silvino da Silva Guttemberg.

### ABSTRACT

Currently, it seems that politicians and people forgot what is riparian forest and its importance, because as alongside rivers, reservoirs and urban lakes in general, we don't find any conserved forests. In rural areas the advancement of agriculture, livestock and other activities contributed to the reduction of the original vegetation on the banks of water bodies, creating an environment of scarcity and insecurity water never seen before. The result of these activities, developed in river basins, is felt directly in rivers and reservoirs. With bare soil or low vegetation, occurs sediment transport through the action of rain, causing siltation and eutrophication of water bodies. The sedimentation is a natural process and very old. However, human activities are accelerating this process through deforestation, inappropriate farming techniques, urbanization. The silting process has brought great harm to water sources, such as increasing the level of riverbeds, disappearance of its sources and decreased storage capacity of reservoirs. This way, it is of paramount importance to the application of methodologies and techniques to quantify precisely the degree of siltation of reservoirs. Therefore, this study aimed to conduct a bathymetric survey automated to calculate the degree of silting of the dam de Vaca Brava, located in Areia - PB. The methodology consisted in the use of techniques of positioning satellites (GPS) to perform bathymetry and topography to complement the conventional calculation of the volume, in addition to remote sensing resources for making digital maps of vegetation of the watershed Vaca Brava. The initial project data indicates a volume of **3,699,613.00 m<sup>3</sup>**, which is responsible for supplying dam of three cities, covering a population of approximately 92,000 people. The results bathymetry compared to the initial data showed that there was a decrease in the volume of the reservoir **10.50%** at 75 years of operation, corresponding to a rate of **0.14% per annum** (the national average is 0.5%). This low value of the rate of siltation leads us to conclude how important is the conservation and preservation of riparian vegetation in the surroundings and especially upstream reservoirs. Thus, the use of geotechnologies proved indispensable in the management of water resources by rapid efficiency and accuracy of data collected and generated.

**Keywords:** sedimentation; geoprocessing; cover vegetation.



## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente o homem vem se utilizando dos recursos hídricos sem a preocupação de ver neste um bem finito. A crescente demanda pelo uso dos recursos naturais foi acompanhada nas últimas décadas pela preocupação com a quantidade e a qualidade desse recurso. Dessa forma cresceu de forma acentuada o valor da Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento (NASCIMENTO & VILLAÇA, 2008).

Segundo Sirigate (2005), como constituinte inorgânico encontrado em maior quantidade nos seres vivos ou como fator de consumo nas atividades humanas, a água é um elemento vital para os ecossistemas e básica para o desenvolvimento humano.

Em todo o mundo os múltiplos usos desse recurso abundante, porém finito, se dividem essencialmente em agricultura, indústria e consumo doméstico. Em termos gerais as fontes de água é muito mal distribuída e a poluição geradas pela atividade do homem está comprometendo as que se encontram ainda preservadas.

O aporte de efluentes domésticos, agropastoris e industriais lançados sem tratamento adequado em corpos hídricos e a erosão causada pela má conservação das matas ciliares, entre outros, são alguns exemplos dos responsáveis pela alteração das características físicas, químicas e biológicas dos rios e lagos, especialmente quando se tratam de mananciais de abastecimento público.

A remoção da vegetação nativa provoca vários danos ao meio ambiente, tais como: alteração climática, extinção de fauna e flora, promove e acentua o processo erosivo, causa prejuízos para a agricultura, etc. Quando à cobertura florestal se mantém intacta a infiltração da água da chuva no solo é maior que em florestas com índice de desflorestamento acentuado.

O desmatamento altera as condições do solo e da vegetação em breve espaço de tempo, pois, provoca a lixiviação dos nutrientes do solo e, conseqüentemente altera os atributos físicos e químicos do solo. Além disso, ocasiona um rápido acúmulo de sedimentos nos lagos e nas planícies de inundação dos rios em virtude da erosão do solo nas vertentes (DREW, 1998).

Portanto, há necessidade de gerenciamento dos mananciais de abastecimento público de água. Uma vez contaminado ou poluído, estes mananciais podem prejudicar o processo de tratamento de água e, conseqüentemente, oferecer algum tipo de risco à saúde da população abastecida.

Neste sentido, a nossa preocupação é maior pelo fato de estarmos inseridos numa região que tradicionalmente sofre com escassez d'água. A escassez de água no Nordeste está atrelada às condições climáticas dominantes em grande parte do seu território. O predomínio de um clima semi-árido com estações chuvosas curtas e com má distribuição é um dos principais agravantes do problema.

Para minimizar estes problemas, há muito se tem realizado grandes obras hidráulicas, a fim de juntar água para suprir às necessidades das comunidades em épocas de secas.

Observa-se, no entanto, que algumas atividades antrópicas são desenvolvidas de forma indiscriminada, tornando o solo, muitas vezes, suscetíveis a processos erosivos, provocando a sua degradação.

As conseqüências dessas atividades são grandes volumes de sedimentos transportados para os corpos hídricos, principalmente em função das águas de chuva. Esse grande aporte de material sólido acarreta graves prejuízos aos reservatórios, como o assoreamento e inviabilização do abastecimento humano.

O uso de geotecnologias e de ferramentas do geoprocessamento se configura como ferramentas importantes para o gerenciamento e monitoramento dos recursos naturais. O baixo custo e a alta eficiência na sua aplicação tem tornado seu uso cada vez mais presente, principalmente no monitoramento da degradação do solo e da vegetação.

Por tanto, o objetivo do trabalho foi realizar um levantamento batimétrico automatizado no açude de Vaca Brava a fim de determinar o índice de assoreamento, bem como, fazer um levantamento da cobertura vegetal em toda a microbacia, de modo a conscientizar a população dos riscos futuros que estarão passíveis de acontecer, caso as atividades desordenadas continuem a se desenvolver.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar estudo das condições atuais da bacia hidráulica do açude Vaca Brava, bem como das condições ambientais da bacia hidrográfica do referido açude.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar a batimetria da área molhada da bacia hidráulica do açude Vaca Brava;
- Realizar levantamento topográfico da área seca da bacia hidráulica do açude Vaca Brava;
- Atualizar a tabela cota x área x volume do reservatório;
- Determinar a planimetria do açude;
- Gerar o mapa de profundidades;
- Gerar mapas digitais da cobertura vegetal da microbacia de Vaca Brava, bem como das classes de vegetação;
- Associar o índice de assoreamento à presença da vegetação na área de estudo.

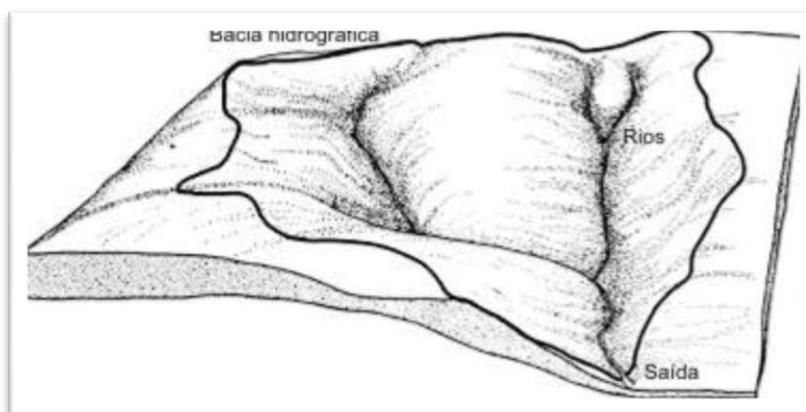
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Bacias Hidrográficas

Segundo a Lei 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Também denominada de bacia fluvial ou bacia de contribuição, bacia hidrográfica pode ser definida como uma área, delimitada por divisores de água, que drena superficialmente a água das chuvas para um grande lago ou para o mar (Orsolini et al, 2000).

Segundo Rocha (1997), bacia hidrográfica é uma área que drena as águas de chuva por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e deságüe diretamente no mar ou num grande lago. Para ele as bacias hidrográficas não têm dimensões superficiais definidas.



**Figura 1.** Esquema de uma bacia hidrográfica

Tucci (1993) define bacia hidrográfica como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e os transpirados e também os infiltrados profundamente.

Microbacias também tem o conceito igual ao de bacias e deságua em outro rio, mas estas têm dimensões superficiais menores a 20.000 ha.

A bacia hidrográfica constitui em uma unidade hidrológica natural. Representa a unidade mais lógica para o desenvolvimento do planejamento de recursos hídricos, pois permite que o foco das atenções se concentre nestes recursos. O conceito de bacia

hidrográfica a resolver vários problemas e conflitos ambientais, que para ser resolvido precisa-se de uma visão integrada, como por exemplo, a poluição da água, assoreamento dos rios, perda de fertilidade e produtividade do solo, poluição orgânica e deterioração da fauna e flora (EPA, 1996).

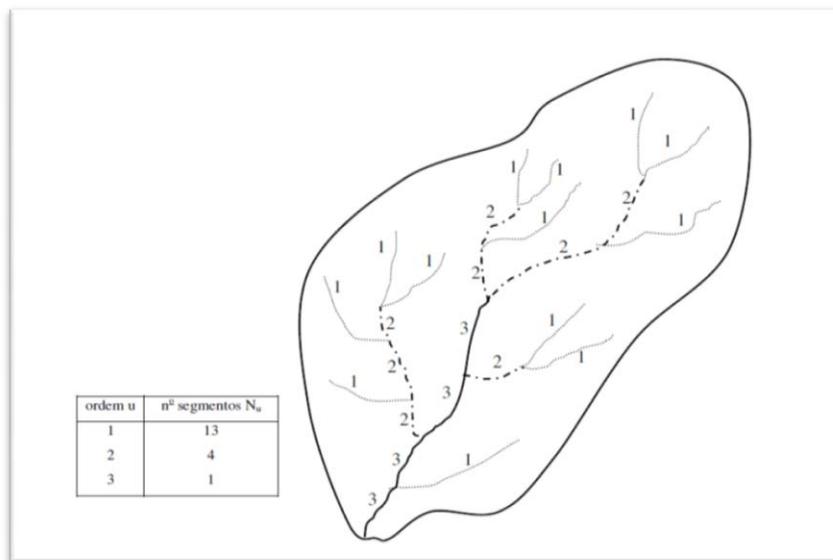
As características físicas primárias de uma bacia são: Morfologia (área, forma, elevação, declividade, orientação, e rede de drenagem), tipos de solo, capacidade de armazenar água e cobertura vegetal. Os efeitos dessas características físicas são óbvias, porém sua quantificação é, geralmente, de difícil avaliação, pois seus efeitos se sobrepõem. O efeito de todas essas características combinadas entre si definirá o tamanho da bacia hidrográfica. Duas bacias com áreas equivalentes, por exemplo, podem ter comportamentos completamente distintos (Raudkivi, 1979).

### **2.1.1. Área e perímetro da bacia**

A área da bacia, também chamada de área da drenagem ou área de contribuição, é a projeção horizontal da região contida entre os divisores de água. A área é o elemento básico para o cálculo de outras características físicas, e sua determinação é feita através de mapas, obtidos por fotos aéreas, imagens de satélites ou por levantamento topográfico (VIESSMAN, et al., 1972). O tamanho da área da bacia indica o quanto de chuva poderá ser potencializado para gerar volume de água para a seção de referência, e esta, geralmente é expressa em Km<sup>2</sup>. Perímetro é o comprimento da linha divisória da bacia medida em sua planta baixa. Bacias com mesmo perímetro podem apresentar áreas diferentes dependendo de suas formas.

### **2.1.2. Ordem da bacia**

Geralmente a análise das características física de uma bacia se inicia com a identificação da ordem dos cursos d'água que a compõe. Numa bacia calcula-se o número de ordem pela metodologia de Strahler (1957) da seguinte forma: aos pequenos cursos d'água que não possuem tributários é atribuído ordem 1. A partir da confluência de dois cursos de água de ordem 1 formam-se os cursos de água de ordem 2. A partir da confluência de dois cursos de ordem 2 formam-se os cursos de ordem 3, e assim, sucessivamente, conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Ordem dos cursos de água numa bacia segundo Chow (1959)

## 2.2. Ciclo Hidrológico

A dinâmica da água dentro da bacia hidrográfica é regido pelo ciclo hidrológico que nada mais é do que o movimento contínuo das águas no planeta. Este ciclo, em um aspecto global, é fechado, ou seja, não há perdas nem ganho de água. Entretanto, quando se refere ao ciclo em nível de bacia hidrográfica, este ciclo é aberto.

O ciclo hidrológico propriamente dito, os fenômenos básicos são: evaporação e precipitação. Segundo estimativas, calcula-se a precipitação anual total em 551 mil  $\text{km}^3$ , sendo 215 mil  $\text{km}^3$  sobre os continentes e 336 mil  $\text{km}^3$  sobre os oceanos (EAGLEASON, 1970).

Segundo Shiklomanov (1997) a distribuição da água na Terra dar-se da seguinte forma: 97,5% do volume de água é salgada formando os oceanos e mares, e somente 2,5% é de água doce. Vale salientar ainda que, a maior parte dessa água doce (68,7%) não está disponível ao uso humano por estarem armazenadas nas calotas polares e geleiras. As águas de lagos e rios correspondem a 0,27% da água doce, o que corresponde a 0,007% da água total do planeta.

Essa baixa porcentagem de água doce mundial aliado a um aumento crescente do consumo faz a todos pensarem num futuro de forma diferente. A população mundial em 2050 estará entre 10 a 12 bilhões de habitantes, o que representa um aumento de 5 bilhões que a população atual, enquanto que a disponibilidade de água continuará a mesma quantitativamente (OMM/UNESCO, 1997).

### 2.3. Áreas de Preservação Permanente – APP's

Áreas de preservação permanente são aquelas protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º da Lei 4.771/65 (Código Florestal Brasileiro), coberta ou não por vegetação nativa, com função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e proteger o bem estar das populações humanas (BRASIL, 2001; MACHADO, 2002). Estas áreas são basicamente florestas que não podem sofrer corte raso ou utilização direta dos recursos naturais.

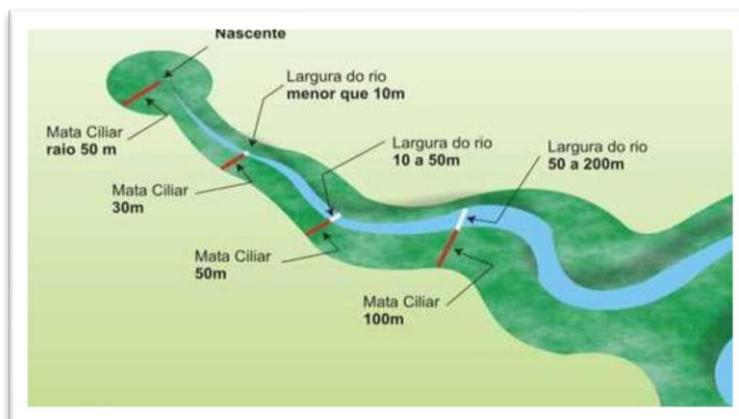
Atualmente, a Lei 4.771/65 e as resoluções 302/02 e 303/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, definem as faixas de preservação permanente da seguinte forma:

- a) Trinta metros de faixa marginal dos cursos d'água, uma vez que os mesmos possuam 10 metros de largura;
- b) Cinquenta metros ao redor das nascentes (perenes ou intermitentes)
- c) Nas encostas ou partes destas, com declividade superior a quarenta e cinco graus;
- d) No topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondentes a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base;
- e) Nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando a curva de nível para cada seguimento da linha de cumeada equivalente a mil metros. Na ocorrência de dois ou mais morros ou montanhas cujos cumes estejam separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangerá o conjunto de morros ou montanhas, aplicando-se o que segue: I – agrupam-se os morros ou montanhas cuja proximidade seja de até quinhentos metros entre seus topos; II – identifica-se o menor morro ou montanha; III – traça-se uma linha na curva de nível correspondente a dois terços deste; e IV – considera-se de preservação permanente toda área a cima deste nível. Morros precisam ter mais de 30% de declividade. Além disso, a altura mínima para ser considerado como morro deve ser de 50 metros em relação à base e para ser considerada montanha é necessário que esta altura seja maior que 500 metros.

Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

- a) 30 metros para os cursos de água de menos de 10 metros de largura;

- b) 50 metros para os cursos de água que tenham entre 10 a 50 metros de largura;
- c) 100 metros para os cursos de água que tenham entre 50 a 200 metros de largura;
- d) 200 metros para os cursos de água que tenham entre 200 a 600 metros de largura;
- e) 500 metros para os cursos de água que tenham largura superior a 600 metros



**Figura 3.** Áreas de preservação permanente referente à mata ciliar  
Fonte: SEMA/PR, 2007

## 2.4. Erosão

### 2.4.1. Processo erosivo

O processo erosivo é um problema que acompanha a humanidade desde o surgimento das primeiras civilizações. Em muitos momentos da história ela foi o principal dizimador de povos e civilizações (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

A erosão é a mais preocupante forma de degradação do solo, principalmente a erosão hídrica (GUTH, 2010).

Os efeitos negativos do processo erosivo têm abrangência local (*in site*), que são impactos diretos na qualidade do solo, consistindo em perdas das propriedades agrícolas, e abrangência global (*off site*), como as mudanças da qualidade das águas naturais, danos à estrutura viária, inundações nas cidades, rompimento nas barreiras, desertificação, assoreamento de corpos de água, etc (TELLES & GUIMARÃES & DECHEN, 2010).

A perda de solo de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada ao uso e manejo do solo (FIQUEIREDO, 1989). Dentre as várias formas de erosão a que merece mais destaque e estudos é a provocada pela ação das águas de chuva, chamada erosão hídrica, pois esta tem maior poder de diminuir a capacidade produtiva de áreas agricultáveis e produzir sedimentos na bacia.

O processo erosivo apresenta ainda um aspecto bastante negativo no que diz respeito à fertilidade do solo. O transporte de sedimento pelo escoamento superficial leva consigo matéria orgânica do solo e nutrientes, que tornam áreas agricultáveis menos produtivas e conseqüentemente aumentando a fertilidade de corpos receptores, podendo causar a eutrofização dos mesmos (BRAGA, 2005). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993), a intensidade da precipitação é o fator mais importante no processo erosivo, pois estudos revelaram que, para uma mesma chuva de 21mm, uma intensidade de 7mm/h produz uma perda de solo cem vezes maior que uma intensidade de 1mm/h.

O processo erosivo envolve “trabalho” onde a energia é fornecida pelo impacto das gotas da água de chuva que caem sobre a superfície do solo e pelo fluxo de água que escorre superficialmente sob ação gravitacional (associada ao declive do terreno) (MEYER, 1971).

Dentro das ciências ambientais erosão é, geralmente, definida como o desgaste da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo entre outros agentes geológicos incluindo o arraste por processos gravitacionais (ACIESP, 1987). Para a Ciência do Solo a erosão é atribuída ao processo de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, do gelo ou de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem (CARVALHO, 2006). Do ponto de vista agrícola seria a desagregação e remoção das partes constituintes do solo, pela ação da água, clima e organismos (Almeida Filho & Junior, 2001).

#### **2.4.2. Problemas decorrentes da erosão**

Assoreamento de um reservatório é a diminuição natural da acumulação de água em função de processos erosivos causados pela água, processos químicos, físicos, antrópicos, que degradam solos e rochas e serão carregados pelas chuvas e depositados na bacia hidráulica do manancial (CARVALHO & JÚNIOR & SANTOS, 2000).

O assoreamento, vale salientar, é um processo natural e muito antigo. Porém as atividades antrópicas vêm acelerando este processo através de: desmatamentos descontrolados, técnicas agrícolas inadequadas, retiradas da cobertura vegetal para dar lugar às pastagens, construção civis, entre tantos outros.

Segundo Infantil & Fornasari (1998), o assoreamento consiste na acumulação de sedimentos no meio aquoso, ocorrendo quando a força do agente transportador natural (água, gelo, vento) é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a supersaturação das águas permite a deposição.

Sperling (1999) comenta que o causador do assoreamento em corpos hídricos é o intenso aporte de material mineral, principalmente areia, silte e argila. Em caso de lagos ou represas, em que o tempo de detenção hídrica é maior que nos rios, favorecem a deposição deste material. A deposição das partículas sólidas pode ir gradativamente se estendendo por todo o fundo do lago, provocando conseqüentemente a diminuição de sua vida útil.

Quanto aos efeitos do assoreamento, Kutner (1977) destaca as consequências hidráulicas e econômicas graves, colocando em risco a geração de energia, o abastecimento de cidades, e a navegabilidade de corpos hídricos.

Em específico, no caso do açude de Vaca Brava, Microregião do Brejo Paraibano, no mês de Março de 2011, o nível da água ficou abaixo da tomada de água (Figura 4).



**Figura 4.** Vista parcial da tomada d'água do açude Vaca Brava

De acordo com Campagnoli (1998), a utilização dos “índices de assoreamento” tem se constituído em uma importante ferramenta para o controle da qualidade da água e do acúmulo de sedimento. Portanto, análises periódicas do índice de assoreamento são recomendáveis para possíveis medidas corretivas e preventivas que visem à mitigação dos processos erosivos em bacias hidrográficas.

Guimarães (2007), ao estudar a bacia hidrográfica do açude Cachoeira dos Alves, localizado no município de Itaporanga-PB, encontrou um índice de assoreamento de 16,74%, e uma taxa estimada em 0,76 (acima da média nacional).

Um estudo realizado pelo Banco Mundial (MAHMOOD, 1987) mostrou que a vida média dos reservatórios do mundo todo decresceu de 100 para 22 anos. Neste mesmo estudo evidenciou que a perda média anual de volume dos reservatórios devido ao depósito de

sedimentos era de 1%. Estudos realizados pela Eletrobrás/IPH (1994) concluiu que a perda média anual de volume no Brasil era de, aproximadamente 0,5%.

### **2.4.3. Elementos formadores**

Dentre os principais fatores condicionantes dos processos erosivos responsáveis pelo o assoreamento dos reservatórios estão os fatores climáticos, como precipitação e intensidade, o solo, o relevo, a declividade e a cobertura vegetal (CARVALHO & JÚNIOR & SANTOS, 2000).

A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo, pelo impacto das gotas que caem com velocidade e energia variáveis, dependendo do seu diâmetro, e pelo escoamento da enxurrada. O volume e a velocidade da enxurrada variam com a intensidade da chuva, com a inclinação e comprimento do declive do terreno e com a capacidade de infiltração do solo. A resistência que o solo exerce à ação erosiva da água é determinada por suas características ou propriedades físicas e químicas, e pela natureza e quantidade do revestimento vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993).

A precipitação é um fator importante controlador do ciclo hidrológico e um dos fatores climáticos de maior relevância na erosão dos solos. As quantidades relativas de precipitação (volume), seus regimes sazonais (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais (COELHO NETTO, 1998).

Para BERTONI & LOMBARDI NETO (1993), a intensidade das chuvas é o fator mais importante no mecanismo de erosão, pois estudos revelam que, para uma mesma chuva total de 21 mm, uma intensidade de 7,9 mm/h produz uma perda de solo cem vezes maior que uma de 1 mm/h.

Os solos reagem de forma diferenciada ao impacto das gotas da chuva, bem como ao escoamento da água sobre ele. Dependendo de suas propriedades, alguns solos são mais susceptíveis que outros, ao desprendimento e arraste de suas partículas pelas chuvas favorecendo a aceleração do processo de erosão.

O relevo tem uma forte influência na evolução e desenvolvimento dos solos, pois sua conformação exerce um controle efetivo na dinâmica da água e dos sedimentos, sendo um dos agentes mais importantes que influem na capacidade produtiva do solo, juntamente com o clima (OLIVEIRA et al., 1992). Ainda de acordo com Oliveira et al. (1992), em regiões montanhosas, os declives fortes favorecem a erosão, quase sempre em níveis

superiores ao limite de tolerância de perda de solo. Se a quantidade de solo erodido for maior que o formado, a capacidade produtiva do solo diminui. Mas se a quantidade do solo formado for, aproximadamente, igual ao erodido, o sistema se mantém sustentável.

A declividade adquire maior importância com o comprimento da encosta. Por essa razão, a influência do relevo nos processos erosivos é analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento de encosta.

Segundo SANTOS (1999) a suscetibilidade à erosão dos solos é favorecida pela declividade do terreno. No caso do latossolo vermelho-amarelo, por exemplo, varia de moderada a forte com o aumento da declividade de 25% a 60%.

A cobertura vegetal, segundo WISLER e BRATTER (1959), tem um papel mais importante do que o tipo do solo. Conforme os autores, quando se comparam as condições de dois solos iguais, um sem cobertura e o outro com cobertura espessa, a superfície do solo sem cobertura aparece dura, densamente compactada pela chuva, enquanto que o outro solo apresenta uma camada de resíduos vegetais, e o solo encontra-se solto com alta permeabilidade, facilitando a infiltração.

A ocupação irregular e as atividades de silvicultura e agropecuárias destacam-se, na literatura, como as principais ações antrópicas. Na agricultura, o cultivo sem rotação de culturas, o uso excessivo de fertilizantes, as queimadas e o desmatamento, além do uso demasiado de máquinas e equipamentos pesados, com operações repetidas e sempre na mesma profundidade, degradam os recursos naturais destruindo a matéria orgânica, dando origem às camadas endurecidas com redução da permeabilidade do solo, e, assim, provocando a erosão.

#### **2.4.4. Deposição e distribuição dos sedimentos no reservatório**

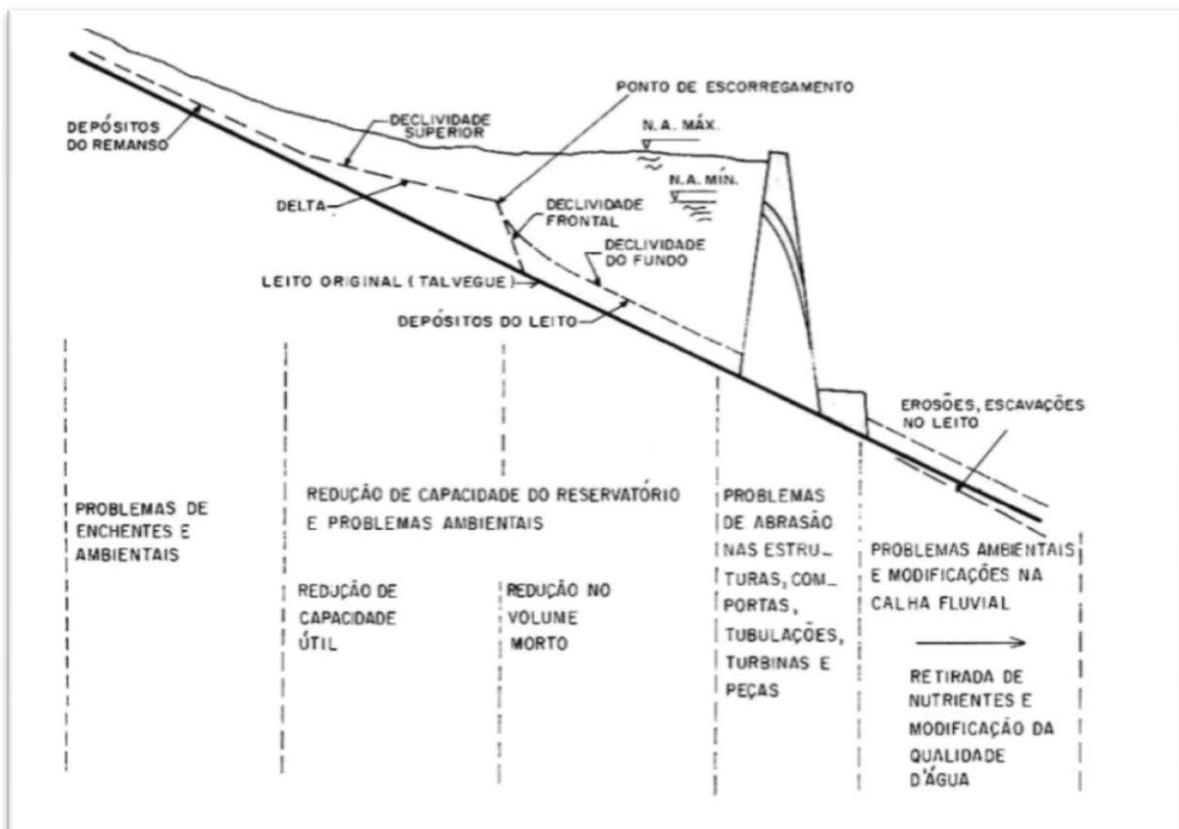
Segundo CARVALHO *et al.* (2000), o curso de água, ao entrar no reservatório, tem as áreas das seções transversais aumentadas, enquanto as velocidades da corrente decrescem, criando condições de deposição de sedimento. As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositar, enquanto o sedimento mais fino adentra no reservatório. A barragem constitui um impedimento à passagem da maior parte das partículas para jusante, o que pode ocorrer com o escoamento pelo vertedouro e pelos condutos.

À medida que o assoreamento cresce, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, a influência do remanso aumenta para montante, as velocidades no lago aumentam e

maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante do barramento, diminuindo a eficiência de retenção das partículas.

Sedimentos que se deposita pela influência do reservatório se estendem para montante e para jusante, não se distribuindo uniformemente mesmo dentro do lago. A deposição de montante se denomina depósito do remanso (“backwater deposit”), em referência ao fenômeno hidráulico, sendo também remontante à medida que aumentam os depósitos nessa área. As deposições de dentro do reservatório são chamadas de delta (“delta”), depósito de margem (“overbank”) e depósito do leito (“bottom-set deposit”). O delta se forma com sedimentos grossos, enquanto os depósitos do interior, com sedimentos mais finos (MAHMOOD, 1987). As enchentes produzem outro tipo de deposição, ocorrendo ao longo do curso da água e do reservatório, formado por sedimentos finos e grossos e que é denominado depósito de várzea ou depósito de planície de inundação.

A Figura 5 ilustra esquematicamente a formação dos depósitos devido à existência do reservatório, bem como indica os principais problemas decorrentes.



**Figura 5.** Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes (Carvalho (1994).

## 2.5. Geoprocessamento

Os modelos do mundo real compreendem entidades tais como rios, bacias, redes viárias e de infraestrutura, áreas desmatadas, formações geológicas, jazidas, propriedades, etc. cuja caracterização é parte integrante de qualquer processo de modelagem que se adote. O conjunto de estratégias de aquisição e processamento de informações espaciais e de tecnologias de desenvolvimento e aplicações de sistemas que utilizem tais informações denomina-se Geoprocessamento (RODRIGUES, 1990).

Geoprocessamento, segundo Câmara (2001), denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análises de recursos naturais, transporte, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

Para Rodrigues (1993), “Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltadas para um objetivo específico”.

Silva (2001) define geoprocessamento como “um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental, a partir de uma base de dados georreferenciados”. Um dado georreferenciado é aquele que possui latitude e longitude. Este conjunto (de técnicas) possui como principal ferramenta o *geographical Information System – GIS* considerado também como Sistema de Informação Geográfica – SIG. Para que um SIG desempenhe suas funções, há necessidade da aquisição de dados. A aquisição de dados em geoprocessamento deverá partir de uma definição clara dos parâmetros, indicadores e variáveis. Esses dados são adquiridos juntos dos órgãos competentes, como Prefeituras, Ministérios, IBGE, Concessionárias, e etc.

A digitalização é um dos procedimentos mais utilizados para aquisição de dados pré-existent. O custo para gerar dados é caro, então deve-se aproveitar ao máximo os dados analógicos, convertendo-os para forma digital.

O geoprocessamento vem sendo difundido cada vez mais por todo mundo como uma ferramenta para tratamentos de dados espaciais georreferenciados. Sobretudo no Brasil, país de dimensões continentais, com carência de informações adequadas para tomadas de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente. Costuma-se dizer genericamente que, “Se onde é

importante para seu negócio, então geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho” (CÂMARA, 2001).

Os sistemas de geoprocessamento foram resultado da evolução de diversas ciências correlatas, por exemplo: a topografia, cartografia, computação digital, sensoriamento remoto entre outras.

### **2.5.1. Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

As ferramentas computacionais para geoprocessamento, que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e também criar banco de dados georreferenciados são chamadas de Sistemas de Informação Geográficas.

Segundo Burrough (1998), Sistemas de Informação Geográficas são um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação, e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos.

Sistemas de Informações Geográficas são sistemas para captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados (DOE, 1988)

Segundo Lisboa (1997), a expressão Sistema de Informação Geográfica caracteriza os sistemas de informação que possibilitam a realização de operações de análise espacial envolvendo dados georreferenciados.

Percebe-se então que cada autor faz uma abordagem diferente sobre os Sistemas de Informações Geográficas, evidenciando uma pluralidade de usos e visões possíveis desta tecnologia. O que é de consenso entre os pesquisadores é que os dados devem ser georreferenciados, ou seja, referenciados geograficamente em relação à superfície da Terra.

Os SIG's constituem uma ferramenta de excelência para análises do espaço geográfico, atribuindo-lhes dados e possibilitando a manipulação de sua topologia.

O Sistema de Informação Geográfica foi desenvolvido na década de 60, como forma de sobrepor e combinar vários tipos de dados em um único mapa. Já na década de 70 surge, em Haward o projeto pioneiro do SIG, denominado SYMAP, que produzia mapas de declividade com o auxílio de uma impressora matricial.

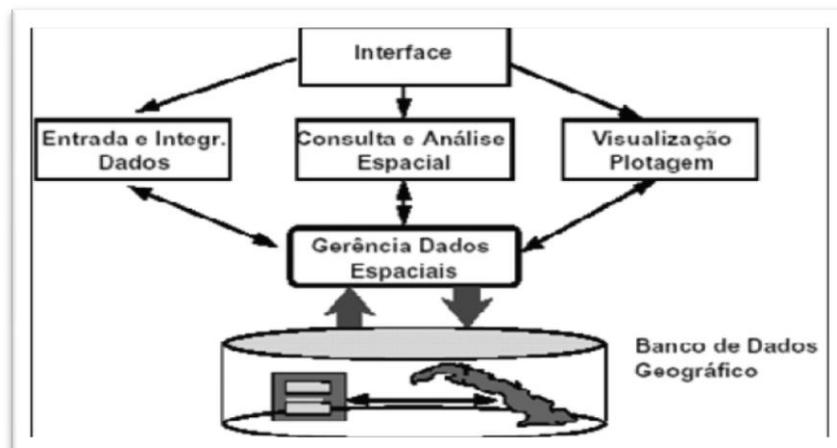
Os Sistemas de Informação Geográficas surgiu basicamente para atender planejadores aliados às técnicas de CAD (*computer aided desing*) e banco de dados. Entretanto, na década de 80 ampliaram os aplicativos com o aparecimento de softwares específicos para as mais diversas áreas, tais como meio ambiente, segurança pública, transporte, agricultura, obras de engenharia, turismo, etc.

### 2.5.2. Estrutura Básica de um SIG

Segundo Câmara (1995), um sistema de informação geográfica é composto essencialmente pelos seguintes componentes:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento sob a forma de banco de dados geográficos.

A Figura 6 mostra um esquema hierárquico entre os principais componentes que formam um Sistema de Informação Geográfico.



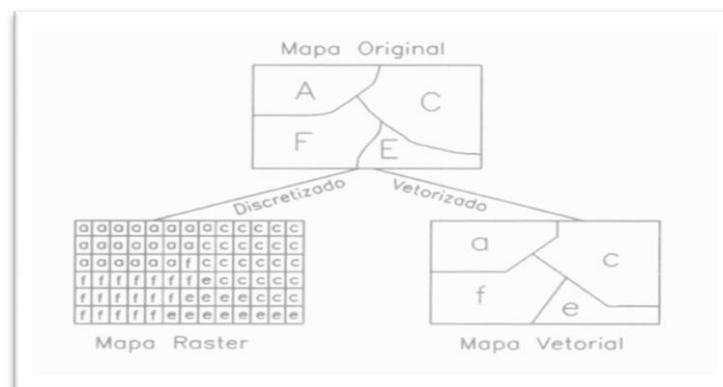
**Figura 6.** Representação da hierarquia relacional dos principais componentes do sistema CÂMARA (1995).

Nos Sistemas de Informação Geográfica estes componentes se relacionam de forma hierárquica, tendo a interface homem-máquina como o nível mais próximo do usuário e define como o sistema é operado e controlado. No nível interno, um sistema de gerenciamento de banco de dados geográficos oferece o armazenamento e recuperação dos dados especiais e seus atributos.

Existem basicamente duas formas de representar dados espaciais em um SIG: vetorial e matricial. Estas duas maneiras são de fundamental importância em termos de análises das funcionalidades do sistema.

Conforme Oliveira (2000), nos SIG's do tipo vetorial cada entidade do mundo real contida no espaço analisado é representada no banco de dados por um objeto do tipo ponto, linha ou polígono. Na estrutura vetorial nem todas as posições do espaço precisam estar referenciadas na base de dados. Tecnicamente falando esses modelos de mapas são compostos por pontos, linhas e polígonos. Internamente um SIG representa os pontos, linhas e polígonos e áreas como conjunto de pares de coordenadas. Os pontos são representados por apenas um par de coordenadas, enquanto que linhas e áreas são representadas por sequências de pares de coordenadas, sendo que na área o último ponto coincide com o primeiro.

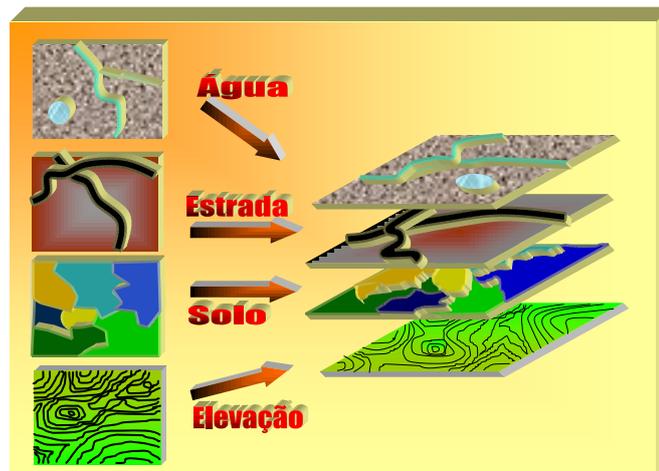
Conforme Lisboa (1997), SIG's que utilizam estrutura tipo matricial a informação é organizada em células (quadrículas). A posição de cada célula é definida pela linha e pela coluna onde a mesma está organizada na grade. Cada célula armazena um valor que corresponde à grandeza do fenômeno que ocorre naquela posição. As células ficam completamente preenchidas, de forma que, cada célula corresponda a uma porção do espaço que está sendo representada. A Figura 7 abaixo compara as duas estruturas.



**Figura 7.** Comparação entre estrutura matricial e vetorial Câmara & Medeiros (1998).

### 2.5.3. Conceitos geográficos de banco de dados

Independente da lógica usada para a representação espacial de dados, raster ou vetorial, pode-se comparar uma base de dados geográfica – a uma base de dados completa sobre uma determinada região – como uma organização similar a uma coleção de mapas, conforme mostra a Figura 8. Sistemas vetoriais podem ser considerados mais próximos desta lógica, já que as informações de interesse são estruturadas em camadas (coverages) – conjunto de dados organizados com mapas que contêm as definições geográficas de um conjunto de feições e suas tabelas de atributos associados (EASTMAN, 1995).



**Figura 8.** Organização de uma base de dados geográficas – adaptado de Silvino (2000)

Os sistemas raster também usam uma lógica parecida com a de um mapa, mas geralmente dividem os conjuntos de dados em planos unitários. Um plano contém todos os dados para um único atributo. Dessa maneira, pode haver um plano de solos, um plano de estradas e um plano de uso da terra. Em alguns sistemas raster, também é possível ligar um plano identificador de feições (um plano que contém os identificadores das feições localizadas em cada célula de grade) com tabelas de atributos. Mais comumente, existirão planos separados para cada atributo a partir dos quais, isolados ou em combinação, serão feitas visualizações em tela ou mapas em papel (IDRISI, 1992).

Adicionalmente, muitos SIGs oferecem utilitários para mudar o sistema de projeção cartográfica e de referência de planos digitais, isto permite que múltiplos planos, digitalizados a partir de mapas com várias projeções e sistemas de referência, sejam convertidos a um sistema comum (IDRISI, 1992).

Com a possibilidade de gerenciar diferenças de escala, projeção e sistema de referência, os planos podem ser fundidos com facilidade, eliminando um problema que tem tradicionalmente dificultado o planejamento de atividades com mapas em papel. É importante observar, entretanto, que a questão da resolução da informação nos planos de dados permanece. Embora feições digitalizadas de um mapa mundial em escala pequena possam ser combinadas em um SIG com feições digitalizadas a partir de um mapa local de escala grande, como um mapa de ruas de uma cidade, isto normalmente não deveria ser feito. O nível de exatidão e detalhe do dado digital pode ser apenas tão bom quanto o dos mapas originais (IDRISI, 1992).

#### 2.5.4. Aplicabilidade dos SIG's

Os SIG's vem sendo bastante difundido desde a década de 60, quando da sua criação. Porém, a partir da década de 80, com o desenvolvimento de tecnologias mais potentes de hardwares e softwares, paralelamente a diminuição dos custos destes equipamentos, contribuiu para disseminar o uso dessa tecnologia nas mais diversas áreas do conhecimento (LISBOA, 1997).

A aplicabilidade dos SIG's nos órgãos públicos é cada vez mais intenso, principalmente naqueles que têm como tarefa o controle e a gestão do espaço geográfico. Lisboa (1997) classifica essas aplicabilidades em cinco classes distintas:

- Ocupação humana: redes de infra-estruturas; limpeza urbana; cadastramento territorial urbano; controle epidemiológico; controle de tráfego aéreo, mapeamento eleitoral; sistema de cartografia náutica.
- Uso da terra: planejamento agropecuário; estocagem e escoamento de produção agrícola; gerenciamento de bacias hidrográficas; cadastramento de propriedades rurais; levantamento topográfico.
- Uso de recursos naturais: controle do extrativismo vegetal e mineral; planejamento de oleodutos e gasodutos; gerenciamento costeiro e marítimo; distribuição de energia.
- Meio Ambiente: controle de queimadas, estudos de modificações climáticas; gerenciamento florestal de desmatamento.
- Atividades econômicas: pesquisas socioeconômicas; transporte de produtos e matérias primas.

#### 2.6. Sistema de Posicionamento Global – GPS

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de navegação por satélites desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 70 e 80 e colocado em operação na década de 90.

Os primeiros programas desenvolvidos pelos EUA para implementar um sistema de navegação por satélites resultaram nos sistemas TRANSIT (inicialmente denominado “Navy Navigation Satellite System - NNSS, ou NAVSAT) e TIMATION (de TIME navigATION) ambos sob a responsabilidade da Marinha norte- americana através do NRL (Naval Research Laboratory), em 1958 e 1964, respectivamente.

### 2.6.1. Características do sistema

O princípio básico de funcionamento do GPS consiste em determinar as coordenadas de posição  $(X,Y,Z)_u$  do usuário a partir do conhecimento das coordenadas de posição de três pontos (chamados de “fixos”)  $(X,Y,Z)_i$ ,  $i=1,2,3$ , e da distância entre o usuário e cada um dos fixos,  $r_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Os fixos são os satélites. Cada satélite envia um sinal digital informando sobre sua posição. Portanto é preciso decodificar a mensagem dos satélites para obter as coordenadas de posição de cada "fixo" (satélite). O usuário mede a distância a cada fixo através do tempo de propagação do sinal transmitido pelo satélite (o satélite envia na mensagem digital o instante de transmissão da mensagem e o usuário possui um relógio sincronizado com o relógio do satélite). A distância consiste no produto do tempo de propagação pela velocidade de propagação da onda (velocidade da luz). O problema matemático consiste na solução de um sistema de três equações não-lineares a três incógnitas:  $(X,Y,Z)_u$  (BOSSLER et al., 1979).

Segundo ASHJAE (1986), para melhor identificar os parâmetros que afetam o funcionamento do sistema, o GPS é dividido em três segmentos principais:

- a) Segmento espacial - constituído pelos satélites;
- b) Segmento de controle - constituído pelas estações terrestres que controlam o desempenho e o funcionamento do sistema;
- c) Segmento usuário - constituído por todos os usuários do sistema.

### 2.6.2. Receptores

O princípio básico de funcionamento da transmissão dos sinais GPS é o Spread-Spectrum (Espectro Espalhado ou Espalhamento do Espectro), que consiste em espalhar o espectro do sinal transmitido e “re-compactar” o espectro no receptor, aumentando com isso a relação sinal/ruído (S/R) na recepção e a imunidade a interferências espúrias (intencionais ou não) (ANDRADE, 1995).

A Figura 9 apresenta a estrutura básica de um receptor GPS. A antena deve ter características omni-direcionais para poder captar qualquer satélite em qualquer região acima do horizonte (na prática a Força Aérea Americana- FAA- recomenda apenas a utilização de satélites acima de 7,5 graus da linha do horizonte) e ser isotrópica para ter igual ganho em todas as direções. Antenas helicoidais (cônicas ou cilíndricas) e antenas do tipo micro-strip

são largamente utilizadas. A primeira etapa de RF consiste num pré-amplificador com alta relação S/R e filtros para eliminar sinais com frequências próximas dos sinais L1 e L2 . Após esta etapa os sinais L1 e L2 são convertidos para frequências intermediárias menores. Os loops de código e da portadora recuperam os sinais digitais codificados e os efeitos Doppler na portadora, respectivamente. O loop de código utiliza a técnica de correlação para sincronizar os sinais codificados (C/A ou P). Os dados digitais (da mensagem GPS) são recuperados após o loop de código (BESER & PARKINSON, 1982).



**Figura 9.** Receptor GPS Trimble R4

## **2.7. Sensoriamento remoto (SR)**

### **2.7.1. Conceitos preliminares**

O termo sensoriamento remoto - SR refere-se à aquisição de dados e informações obtidas à distância de um objeto a ser estudado. Pode ser entendido como um conjunto de *softwares* e *hardwares* utilizados na coleta e tratamentos de informações espectrais obtidas à distância.

Moreira (2001) define um SR como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície ou de um objeto, através de um sensor, sem que haja contato entre eles. Para NOVO (1989), SR é definido como sendo a utilização de sensores a bordo de aeronaves ou espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através da análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

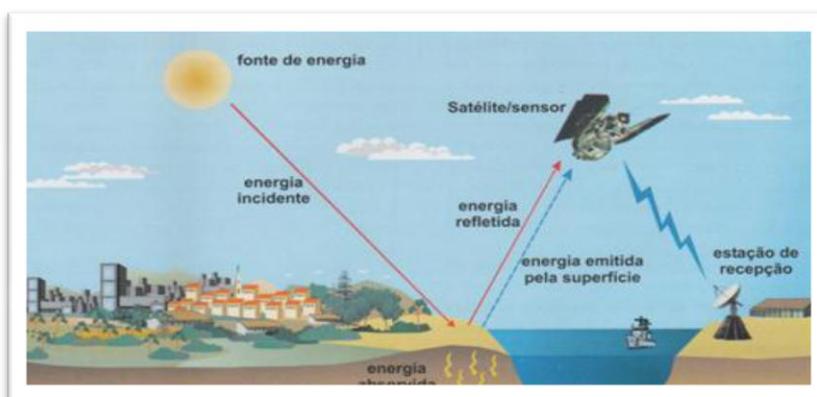
No sensoriamento remoto, a maior parte dos sensores utilizados para capturar as radiações eletromagnéticas provenientes dos alvos da superfície terrestre, utiliza o sol como

fonte de radiação. Exceto os sensores “ativos” (radares e laser) que possuem suas próprias fontes de radiação, os quais podem detectar informações sobre a superfície terrestre sob qualquer condição atmosférica (RODRIGUEZ, 2005).

### 2.7.2. Radiação Eletromagnética (REM)

O elemento fundamental nas técnicas de sensoriamento remoto é a REM, que se propaga no vácuo à velocidade da luz e sua interação com o meio físico pode ser explicada através de dois modelos: o modelo corpuscular (quântico) e o ondulatório.

A energia eletromagnética refletida pelos objetos na superfície terrestre é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Essa energia é captada pelos sensores e convertidas em sinais elétricos que são transmitidos para estações terrestres. Por sua vez, os sinais enviados às estações são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens. A partir desses dados é possível obter informações sobre as características dos objetos na superfície da Terra (GUIMARÃES, 2007).

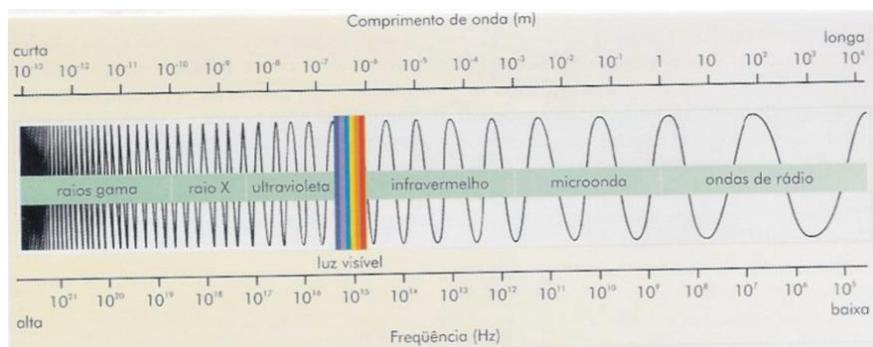


**Figura 10.** Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto  
FLORENZANO (2002)

O nível de aquisição dos dados em sensoriamento remoto está diretamente ligado à altitude do sensor. Dependendo da distância haverá diferenças na dimensão da área detectada, na interferência dos fatores ambientais, na radiação eletromagnética registrada pelo sensor, assim como no nível de informação (MAZZOCATO, 1998).

### 2.7.3. Espectro eletromagnético

A energia eletromagnética pode ser organizada por regiões, de acordo com o comprimento de onda e a frequência, recebendo o nome de espectro eletromagnético (Figura 11). O espectro abrange desde curtos comprimentos de onda, como os raios cósmicos e os raios gama, de alta frequência, até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio e TV, de baixa frequência (FLORENZANO, 2002).



**Figura 11.** O espectro eletromagnético Moraes (2000).

Existem regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera quase não afeta a energia eletromagnética, isto é, a atmosfera é transparente à energia eletromagnética proveniente do Sol ou da superfície terrestre. Estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas. Nessas regiões são colocados os detectores de energia eletromagnética, e, portanto, onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres.

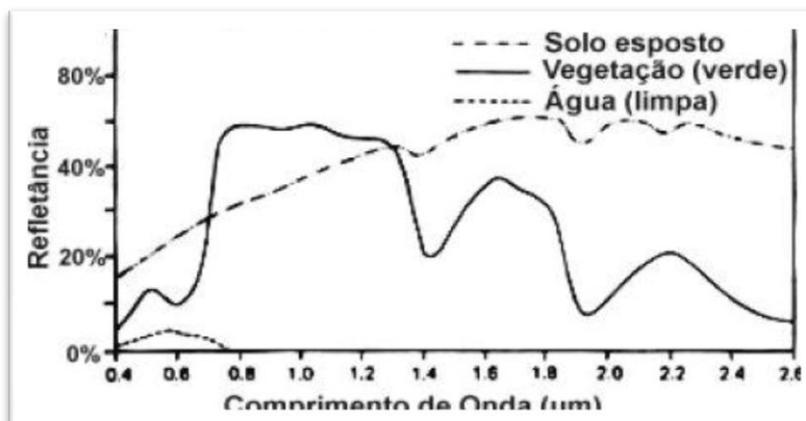
As interações da energia eletromagnética com os constituintes atmosféricos influenciam a caracterização da energia solar e terrestre disponíveis para o sensoriamento remoto de recursos naturais (MORAES, 2000).

As imagens, produtos do sensoriamento remoto, são submetidos a diversos tipos de processamento digitais de modo que as tornem possíveis de interpretações e análises.

### 2.7.4. Comportamento espectral dos alvos

A interação do fluxo de radiação eletromagnética com os elementos terrestres representa o comportamento espectral dos alvos (LILLESAND; KIEFER 1994). Cada elemento na superfície terrestre interage diferentemente com cada faixa espectral. Os átomos no estado fundamental, ao serem incididos por radiação eletromagnética, passam a ter

elétrons excitados que absorvem a energia incidente e posteriormente a devolvem ao meio ambiente, completa ou parcialmente, dependendo do material em questão e da faixa espectral. A Figura 12 mostra o comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre: solo, vegetação e água.



**Figura 12.** Comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre Moraes (2000).

### 2.7.5. Sistemática para o georreferenciamento de imagens

O georreferenciamento de uma imagem ou mapa, ou ainda qualquer forma de informação geográfica é tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência. Para estabelecer a relação entre os pontos da imagem com o sistema de referência são utilizadas transformações geométricas simples, como transformações de 1º e 2º grau. Através de pontos de apoio (pontos de controles), a transformação polinomial faz o relacionamento entre os pontos da imagem com as coordenadas no sistema de referência.

Pontos de controle são feições passíveis de identificação tanto na imagem de ajuste (imagem a ser registrada) quanto no sistema de referência. As coordenadas de imagem são adquiridas ao selecionar o ponto de controle na imagem. E as coordenadas de referência podem ser obtidas por meio de mapas confiáveis que possuem as feições homólogas usadas como pontos de controle, ou por dados vetoriais existentes e imagens georreferenciadas como fontes de extração de coordenadas de referência. Ou ainda, por medições feitas diretamente no terreno com receptores GPS.

Supondo-se que existam “n” pontos de controle, os parâmetros da transformação polinomial são calculados pela resolução de um sistema de “2n” equações para resolver 6 (para o polinômio de 1º grau) ou 12 parâmetros (para o polinômio de 2º grau).

Assim, o número mínimo de pontos de controle para os polinômios de 1º e 2º

graus são, respectivamente, 3 e 6, ou seja, o número de equações é igual ao número de incógnitas a calcular. Entretanto, como as coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, convém usar um número de pontos maior que o mínimo, como 6 para o polinômio de 1º grau e 10 para o de 2º grau (SPRING v.5.1.8).

### **2.7.6. Técnicas de realce**

As técnicas de realce visam melhorar a qualidade “visual” da imagem, destacando elementos da cena que facilitem sua interpretação.

Em imagens de sensores remotos, os níveis de cinza aparecem agrupados em um pequeno intervalo dentro do histograma da imagem. Para melhorar o realce, distribui-se esses níveis de cinza por todo o intervalo possível. A isso, dá-se o nome de aumento de contraste. Assim, o contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade de cinza que nela ocorrem. (CROSTA, 1993)

O realce é subjetivo, dependendo do interpretador e da imagem. Sendo assim, é normalmente implementado de forma iterativa, ou seja, o sistema mostra o histograma da imagem e o interpretador faz a distribuição do nível de cinza.

### **2.7.7. Processos de segmentação de imagens**

A segmentação, segundo HARALICK e SHAPIRO (1984), é processo de formação de regiões uniformes e homogêneas com respeito a alguma característica (níveis de cinza, por exemplo). O interior das regiões deve ser simples e sem muitos segmentos pequenos. Regiões adjacentes precisam ter valores significativamente distintos em relação à característica nos quais eles são uniformes. As bordas das regiões precisam ser simples, não rugosas e espacialmente corretas.

O processo de segmentação divide a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

A divisão em porções consiste, basicamente, em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias.

### 2.7.8. Classificação de imagens

A classificação é o processo de extração de informações de imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos tendo como base a segmentação. Tem-se uma imagem digital como produto onde os “pixels” classificados são representados por símbolos gráficos ou cores, onde cada símbolo ou cor representa uma classe (área urbana, tipo de solo, tipo de vegetação, etc) definida pelo analista/classificador (INPE, 1996).

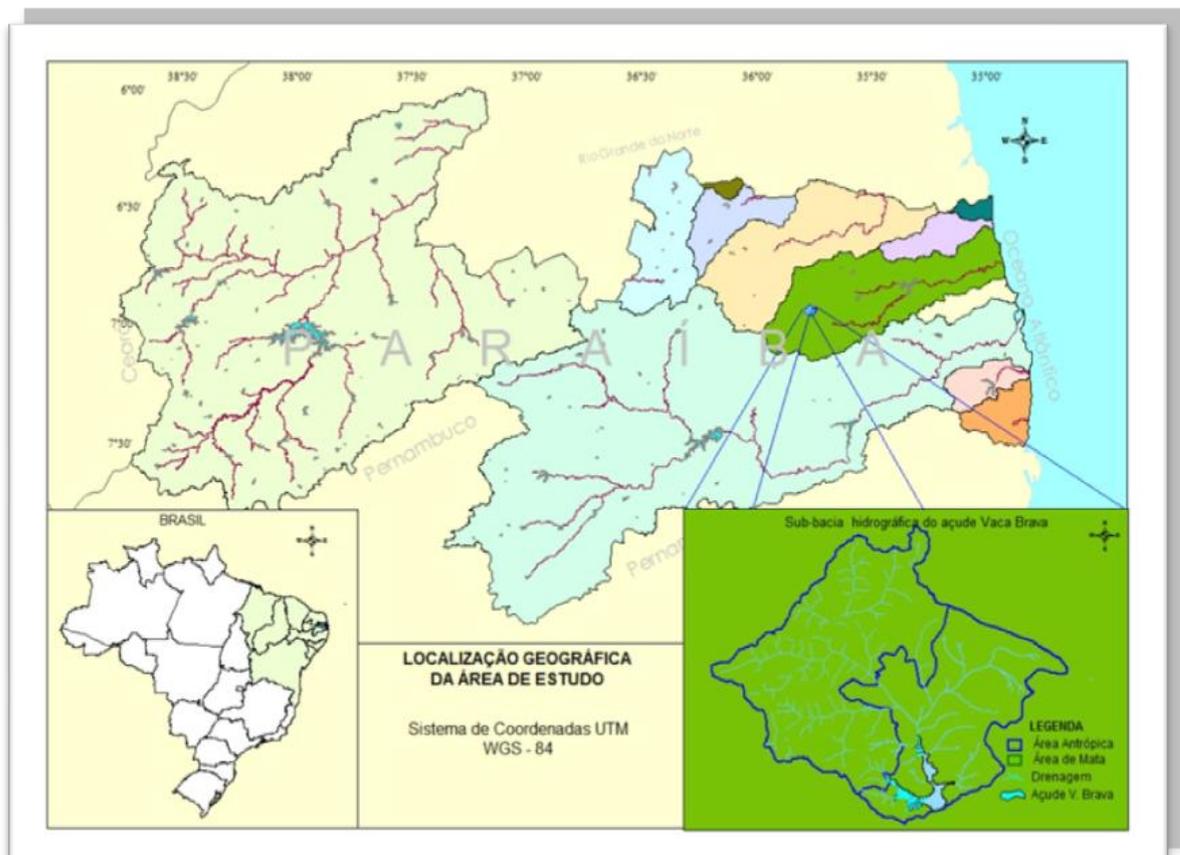
A classificação de imagens, propriamente dita, consiste em decidir a qual classe pertence um determinado “pixel” ou grupo de “pixels” da cena. RICHARDS e JIA (1999) definem classificação como um método para rotular os “pixels” de uma imagem a partir de suas características espectrais, sendo que essa rotulação é implementada por um programa computacional apto a reconhecer “pixels” espectralmente similares.

Para MOREIRA (2001), o método não supervisionado não utiliza nenhum conhecimento “a priori” sobre as classes existentes na imagem e define uma estratificação da cena, atribuindo um “pixel”, ou grupo de “pixels”, a uma determinada classe, sem que o analista tenha conhecimento dessa classe. Segundo RICHARDS e JIA (1999), nas abordagens supervisionadas o analista, a partir de um conhecimento prévio da cena, fornece informações específicas ao sistema de análise, possibilitando o seu treinamento no reconhecimento de classes pré-definidas. A partir dos elementos amostrais, que correspondem a padrões conhecidos das classes, são estimados os parâmetros estatísticos de cada classe e realizado o treinamento do algoritmo de classificação.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na Mesorregião do Agreste Paraibano e na Microrregião do Brejo Paraibano (Figura 13). O trabalho foi desenvolvido na micro bacia hidrográfica de Vaca Brava, localizada entre os municípios de Areia e Remígio. A micro bacia está dentro das seguintes coordenadas geográficas:  $06^{\circ} 57'48''$  e  $06^{\circ} 59'43''$  de latitude sul e os meridianos  $35^{\circ}44'03''$  e  $35^{\circ}45'59''$  de longitude oeste, com uma área de aproximadamente 1403 ha. Parte dessa área constitui Reserva de Mata Atlântica de Altitude a qual preserva a área de captação do açude de Vaca Brava, que abastece três municípios do agreste paraibano, compreendendo uma população de aproximadamente 92 mil pessoas. A Figura 14 mostra geograficamente a localização da área de estudo.



**Figura 13.** Localização Geográfica da Área de Estudo

A área está situada na parte oriental mais elevada do maciço da Borborema, podendo atingir cotas superiores a 600 metros em relação ao nível do mar, apresentando uma topografia bastante acidentada, com predomínio de Vales, encostas e morros escarpados.

A área é constituída predominantemente de Argissolo Vermelho Eutrófico típico, podendo encontrar outras classes de solo, como o Neossolo Regolítico Distrófico, Latossolo Amarelo, Plintossolo e Gleissolos (EMBRAPA, 2006).

O Relevo é caracterizado como ondulado (com declives variando de 8 a 20%) a fortemente ondulados (com declives variando de 20 a 45%) (BRASIL, 1972).

O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen, é “As” – quente e úmido com chuvas de outono e inverno (PARAÍBA, 1985). A precipitação anual varia de 800 a 1600 mm, com chuvas concentradas nos meses de junho a agosto e temperaturas que variam de 18°C a 26°C.

## **3.2. Materiais utilizados**

No desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma série de procedimentos e técnicas para atingir os objetivos pretendidos através de um planejamento sistematizado de atividades para obtenção das informações desejadas. Tais informações foram elementos importantes para analisar e conduzir os estudos das características físicas e bióticas da área. Primeiramente, foi realizado um levantamento de material bibliográfico referente ao contexto deste trabalho através de pesquisas em bibliotecas; informações em órgãos públicos em nível federal, estadual e municipal; visitas a páginas da internet; pesquisas em fontes próprias e aquisição de livros para subsidiar a leitura no transcorrer da execução do trabalho, que permitiram realizar as seguintes atividades:

### **3.2.1. Levantamento batimétrico e topográfico**

No referido trabalho foi efetuado um levantamento batimétrico automatizado da área molhada da bacia hidráulica com utilização de GPS, ecobatímetro e barco a motor, bem como um levantamento topográfico da área seca do referido açude, onde nesta etapa utilizou-se a Estação Total. O levantamento batimétrico foi realizado no dia 26 de julho de 2012, já o levantamento com Estação Total foi realizado no período de 27 de julho a 05 de agosto de 2012. Também foi realizado neste trabalho, um levantamento do uso do solo da bacia hidrográfica do açude Vaca Brava, a partir de utilização de técnicas de geoprocessamento.

### 3.2.1.1. Batimétrico

Para realização da batimetria automatizada foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- **Um par de GPS modelo Trimble R4-RTK (L1/L2).**

Este equipamento, de propriedade do INSA – Instituto Nacional do Semiárido, foi utilizado para a coleta de dados da área molhada da bacia hidráulica do açude (Figura 14).



**Figura 14** – GPS Trimble R4 - RTK utilizado para levantamento dos pontos do açude.

- **Receptor GPS de navegação com 12 canais, modelo GARMIN 60 CSx;**

Este equipamento foi utilizado para auxiliar na orientação da coleta de dados das linhas batimétricas, no sentido de orientação da navegação (Figura 15).



**Figura 15.** GPS Garmin modelo 60 CSx

- **Barco de alumínio para navegação e motor de polpa**

O barco com motor utilizado para o levantamento dos dados de campo foi gentilmente cedido pela AESA, cujo modelo é do tipo quilha e tem capacidade para transportar 4 pessoas, bem como todo material necessário para realização do trabalho (Figura 16).



**Figura 16.** Barco de alumínio utilizado no levantamento de campo

- **Ecobatímetro de feixe único, modelo OHMEX e um transdutor**

O ecobatímetro, também foi cedido pela AESA, é um equipamento utilizado para medir e armazenar dados de profundidades. O modelo utilizado foi o ecobatímetro portátil de feixe simples modelo Sonarlite fabricado especialmente para esse tipo de levantamento (Figura 17).



**Figura 17.** Ecobatímetro Sonarlite, modelo OHMEX.

O Ecobatímetro Sonarlite possui um transdutor que trabalha com a emissão e recepção de pulsos nas frequências de 200 kHz, frequência mais adequada para detecção das condições

de fundo. O equipamento calcula a profundidade através da diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal, estando apto a detectar profundidades entre 0,30 m a 80 m, com uma precisão de 2 cm. O ecobatímetro vem com um software que faz o processamento dos dados recebidos e que gera os ecogramas (perfis) coloridos, que são visualizados na tela de um computador ou em saídas gráficas de impressora. Além disso, o software gera tabelas que serão guardadas em arquivos para posterior utilização por programas gráficos.

Outros Equipamentos e acessórios utilizados: Motor de 15 cv; Notebook hP; Microcomputador Pentium IV 1.7 GHz; Bateria de 12 volts; Máquina fotográfica digital;

- **Softwares**

- Software para planejamento e execução dos dados do levantamento GPS (Autocad Vs. 2000 e GPS Trackmaker vs. 13,8);
- Software pós-processamento dos dados do levantamento GPS (TBC vs 2.7.0); Software para processamento dos dados de profundidade (SonarLite vs. 2000);
- Software para processamento de imagens de satélite (SPRING - INPE);
- Software para geração do Modelo Digital do Terreno a partir dos dados batimétricos (SURFER vs. 9.0);
- Software para eliminação de profundidades incorretas (MapInfo vs. 11.0).

### 3.2.1.2. Levantamento topográfico com Estação Total

O Trabalho de campo para esta etapa foi realizado no período de 27 de julho a 05 de agosto de 2012, a partir da cota **507,88 m** até a cota **511,00 m**.

A coleta de dados da área de terra da bacia hidráulica do açude foi realizada pela AESA, onde foi utilizada uma Estação Total modelo FOIF (Figura 18).



**Figura 18.** Estação Total modelo FOIF

### **3.2.1.3 Levantamento do uso do solo a partir de técnicas de geoprocessamento**

Foi utilizada uma imagem de satélite: CBERS, na escala de 1:100.000, resolução espacial de 20 m e data de imageamento de 06 de Abril de 2007. Esta foi a única imagem mais recente com possibilidades de tratamento.

Também foi utilizado neste trabalho, imagem do Google Earth datada de 2010 para o estudo temporal do desmatamento na micro bacia hidrográfica de Vaca Brava.

- **Softwares**

- SPRING (versão 5.1.8)
- GPS TrackMaker Pro (versão 3.8)

### **3.3. Metodologia utilizada**

#### **3.3.1. Levantamento Batimétrico Automatizado do Açude Vaca Brava**

O levantamento batimétrico automatizado requer atividades de escritório e atividades de campo. Nas atividades de escritório foram desenvolvidos trabalhos de planejamento de linhas batimétricas a serem levantadas, análises e processamentos dos dados GPS coletados no reservatório. Já as atividades de campo estão condicionadas à instalação de equipamento para obtenção do nível da água, levantamento planimétrico do contorno do açude e aquisição dos dados de posição e profundidade. O referido trabalho (levantamento batimétrico) foi realizado no dia 26 de Julho de 2012.

##### **3.3.1.1. Instrumentação do açude**

Para um levantamento batimétrico automatizado, é de suma importância a instrumentação do açude para o seu monitoramento, a partir de réguas limnimétricas (Figura 19), pois as mesmas são equipamentos necessários para o acompanhamento do nível de água do reservatório, denominado no meio técnico de cota.



**Figura 19.** Lance de réguas instaladas no açude Vaca Brava.

### **3.3.1.2. Levantamento planimétrico da bacia hidráulica do açude**

O levantamento do contorno do açude (Figura 20) foi realizado a partir da Estação Total, onde observou-se a leitura de nível de água com a cota 507,88 m.



**Figura 20.** Levantamento do Contorno do açude Vaca Brava

### **3.3.1.3. Planejamento das seções batimétricas**

Consistiu na definição do espaçamento e posicionamento das seções batimétricas sobre o espelho de água do açude levantado anteriormente. Para o distanciamento entre as seções batimétricas a serem levantadas, utilizou-se a metodologia adotada por Carvalho (2000), onde o reservatório é classificado pela sua capacidade de acumulação de água (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação de reservatórios pela capacidade (CARVALHO, 2000).

Tipo do reservatório	Capacidade ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Levantamento
Pequeno	< 10	Cada 2 anos
Médio	10 a 100	Cada 5 anos
Grande	> 100	Cada 10 anos

Posteriormente, relacionou-se o tipo de reservatório às distâncias entre seções batimétricas (Tabela 2).

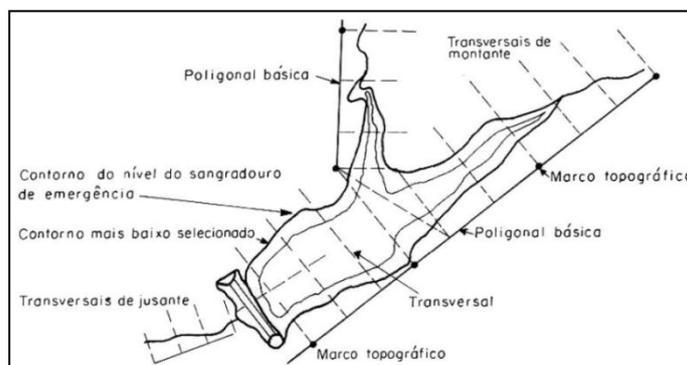
**Tabela 2.** Distanciamento entre seções batimétricas

Escala do mapa	Distância entre seções (m)	Tipo de reservatório
1 : 2.000	20	Pequeno
1 : 5.000	50	Médio
1 : 10.000	100	Médio a grande
1 : 20.000	200	Grande
1 : 25 000	250	Grande

O açude Vaca Brava foi construído pelo DNOCS no ano de 1937, com capacidade máxima de acumulação de água de **3.453.125,00 m<sup>3</sup>** na cota **510,50 m**, uma vez que a seu volume foi acrescido em **0,80 m** na soleira do sangradouro pela Prefeitura Municipal, elevando seu volume para **3.699.613,00 m<sup>3</sup>**, tendo como cota máxima atual **511,30 m**, sendo assim, o referido açude é classificado como pequeno porte. De acordo com a Tabela 2, atribuiu-se uma distância de 20 m entre as seções batimétricas.

A orientação ou posicionamento das linhas batimétricas é muito importante para uma melhor distribuição dos pontos levantados em toda bacia hidráulica do reservatório. VANONI (1977) apresenta dois modelos de posicionamento de seções batimétricas, sendo um para reservatórios pequenos, e outro para grandes mananciais.

No caso de reservatórios pequenos, as seções batimétricas são traçadas perpendicularmente às linhas base que são posicionadas paralelamente ao leito dos rios do reservatórios (Figura 21)

**Figura 21.** Distribuição das seções no caso de pequeno reservatório (CARVALHO, 2000).

### 3.3.1.4. Levantamento das seções batimétricas

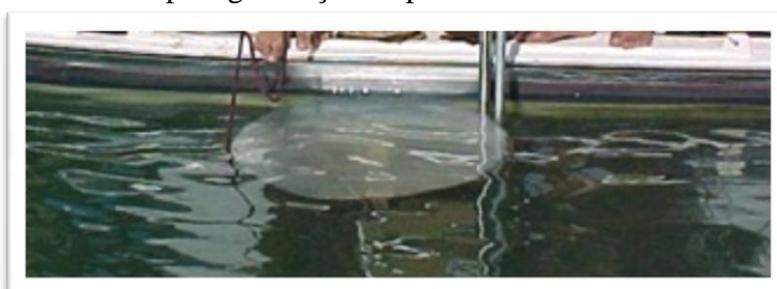
O levantamento das seções batimétricas consiste na leitura e armazenamento de pontos tridimensionais contendo as coordenadas (x, y), referente à posição e a profundidade z. A profundidade z é calculada pelo somatório da profundidade registrada pelo ecobatímetro e o calado. O calado é definido como sendo a distância vertical entre o nível da água e o sensor do transdutor de onde parte o feixe de ondas acústicas.

O ecobatímetro é um instrumento que mede a profundidade, via emissão de pulsos acústicos para fundo do corpo d'água, e mensura o tempo de deslocamento do sinal acústico, pela conversão do intervalo de tempo da distância percorrida da onda entre o transdutor e o fundo do reservatório (Figura 22).



**Figura 22.** Ecobatímetro medindo profundidade.

Na prática, essa velocidade do som varia por fatores, tais como: temperatura da água, salinidade e turbidez. Assim, para minimizar a influência desses fatores e para uma melhor precisão das medidas de profundidade, foi estipulada uma sistemática de calibração no dia do levantamento, nas faixas de 1 a 2 metros de profundidade, com intervalos a cada metro, utilizando uma placa metálica graduada até 5 m (Figura 23). Calibrou-se o ecobatímetro pela alteração da velocidade do som emitida pela mesma, de modo que a sonda registrasse a mesma profundidade obtida pela graduação da placa.



**Figura 23.** Metodologia de Calibração do ecobatímetro.

A configuração básica do ecobatímetro é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Configuração básica do ecobatímetro

Configuração do ecobatímetro		
Taxa de armazenamento	1 ponto/segundo	Valor fixo
Velocidade de som	1.500 m/s	Valor variável
Calado	35 cm	Valor variável
Armazenamento	513,8 kb	Valor fixo

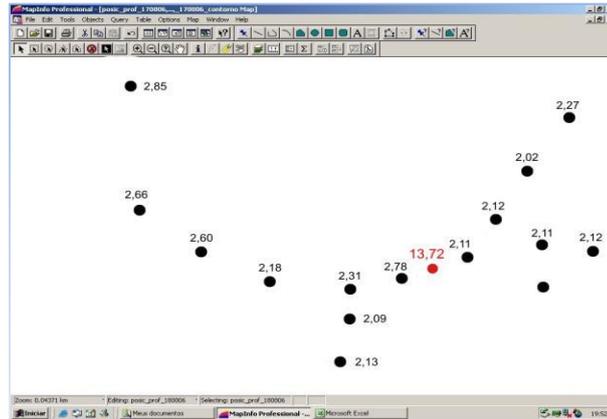
O ecobatímetro utilizado permite medir profundidades em torno de 99 m (máxima) e 2 cm (mínima) o que possibilitou a leitura e armazenamento de profundidades menores que 1 metro.

A orientação das seções batimétricas tornou-se possível com uso de um notebook e o software GTM Track-Maker. O software lê arquivos de mapas de diversos formatos e permite a navegação em tempo real através de uma comunicação com o GPS GARMIN. Sendo assim, inseriu-se no notebook o arquivo, em formato DXF, contendo os dados do contorno do açude e as seções batimétricas planejadas no escritório.

Para garantir a aquisição de dados com uma boa distribuição espacial, faz-se necessário percorrer, o mais próximo possível, as linhas batimétricas. Trabalho este que exige grande experiência e senso de orientação do navegador. É praticamente impossível navegar durante todo o tempo seguindo exatamente as seções batimétricas, fato este que não compromete o trabalho, mas é imprescindível uma boa aproximação para garantir uma excelente distribuição espacial das amostras coletadas.

Em todo o percurso de coleta dos dados de profundidade foi estipulada uma velocidade máxima de deslocamento do barco de 5 km/h, pois, até esta velocidade consegue-se manter o transdutor e a antena GPS na posição vertical à lâmina de água, evitando assim, uma inclinação do feixe de ondas acústicas e consequentes erros de leituras.

A coleta de algumas profundidades errôneas durante o levantamento é possível, em virtude do balanço da embarcação provocada pelas ondas e ventos (Figura 24). Neste sentido, após o levantamento, foram analisados os dados de profundidade, com o objetivo de eliminar possíveis informações inconsistentes e incompatíveis com a realidade GUIMARÃES (2007).



**Figura 24.** Processo de identificação de profundidade inconsistente. (GUIMARÃES, 2007)

O resultado final do levantamento dos dados planimétricos do contorno do manancial, bem como, das seções levantadas são exibidas na Figura 25. Para este trabalho, foram levantados 6.658 pontos de profundidades adotando o sistema de coordenadas UTM e o Datum WGS 84.

Observa-se que há certas áreas do espelho de água que não foram coletados pontos de profundidades. Isto ocorre devido ao excesso de vegetação nestes locais tornando o acesso da embarcação impossível.

Foi utilizado o software Trimble Business Center para o processamento dos dados dos GPS (base e móvel), o software SONAR 2000, para processamento dos dados da sonda e um software interpolador gráfico para processamento e interpolação dos dados, já corrigidos.

No processo de interpolação, que é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados a partir pontos amostrados na mesma área ou região, foi utilizado o método do Inverso do Quadrado da Distância, que foi o mesmo utilizado no levantamento topográfico, é um método que leva em consideração as características espaciais das variáveis regionalizadas e apresenta ótima fidelidade aos dados originais, boa suavidade das curvas interpoladas e ótima precisão geral.

O software para estimação de reticulado (interpolador) utiliza a metodologia de que fornecidos “n” valores conhecidos, regularmente distribuídos ou não,  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ , o valor a ser interpolado para qualquer nó da rede será fornecido pela Equação 3.

$$G_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} Z_i, \quad (3)$$

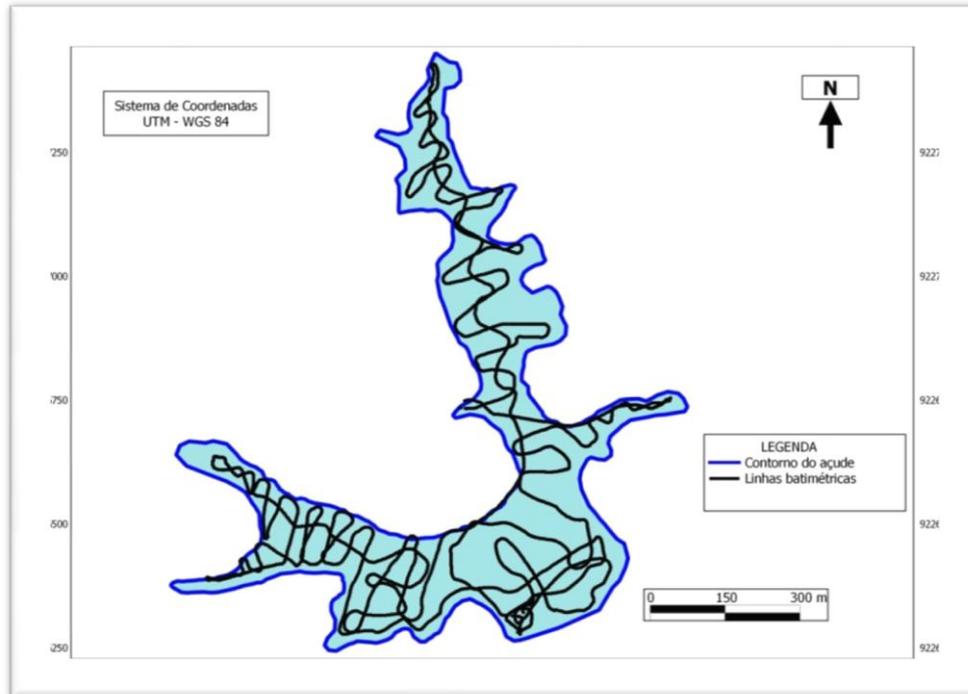
Em que:

$G_j$  = valor estimado para o nó j

$N$  = número de pontos usados para a interpolação

$Z_i$  = valor estimador no ponto “i” com valor conhecido

$W_{ij}$  = peso associado ao valor estimado “i”



**Figura 25.** Seções batimétricas levantadas.

### 3.3.1.5. Levantamento da área de terra da bacia hidráulica

Esta etapa do trabalho, mesmo sendo a área menor, foi realizada em um maior período de tempo. Mesmo utilizando uma Estação Total, o tempo prolongado se justifica pela frequente necessidade de mudança de local para estacionar o equipamento por diversas vezes e efetuar a retirada de obstáculos impostas pela vegetação para coleta de dados a partir das visadas no prisma.

### 3.3.1.6. Cálculo do volume e assoreamento

- **Batimetria automatizada**

Os dados de posição e profundidade foram pré-processados e organizados em dois arquivos de pontos no formato do Microsoft Excel <sup>TM</sup> no formato (.xls): O primeiro arquivo

contendo os dados contorno posição bidimensional (x e y) e o segundo composto pelas informações internas de posição e profundidade, tridimensional (x, y e z).

A referência do nível da água adotada foi a cota 507,88 m e ao arquivo dos pontos internos foram adicionados os dados do contorno do açude atribuindo o valor 0 (zero) ao campo profundidade (coordenada z), estando desta forma, o arquivo pronto para o processamento.

O arquivo contendo os pontos tridimensionais foi processado no software Surfer vs. 9.0 e interpolados gerando uma malha tridimensional. No processo de interpolação, foi utilizado o método do Inverso do Quadrado da Distância, que é um método que leva em consideração as características espaciais das variáveis regionalizadas e apresenta fidelidade aos dados originais, boa suavidade das curvas interpoladas e boa precisão geral.

O arquivo de contorno, gerado pelo levantamento topográfico, foi usado como fronteira no processo de interpolação, limitando os cálculos dentro do espelho de água do manancial e excluindo valores de profundidades fora desta área de interesse. A malha tridimensional representa o modelo digital do terreno para o açude, sendo confeccionadas na equidistância de 1,00 m para a obtenção das curvas cota x área e cota x volume. A soma dos volumes de todas as equidistâncias de 1,00 m resulta na capacidade do manancial na cota de referência do levantamento (507,88 m).

### **3.3.2 . Levantamento topográfico da área seca**

A referência adotada para esta etapa foi a partir da cota 507,88 m, correspondente ao nível da água. A coleta dos dados possibilitou a geração de um arquivo com posição e cotas (x, y e z) até a cota 511,00 m.

O arquivo contendo os pontos tridimensionais foi processado no software TopoEVN 5.3 e interpolados gerando uma malha tridimensional. No processo de interpolação também foi utilizado o método Inverso do Quadrado da Distância e gerada a malha tridimensional e o modelo digital do terreno. As curvas de nível foram confeccionadas na equidistância de 1,00 m para a obtenção das tabelas cota x área e cota x volume.

A capacidade máxima de acumulação do reservatório correspondente a soleira do sangradouro é cota 511,30 m. O volumes até esta cota foram obtidos a partir do levantamento batimétrico automatizado, com o levantamento topográfico efetuado com a Estação Total e pela curva do software Excel, extrapolando valores acima da cota 511,00 m.

O valor do assoreamento é dado pela diferença entre a capacidade indicada no projeto

original e a nova capacidade obtida pelo trabalho atual.

### **3.3.3. Uso do Solo**

As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas gratuitamente a partir do catálogo disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. O critério de seleção das imagens baseou-se nas quantidades e distribuição de nuvens na área de interesse. Para o estudo da evolução do desmatamento da micro bacia hidráulica de Vaca Brava foi utilizado imagem do Google Earth.

#### **3.3.3.1. Análise das imagens digitais do CBERS\_2 para interpretação preliminar**

Para o processo de análises das imagens digitais de satélites foi utilizado o Método Sistemático desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982). Tal metodologia consiste em uma sequência de etapas lógicas e sistemáticas que independem do conhecimento prévio da área e da utilização das chaves fotointerpretativas. Para a análise de imagens adquiridas por sensoriamento remoto devemos também considerar outros dados sobre a região da área de estudos, devendo-se associar ao processo de informação como um todo, por exemplo, dados bibliográficos, trabalhos de campo, dados socioeconômicos, dados ambientais, censitários, etc., a fim de compatibilizar as informações fornecidas pelas imagens com a realidade terrestre.

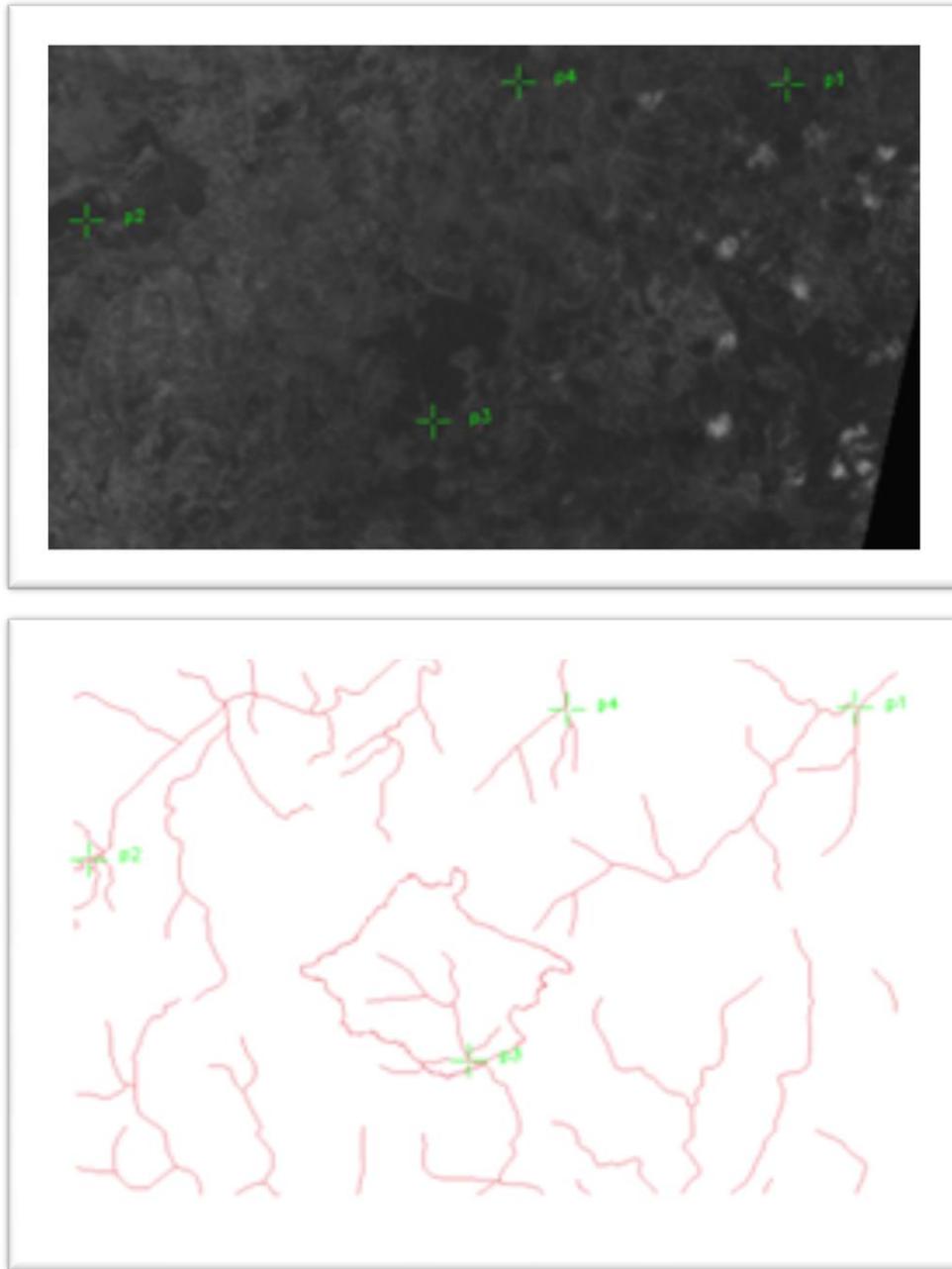
A análise visual de imagens procede de um comparativo entre as propriedades espectrais que cada fenômeno espacial assume nas diversas cenas registradas, associando diferentes níveis de refletância aos diversos fenômenos, época da passagem do satélite relacionadas com os alvos espectrais.

#### **3.3.3.2. Georreferenciamento da imagem**

O georreferenciamento da imagem foi feito no Spring (versão 5.1.8), utilizando 4 pontos de controles. Para isso foi utilizado um polinômio do primeiro grau, projeção geográfica, SAD 69, Zona 25.

De forma geral, o registro da imagem consistiu em posicionar cada pixel em sua respectiva coordenada geográfica a partir dos pontos de controles definidos com base no mapa de drenagem digital. Os pontos de controles foram escolhidos a partir das confluências e

pontos notáveis da rede hidrográfica. Feito o registro da imagem, obteve os seguintes resultados mostrados na Figura 26.



**Figura 26.** Disposição dos pontos de controle na rede de drenagem de na imagem

A qualidade do processo de georreferenciamento pode ser analisado pelos dados da Tabela 4.

**Tabela 4.** Qualidade dos pontos de controle

Ponto	Erro	
	X (pixel)	Y (pixel)
1	2,616	0,122
2	1,782	0,086
3	-0,752	-0,027
4	-3,646	-0,155
Erro Global	2,446	

### 3.3.3.3. Processamento digital das imagens

Este procedimento é um conjunto de etapas que envolve a classificação das imagens do satélite, utilizando técnicas computacionais, objetivando a extração de informações sobre alvos da superfície terrestre, como: vegetação, solo, degradação, uso da terra, etc.

- Pré-processamento: processamento inicial dos dados brutos a fim de fazer calibrações radiométricas da imagem, correção de distorções geométricas (registro de imagem), remoção de ruídos. Esta fase tem por objetivo a preparação das imagens para serem efetivamente utilizadas pelo usuário (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

- Técnica de Realce: tem por objetivo a qualidade visual das imagens, permitindo uma melhor identificação dos objetos presentes na superfície terrestre (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

- Classificação de imagens: nesta fase são atribuídas classes aos objetos presentes na imagem. Esta técnica envolve métodos pelos quais os pixels são associados a classes, levando em conta as características espectrais. Esta fase é de extrema importância no resultado final, pois qualquer interpretação errônea nas análises dos pixels levará a resultados “mascarados”.

#### 3.3.3.3.1. Manipulação de contraste

O contraste é uma forma de realçar a imagem de forma a melhorar a qualidade das imagens sob critérios subjetivos do olho humano. Esta técnica é utilizada ainda na fase de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões adotados. O contraste entre dois objetos foram obtidos como a razão entre seus níveis médios de cinza. Esta operação utiliza os recursos de realce com a manipulação de histograma para obtenção de imagens com maiores contrastes entre os elementos imageados.

### 3.3.3.3.2. Operações aritméticas – razão entre bandas – IVDN

Esta operação é realizada “pixel a pixel”, entre imagens de bandas diferentes, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma nova banda representando a combinação das bandas originais. As operações mais utilizadas foram a soma, subtração, razão entre bandas e a multiplicação de uma banda por um contraste. Estas operações permitiram comprimir os dados e conseqüentemente diminuindo o número de bandas. Ocorreu perda da informação original quando os resultados são normalizados, saturando os valores de 0 em 0, e os acima de 255, em 255, levando a uma perda de informação espectral. Estas operações podem requerer um fator de ganho (multiplicativo) ou “off set” (aditivo), para permitir um melhoramento no contraste.

A fórmula utilizada para gerar a IVDN foi a seguinte:

“(C=ganho\*(A-B)/(A+B+offset), onde A é substituído pela banda quatro do vermelho, B pela banda três do vermelho próximo, o ganho é dado de acordo com o histograma das imagens e offset podem ser usados valores de: (32, 64, 128) em concordância com histograma das imagens.”

### 3.3.3.3.3. Composição Multiespectral Ajustada - CMA (B3+IVDN+B1)

Esta operação é uma transformação RGB em que a fonte de luz vermelha (R) estará posicionada na banda 3, na fonte verde (G) a imagem IVDN e na fonte azul (B) a banda 1. Esta combinação é denominada de composição multiespectral ajustada, e gera uma imagem com as seguintes características: áreas de alto valor aparecerão verde (indicando ocorrência de vegetação) e áreas de baixa aparecerão em vermelho ou azul (magenta ou ciano), indicando solo exposto.

### 3.3.3.3.4. Segmentação

Constitui um processo de análise de pixels de forma isolada, sendo o procedimento mais utilizado em processamento digital de imagens. Esta abordagem apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar essas limitações, propõe-se o uso da segmentação antes da classificação, onde são extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada (CÂMERA *et al.*, 1996).

### **3.3.3.3.5. Classificação de padrões**

Classificação resume no estabelecimento de um processo de decisão onde cada grupo de pixels foi definido como pertencente a determinada classe. A classificação de padrões foi dividida entre segmentação, classificação e mapeamento (MOREIRA, 2001). Para realizar esta etapa utilizou-se um classificador Bhattacharya, que utiliza amostra de treinamentos para estimar a função densidade de probabilidade para estas classes apontadas. Ao final todas as regiões foram associadas a uma classe definida pelo algoritmo.

### **3.3.3.4. Degradação da vegetação**

Esta etapa do trabalho analisou-se a evolução do desmatamento da Mata do Pau Ferro. As imagens foram obtidas gratuitamente através do aplicativo Google Earth, disponibilizado na internet. As imagens mais recentes são do ano de 2010, o que impediu a obtenção de um resultado mais recente.

Utilizando o módulo IMPRIMA a imagem foi transformada para o formato GRIB para permitir o georreferenciamento da imagem no SPRING. Para o registro da imagem utilizou-se 4 pontos de controles para posicionar cada pixel em sua respectiva coordenada geográfica, a partir da rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Para efeito comparativo o trabalho contou com os resultados obtidos do trabalho dissertativo de Silva (2007), onde ele mensurou a área de 17 clareiras em toda a extensão da Reserva, com a utilização de GPS de navegação.

Enquanto que, para o ano de 2010, utilizou-se software do Google Earth para contornar os perímetros da cada clareira. Posteriormente esses perímetros foram abertos no GPS TrackMaker para possibilitar o cálculo de suas respectivas áreas.

## 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1. Geração da Tabela Cota x Área x Volume

Para geração da tabela Cota x Área x Volume (Tabela 5) o trabalho de campo foi realizado na bacia hidráulica do açude Vaca Brava, tomando como referência a cota do nível da água do dia 26 de julho de 2012 (507,88 m), onde abaixo desta cota efetuou-se um levantamento batimétrico automatizado envolvendo a área molhada, e entre as cotas 507,88 m e 511,00 m foi realizado o levantamento topográfico com uso da estação total. Para geração dos dados de áreas e volumes acima da cota 511,00 m, utilizaram-se os valores obtidos através da equação exponencial de segundo grau da curva.

**Tabela 5.** Valores de Cota x Área x Volume atualizados

<b>BATIMETRIA</b>			
<b>Cota (m)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	
490,00	2.857,65	2.977,89	*
491,00	20.180,66	13.530,66	*
492,00	27.352,90	37.187,79	*
493,00	36.011,62	69.053,31	*
494,00	43.873,93	108.972,19	*
495,00	54.440,22	157.806,71	*
496,00	68.190,99	219.136,02	*
497,00	84.281,36	294.934,03	*
498,00	98.814,83	386.670,74	*
499,00	114.370,43	493.439,63	*
500,00	130.746,76	616.962,02	*
501,00	147.338,38	758.469,87	*
502,00	162.568,83	916.882,98	*
503,00	180.698,11	1.093.375,27	*
504,00	203.003,80	1.293.232,59	*
505,00	226.006,70	1.520.057,58	*
506,00	244.533,93	1.776.511,69	*
507,00	261.576,72	2.054.216,41	*
508,00	294.437,12	2.263.435,00	**
509,00	315.503,74	2.518.406,00	**
510,00	337.194,12	2.894.755,00	**
<b>510,50</b>	<b>349.280,00</b>	<b>3.069.395,00</b>	**
511,00	361.365,53	3.244.035,00	**
<b>511,30</b>	<b>371.054,73</b>	<b>3.311.229,47</b>	***
512,00	389.597,31	3.549.563,38	***

Continuação da Tabela 5

513,00	416.812,67	3.904.543,24	***
514,00	444.882,07	4.276.585,30	***
515,00	473.805,52	4.665.689,54	***

\*valores obtidos pelo levantamento batimétrico automatizado

\*\*valores obtidos pelo levantamento topográfico (área seca)

\*\*\*valores obtidos pela equação

A tabela cota x área x volume atual foi gerada com equidistâncias de um metro, obedecendo às mesmas condições da tabela original elaborada pelo DNOCS. Observa-se pelos dados comparativos do projeto de 1937 com os dados obtidos em 2012 (Tabela 6), que o volume máximo no projeto inicial, cuja cota é **511,30 m**, corresponde a **3.699.613,00 m<sup>3</sup>**, e atualmente foi obtido na mesma cota um volume de **3.311.229,47 m<sup>3</sup>**, representando um índice de assoreamento de **10,50%** em relação à capacidade de acumulação máxima do projeto inicial. Esta taxa corresponde a uma média anual de assoreamento de **0,14%**, valor muito inferior à média nacional que é de **0,50%** ao ano e inferior à média mundial de **1,00%** (MAHMOOD, 1987 *apud* CARVALHO et al, 2000).

**Tabela 6.** Dados de Cota x Área x Volume do açude Vaca Brava nos anos 1937 e 2012.

DADOS DNOCS - 1937			DADOS ATUAIS - 2012			
Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	
490,00	21.250,00	10.625,00	490,00	2.857,65	2.977,89	*
491,00	32.500,00	60.000,00	491,00	20.180,66	13.530,66	*
492,00	43.750,00	109.375,00	492,00	27.352,90	37.187,79	*
493,00	55.000,00	158.750,00	493,00	36.011,62	69.053,31	*
494,00	66.250,00	208.125,00	494,00	43.873,93	108.972,19	*
495,00	77.500,00	257.500,00	495,00	54.440,22	157.806,71	*
496,00	90.500,00	367.500,00	496,00	68.190,99	219.136,02	*
497,00	103.500,00	477.500,00	497,00	84.281,36	294.934,03	*
498,00	116.500,00	587.500,00	498,00	98.814,83	386.670,74	*
499,00	129.500,00	697.500,00	499,00	114.370,43	493.439,63	*
500,00	142.500,00	807.500,00	500,00	130.746,76	616.962,02	*
501,00	162.500,00	1.000.000,00	501,00	147.338,38	758.469,87	*
502,00	182.500,00	1.192.500,00	502,00	162.568,83	916.882,98	*
503,00	202.500,00	1.385.000,00	503,00	180.698,11	1.093.375,27	*
504,00	222.500,00	1.577.500,00	504,00	203.003,80	1.293.232,59	*
505,00	242.500,00	1.770.000,00	505,00	226.006,70	1.520.057,58	*
506,00	263.500,00	1.962.500,00	506,00	244.533,93	1.776.511,69	*

Continuação da Tabela 6

507,00	284.500,00	2.155.000,00	507,00	261.576,72	2.054.216,41	*
508,00	305.500,00	2.347.500,00	508,00	294.437,12	2.263.435,00	**
509,00	326.500,00	2.540.000,00	509,00	315.503,74	2.518.406,00	**
510,00	347.500,00	3.245.000,00	510,00	337.194,12	2.894.755,00	**
<b>510,50</b>	<b>361.250,00</b>	<b>3.453.125,00</b>	<b>510,50</b>	<b>349.280,00</b>	<b>3.069.395,00</b>	**
511,00	375.000,00	3.661.250,00	511,00	361.365,53	3.244.035,00	**
<b>511,30</b>	<b>383.250,00</b>	<b>3.699.613,00</b>	<b>511,30</b>	<b>371.054,73</b>	<b>3.311.229,47</b>	***
512,00	402.500,00	3.789.125,00	512,00	389.597,31	3.549.563,38	***
513,00	430.000,00	4.405.019,00	513,00	416.812,67	3.904.543,24	***
514,00	457.500,00	4.843.452,00	514,00	444.882,07	4.276.585,30	***
515,00	485.000,00	5.326.250,00	515,00	473.805,52	4.665.689,54	***

\*valores obtidos pelo levantamento batimétrico automatizado

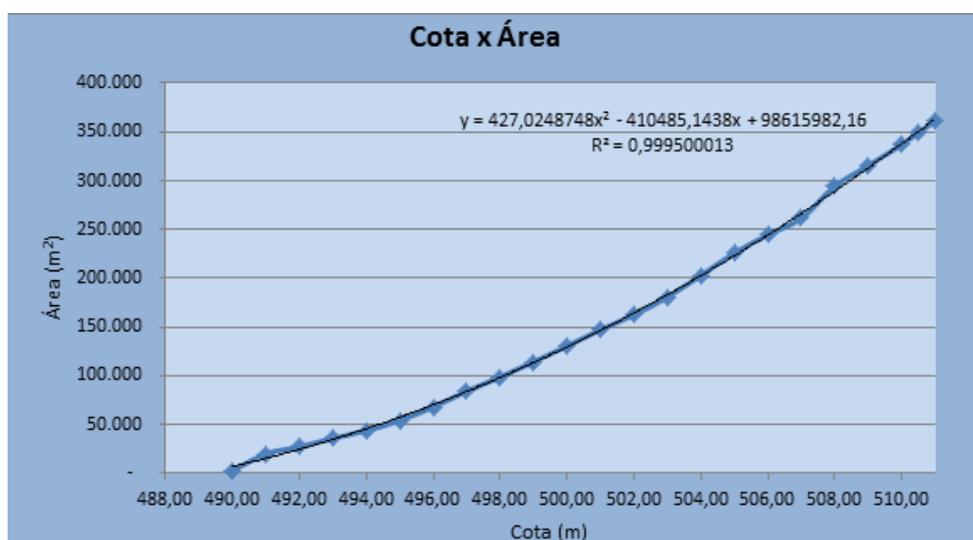
\*\*valores obtidos pelo levantamento topográfico (área seca)

\*\*\*valores obtidos pela equação

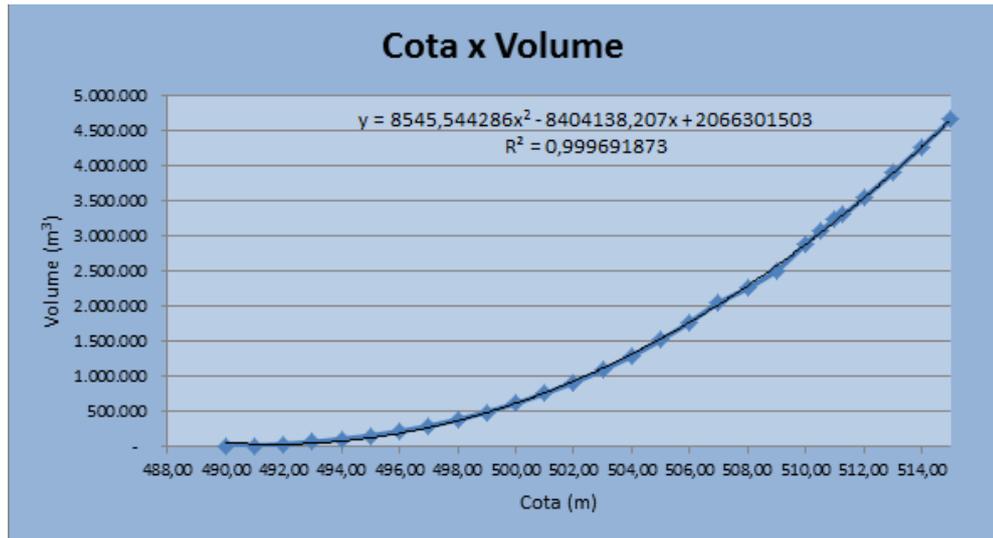
#### 4.1.1. Geração das Curvas Cota (m) x Área (m<sup>2</sup>) e Cota (m) Volume (m<sup>3</sup>)

A Figura 27 mostra a nova curva Cota (m) x Área (m<sup>2</sup>) e a Figura 28 mostram a nova curva Cota (m) x Volume (m<sup>3</sup>), geradas a partir dos dados levantados em campo e complementados pela equação polinomial de 2<sup>a</sup> ordem, o que representa a relação cota x área e Cota x Volume, respectivamente.

Os valores das áreas e dos volumes correspondentes às cotas superiores a 511,00 m foram obtidos através da equação com valores de extrapolação gerados por esta curva, cuja equação originou um coeficiente de correlação aproximadamente de 0,9995 para a curva Cota x Área e aproximadamente 0,9997 para a curva Cota x Volume.



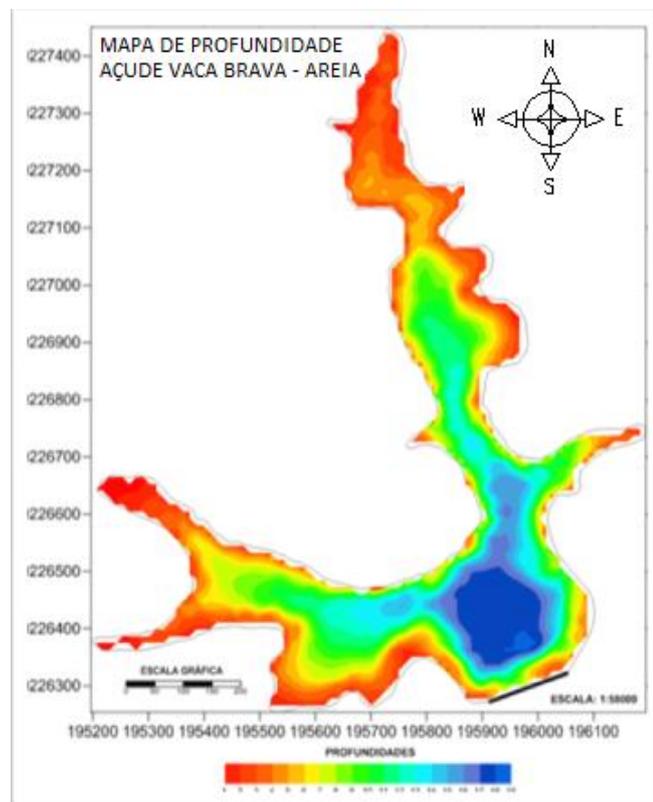
**Figura 27.** Curva Cota (m) x Área (m<sup>2</sup>) do açude Vaca Brava.



**Figura 28.** Curva Cota (m) x Volume (m<sup>3</sup>) do açude Vaca Brava.

#### 4.1.2. Mapa do levantamento batimétrico automatizado

A Figura 29 mostra o mapa de profundidades abaixo da cota 507,88 m e a distribuição do relevo submerso do açude Vaca Brava, obtidos através do levantamento batimétrico automatizado. A partir do mapa, observa-se que os maiores valores das profundidades estão localizados próximo ao barramento principal do açude (parede).

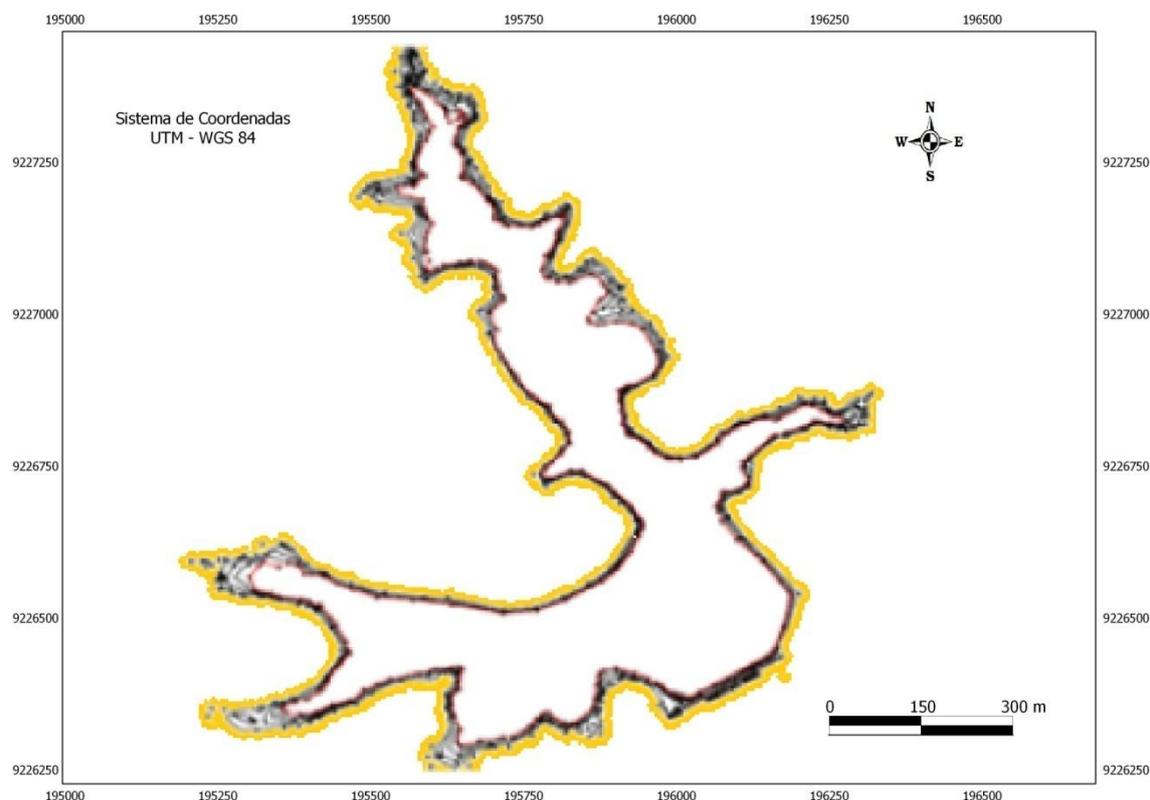


**Figura 29.** Mapa de isolinhas das profundidades.

Analisando o mapa de profundidade percebe-se ainda que as menores profundidades se localiza nas margens e na entrada do reservatório. Sedimentos que se depositam por influência do reservatório se estendem para montante e para jusante, não se distribuindo uniformemente dentro do lago. A deposição de montante, também conhecida como depósito de remanso ajuda a explicar as baixas profundidades na entrada do açude de Vaca Brava.

#### 4.1.3. Mapa do levantamento topográfico da área seca

A Figura 30 mostra o mapa de isolinhas das profundidades e a distribuição do relevo da área seca açude Vaca Brava entre as cotas 507,88 m e 511,00 m, obtidos através do levantamento topográfico com estação total.



**Figura 30.** Mapa de Isolinhas da área seca.

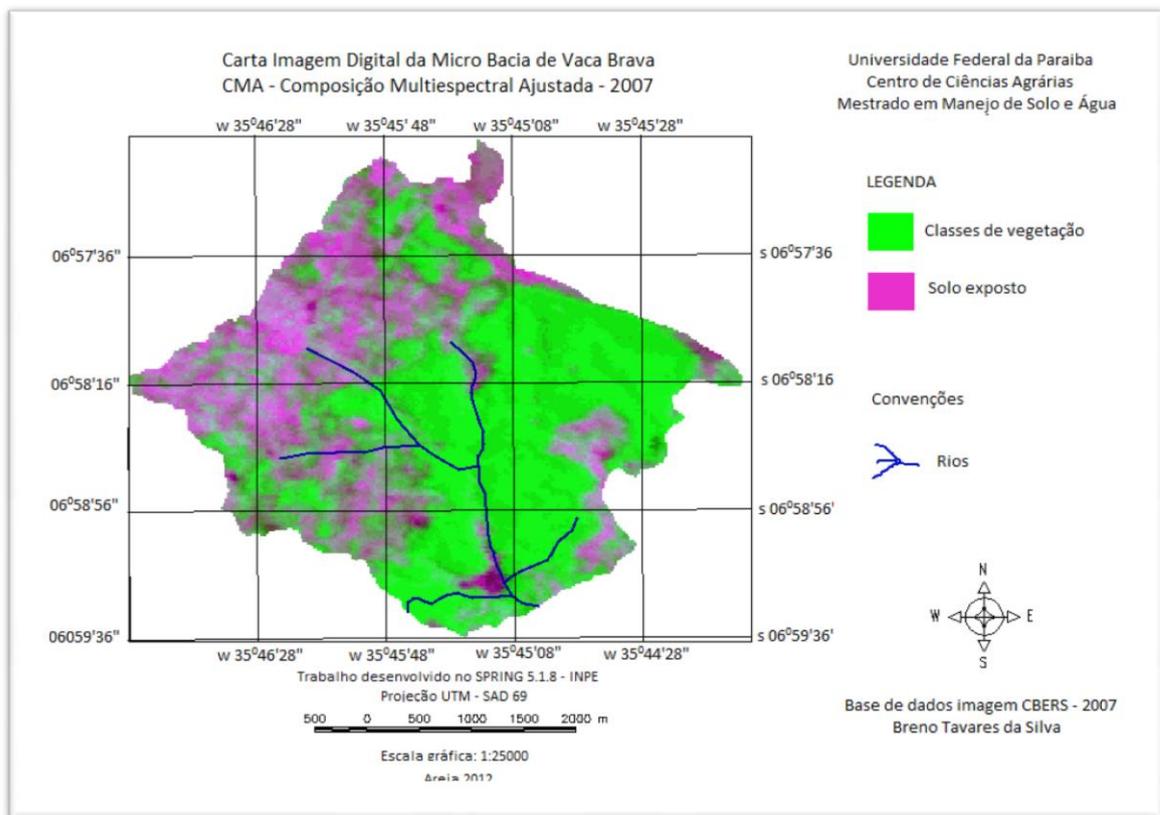
#### 4.2. Cobertura Vegetal

A vegetação da microbacia do açude Vaca Brava é um remanescente de Mata Atlântica. Possui uma formação densa, de árvores altas (às vezes superiores a 30m) e troncos com diâmetros consideráveis, com inúmeras espécies de Palmeiras, Ipês, Pau-Ferro, etc. O

verde característico toma conta da paisagem o ano inteiro, independentemente de estações chuvosas.

Para os recursos hídricos, a conservação da cobertura vegetal, sobretudo a florestal, é essencial para sua conservação. A retirada da vegetação nativa provoca vários danos ao meio, por exemplo: alteração climática, extinção da fauna e da flora, além de acentuar os processos erosivos.

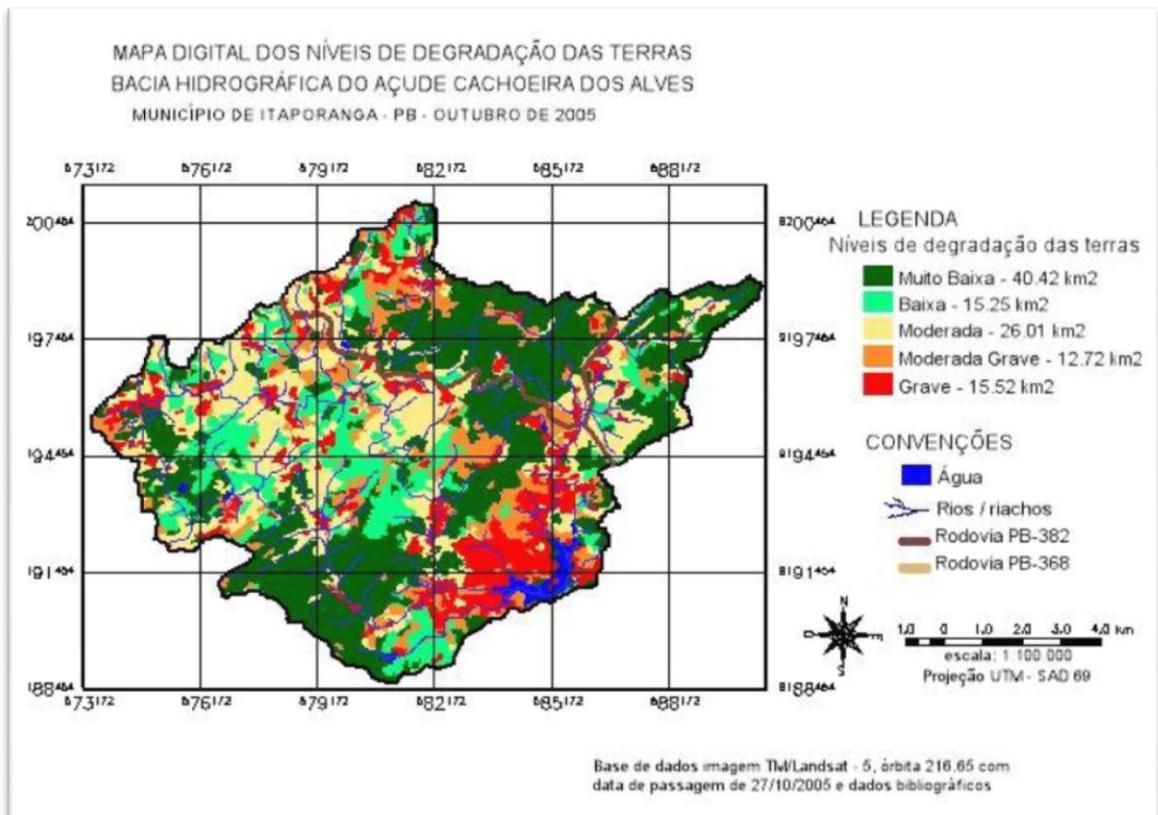
A Figura 31 mostra uma Composição Multiespectral Ajustada (CMA), para a passagem do Satélite em 06/04/2007, onde nos permite analisar o comportamento da cobertura vegetal da área de estudo. Na imagem observa-se na cor verde as áreas com cobertura vegetal, enquanto que as cores “magenta” e, por vezes “ciano”, representam áreas de solo com cobertura vegetal rala a solo exposto.



**Figura 31.** Composição Multiespectral Ajustada (CMA) – data de passagem 06/04/2007

Esta composição mostra que a micro-bacia do açude Vaca Brava tem uma área preservada, principalmente ao redor do reservatório. Isto explica o porquê da taxa de assoreamento ter dado abaixo da média nacional e mundial, que são de 0,5% ao ano e 1,00% ao ano, respectivamente. Guimarães (2008) em seu levantamento batimétrico no Açude

Cachoeira dos Alves, Itaporanga – PB, encontrou uma taxa de assoreamento de 0,76% ao ano. A Figura 32 mostra o mapa digital de degradação das terras desta bacia hidrográfica. As cores em vermelho indicam níveis de degradação “grave”, e nota-se que em torno da bacia hidráulica (em azul) há forte intervenção antrópica, favorecendo o aumento da erosão hídrica e consequentemente explicando a alta taxa de assoreamento deste açude.



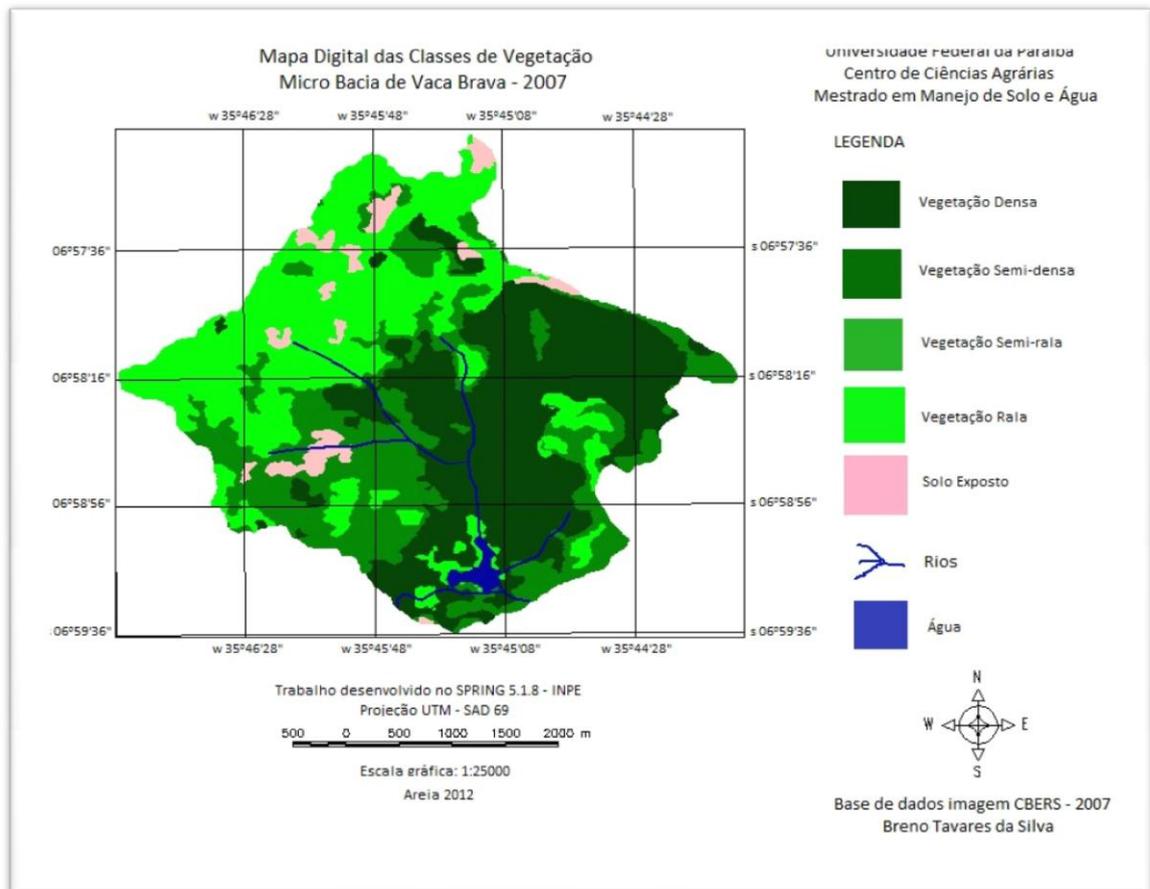
**Figura 32.** Mapa digital da bacia hidrográfica de Cachoeira dos Alves (GUIMARÃES, 2008).

Maia e Villela (2009) ao estudar o assoreamento do açude de Promissão, localizado no Médio Tietê, encontrou uma taxa de assoreamento de 0,13% ao ano. A taxa encontrada para o período pode ser considerada baixa, mas se deve principalmente aos procedimentos de dragagem de sedimentos para a exploração de matéria prima para a construção civil.

#### 4.3. Mapa Digital das Classes de Cobertura Vegetal

O mapa de classes (Figura 33), ao contrário da CMA, faz a diferenciação entre os tipos de vegetação presente numa determinada área. O mapeamento considera as seguintes classes de cobertura vegetal ou vegetação: vegetação densa, vegetação semi-densa, vegetação semi-

rala, vegetação rala, solo exposto. Estas classes e os dados estão tabulados na Tabela 7, para melhor entendimento dos valores quantitativos e os percentuais relativos a cada classe de cobertura vegetal do mapa apresentado para o ano de 2007.



**Figura 33.** Mapa de classes de cobertura vegetal para o ano de 2007

**Tabela 7.** Classes de cobertura vegetal para o ano de 2007

Vegetação	Ano de 2007	
	Área (ha)	%
Vegetação Densa	521	37,29
Vegetação Semi-Densa	359	25,7
Vegetação Rala	461	32,0
Solo Exposto	56	4,0
<b>Total</b>	<b>1397</b>	<b>100</b>

A partir da análise do mapa de classes da área de estudo, observou-se que a área sofre predominância de vegetação densa (37,29%), o que nos permite afirmar que a micro bacia ainda é relativamente conservada.

Isto se deve por força de lei, pois a Reserva Ecológica Mata do Pau Ferro é uma gleba de terra de 600 ha, localizada dentro da micro bacia de Vaca Brava, pertencente ao Governo do Estado da Paraíba, criado pelo Decreto Lei nº 14.832, de 19 de Outubro de 1992 e localiza-se na microrregião do Brejo Paraibano. A Figura 34 mostra uma panorâmica do reservatório de Vaca Brava, evidenciando a conservação de sua mata ciliar.



**Figura 34.** Mata ciliar do reservatório de Vaca Brava

A vegetação densa tem grande importância no controle da erosão hídrica, uma vez que, as copas das árvores “quebra” a velocidade dos pingos da chuva, impedindo que estes quebrem as estruturas do solo e causem a erosão.

O estudo de campo permitiu visualizar que em toda extensão das margens do reservatório predomina uma vegetação densa, o que justifica a baixa taxa de assoreamento encontrada no reservatório, pois as árvores impedem que a água da chuva, através do escoamento superficial leve para dentro do reservatório o sedimento que poderia desprender do solo caso não existisse vegetação.

A Figura 35 mostra um dos dois rios que alimentam o reservatório, cercado por mata densa.



**Figura 35.** Detalhe da chegada do rio no reservatório de Vaca Brava

#### **4.4. Degradação das Terras**

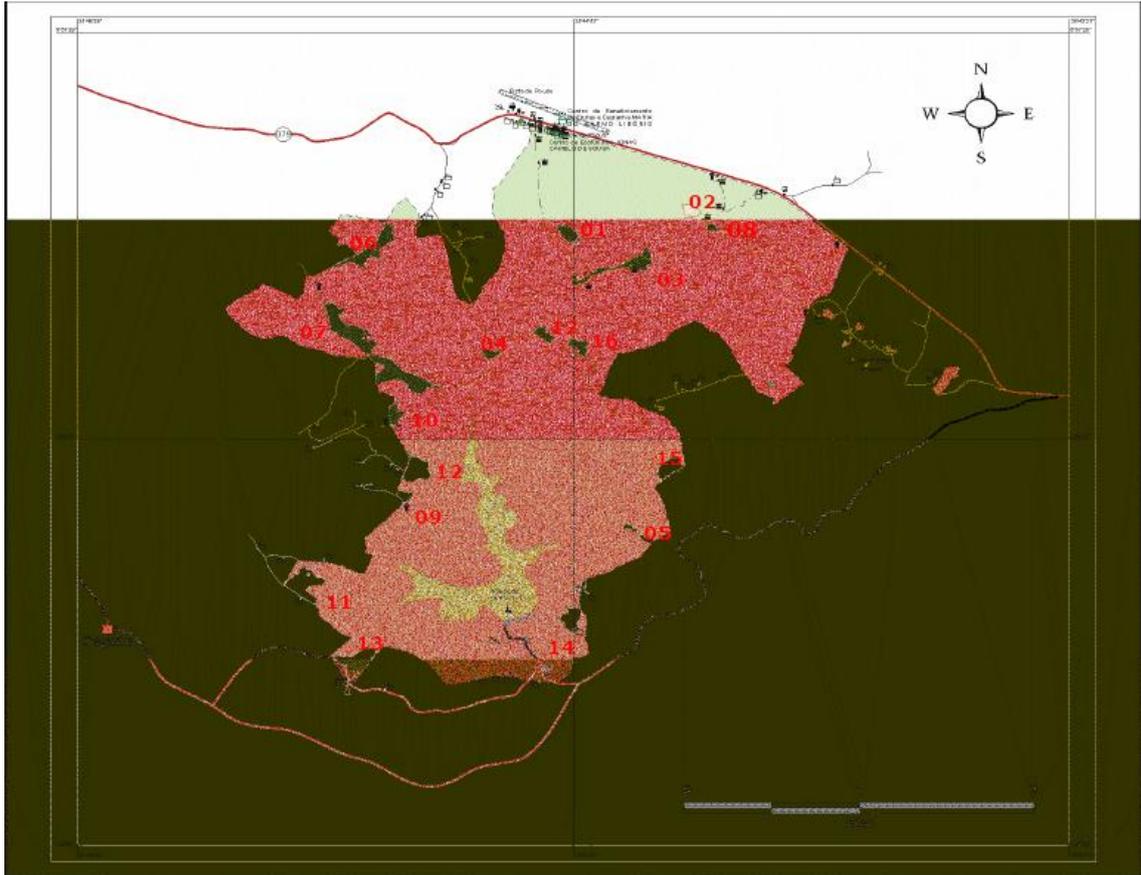
No que diz respeito à degradação das terras, depois do estudo de campo e análises das imagens, percebeu-se que não seria possível e viável a formulação de um mapa que mostrasse os vários níveis de degradação do solo. Pois como se percebe, pelo próprio mapa de Classes de Vegetação mostrado na Figura 33, acima, a microbacia do açude Vaca Brava ainda se mantém bastante conservada, contendo poucas manchas de solo exposto, o que caracteriza a região com baixa degradação do solo.

Apesar de que a região ainda encontra-se relativamente preservada, alguns problemas ambientais são diagnosticados, pois é possível encontrar diversas clareiras no meio da mata, evidenciando um desrespeito por parte da comunidade daquela área, e um descaso do Poder Público que não fiscaliza a Reserva.

De acordo com o levantamento obtido pela imagem de satélite do ano de 2010, pode-se observar que aconteceu um crescimento das áreas das clareiras na Mata do Pau Ferro, em relação ao levantamento realizado por Silva (2007), para o ano de 2007. Esta informação fornece um crescimento de aproximadamente 40% nas áreas das clareiras em apenas 3 anos. A Tabela 8 detalha a evolução e o comportamento das clareiras existentes na referida Mata do Pau Ferro, com suas respectivas coordenadas geográficas posicionadas no meio das clareiras.

**Tabela 8.** Demonstrativo das áreas de clareiras

Clareira	Caracterização	Coordenadas geográficas		Ano 2007	Ano 2010
		Longitude	Latitude	Área(m <sup>2</sup> )	Área(m <sup>2</sup> )
1	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão, batata-doce, bananeira).	-35 <sup>0</sup> 44'56"	-6 <sup>0</sup> 58'07"	7.911,22	6.070,03
2	Culturas de subsistência (milho, feijão, batata-doce, bananeira).	-35 <sup>0</sup> 44'33"	-6 <sup>0</sup> 58'03"	5.572,96	1.899,24
3	Pasto nativo com córrego ao centro.	-35 <sup>0</sup> 44'44"	-6 <sup>0</sup> 58'14"	19.657,56	13.306,81
4	Pasto nativo, na confluência de córregos.	-35 <sup>0</sup> 45'10"	-6 <sup>0</sup> 58'31"	3.893,07	4.669,58
5	Pasto nativo, próximo a barragem, na borda da reserva.	-35 <sup>0</sup> 44'45"	-6 <sup>0</sup> 59'10"	4.256,11	6.130,69
6	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão, batata-doce, bananeira); fruteiras (jaqueiras, cajueiros, mamão, acerola, goiabeira); casa de taipa; córrego	-35 <sup>0</sup> 45'30"	-6 <sup>0</sup> 58'12"	23.763,53	68.333,32
7	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão, mandioca, bananeira), fruteiras (jaqueiras, cajueiros), e casa de alvenaria	-35 <sup>0</sup> 45'31"	-6 <sup>0</sup> 58'34"	57.577,31	66.381,95
8	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão, bananeira); fruteiras (mangueira, jaqueira) e cana-de-açúcar.	-35 <sup>0</sup> 44'28"	-6 <sup>0</sup> 58'05"	2.053,92	966,86
9	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão).	-35 <sup>0</sup> 45'27"	-6 <sup>0</sup> 59'02"	4.415,97	3.808,03
10	Pasto nativo culturas de subsistência (milho, feijão, batata-doce, mandioca), cana-de-açúcar e mangueiras.	-35 <sup>0</sup> 45'30"	-6 <sup>0</sup> 58'44"	6.975,81	14.811,63
11	Pasto nativo, culturas de subsistência (feijão, batata-doce, mandioca).	-35 <sup>0</sup> 45'45"	-6 <sup>0</sup> 59'23"	25.170,78	27.485,84
12	Culturas de subsistência (milho, feijão, bananeira, mandioca) e mangueiras.	-35 <sup>0</sup> 45'25"	-6 <sup>0</sup> 58'59"	19.503,49	23.870,11
13	Pasto nativo, culturas de subsistência (bananeira e mandioca), residência de alvenaria, casa de máquinas, estação de tratamento do Guarim e casa de rádio.	-35 <sup>0</sup> 45'39"	-6 <sup>0</sup> 59'35"	20.176,65	35.251,70
14	Pasto nativo, culturas de subsistência (milho, feijão, batata-doce) e residência de alvenaria	-35 <sup>0</sup> 44'56"	-6 <sup>0</sup> 59'28"	12.480,78	11.620,98
15	Pasto nativo.	-35 <sup>0</sup> 44'37"	-6 <sup>0</sup> 58'56"	12.306,79	39.599,14
16	Pasto nativo com córrego ao centro.	-35 <sup>0</sup> 44'54"	-6 <sup>0</sup> 58'26"	6.661,67	6.547,90
17	Pasto nativo com córrego ao centro.	-35 <sup>0</sup> 45' 04"	-6 <sup>0</sup> 58'25"	6.265,74	3.845,18
<b>Área Total</b>				<b>238.643,36</b>	<b>334.598,99</b>

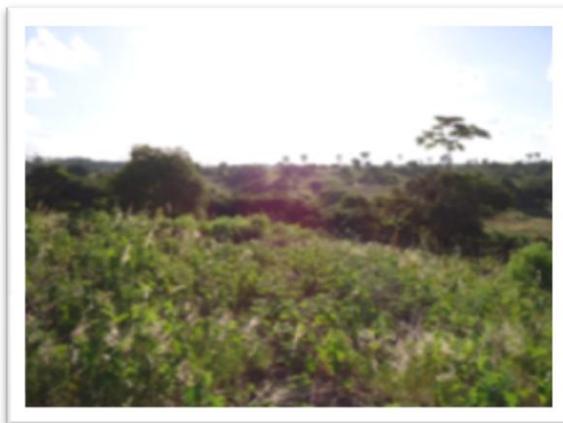


**Figura 36.** Localização das clareiras ao longo da reserva da Mata do Pau Ferro (SILVA, 2007)

Alguns aspectos são importantes destacar, no tocante à evolução do desmatamento nessa área, pois em alguns pontos de clareira nota-se que houve diminuição da área exposta, o que indica que a reserva tem um relativo poder regenerativo.

Um exemplo disso é a clareira de número 2, que registrou uma área desmatada de 5.572,96 m<sup>2</sup> em 2007 e passou para 1.899,24 m<sup>2</sup> em 2010. Esta área era utilizada para práticas agrícolas de subsistência.

Outro aspecto que merece destaque é que houve uma tendência no aumento do desmatamento nas clareiras mais externas, a exemplo das clareiras 11, 13, 12, 6. Isso se deve ao avanço das atividades agrícolas fazendo com que se retire a vegetação nativa para dar lugar às culturas como cana-de-açúcar, laranja, milho, feijão, entre outras registradas na região. A Figura 37 mostra a clareira 12, um exemplo de retirada de vegetação para dar lugar a plantações.



Lat.: S 6° 58' 59,22" Long.: O 35° 45' 33,17"

**Figura 37.** clareira 12 - Mata do Pau Ferro.

A partir da Figura 38, observa-se que na área antrópica da micro bacia hidrográfica do açude Vaca Brava existe uma grande concentração de casas. Esta área é explorada com agricultura, irrigação e pastagens, o que evidencia uma forte influência antrópica na reserva. A partir das visitas de campo, verificou-se que boa parte dos moradores da referida área antrópica, desenvolve atividades de agricultura de subsistência, o que necessariamente implicará em perdas de vegetação nativa para o plantio.

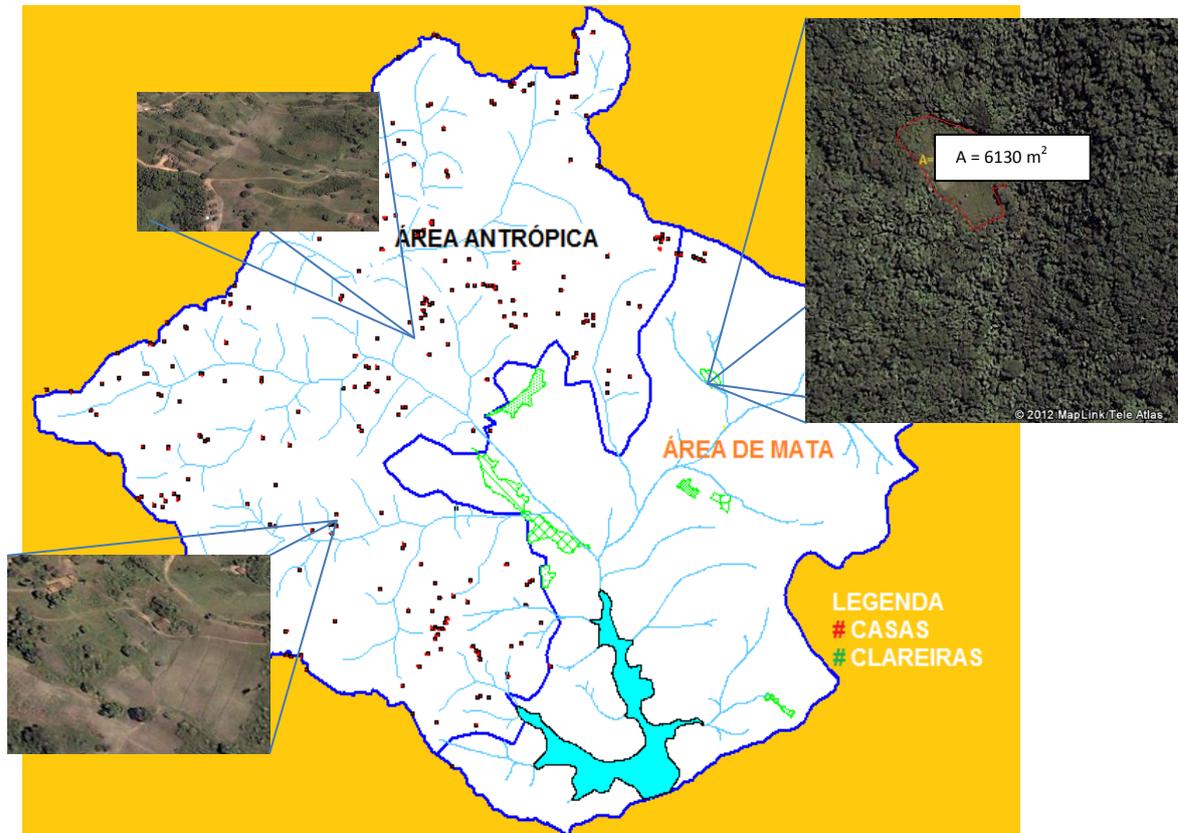
Silva (2007) mostra que 60% das pessoas que moram no entorno da reserva não cultivam no seu interior, enquanto que os demais exercem atividades de agricultura de subsistência e culturas permanentes.

No decorrer deste trabalho, constatou-se que as pessoas estão continuando a retirar e/ou coletar lenha da reserva para utilizar como combustível na queima do fogão.

A partir do estudo de campo, verificou-se também que boa parte dos moradores do da micro-bacia desenvolve suas atividades na prática de agricultura de subsistência, o que necessariamente implicará em perdas de vegetação nativa para o plantio, uma vez que as culturas mais comuns são: mandioca, feijão, milho, batata-doce, banana e cana-de-açúcar.

Todas estas atividades, acrescidas à criação de animais (Figura 41), pois são influências negativas para a reserva, pois as mesmas correspondem à retirada da vegetação nativa, fazendo com que, muitas vezes, o solo fique exposto favorecendo ao arraste de solo que será carregado até o reservatório de Vaca Brava contribuindo para o assoreamento do mesmo.

Apesar das áreas desmatadas, mas com plantações (Figura 42), favorece positivamente no açude Vaca Brava, pois o solo não fica exposto, reduzido com isso o carregamento de materiais para o mesmo, conseqüentemente diminuindo o assoreamento.



**Figura 38.** Área Antrópica e área de mata da área de estudo



Lat.: S 6° 58' 16,6" Long.: O 35° 45' 02,72"

**Figura 39.** Área desmatada para criação de animais



**Figura 40.** Área de capim na região da micro bacia de Vaca Brava

A Figura 41 mostra uma pequena área com solo exposto, suscetível à erosão hídrica e caracterizando uma forma agressiva de degradação. Nas visitas à campo pode-se constatar poucas áreas com essas características de degradação.



Lat.: S 6° 58' 39,39" Long.: O 35° 46' 6,12"

**Figura 41.** Solo exposto na região da micro bacia de Vaca Brava

## 5. CONCLUSÕES

1. O índice de assoreamento do reservatório de Vaca Brava foi de **10,50%**, o que corresponde a uma taxa de aproximadamente **0,14%** ao ano, valor este bem abaixo da média nacional e mundial, que são de 0,5 e 1,0% ao ano, respectivamente. Isto atesta a importância da vegetação ciliar para o controle da erosão e conseqüentemente para a preservação dos reservatórios d'água.
2. Houve um aumento no desmatamento das clareiras na Mata do Pau Ferro em 40% de área.
3. A bacia hidrográfica ainda possui uma área relativamente grande de vegetação nativa preservada.
4. Evidenciou-se certo descaso por parte do Poder Público na gestão desta Unidade de Conservação, haja vista que falta fiscalização permanente, bem como políticas que apoiem as comunidades ali residentes, para que estas façam uso dos recursos da Mata de forma responsável e sustentável.
5. O uso de geotecnologias se mostrou bastante eficiente no cálculo do índice de assoreamento deste reservatório, bem como na geração de mapas de cobertura vegetal.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura. EMBRAPA, CPAC. Brasília-DF, 1993. p. 173-199
- ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Glossário de Ecologia**. 1ª edição (definitiva). Publicação ACIESP n. 57 – ACIESP/CNPq/FAPESP/Secretaria da Ciência e Tecnologia, 1987.
- ALMEIDA FILHO, G. S; RIDENTE JÚNIOR. J. L; **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão**. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. (7: 2001: Goiânia). Anais. Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.
- ANDRADE, F. C. M. Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas. **FUNCEME**. Fortaleza-CE, 1995
- ANDRADE, J. B. **NAVSTAR-GPS**. Trabalho acadêmico. Setor de Tecnologia, Departamento de Geociências, Curso de Pós- Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- ASHJAE, J. “GPS Receiver Technologies”, Proceedings of the 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of The Institute of Navigation, June 1986, Seattle, Washington.
- BERTONI, J.; e NETO, F.L., **Conservação do Solo**, Ícone Editora., 3<sup>o</sup> edição São Paulo, 1993.
- BESER, J. & PARKINSON, B. W. “The Application of NAVSTAR Differential GPS IN THE Civilian Community”, Navigation: The Journal of The Institute of Navigation, vol 29, n 2, pp 107 – 136, 1982.
- BOSSLER, J. D.; GOAD, C. C. & BENDER, P. L. “Using the GPS for Geodetic Positioning”, Bulletin Geodesique, pp 553 – 563, 1979
- BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Education, 2005.
- BRASIL. **Lei Nº 4.771** de 15/09/1965. Institui o Código Florestal.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Estado da Paraíba. **I. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972 (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, - ).
- BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 302** de 13/05/2002 a. Brasília. Define áreas de preservação permanente de reservatórios artificiais.
- BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 303** de 13/05/2002 b. Brasília. Define áreas de preservação permanente.
- BURROUGH, P.A., **Principles of geographical informations system for land resources**

**assessment.** London: Clarendon Press/Oxford, p. 193, 1986.

CÂMARA, G. Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: Visão Atual e Perspectivas de Evolução. In: Eduardo Delgado Assad & Edson Eyji Sano (Ed.), *Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura*, 1993, pp. 15-37.

CÂMERA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: IMPE, 1996, 36p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** 2ª Edição. São José dos Campos: IMPE, 2001.

CÂMARA, G. 1995. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos.** Tese de doutorado em computação aplicada. São José dos Campos, INPE.

CAMPAGNOLI, F., **O Assoreamento como Geoindicador Ambiental em Áreas Urbanas: Um Exemplo da Região Metropolitana de São Paulo,** IN: Anais do III Encontro de Engenharia de Sedimentos, v. 1, PP. 135-143, Belo Horizonte, MG, Setembro de 1998.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática,** Rio de Janeiro: CPRM, p. 372, 1994.

CARVALHO, N. O.; JÚNIOR, N. P. F.; SANTOS, P. M. C. e LIMA, J. E. F. W., **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios,** Brasília, DF, ANEEL – 2000.

CARVALHO, J. C. **Processos erosivos no centro-oeste Brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology.** New York: Mc Graw Hill, 1959.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas/SP: IG/UNICAMP, 1993.

DILL, Paulo Roberto Jaques. **ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO VACACAÍ-MIRIM E SUA RELAÇÃO COM A DETERIORAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA CONTRIBUINTE.** 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufsm, Santa Maria, 2002.

DOE, **Handling geographic information** (The Chorley Report), HMSO: London, 1988

DREW, David. *Processos interativos homem-meio ambiente.* 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, pp 92-94, 158;

DUARTE, S. J. & FITZGIBBON, K. T. “NAVSTAR Global Positioning System”, Mini-curso do 7º Congresso Brasileiro de Automática, São José dos Campos, 1988.

EAGLESON, P.S. **Dynamic hydrology.** Nova York: MCGraw Hill, 1970.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows. User's Guide.** Version 1.0. Clark University. Worcester, MA. USA, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 305p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Produção de Informação.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EPA. **Why watersheds.** Environmental protection agency, office of water. 1996.

FIGUEIREDO, A.G. **Análise da Produção e Transporte de Sedimentos nas Bacias do Rio do Peixe e Rio Aguapeí.** Anais do VIII Simpósio brasileiro de recursos Hídricos. São Paulo. ABRH, 1989.

FORMÁGGIO, A. R.; ALVES, D. S. & EIPHANIO, J. C. N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão Agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1992. 16: 249-256.

GOAD, C. C. "Precise Relative Position Determination Using GPS Carrier Phase Measurements in a Non-Difference Mode", Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with GPS, Rockville, MD, USA, pp 347 – 356, April 1985.

GUIMARÃES, Carlos Lamarque. **GEOTECNOLOGIA NA DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO AÇUDE CACHOEIRA DOS ALVES, ITAPORANGA-PB: UM DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO.** 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - UFPB, Campina Grande, 2007.

GUIMARÃES, C. L.; MOREAS NETO, J. M. de; SOUZA, R. F. de. Uso de tecnologias para análise da Bacia do Açude Cachoeira dos Alves, Município de Itaporanga-PB. *Revista Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 1, p. 065-076, Jan./Abr. 2008.

GUTH, Paulo Luis. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas.** 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado) - UFSM, Santa Maria, 2010.

HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G., **Image segmentation techniques.** Machine Vision International: Ann Arbor, p. 245, 1984.

IDRISI – Student Manual, The IDRISI Project. Clark University. Worcester – MA, 1992

Infanti, J.N. & Fornasari, F.N. **Processos de dinâmica superficial.** In: Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. 586p. P. 131-152.

INPE. **Processamento Digital de Imagens.** 1. ed. São José dos Campos, SP, p. 45, 1996.

JOSEPH, K. M. & DEEM, P. S. "Precision Orientation: a New GPS Application", International Telemetering Conference, San Diego, California, USA, October, 1983.

KUTNER, A. S. **Assoreamento de Reservatórios. Informativo ABGE (Resumos), n. 11. p. 4,** outubro de 1979.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3rd. John Wiley & Sons, Inc. p. 750, 1994.

LISBOA F., J. 1997. **Modelos conceituais de dados para sistemas de informações geográficas**. Porto Alegre: CPGCC-UFRGS. EQ-12

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. São Paulo: Malheiros Editores, 10ª ed. rev. e ampl., 2002. 1038 p.

MAHMOOD, K. Reservoir sedimentation – impact, extent and mitigation. Word Bank Tech. Paper N°. 71. Washington, DC, 1987.

MAIA, A. G.; VILLELA, S. M. Análise do assoreamento do reservatório de Promissão através do modelo RESSASS. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, n. , p.247-262, 2009.

MAZZOCATO, M. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento urbano na bacia do rio Uma**. Município de São Sebastião, SP. 197f. Dissertação – INPE, São José dos Campos, 1998.

MEDEIROS, Wendson. **Água no Nordeste: quantidade x qualidade**. Disponível em: <[http://www.gostodeler.com.br/materia/942/\\_gua\\_no\\_nordeste\\_quantidade\\_x\\_qualidade.html](http://www.gostodeler.com.br/materia/942/_gua_no_nordeste_quantidade_x_qualidade.html)>. Acesso em: 27 set. 2011.

Meyer, L. D. **Soil Erosion by Water on Upland Áreas**. In: SHEN, H.W. Ed. Rivers Mechanics. Fort Collins. 1971.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Capítulo I – INPE, Cachoeira Paulista-SP, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). p 208, 2001.

NASCIMENTO, Francisco Ivan Castro do; LIRA, Elisandra Moreira de. O USO DAS GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTA PARA O MAPEMANETO DE FOCOS DE QUEIMADAS NA AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL. **Revista Geonorte**, Manaus, n. , p.1646-1654, jun. 2012.

NASCIMENTO, Waldenize Manoelina do; VILLAÇA, Maria Garcia. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação Dos Geógrafos Brasileiros**: Seção Três Lagoas - MS, Três Lagoas, n. , p.102-121, 2008.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). p 208, 2001.

OMM/UNESCO, **hay suficiente água em el mundo?**, p 22 , 1997

PINTO, S. A. F. Sensoriamento Remoto e Integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica. São Paulo: USP, 1991. (**Tese de Doutorado**).

PONZONI, F. J. SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. V. 1, 127 p. ISBN 978-8560507-02-03.

PARAÍBA. Secretaria da Educação. Universidade Federal da Paraíba. **Atlas Geográfico da Paraíba**. João Pessoa: GRAFSET, 1985.

QUEIROZ, J. E. R. Princípios Físicos e Comportamento Espectral de Alvos de Sensoriamento Remoto. Programa de Suporte Técnico à Gestão de Recursos Hídricos – ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. **Módulo 4**. Brasília-DF. 1996b. 99p.

RICHARDS, J. A.; JIA, X.; **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 3.ed. New York: Springer Verlag, p. 363 1999.

Rocha, J. S. M. **Manual de Projetos Ambientais**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), Brasília (DF), 1997. 423 p.

RODRIGUES, Ana Cristina Machado. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados na Análise da Legislação Ambiental no Município de São Sebastião (SP)**. 2005. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento: um retrato atual**. Curitiba- PR: Cartografia e Editora, 1993.

RODRIGUES, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, Anais. São Paulo: USP, 1990.

SANTOS, L. B. dos. **Floresta de Galeria**. In: Tipos e Aspectos do Brasil 10<sup>a</sup> ed. RJ, Fund. Inst. Bras. Geog. Estat. (IBGE), p.484, 1999.

SEMA/PR. **Secretaria Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em <<http://www.mataciliar.pr.gov.br/>> Acesso em 10 jan. 2007.

SILVA, Breno Tavares da; SILVINO, Guttemberg da Silva. USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO DA RESERVA ECOLÓGICA DA MATA DO PAU FERRO – AREIA – PB. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 10., 2012.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro - RJ: Edição do Autor, 2001.

SILVA, Marivaldo Cavalcante da; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de; QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de. A reserva ecológica estadual da mata do pau ferro e sua importância como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos para o reservatório de Vaca Brava. **Caminhos de Geografia**: Revista on line, Areia, n. , p.83-92, 18 set. 2007.

Silvino, G. da S. Aplicação de SIG no Modelo de Umidade de Solos, na Otimização da Produção Agrícola. Bacia do Alto Rio Sucuru, Paraíba – Um caso de Estudo. UFPB, 2000 (Dissertação de Mestrado)

SIRIGATE, Priscila. Gestão da qualidade ambiental da água de mananciais de abastecimento público como estratégia de redução de custos. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **ENEGEP 2005**. Porto Alegre: Abepro, 2005. p. 5288 - 5294. Disponível em: <[http://pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2005/E-book%202006\\_artigo%207.pdf](http://pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2005/E-book%202006_artigo%207.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2011.

Sperling, E.V. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte, 1999. 137p.

STAR, J & ESTES, J. **Geographic Information Systems: An Introduction**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Haven: Transactions: American Geophysical Union, 1957.

TELLES, Tiago Santos; GUIMARÃES, Maria De Fátima; DECHEN, Sonia Carmela Falci. Avaliação dos custos da erosão do solo. In: saber (sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural, 48., 2010, Campo Grande. **Grupo de Pesquisa: Agropecuária, Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Campo Grande: Saber, 2010. p. 1 - 14.

Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993, p. 943.

VANONI, V. A. **Sedimentation Engineering**. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY. p. 743. 1977.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. dos. **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicação em Geologia**. IMPE. São José dos Campos. P. 61, 1982.

VISSMAN J. W., HARBAUGT, T. E. & KNAPP, J. W., **Introduction to hydrology**. New York, Intext Educacional, 1972.

