



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**Nº de ordem: MET - UFAL – MS - 70.**

**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO RIO CORURIBE E  
QUANTIFICAÇÃO DO SEU EMPILHAMENTO A PARTIR DO EVENTO  
PLUVIOMÉTRICO DE JUNHO/2009 NO RESERVATÓRIO CORURIBE – I  
MUNICÍPIO DE CORURIBE - AL**

**DARLAN MARTÍNES SCHMIDT**

**Maceió-AL  
Fevereiro/2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO RIO CORURIFE E  
QUANTIFICAÇÃO DO SEU EMPILHAMENTO A PARTIR DO EVENTO  
PLUVIOMÉTRICO DE JUNHO/2009 NO RESERVATÓRIO CORURIFE – I  
MUNICÍPIO DE CORURIFE - AL**

**DARLAN MARTÍNES SCHMIDT**

**Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia. N° de ordem: MET – UFAL – MS - 70.**

**Maceió-AL  
Fevereiro/2010**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

S349t Schmidt, Darlan Matínes.

Transporte de sedimentos no Rio Coruripe e quantificação do seu empilhamento a partir do evento pluviométrico de junho/2009 no reservatório Coruripe-I município de Coruripe – AL / Darlan Matínes Schmidt, 2009.

xi, 72f. : il., grafs., tabs.

Orientador: Marcos Antonio de Lima Moura.

Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2009.

Bibliografia: f. 66-72.

1. Meteorologia. 2. Coruripe, Rio (AL). 3. Sedimentação e depósitos.  
4. Assoreamento- Reservatórios. 5. Transporte de sedimentos. I. Título.

CDU: 551.3.051



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

### CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

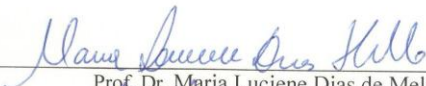
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-070.

*“TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO RIO CORURIBE E QUANTIFICAÇÃO DO  
SEU EMPILHAMENTO A PARTIR DO EVENTO PLUVIOMÉTRICO DE JUNHO/2009  
NO RESERVATÓRIO CORURIBE I, MUNICÍPIO DE CORURIBE-AL.”*

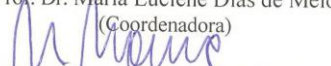
*Darlan Martínez Schimdt*

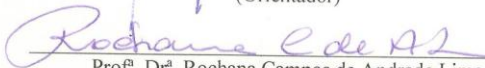
Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

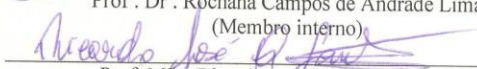
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



Prof. Dr. Maria Luciene Dias de Melo  
(Coordenadora)

  
Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura  
(Orientador)

  
Prof.ª. Dr.ª. Rochana Campos de Andrade Lima  
(Membro interno)

  
Prof. MSc. Ricardo José Queiroz dos Santos  
(Membro externo – CESMAC)

Fevereiro/2010

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, Darci e Inês pelo amor, força, compreensão e incentivo e a meus irmãos, Daniel e Douglas pela motivação e apoio oferecidos e a todos os meus familiares que de alguma maneira me apoiaram e colaboraram ao longo da minha trajetória. Em especial o meu avô Herberto Getúlio Schmidt, pelo apoio e motivação ao meu sucesso, que veio a falecer no decorrer desta etapa.

À minha namorada, Marília, pelo companheirismo, dedicação e paciência durante a realização desta pesquisa.

Amo todos vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. e amigo Dr. Marcos Antônio Lima Moura, orientador da dissertação, pela colaboração, apoio e paciência na realização desse estudo;

A Capes, pelo apoio dado ao desenvolvimento desta pesquisa;

Ao Instituto de Ciências Atmosféricas, pela oportunidade a mim concedida para a realização do mestrado;

À Professora Dra. Rochana Campos de Andrade Lima (IGDEMA) e ao Professor Msc. Luíz Tarcísio (IGDEMA) pela ajuda como também ao Laboratório de Ciências do Mar e Naturais - UFAL;

A S.A.Usina Coruripe Álcool e Açúcar por ter disponibilizado a área de estudo, funcionários e suas instalações para o desenvolvimento desta pesquisa;

Ao amigo e Prof. Dr. Ricardo Amorim e aos amigos e colegas de curso Henrique Repinaldo, Allan Rodrigues, Marcos de Andrade (Jequiá), Ricardo, Paulo e Eduardo (Biro-Biro) pela ajuda concedida em algumas etapas;

E aos professores do Mestrado pelos ensinamentos concedidos;

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Níveis do índice de correlação para análise estatística.....	21
Tabela 2. Concentração de sedimentos em suspensão amostrada ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).....	39

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Localização da área de estudo.....	17
Figura 02. Aspecto visual do Ponto 1. Conjunto de Réguas Linimétricas .....	23
Figura 03. Vista parcial do Ponto 2 – região completamente assoreada a montante	23
Figura 04. Vista da Barragem em (a) e ponte a Jusante da barragem em (b) .....	24
Figura 05. Mapa Topo-Altimétrico da área de alagamento do reservatório (setembro de 2006) .....	25
Figura 06. Amostrador de Sedimentos de arraste.....	28
Figura 07. Draga do tipo Eckman para coleta de Sedimentos de Fundo .....	29
Figura 08. Campos de precipitação média anual (intervalo de 100 mm) para o estado de Alagoas. Fonte: (FIGUEIREDO, 2002).....	34
Figura 09. Comportamento da Precipitação média mensal normalizada (mm) para o período de 1990 – 2008 da estação pluviométrica de Camaçari.....	35
Figura 10. Comportamento da precipitação no período de operação da barragem 2007 – 2009 comparado com a precipitação da normal climatológica .....	36
Figura 11. Histograma de precipitação (colunas) e Hietograma de vazão (linha), médias mensais normalizadas da estação pluvio-fluviométrica de Camaçari.....	38
Figura 12. Dispersão dos dados de precipitação / vazão normalizadas climatologicamente, com a referida reta de regressão linear e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a estação de Camaçari .....	39
Figura 13. Comportamento da concentração de sedimentos amostrados em relação à precipitação média normalizada climatologicamente do período entre 1990 a 2008 .....	41
Figura 14. Comportamento da concentração de sedimentos amostrados em relação à vazão média normal do período 1978 – 2008 .....	42
Figura 15. Dispersão da reta de regressão linear entre concentração de sedimentos em suspensão relacionados às médias normalizadas de precipitação e o respectivo coeficiente de determinação.....	43
Figura 16. Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão relacionados às médias de precipitação e respectiva reta de regressão linear e coeficiente de determinação.....	44



- Figura 17. Locais assoreados, cobertos por eutrofização no interior do lago da barragem Coruripe –I sendo: (a) eutrofização de margem, (b) eutrofização em deltas, (c) eutrofização em meandros, (d) eutrofização deslocada pelo lago .....47
- Figura 18. Grande quantidade de sedimentos carregada pela calha do rio ao reservatório sendo: (a) sedimentos carregados pelo rio, (b) banco de areia formados por sedimentos.....47
- Figura 19. (a) desestabilização de margens por vazões elevadas, (b) rompimento da ponte da BR 101, (c) reservatório totalmente cheio, (d) abertura do dique de segurança e vegetação semi-aquática deslocada..... 48
- Figura 20. Traçado do percurso no levantamento batimétrico realizado no reservatório Coruripe – I (2009), sobreposto ao mapa de projeto original (2006) ...50
- Figura 21. Mapa do novo perfil de fundo da Barragem Coruripe – I levantado em 2009, sobreposto ao desenho original do lago em 2006. ....52
- Figura 22. Condições inadequadas de cultivo e da região totalmente assoreada a partir do entorno de 3/5 da extensão do reservatório, sendo (a) ausência de matas ciliares; (b) cultivo em declives acentuados; (c) cultivo em áreas de preservação; (d) cultivo até as margens do lago; (e) cultivo em terras assoreadas; (f) inutilização do reservatório ..... 56
- Figura 23. Aspectos das condições gerais atuais do entorno do reservatório Coruripe – I, sendo (a) carreamento oriundo de estradas; (b) desestabilização por solo descoberto; (c) cultivo até a margem; (d) sem mata ciliar preservada; (e) eutrofização de parte do lago; (f) assoreamento visível com cultivo na região assoreada ..... 57

## ANEXOS

Anexo 1 - Médias mensais anuais históricas das precipitações e as respectivas médias mensais do período entre 1990 a 2008 .....	72-74
Anexo 2 – Médias mensais anuais históricas das vazões e as referidas medias mensais do período entre 1978 a 2008.....	75-77
Anexo 3 – Comportamento médio das variáveis precipitação e vazão medias durante o período considerado para estudo compreendido entre 1978 a 2009 .....	78
Anexo 4 – Pontos levantados no Levantamento Topo – Batimétrico .....	79
Anexo 5 – Diferenças entre as épocas seca e cheia, sendo: (a e b) estação fluviométrica (Ponte da Rocheira); (c e d ) montante a Ponte da Rocheira; (e e f) jusante a Ponte da Rocheira; (g e h) margem direita da jusante a Ponte da Rocheira; (i e j) comporta de controle da represa Coruripe – I; (k e l) vertedouro da represa Coruripe – I; (m e n) jusante a represa Coruripe – I.....	80-82
Anexo 6 – Tabela 3 – Relação entre precipitação, volume escoado e produção de sedimentos de eventos da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe em 2009 .....	83
Anexo 7 - Amostrador de sedimentos de arraste com amostra de sedimentos coletada na seção de monitoramento da Bacia do Rio Coruripe.....	84
Anexo 8 – Amostras de material de fundo coletada no interior do reservatório Coruripe – I, comprovando a homogeneidade das mesmas .....	85

**SIGLAS E SÍMBOLOS**

NEB	- Nordeste Brasileiro
APP	- Área de Preservação Permanente
PDRH	- Projeto e Desenvolvimento de Recursos Hídricos
SEMARH	- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	- Zona de Convergência Inter Tropical
ANA	- Agência Nacional de Águas
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
R <sup>2</sup>	- Coeficiente de Determinação
R ou r	- Coeficiente de Correlação
GPS	- Global Positioning System
LABMAR	- Laboratório de Ciências do Mar e Naturais
IGDEMA	- Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
SERHI	- Secretaria Estadual de Recursos Hídricos e Irrigação
POA	- Perturbações Ondulatórias nos campos dos ventos Alísios
Q	- Vazão (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
P	- Precipitação (mm)
ha	- Hectares
t	- Toneladas

## RESUMO

SCHMIDT, D. M.; TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO RIO CORURIFE E QUANTIFICAÇÃO DO SEU EMPILHAMENTO A PARTIR DO EVENTO PLUVIOMÉTRICO DE JUNHO/2009 NO RESERVATÓRIO CORURIFE – I MUNICÍPIO DE CORURIFE – AL. Maceió, 2010, 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia - MET-UFAL-MS-70) – Instituto de Ciências Atmosféricas – Coordenação de Pós-graduação.

A pesquisa teve como objetivo avaliar o transporte no rio Coruripe e o empilhamento de sedimentos provindos de uma barragem que rompeu à montante do Reservatório Coruripe - I, mediante estudos da quantificação do transporte de sedimentos por arraste e em suspensão. O lago possui atualmente espelho d'água de 373 ha, construído para demanda de água para irrigação em 2006. Situa-se na BH do Rio Coruripe, com área de 1.562 km<sup>2</sup>. Pela batimetria, a profundidade do reservatório varia de 0,8 a 12,3 m, de montante à barragem. Para a quantificação dos sedimentos transportados em suspensão e rolamento foram coletadas amostras acima do reservatório e para os sedimentos de fundo foram coletados no interior do lago na mesma época do levantamento topo-batimétrico com amostrador draga tipo Ecman. As amostras de sedimentos em suspensão foram analisadas através da secagem total e posterior pesagem, as quais foram quantificadas proporcionalmente ao volume amostrado. Já com as amostras de fundo não foi possível determinar a granulometria por apresentarem homogeneidade na composição, contendo somente lodo. Estima-se que o volume inutilizado do lago em 3 anos de existência é de 59,12 %, com taxa média de sedimentos acumulados de aproximadamente 512.549,43 ton.ano<sup>-1</sup>. As áreas de maior assoreamento e eutrofização estão no sentido de jusante à montante por sedimentos oriundos de uma barragem rompida à montante e do rio que abastece o reservatório e das laterais para o centro, devido a sedimentos carregados pela erosão das áreas de encostas, as quais são cultivadas com cana-de-açúcar. Diante disso, não são mantidas as faixas de preservação ciliar, que atuariam como uma espécie de filtro, diminuindo essa contribuição direta. Estimou-se ainda que, se forem tomadas decisões urgentes para a contenção de sedimentos marginais, a vida útil deste reservatório pode se elevar para aproximadamente 85 anos. Caso contrário, se o atual nível de assoreamento continuar, a vida útil efetiva não ultrapassará 3 anos.

**Palavras-chave:** Transporte e deposição de sedimentos, assoreamento e vida útil de reservatório.

## ABSTRACT

SCHMIDT, D. M.; **SEDIMENT TRANSPORTATION IN CORURIBE RIVER AND QUANTIFICATION OF ITS PILING UP FROM THE RAIN EVENT IN 2009/JUNE IN THE CORURIBE RESERVOIR – I CORURIBE CITY.** Maceió, 2010, 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia - MET-UFAL-MS-70) – Instituto de Ciências Atmosféricas – Coordenação de Pós-graduação.

### **Sediment transportation in Coruribe River and quantification of its piling up from the rain event in 2009/June in the Coruribe Reservoir – I Coruribe city.**

The research aimed to evaluate the sediment transportation and deposition and the sedimentation (silt, siltation) in the Coruribe- I Reservoir, analyzing the quantification of the sediment transportation by drag (drag, dragging), and in suspension. The lake has, nowadays, 373 ha of water surface, and was built in 2006 to demand water for irrigation. It is located in the Coruribe River Hydrographic Basin, with 1562 Km<sup>2</sup> of area. According to the batimétricos (bathymetric) data, the depth of the reservoir varies from 0.8 to 12.3 m, from the montant to the dam.

To quantificate the transportation of the sediments in suspension and bearing, samples were taken above the reservoir, and the bottom sediments samples were collected within the lake at the same time as the Topo-bathymetric survey, with a Ecman dredging machine.

Samples of suspended sediments were analyzed through total evaporation and subsequent weighting, than quantified in proportion to the sample volume. The size of the bottom samples wasn't possible to determine due the composition homogeneity of the samples, containing only mud. It was verified that the depositions are predominantly made up of silt and clay. It was estimated that the assoread volume of the lake, in 3 year of existence, is about 59,12%, with mean rate of sediment accumulated around 512,549.43 ton.ano<sup>-1</sup>. The areas of greater sedimentation and eutrophication were in the direction from downstream to montant by sediments, derived from the river that provides the reservoir and from the laterals to the centre, due to sediment erosion brought from areas of the reservoir slopes, planted with cane sugar, in which are not maintained the tracks of ciliary preservation, which would act as a kind of filter by reducing this direct contribution. It is estimated that, if urgent decisions to contain the marginal sediments were taken, this reservoir utile life can rise to approximately 85 years, otherwise, if the current level of sedimentation (sedimentation) continues, the effective utile life will not exceed 3 years.

**Key words:** Transport and deposition of sediments, siltation and useful life of reservoir

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS .....	II
LISTA DE TABELAS .....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE ANEXOS .....	VI
SIGLAS E SÍMBOLOS .....	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
SUMÁRIO.....	X
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Importância da Sedimentometria em Rios e Represas .....	4
2.2. Manejo de Bacias Hidrográficas.....	5
2.3. Erosão, Transporte e Deposição de Sedimentos .....	6
2.3.1. Fatores que Controlam e Amenizam a Erosão.....	7
2.3.2. Importância das Florestas e Mata Ciliar .....	8
2.3.3. Produção de Sedimentos .....	9
2.3.4. Transporte e Deposição de Sedimentos.....	10
2.4. Processo de Assoreamento .....	11
2.4.1. Assoreamento em Reservatórios.....	13
2.4.2. Previsão de Vida Útil de Reservatórios .....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1. Área de estudo.....	17
3.1.1. Bacia Hidrográfica do rio Coruripe .....	17
3.1.2. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Coruripe .....	18
3.1.2.1. Aspectos Fiográficos .....	18
3.1.2.2. Características Climáticas .....	19
3.1.2.3. Características Geológicas.....	19
3.2. Dados utilizados da Bacia hidrográfica do Rio Coruripe.....	20
3.2.1. Precipitação.....	20
3.2.2. Vazão .....	20

3.2.3. Correlação entre dados de precipitação e vazão normalizados .....	20
3.2.4. Concentração Sólida .....	21
3.3. Área Experimental .....	22
3.3.1. Localização .....	22
3.3.2. Caracterização do Reservatório .....	22
3.3.3. Pontos de Monitoramento .....	23
3.4. Equipamentos Utilizados .....	24
3.4.1. Material cartográfico .....	24
3.4.2. Levantamento topo-batimétrico .....	26
3.4.2.1. Importância .....	26
3.4.2.2. Batimetria .....	26
3.4.3. Amostragens .....	27
3.4.3.1. Sedimento em suspensão .....	27
3.4.3.2. Sedimento por arraste e fundo .....	28
3.4.4. Análises laboratoriais .....	29
3.4.4.1. Concentrações de sedimentos em suspensão .....	29
3.4.4.2. Concentração de sedimentos por arraste e fundo .....	30
3.5. Tratamento dos dados .....	30
3.6. Cálculo do volume útil do reservatório .....	30
3.7. Cálculos e dados complementares .....	31
3.7.1. Concentrações da descarga sólida do rio a montante do reservatório .....	31
3.7.2. Avaliação do assoreamento e/ou volume morto total do reservatório .....	31
3.7.3. Avaliação da vida útil do reservatório .....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	33
4.1. Precipitação .....	33
4.1.1. Distribuição da Precipitação Média Anual .....	33
4.2. Vazão .....	37
4.3. Concentração Sólida .....	39
4.4. Levantamento Topo-batimétrico .....	49
4.5. Alteração na capacidade de armazenamento entre 2006 e 2009 .....	53

4.6. Produção de Sedimentos.....	53
4.7. Estimativa da vida útil do reservatório.....	55
4.8. Assoreamento do Reservatório Coruripe-I.....	56
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
5.1. CONCLUSÕES .....	58
5.2. RECOMENDAÇÕES .....	59
6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
7- ANEXOS .....	71



## 1- INTRODUÇÃO

O Estado de Alagoas tem um regime pluviométrico irregular, onde há má distribuição temporal e espacial das chuvas, ou seja, as precipitações ocorrem por no máximo seis meses ao longo do ano, podendo chover de forma considerável em um determinado local e praticamente nada no outro.

A dinâmica de uso e ocupação do solo, em bacias hidrográficas, exige estudos para a compreensão dos diversos impactos provocados pela ação antrópica e estratégias adequadas para a conservação dos recursos naturais nestas áreas. O uso do solo e de novas tecnologias nem sempre levam em consideração os manejos mais adequados desses recursos, o que vem a promover maior desgaste e empobrecimento do meio físico considerado, o solo.

Um dos recursos naturais bastante explorados no Brasil são os cursos d'água para construção de barragens, com a finalidade de formar reservatórios e lagos para atender diversas necessidades, tais como: geração de energia elétrica, abastecimento de água, irrigação, etc.

Atualmente, a crescente escassez dos recursos hídricos, particularmente provocada pelo advento da irrigação, impôs a necessidade da busca pela minimização do uso da água. Nesta direção a política nacional de recursos hídricos (Lei 9.433/97), com seus instrumentos de outorga, enquadramento, planos de recursos hídricos, cobrança e sistema de informações; além do instituto dos comitês de bacias hidrográficas, forçaram todo o setor produtivo a minimizar seus consumos hídricos. Em 1997 foi instituída em Alagoas a Lei n° 5.965 que determina a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. No entanto, ainda, não existem diretrizes de ações que efetivem a legislação, o que torna o estado carente de informações que propiciem esta instrumentação.

A bacia hidrográfica do rio Coruripe foi à primeira, no estado, a implantar o seu Plano Diretor. A S.A. Usina Coruripe Açúcar e Álcool é um dos principais usuários de água do rio Coruripe, e preocupada com o quadro evolutivo dos problemas de qualidade e escassez de água no atendimento de suas demandas, bem como às de outros usuários, antecipou estudos referentes aos recursos hídricos da bacia hidrográfica daquele rio.

A caracterização dos ambientes naturais, suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam melhor estimativa das potencialidades erosivas em cada bacia.

Devido à erosão hídrica, a taxa de produção de sedimentos de bacias hidrográficas eleva-se, promovendo gradativa redução da disponibilidade das águas armazenadas nos reservatórios superficiais, a principal fonte hídrica do semi-árido do Nordeste Brasileiro (NEB).

Um fator que muitas vezes não é levado em consideração, apesar da importância e de estar protegida por legislação federal, são as matas ciliares, que se encontram devastadas na maioria das áreas vertentes e marginais de rios e reservatórios, em virtude das ações antrópicas indiscriminadas. A fragilidade de um ambiente árido também contribui para este estado de degradação, embora não justifique o descaso das autoridades em relação a esses ambientes.

A construção de uma barragem em um rio causa diversas alterações significativas no leito, na geometria e no fluxo de água que segue para o reservatório. Partículas sólidas são transportadas pelo escoamento e ocorre a deposição no reservatório, elevando o leito do rio e causando assoreamento. O assoreamento é causado, principalmente por processos erosivos na bacia hidrográfica, acelerados pela interferência antrópica, pois é nestes locais que se concentram um dos maiores problemas ambientais. A ação humana faz com que a degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, aumente a cada dia.

Existem poucos trabalhos referentes ao estudo da vida útil de reservatórios no país. Somente a partir da década de 80 foi dado maior enfoque a este problema ambiental. Diversos corpos d'água se encontram total ou parcialmente assoreados. Este tipo de problema ambiental se deve ao fato de não se considerar previamente o potencial erosivo das bacias hidrográficas, bem como os estudos a respeito da vida útil destes reservatórios.

Os problemas que aparecem em estudos sedimentológicos para a formação de um reservatório dizem respeito à quantidade anual de sedimento afluente, ao sedimento que passará pelo reservatório e quanto será retido, à perda de capacidade causada pelos depósitos, à sua distribuição e aos efeitos que trarão na redução do volume útil, bem como efeitos da retenção de sedimentos no lago que poderão afetar o curso d'água a jusante da barragem.

A velocidade com que ocorre esse efeito de assoreamento, além dos fatores já mencionados, está diretamente associada ao volume de água afluyente ao reservatório, o qual carrega junto a seu fluxo, a quantidade de sedimentos disponível. Essa variável, portanto, apresenta uma ligação direta com o regime de precipitações, tanto de sua distribuição temporal como espacial. A velocidade do fluxo que entra no reservatório é reduzida, devido ao aumento da seção transversal corrente. Isto provoca queda acentuada, ou mesmo eliminação, da turbulência do fluxo, reduzindo a capacidade de transporte de sedimentos no reservatório, provocando a sedimentação da carga em suspensão e de arrasto.

Estudos de assoreamento em reservatórios como o caso do Reservatório Coruripe - I justificam-se como subsídio ao planejamento adequado de futuras obras regionais, sobretudo devido à previsão da construção de outros reservatórios.

O presente estudo teve como objetivo, avaliar o estado de assoreamento do Reservatório Coruripe - I, mediante estudos de transporte de sedimentos oriundos de áreas adjacentes ao lago e as diferenças entre os volumes de água disponíveis entre a época da implantação e a época do estudo, encontradas por diferenças entre áreas e profundidades.

Também foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) *Elaborar o novo mapa de perfil do fundo com as alterações na profundidade média do represamento do lago entre 07-09;*
- b) *Estimar a redução do volume útil do reservatório durante o período de operação;*
- c) *Avaliar a taxa média de erosão da Bacia Hidrográfica;*
- d) *Quantificar o volume morto total do reservatório até a época do estudo;*
- e) *Estimativa da vida útil operacional do reservatório pelas condições atuais e pela vazão sólida afluyente;*

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1- Importâncias da Sedimentometria em Rios e Represas

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente, no assoreamento dos cursos e dos espelhos d'água (LOMBARDI NETO *et al.* 1990). Coiado (2001) cita que a degradação da natureza, como o desmatamento desordenado, o uso irracional do solo pela agricultura, indústria, obras civis, etc., associada aos fenômenos naturais de precipitações e inundações, como os verificados nas regiões tropicais, resulta em quantidades de solo (sedimentos) que chegam aos rios e reservatório, muito maiores que aquelas produzidas em condições de equilíbrio natural.

Conforme Paiva *et al.* (2000), o conhecimento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Os problemas causados pelos sedimentos são dependentes da quantidade e de sua natureza, fatores que decorrem dos processos de produção, transporte e deposição (PAIVA *et al.*, 1995), o que significa dizer que os sedimentos causam três tipos de prejuízos: no local de origem, no trecho onde transitam e no local de sua deposição (MEYER, 1972).

Branco (1998), completa que, somado à redução do potencial de produtividade dos solos devido a remoção da camada fértil e de fertilizantes presentes no solo, do recobrimento de áreas agricultadas por sedimentos estéreis e do encharcamento das mesmas, tem-se a presença significativa de sedimentos nos cursos d'água que ocasionam vários problemas, afetando a operação de obras como reservatórios, barragens e canais, que como consequência, afetam a geração de energia elétrica, abastecimento, irrigação, amortecimento de cheias e a regularização dos cursos d'água. Ainda, segundo o autor supracitado, esse acúmulo de sedimentos na calha dos rios retrata outro problema, que o leito antes livre de sedimentos, agora assoreado, transborda tal calha acarretando o alagamento de áreas ribeirinhas e possível agravamento do tipo enchente.

De acordo com Carvalho (1994), o transporte de sedimento ocorre principalmente nos cursos de água, sendo que 70 a 90% da quantidade transportada ocorrem no período das chuvas, assim como a erosão.

O estudo e a compreensão dos fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas de solo são de grande importância, pois podem servir como ponto de partida para elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, sem os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

## **2.2 - Manejos de Bacias Hidrográficas**

Segundo Faustino (1996), o manejo de Bacia Hidrográfica é a ciência ou arte que trata da gestão para se conseguir o uso apropriado dos recursos naturais em função da intervenção humana e suas necessidades, proporcionando ao mesmo tempo a sustentabilidade, a qualidade de vida, o desenvolvimento e o equilíbrio do meio ambiente.

Barroso (1987) salienta que, onde as áreas já estão todas em regime de exploração, a grande dificuldade do planejador é conciliar a conservação dos recursos naturais com a exploração econômica desenfreada.

Segundo Sperling (1999), para se evitar a morte precoce de lagos, principalmente aqueles de pequeno tamanho, e a sua posterior transformação em pântanos e, por conseguinte, em desertos, é necessária a adoção de medidas preventivas e corretivas, tanto no próprio corpo d'água quanto na sua bacia de drenagem. Dentre estas medidas podem ser citadas o disciplinamento do uso e ocupação do solo, o controle de focos de erosão, a construção de anéis interceptores circundando os lagos, a implantação de bacias de sedimentação nos tributários e a dragagem de sedimentos, além naturalmente da implantação de programas de educação ambiental.

Tucci (1993) cita ainda que o planejamento da ocupação da bacia hidrográfica é uma necessidade numa sociedade com usos crescentes da água, a qual tende a ocupar espaços com riscos de inundação, além de danificar o seu meio, enfatizando que a tendência atual envolve desenvolvimento sustentado de bacia hidrográfica, que implica no aproveitamento racional dos recursos, com o mínimo dano ao ambiente.

### 2.3 - Erosão, Transporte e Deposição de Sedimentos

A chuva é sem dúvida nenhuma a principal causa da erosão ocorra, pois a partir do impacto da gota com a partícula de solo, esta se desagrega, dependendo apenas da quantidade, intensidade e duração, tendo como dependências aliadas a esse processo, a declividade do terreno, o que pode ou não acelerar seu deslocamento, a cobertura do solo, o que primeiramente intercepta a queda das gotículas, e, por conseguinte, atua como um freio na velocidade do escoamento, e com isso propicia a infiltração, dependendo da permeabilidade do solo em questão e da capacidade de retenção do mesmo, somando ainda uma pequena parcela de contribuição referente a eventos antecedentes ao analisado, devido ao encharcamento do solo ou não.

Os processos hidrológicos associados ao uso e manejo da terra claramente exercem um papel dominante na produção e transporte de sedimentos (MACHADO & VETTORAZZI, 2003).

A erosão, conforme Coiado (2001) é um fenômeno geológico que ocorre naturalmente, independente da ação humana, sendo o processo responsável pela atual esculturação do relevo do nosso planeta, esculpido ao longo dos anos. Porém, este fenômeno natural pode ter seu equilíbrio dinâmico rompido a partir das formas inadequadas de ocupação e uso da terra, o que tem provocado alterações na paisagem, assim como causado modificações irreparáveis.

Simões *et al.* (2001) denominam a erosão como sendo um conjunto de processos decorrentes do intemperismo, como desgaste de solos e rochas. Segundo Scapin (2005), quando esta erosão é natural, este processo geológico encontra-se em equilíbrio. A partir do momento em que o equilíbrio é rompido, ocorre à erosão acelerada. O homem tem sido o principal responsável por essa aceleração, seja pelo uso de práticas agrícolas inadequadas, seja pela implantação de obras sem considerar as características do solo.

A erosão do solo é um processo complexo que se manifesta de diversas formas na natureza, sendo também complexa a sua medida. Estudos de erosão laminar, em sulcos ou em estradas que são fenômenos mais comuns, não são medidos. No Brasil para cada quilograma de grão produzido, o país perde entre 6 a 10 quilogramas de solo por erosão (SANTOS *et al.*, 2001). A principal consequência deste impacto é o assoreamento dos mananciais, que além de

modificar ou deteriorar a qualidade da água, a fauna e a flora (CARVALHO *et al.*, 2000), provoca o decréscimo da velocidade da água (CURI *et al.*, 1993), resultando também, em redução da disponibilidade hídrica de rios e reservatórios.

### **2.3.1 - Fatores que Controlam e Amenizam a Erosão**

Segundo Tomas (1993) para a erosão não existe cura. Porém, existem mecanismos e instrumentos que permitem detectar e diagnosticar sinais precoces e implementar medidas que reduzam a sua taxa. Alguns fatores influenciam os processos erosivos, tais como a cobertura pedológica, a ocupação do solo, a topografia, a área de drenagem, o clima, efeitos da energia cinética da chuva, importância da vegetação na formação de húmus e teor de agregados, condições antecedentes ao evento pluvioso e a hidrologia local (AUZET *et al.*, 2002, LEE *et al.*, 2002).

A cobertura pedológica tem um papel essencial sobre o processo de erosão através da sua capacidade de infiltração e de sua erodibilidade. O estado de degradação estrutural do horizonte superficial e da condutividade hidráulica do solo tem um efeito sobre a infiltração da água. A erodibilidade depende principalmente da estabilidade estrutural do solo, indicativo da coesão dos agregados e de sua resistência a desagregação sob a ação da chuva. Os tipos de ocupação dos solos, da distribuição das culturas e utilização da natureza, constituem obstáculos ao escoamento superficial influenciando globalmente a erosão.

Já a topografia, principalmente a declividade e o comprimento da rampa determinam a velocidade e importância do escoamento superficial nas vertentes e, portanto da desagregação e do transporte das partículas do solo. As precipitações agem através da energia cinética das gotas, ligadas essencialmente a sua intensidade. O contexto hidrológico atua na delimitação da extensão das zonas saturadas e próximas da saturação nas quais o escoamento superficial e, portanto da erosão podem ser importantes. Em um mesmo solo, diferentes intensidades de erosão podem ser observadas segundo a umidade e o estado superficial do solo (AUZET *et al.*, 2002).

### 2.3.2 - Importância das Florestas e Mata Ciliar

As florestas e matas, mesmo quando situadas em solos de baixa produtividade, além de seu aspecto paisagístico, exercem papel de fundamental importância no que diz respeito à conservação e manutenção dos recursos hídricos e do solo. Contribuem para a manutenção da qualidade do meio ambiente, não somente através de sua influência sobre fatores climáticos, mas principalmente, mediante controle quase total da erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO 1985; SILVA *et al.*, 1993).

Em relação às águas e aos mananciais, as matas ciliares exercem papéis de extrema importância, tais como: escoamento das águas da chuva, diminuição do pico dos períodos de cheia, estabilidade das margens e barrancos de cursos d'água, equilíbrio da temperatura das águas (favorece os peixes), ciclo de nutrientes existentes na água, entre outros. Logo, um solo sem cobertura vegetal ou florestal reduz drasticamente sua capacidade de retenção de água de chuva, ou seja, em vez de se infiltrar no solo, ela escoar sobre a superfície dando início ao escoamento superficial, aumentando gradativamente a velocidade do escoamento, ocasionando enormes enxurradas que não permitem o bom abastecimento do lençol freático, o que por sua vez promove a diminuição da água armazenada.

Conforme Silva (2006), o Código Florestal Brasileiro define que a mata ciliar tem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e de flora, bem como proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

As matas ciliares e/ou florestas de galeria, estão asseguradas em lei federal, nas áreas que englobam as áreas de preservação permanentes (APP). As APPs são assim discriminadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja: 1 - de 30 m (trinta metros) para os cursos d'água de menos de 10 m (dez metros) de largura; 2 - de 50 m (cinquenta metros) para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 m (cinquenta metros) de largura; 3 - de 100 m (cem metros) para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 m (duzentos metros) de largura; 4 - de 200 m (duzentos metros) para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 m (seiscentos metros)



de largura; 5 - de 500 m (quinhentos metros) para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m (seiscentos metros).

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m (cinquenta metros) de largura; (Redação determinada pela Lei nº7. 803/89);

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive.

Consideram-se ainda, de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

a) a atenuar a erosão das terras; b) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias; c) a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico; d) a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção; e) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas; f) a assegurar condições de bem-estar público.

A retirada da vegetação, além de alterar a paisagem contribui para o enfraquecimento do solo. Segundo Dill (2002) a diminuição ou perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material. Outro papel importante das matas é que a maior parte da água fica retida nas folhas, que são importantes no sentido de reduzir a velocidade das gotas de água, minimizando o impacto desta no solo.

### **2.3.3 - Produção de Sedimentos**

A quantidade de sedimentos produzida por uma bacia hidrográfica depende de dois princípios básicos: primeiro que haja disponibilidade de material suscetível de ser transportado e segundo, que o escoamento tenha capacidade para transportar esse material.

Carvalho (1995), num estudo na bacia do rio São Francisco, verificou que o aumento da produção de sedimentos está sendo causado pela urbanização e

mineração na bacia, pelo aumento de áreas agrícolas para a produção de alimentos e pela construção de estradas, aliados a presença de fortes chuvas.

Esse sedimento disponível para ser transportado, existente nas bacias vertentes, é decorrente da lavagem das mesmas tendo origem na erosão causada pelo impacto da gota da chuva sobre o solo e no incorreto e inapropriado uso deste. Já, na própria calha do rio, esse material para ser transportado, provém da erosão das margens, do fundo e da descarga de abastecimento de montante. De acordo com Gupta & Saul (1996) este transporte é denominado de carga de lavagem (flush load). A intensidade do fenômeno da carga de lavagem é maior em bacias menores.

#### **2.3.4 - Transporte e Deposição de Sedimentos**

O transporte de sedimentos é um processo que envolve remoção, transporte e deposição de material e faz parte da evolução da paisagem, originando as formas geomorfológicas (SANTOS *et al.*, 2001).

As formas de transporte sedimentos são: carga sólida de arrasto; carga do leito ou saltante e carga sólida em suspensão. A carga sólida de arraste são as partículas de sedimentos que rolam e escorregam sobre o leito dos cursos d'água. A carga sólida saltante são as partículas que pulam devido a colisão umas nas outras e sob o efeito da corrente de água. A carga sólida em suspensão são as partículas de sedimentos capazes de se manter em suspensão pelo fluxo turbulento devido ao seu peso reduzido. Um decréscimo na capacidade de transporte causa a imediata deposição desta partícula. Já os sedimentos em arraste, os quais estão uniformemente distribuídos na lâmina de água escoada superficialmente, não são depositados imediatamente devido ao decréscimo na capacidade de transporte. Esse retardamento é resultado da pequena velocidade de sedimentação das partículas em suspensão (BORDAS & SEMMELMANN, 1993).

As cargas em suspensão e dissolvidas são transportadas na mesma velocidade em que a água flui. Esta carga sólida saltante e a de arrasto representam entre 10 e 20% da carga em suspensão, enquanto em rios anastomosados a carga de leito pode exceder 50% da carga total (SUGUIO & BIGARELLA, 1990).

Segundo Simons & Senturk (1976), a quantidade de material transportado ou depositado num rio depende de uma série de condições divididas em dois grupos

de variáveis que influenciam na quantidade e na qualidade do sedimento transportado e na competência do rio de transportar aquele sedimento.

Para Carvalho *et al.*, (2000), a maior parte da descarga sólida, aproximadamente 95%, é representada pelo sedimento em suspensão. Por esta razão e pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte dos eventos individuais só contemplam o sedimento em suspensão.

Conforme descrito por Carvalho (1994), os sedimentos que chegam ao curso d'água tem diversas granulometrias e sofrerão um processo de transporte variado de acordo com as condições locais do escoamento, onde atuarão forças para manter a partícula em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito, em função do tamanho da partícula, do peso e forma. Também é função da forma do escoamento, se laminar ou turbulento, da velocidade da corrente, dos obstáculos no leito e de diversas outras funções que estão inter-relacionadas, como declividade do leito, forma do canal, temperatura da água, etc. É sabido que nem todo o sedimento que passa por uma secção transversal de um curso d'água é governado com a mesma lei (UMEZAWA, 1979).

Quando o material transportado por um curso d'água provém da superfície da bacia contribuinte ele é caracterizado como deplúvio (Washload) e seu transporte se dá predominantemente em suspensão, atingindo ao redor de 90 a 95% do total de sedimentos transportados (UMEZAWA, 1979; FIGUEIREDO, 1989).

A deposição é seletiva por tamanho. Primeiro se depositam as partículas maiores e mais pesadas, posteriormente as partículas mais finas e por último se deposita o material dissolvido (UFRA, 2007).

## **2.4 - Processo de Assoreamento**

No Brasil, no início da década de 80 se teve preocupação com o assunto de assoreamento de rios e canais, com os estudos de Ponçano *et al.*, (1981), Gimenez *et al.*, (1981) e Carlstron Filho *et al.*, (1981), quando apresentaram métodos de análise de assoreamento para os reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS), respectivamente (CARVALHO, 2000).

Segundo Infanti & Fornasari (1998), o assoreamento é um processo que consiste na acumulação de partículas sólidas (sedimento) em meio aquoso,

ocorrendo quando a força do agente transportador natural é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a super saturação das águas permite a deposição. A intensificação deste processo (assoreamento) decorre em geral das atividades antrópicas, relacionadas diretamente do aumento de erosão pluvial, por práticas agrícolas inadequadas e infra-estrutura precária de urbanização, bem como da modificação da velocidade dos cursos d'água por barramentos, desvios, entre outros.

Ao se construir um reservatório, altera-se a característica hidráulica do trecho compreendido entre a barragem e a seção à montante, muda-se o estado de equilíbrio do fluxo, proporcionando a desaceleração do movimento das partículas na direção da corrente, fazendo com que as partículas sólidas como pedregulhos e areias grossas se depositem mais próximas da entrada do reservatório quanto maior o seu diâmetro.

As partículas mais finas, cuja sustentação e viscosidade exercem papel relevante, ou vão se depositar no trecho mais baixo do reservatório ou permanecer em suspensão alcançando os órgãos de descarga (LOPES, 1993; MORRIS & FAN, 1997; CARVALHO, 1994 e 2000).

Segundo Ramos (1999), as duas origens de transporte sólido são as correspondentes à carga de lavagem da bacia e outra ao transporte do material que compõem o material do leito. A fração mais grossa da carga de lavagem, ao adentrar no reservatório pode chegar a se depositar, dependendo do tempo de residência ou de outros fatores de natureza físico – química que possa favorecer a floculação e, conseqüentemente, a decantação. Já a fração mais fina pode manter-se em suspensão por mais tempo em forma até de suspensão coloidal e atravessar os limites do barramento, não chegando a assorear.

Para Carvalho *et al.*, (2000) vários fatores influenciam a formação dos depósitos, sendo que os principais são: sedimentos afluentes; eficiência de retenção do sedimento no reservatório e a densidade dos depósitos e volume de sedimento depositado. Com relação ao transporte e a velocidade de sedimentação e assoreamento existem diferenças de um reservatório para outro, sendo esses processos condicionados pela vazão, tempo de residência e seção transversal dos rios que formam o reservatório, além da característica morfométrica do sistema, localização e uso da bacia hidrográfica.

De acordo com Morris & Fan, (1997) e Carvalho (2000), à medida que o tempo decorre, os impactos do assoreamento se tornam mais severos e mais fáceis de serem constatados, mas de difícil solução. São esperadas conseqüências tanto a montante quanto à jusante.

#### **2.4.1- Assoreamento em Reservatórios**

Em relação ao aspecto sedimentológico, as barragens geram uma redução das velocidades da corrente provocando a deposição gradual dos sedimentos carregados pelo curso d'água, ocasionando o assoreamento, diminuindo gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório e podendo até mesmo torná-lo inoperante e inviável, além de ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas.

Sperling (1999) comenta que o intenso aporte de material mineral (principalmente areia, silte e argila) é o fenômeno causador do assoreamento dos corpos d'água. No caso de lagos e represas, que apresentam um elevado tempo de residência da água, em comparação com os rios, ocorre a deposição deste material na região de entrada dos tributários. A deposição de montante se denomina depósito de remanso (*backwater deposit*), em referência ao fenômeno hidráulico, sendo também remontante à medida que aumentam os depósitos nestas áreas. As deposições dentro do reservatório são chamadas de delta (*delta*), depósito de margem (*overbank*) e depósito de leito (*bottom-set deposit*). O delta se forma com sedimentos grossos, enquanto que os depósitos do interior com sedimentos mais finos.

As enchentes produzem outro tipo de deposição, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, formado por sedimentos mais finos e grossos e que é denominada depósito de várzea ou depósito de planície de inundação (CARVALHO *et al.*, 2000).

À medida que a deposição de sedimentos aumenta, 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 diminuindo a eficiência de retenção das partículas, demonstrando que a evolução do fundo do reservatório depende fortemente da

geometria do reservatório e do tamanho do sedimento depositado (MORRIS & FAN, 1997; TARELA & MENÉNDEZ, 1999; CARVALHO, 2000).

Quanto à medição do assoreamento de um reservatório, podem-se utilizar vários métodos, como o de previsão de assoreamento proposto por Carvalho *et al.* (2000), método da planimetria de curvas batimétricas, ou pelo método do amostrador Piston Core, utilizado por Saunitti (2003) na represa de Passaúna - PR, que obtém testemunhos verticais pouco deformados, demonstrando que é possível correlacionar o material depositado com as áreas-fonte, sabendo-se também a espessura da camada depositada em cada ponto amostrado (CABRAL, 2005).

Todos os reservatórios fatalmente ficarão assoreados em maior ou menor tempo. A questão primordial é verificar se não haverá problemas que venham impedir a operação do aproveitamento dentro do tempo de vida útil econômica. Por outro lado, tende a procurar-se minimização dos efeitos secundários derivados do sedimento. Em razão disso faz-se a previsão do assoreamento na fase de planejamento e procura-se acompanhar a formação dos depósitos e os efeitos do assoreamento na fase de operação independente do porte do reservatório.

A determinação da nova capacidade e do grau de assoreamento é a principal finalidade do levantamento topo-batimétrico. Segundo Sperling (1999), a batimetria consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica.

Dentre os produtos de um levantamento dessa natureza, cita-se: volume de água ou capacidade do reservatório nas condições atuais (da época do levantamento), nova área do espelho d'água; o desenho das novas curvas cota x área e cota x volume; nova geometria do leito do reservatório; o desenho da curva de dejeção de sedimentos; a verificação das características morfológicas dos sedimentos acumulados; a quantificação do sedimento assoreado no período por comparação com levantamentos anteriores ou do mapa da época de formação do reservatório; capacidade de retenção de sedimentos pelo reservatório; descarga sólida média afluyente; verificação da porcentagem de sedimento depositado no reservatório, no volume morto e o volume perdido na área do volume útil.

A previsão do assoreamento de um reservatório é função dos objetivos a serem atendidos. Na fase de inventário o principal objetivo é estimar o tempo de assoreamento total e a vida útil do aproveitamento. Nas fases de viabilidade e projeto básico os estudos são mais laboriosos, procurando-se garantir a verificação

dos efeitos do assoreamento e as soluções gerais de controle de sedimento (controle preventivo). Na fase de operação procura-se acompanhar o assoreamento através de levantamentos sistemáticos, monitoramento sedimentométrico, vigilância sobre as transformações na bacia e outros estudos, sempre visando à possibilidade de controle preventivo e, quando não for possível, o controle corretivo mais adequado (CARVALHO *et al.*, (2000).

#### **2.4.2 - Previsão de Vida Útil de Reservatórios**

Os reservatórios interceptam a maior parte das descargas sólidas transportadas na rede fluvial. A determinação dos volumes de sedimentos neles depositados fornece indicações preciosas e às vezes decisivas sobre a produção de sedimentos pelas bacias hidrográficas. Essa determinação é geralmente feita por comparação entre levantamentos topo-batimétricos feitos antes da construção da barragem e depois de um período de operação do reservatório, com uso de ecobatímetro (TUCCI, 1993).

O levantamento topo-batimétrico do reservatório pelo método do levantamento de seções transversais é o mais largamente usado para médios e grandes reservatórios (BRUK, 1985). O levantamento permite a determinação da capacidade do reservatório que, comparada com levantamento anterior, fornece o volume de sedimento depositado. Essa capacidade é calculada por dois métodos, com volumes parciais, utilizando as curvas traçadas ou seções transversais. (CARVALHO *et al.*, 2000).

Linsley & Franzini (1978) consideram que o tempo de vida útil de um reservatório termina quando o volume assoreado for suficiente para impedir que o mesmo seja utilizado de acordo com os propósitos para os quais foi construído, considerando para efeito de estimativa geral um volume equivalente à perda de 80% do volume útil do reservatório (CABRAL, 2005).

Bufon (1999), por meio de levantamentos topo-batimétricos, estudou o tempo de vida útil da represa Velha em Pirassununga – SP, onde comparou as medidas efetuadas em 1998 com as da época da construção da represa em 1940 e verificou uma perda de profundidade em termos de valores máximos (5m) e médios (2m), sendo o tempo de vida útil previsto para 230 anos.

Pode-se destacar também os trabalhos desenvolvidos por Carvalho & Catharino (1993) de um programa de estudos sedimentológicos para o reservatório de Itaipu apresentando a previsão do assoreamento e vida útil do reservatório com indicação da altura de sedimento no pé da barragem para 100 anos e o tempo em que o depósito alcançaria a soleira da tomada d'água.

A batimetria realizada no reservatório do Rio Santo Anastácio que abastece a cidade de Presidente Prudente-SP, com área alagada de 75,6 ha, mostrou que o volume do reservatório reduziu em 13,42% entre 1993 e 1998 (MACHADO *et al.*, 1998).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Área de estudo

##### 3.1.1 – Bacia Hidrográfica do rio Coruripe

A bacia do rio Coruripe é de grande importância para o estado de Alagoas, sendo a maior bacia totalmente inserida no estado. Destaca-se por preservar características de um regime hidrológico natural, apesar de pequenos represamentos e excessiva exploração das indústrias sucro-alcooleiras e por ser uma bacia hidrográfica pequena com uma quantidade de dados limitados (apenas uma estação fluviométrica com dados disponíveis) característicos das pequenas bacias das regiões Norte e Nordeste.

A bacia hidrográfica é situada no centro-sudeste alagoano e sua foz dista ao sul, aproximadamente 130 quilômetros da capital do Estado. Sua porção mais alta está inserida na zona fisiográfica do semi-árido e sua foz na Mata Atlântica, conforme pode ser visto na Figura 1.

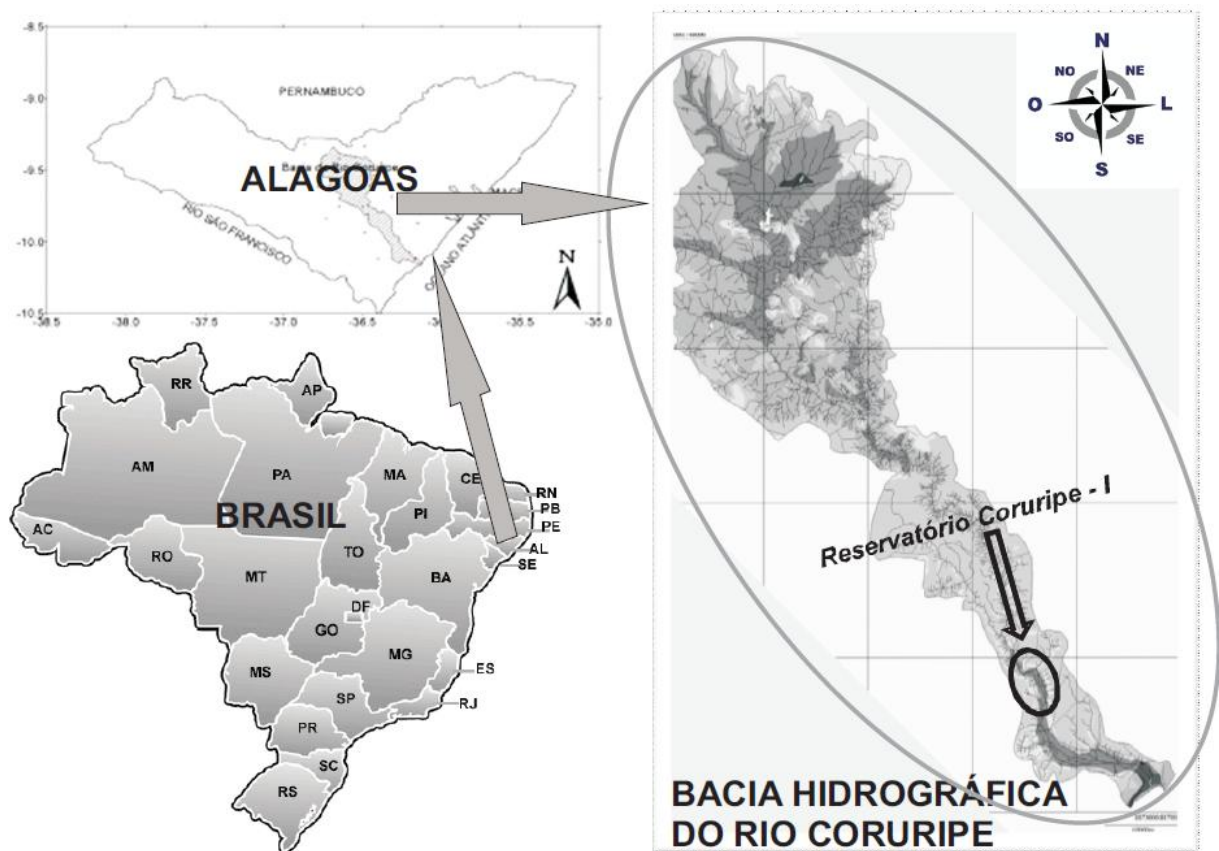


Figura 1- Localização da área de estudo.

### **3.1.2 – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Coruripe**

Com uma área de drenagem de aproximadamente 1.562 km<sup>2</sup> (SEMARH, 2003; VALLADARES, 2004), a maior parte desta bacia encontra-se sob domínio do clima tropical úmido, com transições para um clima tropical no extremo leste, sob influência da zona litorânea, passando para um clima semi-árido na parte noroeste. O regime pluviométrico da bacia do rio Coruripe caracteriza-se por uma precipitação média anual da ordem de 1.400 mm, [PDRH do Coruripe, 2001].

Sua economia é baseada na policultura, destacando-se o cultivo de feijão, milho, fumo, coco e cana-de-açúcar. As principais indústrias da região são as sucroalcooleiras, merecendo ênfase às usinas Coruripe e Seresta [PDRH do Coruripe, 2001].

De modo geral, a bacia caracteriza-se pela intensa ocupação antrópica, onde aparecem pouquíssimos remanescentes da vegetação original, principalmente na região sul da bacia, onde toda a mata atlântica nativa foi substituída por canaviais (PDRH do Coruripe, 2001).

#### **3.1.2.1 - Aspectos Fisiográficos**

O relevo da Bacia do Rio Coruripe faz parte da unidade dos Tabuleiros Costeiros no médio e baixo cursos, região onde se localiza o reservatório. Esta unidade acompanha o litoral de todo o nordeste e apresenta altitude variando de 10 a 100 metros. Compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural. A vegetação é predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de floresta subcaducifólia e cerrado / floresta (BRASIL, 2005).

Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos e Podzólicos nos topos de chapadas e topos residuais, pelos Podzólicos com Fregipan, Podzólicos Plínticos e Podzóis nas pequenas depressões nos tabuleiros, pelos Podzólicos Concrecionários em áreas dissecadas e encostas e Gleissolos e solos Aluviais nas áreas de várzeas. Esta região da cabeceira até a foz encontra-se geologicamente inserida na Província Borborema, representada pelos litótipos do

complexo Nicolau/Campo Grande e pelos grupos Macunará e Igreja Nova, Coruripe e Barreiras e pelos Depósitos de Pântanos e Mangues, Depósitos Flúvio-lagunares e Depósitos Litorâneos (BRASIL, 2005).

### **3.1.2.2 - Características Climáticas**

O clima específico, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, é o Tropical Chuvoso com verão seco, enquadrado no Semi-Árido Nordestino, com temperatura média anual de 24,4°C. A precipitação média anual é 1400 mm, porém com grande variação espacial, oscilando entre um mínimo de 650 mm/ano na região de Arapiraca no oeste, parte alta da bacia, e um máximo de até 1.600 mm/ano na região de Pindorama, na faixa litorânea. O trimestre mais chuvoso ocorre entre maio e agosto, em praticamente toda a bacia, enquanto os meses menos chuvosos concentram-se no período do verão, entre os meses de novembro a fevereiro [PDRH do Coruripe, 2001]. A umidade relativa do ar média anual é em torno de 62% com ventos predominantes de leste-nordeste. A região é periodicamente influenciada por sistemas sinóticos tipo VCANs, pela ZCIT e pela confluência dos Ventos Alísios, responsáveis pela modelação e comportamento do regime climático e do regime de precipitação (PDRH do Coruripe, 2001).

### **3.1.2.3 - Características Geológicas**

A região de Coruripe encontra-se geologicamente inserida na Província Borborema, com rochas cristalinas da nascente até Campo Alegre e Bacia Sedimentar até a foz, representada pelos litótipos do complexo Coruripe e Barreiras e pelos Depósitos de Pântanos e Mangues, Depósitos Flúvio-lagunares e Depósitos Litorâneos. O Complexo Nicolau/Campo Grande (An) engloba xistos, gnaisses, mármore, BIF, metamáficas e metaultramáficas. O Grupo Macururé Formação Santa Cruz (NPm<sup>2</sup>), está representado por micaxistos granatíferos. O Grupo Igreja Nova (CPi), é constituído por siltitos, arenitos, folhelhos, folhelhos e calcários intercalados e sílex. O Grupo Coruripe (K1cp), engloba folhelhos, arenitos, calcários e arcóseos. O Grupo Barreiras (ENb), está representado por arenitos e arenitos conglomeráticos com intercalações de siltito e argilito. Os Depósitos de Pântanos e Mangues (Qpm) constituem-se de areia, silte e materiais orgânicos. Os Depósitos

Flúvio-lagunares (Qfl), englobam filitos arenosos e carbonosos. Os Depósitos Litorâneos (Q2l) são constituídos por areias finas e grossas e dunas móveis (BRASIL, 2005).

### **3.2 – Dados utilizados da Bacia hidrográfica do Rio Coruripe**

#### **3.2.1 – Precipitação**

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa foram obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional, ANA/CPRM disponíveis no site [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br), referem-se diretamente a uma série de dados verificada no período de 1990 a dezembro de 2009, período desde que se têm dados confiáveis e armazenados para se extrair a precipitação média mensal, coletados na estação Hidrometeorológica Pluviométrica de Camaçari (1036062).

#### **3.2.2 – Vazão**

Os dados de vazão utilizados foram obtidos também da Rede Hidrometeorológica Nacional, ANA/CPRM, porém referindo-se diretamente ao período de dados existentes, que é de 1978 até 2008, dados de 30 anos, que possibilitou a extração das normais climatológicas de vazão média mensal, coletados da estação Hidrometeorológica Fluviométrica de Camaçari (39980000).

A vazão ecológica regional determinada a partir da legislação estadual em torno de  $0,89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  é muito inferior às vazões mínimas históricas e as vazões médias mensais, significando que o rio em questão não apresenta com frequência períodos com estresse hídrico (FARIAS JÚNIOR, 2006).

#### **3.2.3 – Correlação entre dados de precipitação e vazão normalizados**

De modo geral, um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,70 a 0,80 indica um ajuste satisfatório (KRYSANOVA *et al.*, 1998).

No entanto, na prática, se utiliza mais comumente o coeficiente de correlação ( $r$ ), que é extraído pela raiz quadrada do coeficiente de determinação, o qual pode-se ver sua relevância entre os índices na Tabela 1.

Tabela 1 - Níveis do índice de correlação para análise estatística.

Valor	Correlação
$r = 0$	<i>nula</i>
$0 <  r  < 0.30$	<i>fraca</i>
$0.30 <  r  < 0.60$	<i>média</i>
$0.60 <  r  < 0.90$	<i>forte</i>
$0.90 <  r  < 1$	<i>fortíssima</i>
$ r  = 1$	<i>perfeita</i>

Fonte: (Carvalho, 1994).

Com os dados normalizados de precipitação e vazão (Anexos 1 e 2), foi possível ajustar as curvas de comportamento com a reta de regressão linear correspondente aos valores médios mensais de totais precipitados e vazão no período disponível, assim como, apresentar a equação aproximada da reta característica desse comportamento e os referidos coeficientes de determinação.

Para a avaliação direta do total assoreado do reservatório Coruripe – I, desde o início de sua operação em 2007 até dezembro de 2009, período estudado neste trabalho, foram utilizados dados de precipitação, de uma estação meteorológica localizada próxima a área do reservatório. Com esses dados foi possível extrapolar, a partir da normal climatológica, os volumes de vazão sólida que entraram no reservatório e como consequência, pela equação da reta de regressão linear entre os dados de concentração sólida encontrados nas amostras realizadas durante o ano de 2009 e as vazões normalizadas, encontrar os valores das descargas sólidas, oriundas de áreas externas às de domínio e utilizadas pela empresa Coruripe, portanto fora da área drenada diretamente pelo lago (CARVALHO, 1994).

### 3.2.4 – Concentração Sólida

Os dados de sedimentos em suspensão, arraste e material de fundo são provenientes de amostragens coletadas diretamente na área de abrangência do reservatório e no rio a montante do lago.

Depois de coletadas as amostras, das mesmas foram determinadas as concentrações em  $\text{g.l}^{-1}$  e/ou  $\text{kg.m}^{-3}$  (gramas / litro ou quilogramas / metros cúbicos), e posteriormente transformada em volume de descarga sólida em termos de vazão ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ), para padronizar as unidades.

A partir das concentrações encontradas no período amostrado, de janeiro a setembro de 2009, foi possível extrapolar essas quantidades em relação à vazão líquida de referência mensal, para os meses que não se teve disponibilidade de amostragem da quantidade sólida, a qual flui diretamente para o lago. Esta será a maneira utilizada para quantificar os sedimentos carreados durante os três anos de operação deste reservatório (CARVALHO, 1994).

### **3.3 – Área Experimental**

#### **3.3.1 – Localização**

A área de estudo está a montante da barragem do Rio Coruripe – I, no Município de Coruripe – AL, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio Coruripe, a barragem está situada nas coordenadas geográficas  $10^{\circ}01'51,6''$  S e  $36^{\circ}18'03,9''$  W (acima da tomada d'água).

#### **3.3.2 – Caracterização do Reservatório**

O reservatório da Barragem do Rio Coruripe-I tem por finalidade a irrigação de áreas agricultáveis pela Usina Coruripe S.A e abrange uma área de 562,07 ha. A barragem está localizado na Fazenda Poção, Município de Coruripe – AL, bacia hidrográfica do Rio Coruripe, que atravessa a porção central do município, tendo como principais tributários os Riachos: Francisco Alves, Estiva, Açude Velho, Correnteza, Tamanduá, Draga e das Pedras. O referido reservatório tem 9.925 m de extensão e com uma área de drenagem total de aproximadamente 1.455  $\text{km}^2$ . A barragem tem a extensão de 254,20 m, sendo que a cota máxima e mínima úteis são 31 m e 15 m, respectivamente, cuja altura da Barragem é de 16 m (SEMRH, 2003).

### 3.3.3– Pontos de Monitoramento

**a) Ponto 1** - Ponte da Fazenda Roqueira, nas coordenadas 09°56'47,6" S e 36°19'29,1" W, e cota 47 m, local de referência da vazão e coleta de material em suspensão e arraste. Ponto de referência em que drena aproximadamente 1.380 km<sup>2</sup> da área total da Bacia. A Figuras 2 mostra as condições em que se encontrou esse ponto de amostragem e monitoramento.



**Figura 2- Aspecto visual do Ponto 1. Conjunto de Régua Limnimétrica;**

**b) Ponto 2** - Ponte próxima a divisa territorial entre as usinas Coruripe e Guaxuma, sob localização 09°59'03,1" S e 36°19'40,1" W e cota 40 m. Ponto, interessante pela observação visual e impactante, um ponto aproximadamente a 2/5 da distancia longitudinal do lago, totalmente assoreado e coberto por macrófitas, estando acima deste, a área mais crítica e assoreada do reservatório observado na Figura 3.



**Figura 3 - Vista parcial do Ponto 2 – região completamente assoreada a montante;**



**c) Ponto 3** - Represa da barragem Coruripe – I, sob as coordenadas geográfica  $10^{\circ}01'51,6''$  S e  $36^{\circ}18'03,9''$  W. Vertedor na cota 27 m e barramento com extensão total de 254,20 m, sendo este, o ponto exutório da bacia em questão. Mostrado na Figura 4a a barragem de contenção do reservatório e na Figura 4b a ponte da BR 101 logo a jusante da mesma.



(a)

(b)

**Figura 4 – Vista da Barragem em (a) e ponte a Jusante da barragem em (b).**

### **3.4 – Equipamentos utilizados**

#### **3.4.1- Material cartográfico**

Para a realização dos levantamentos na Bacia Hidrográfica do rio Coruripe e da Barragem do rio Coruripe – I foram utilizados mapas elaborados pela empresa Gama Engenharia, licenciada pela empresa, na escala 1:20.000, com impressão em 2006 contendo o levantamento topo-altimétrico do local do alagamento, com equidistância das curvas de nível de 5 metros, cedidos pelo setor de topografia da Usina Coruripe, como pode-se observar na Figura 5.



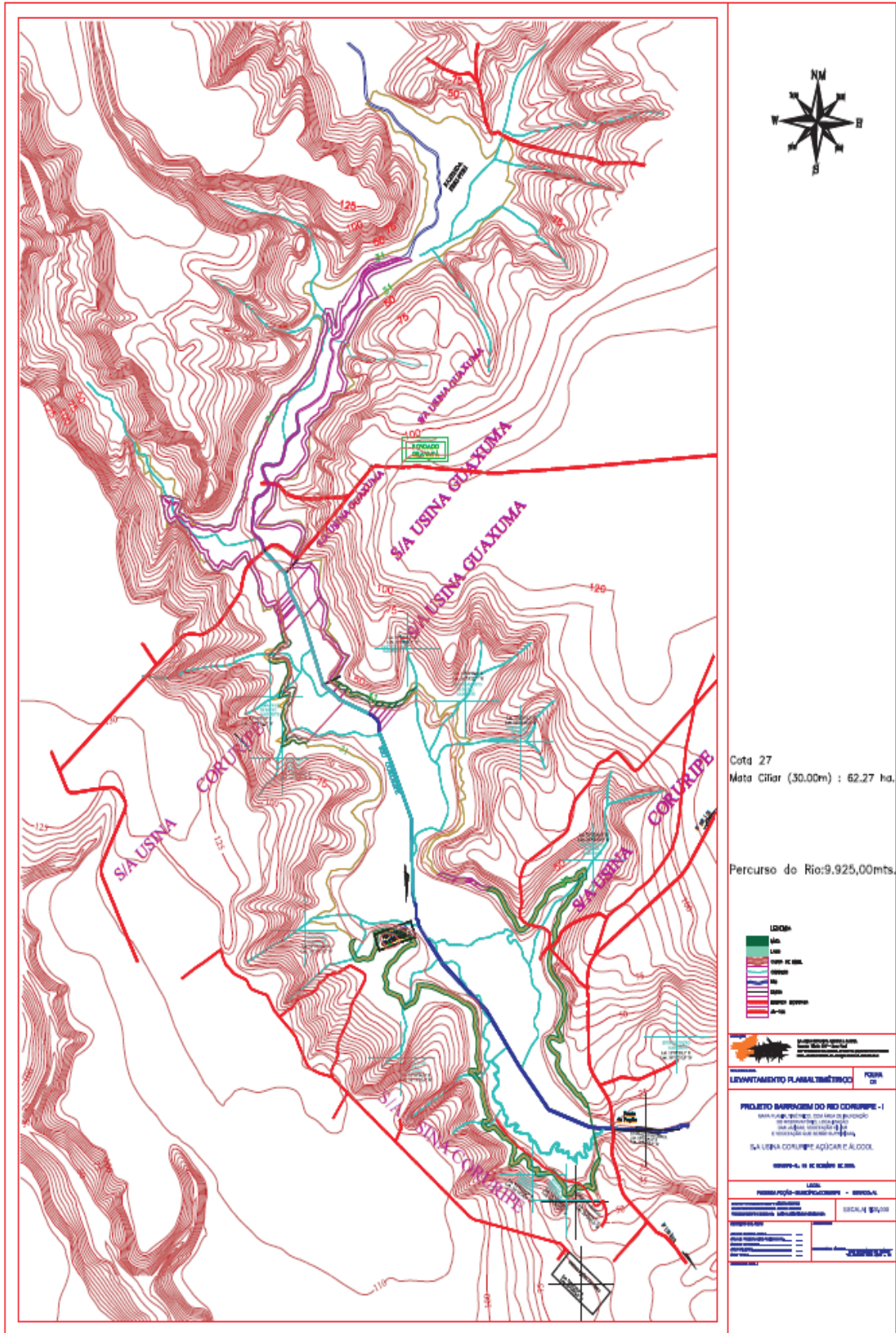


Figura 5 – Mapa Topo-Altimétrico da área de alagamento do reservatório (setembro de 2006).

### **3.4.2 – Levantamento topo-batimétrico**

#### **3.4.2.1– Importância**

Após o enchimento de um reservatório o levantamento topo-batimétrico completo fornece curvas cota x área e cota x volume com grande precisão. Acompanham esses estudos, a amostragem de sedimentos em suspensão e do leito para caracterização do material. A amostragem de sedimento do leito deve incluir a determinação da composição do fundo em relação à granulometria a partir de amostras indeformadas ou medições diretas. Esta medida é necessária devido à compactação dos depósitos pelo peso da água ou atividades geológicas (ICOLD, 1989).

Basicamente, o procedimento geral é construir um mapa batimétrico do fundo do lago, que pode ser comparado com um mapa previamente preparado. Os dois métodos mais comuns empregados no levantamento de reservatórios são: 1) método de levantamento de contornos do reservatório; 2) método de levantamento de linhas topo-batimétricas. A seleção do método depende da disponibilidade e condições do mapeamento prévio, dos objetivos de estudo, do tamanho do reservatório e do grau de precisão desejado (BRUK, 1985).

Para este trabalho optou-se pelo segundo método.

#### **3.4.2.2– Batimetria**

A batimetria realizada forneceu um mapa do perfil de fundo do reservatório, com o auxílio de um ecobatímetro, o qual pôde ser comparado com outros mapas previamente elaborados. O ecobatímetro funciona através da emissão de ondas eletromagnéticas a partir de uma sonda, refletidas pelo fundo e retornam para o receptor do aparelho, onde anota o valor da coluna de água mostrado no visor. No barco também foi utilizado um GPS, para a localização pontual dos pontos a serem mapeados.

O levantamento foi realizado em linhas transversais pré definidas, utilizando mapas cartográficos, digitais de levantamentos antes realizados para ajudar na escolha das seções e na localização dos marcos. As seções foram localizadas de tal forma que o volume calculado represente da melhor forma possível o desenho do fundo do reservatório e com isso o volume assoreado.

A batimetria no reservatório Coruripe – I foi realizada nos dias 21 e 22 de dezembro de 2009 com o auxílio de um ecobatímetro digital pontual não registrador Garmin modelo Fishfinder 80 auxiliado a um GPS Garmin de 12 canais. Nesta ocasião foram feitos 90 pontos de sondagem.

Inicialmente foram feitos os seguintes procedimentos básicos: obtenção de mapas em escala 1:20.000 do reservatório; reconhecimento preliminar; procura de marcos de levantamento altimétrico e de coordenadas; planejamento das seções levantadas; escolha dos métodos de trabalho e dos equipamentos; medida de profundidades e locação simultânea de pontos (cotas); interpretação, mapeamento, desenhos de seções transversais.

O levantamento propiciou desenvolver um desenho da nova geometria de fundo do lago (deltas e canais preferenciais). Para isso, traçaram-se seções transversais comparativas, escolhidas em posições ao longo do reservatório e que retrataram mudanças nessa geometria em relação à condição inicial de projeto (ver anexo 09).

### **3.4.3 – Amostragens**

#### **3.4.3.1 – Sedimento em suspensão**

Estas amostragens foram feitas manualmente, coletando a água diretamente na embalagem pré definida (potes de plástico com tampa, com capacidade de 750 ml), coletadas no ponto de entrada do reservatório, no rio principal, na ponte da Fazenda Roqueira, local onde se encontra a estação pluviométrica e fluviométrica da ANA/CPRM, de coordenadas 09°56'47,6" S e 36°19'29,1" W. Foram coletadas num total de 25 amostras, para quantificar os sedimentos em suspensão ao longo do período estudado, em ocasiões de disponibilidade do coletor, sempre após um evento pluviométrico. O agente responsável pelas coletas foi um dos vigilantes da usina Coruripe, já que este por circular toda a área do lago, com a função de fiscalizador ambiental se prontificou para esta tarefa.

### 3.4.3.2 - Sedimento de arraste e de fundo

Foi utilizado um amostrador divergente do tipo Amhem, conforme a Figura 6, que possui um bocal quadrado, com corpo fabricado em tela fina onde a amostragem é depositada. No estudo o amostrador ficou suspenso junto ao fundo por um cabo preso na ponte da seção. As medidas diretas da descarga de arraste foram feitas nas verticais localizadas a 1/4, 1/2 e 3/4 da largura da seção. Em cada um destes pontos da seção, o amostrador ficou apoiado no leito e permaneceu em repouso durante aproximadamente trinta minutos coletando a respectiva amostra.



**Figura 6 - Amostrador de Sedimentos de arraste.**

A concentração de sedimentos por arraste foi coletada e quantificada no mesmo período em que foi realizado o levantamento topo-batimétrico, portanto em dezembro de 2009. Concentração oriunda de áreas externas às utilizadas pela Usina Coruripe.

Nesta época, foram coletadas amostras de fundo com auxílio de uma draga do tipo Eckman, (Figura 7), na ocasião foram feitas amostragens ao longo do perfil longitudinal do reservatório, para se ter uma idéia da formação e distribuição granulométrica do fundo deste. Porém, o que foi constatado nas coletas realizadas é que todas as amostras apresentaram homogeneidade em sua composição, foram compostas somente de material fino (lodo), impossibilitando então a determinação



da granulometria do fundo do lago pelo método de peneiramento que seria empregado para tal finalidade.



**Figura 7 – Draga do tipo Eckman para coleta de Sedimentos de Fundo.**

#### **3.4.4 – Análises laboratoriais**

As análises sedimentométricas foram efetuadas no LABMAR, (Laboratório de Ciências do Mar e Naturais) da Universidade Federal de Alagoas.

##### **3.4.4.1 – Concentrações de sedimentos em suspensão**

Para a obtenção das concentrações das amostras se fez necessário a secagem das amostras, utilizando-se uma estufa para secamento total da mesma. Foi importante quantificar a amostra em partes (volume para obtenção da concentração dos sólidos dissolvidos, volume retirado de sobrenadante e volume remanescente no recipiente) a fim de se obter o volume total de sólidos referente a quantidade composta (líquido+sólido suspenso) da amostra.

#### **3.4.4.2 – Concentração de sedimentos por arraste e de fundo**

A distribuição granulométrica do material de leito é a determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência e concentração. A concentração de sedimentos por arraste foi obtida por secagem da amostra em estufa e pesagem da mesma para se ter a quantidade total amostrada.

Já os ensaios de peneiramento e sedimentação foram dispensados devido a homogeneidade das amostras de fundo coletadas.

### **3.5 – Tratamento dos dados**

O perfil inicial do fundo da Barragem, proveniente do mapa topográfico original confeccionado na época da construção e o obtido pelo levantamento topo-batimétrico, foram processados e otimizados em softwares adequados para poderem ser feitas as devidas comparações.

A primeira em relação ao mapa elaborado em 2007, proveniente do Projeto do Traçado de alagamento, realizado pela empresa Gama Consultoria, enquanto a segunda foi produto das medidas topo-batimétricas realizadas a partir de seções transversais ao longo do reservatório em dezembro de 2009. Teve-se o cuidado de estabelecer pontos de alteração de declividade, em curvaturas e mudanças sinuosas de trajetória, a fim de definir a disposição do relevo. Procurou-se sempre estabelecer medidas em seções mais representativas possíveis, de forma a obter a maior aproximação da realidade.

### **3.6- Cálculo do volume útil do reservatório**

A partir dos dados do levantamento topo-batimétrico foi possível se elaborar um novo mapa, determinando o atual relevo de fundo do lago, para posteriormente por comparação entre as áreas e as profundidades com o mapa de projeto, se ter uma idéia da nova capacidade de armazenamento de água do reservatório, resultando deste levantamento topo-batimétrico em um mapa em terceira dimensão do atual formato do fundo do reservatório, quando comparado com a planta original, forneceu o volume de água disponível até a época do estudo.

### 3.7 – Cálculos e dados complementares

#### 3.7.1- Concentrações da descarga sólida do rio a montante do reservatório

Para quantificar o aporte de sedimentos transportados pelo rio, optou-se pelo cálculo direto, da concentração em quilogramas de sedimentos por metro cúbico de água, encontrado nas amostras coletadas em diferentes épocas do ano de 2009, cujas concentrações foram extrapoladas para todo o período de operação do reservatório compreendido entre 2007, 2008 e 2009. Para esse cálculo foi utilizada a seguinte equação:

$$Q_{ss} = Q_l \times C_s \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{ss}$ = descarga sólida de sedimentos [kg.s<sup>-1</sup>];

$Q_l$ = descarga líquida [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>];

$C_s$ = concentração de sedimentos[kg.m<sup>-3</sup>]

#### 3.7.2 - Avaliação do assoreamento e/ou volume morto total do reservatório

Esse parâmetro foi avaliado pela diferença entre as áreas e profundidades, do antigo mapa de projeto, levantado em setembro de 2006 e o mapa confeccionado pelos dados do levantamento topo-batimétrico realizado em dezembro de 2009, utilizando-se de um método cartográfico, a planimetria, para se obter as áreas nas diferentes épocas e posteriormente, diminuída a área que existia em 2006 da área efetiva atualmente. Como consequência, se obteve o volume já indisponível para armazenamento.

#### 3.7.3 – Avaliação da vida útil do reservatório

Nessa análise se teve a preocupação de obter o tempo de vida em que o lago continuará a ser utilizado para a finalidade na qual foi construído, independentemente do valor encontrado foi um dos principais objetivos propostos neste trabalho. Essa avaliação foi possível de ser realizada pelas seguintes equações:

$$S = \frac{Dst \times Er}{Yap} \text{ ou } S = \frac{(365 \times Qst \times Er)}{Yap} \quad (2)$$

Sendo:

$S$  = volume de sedimentos retido no reservatório ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ );

$Dst$  = deflúvio sólido total médio anual afluyente ao reservatório ( $ton \cdot ano^{-1}$ );

$Er$  = eficiência de retenção do sedimento afluyente ao reservatório (% e fração);

$Yap$  = peso específico aparente médio dos depósitos ( $ton \cdot ano^{-1}$ );

$Qst$  = descarga sólida total média afluyente ao reservatório ( $ton \cdot dia^{-1}$ );

e,

$$T = \frac{Vres}{S} \quad (3)$$

Sendo:

$T$  = tempo de assoreamento de um determinado volume (anos);

$S$  = volume de sedimentos retido no reservatório ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ );

$Vres$  = volume do reservatório, total ou volume morto ( $m^3$ ).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Precipitação

#### 4.1.1 - Distribuição da Precipitação Média Anual

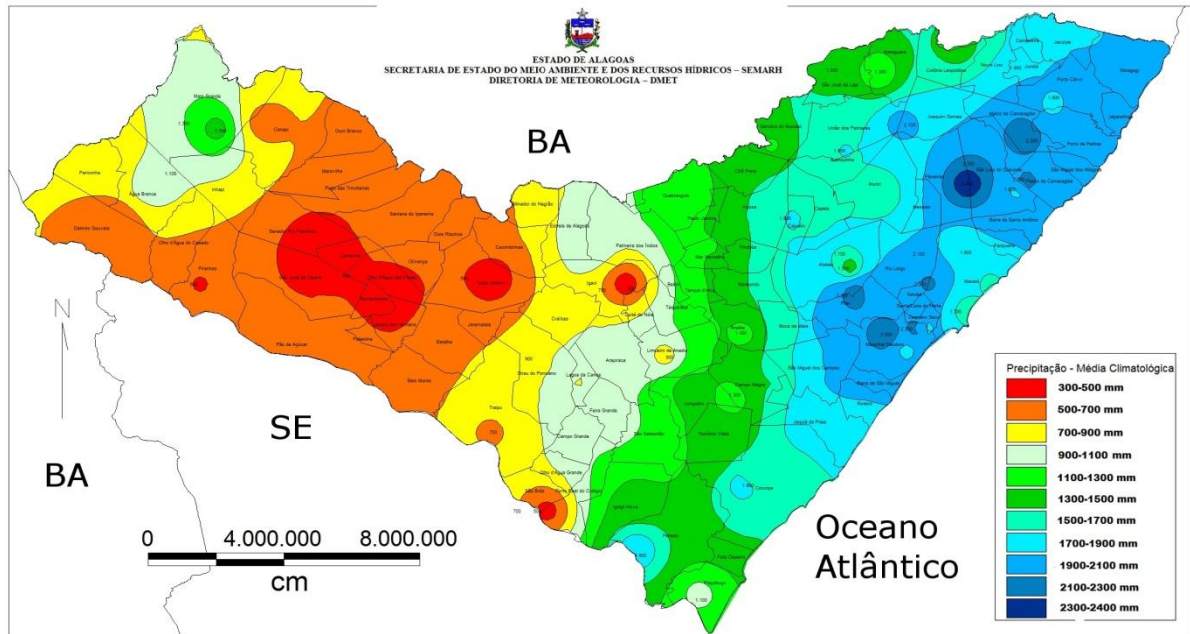
A precipitação na região tropical é a variável meteorológica de maior importância, pois apresenta maior variação em termos de mudanças sazonais, sendo também o principal fator na utilização da subdivisão do clima numa região (MORAES, 2003). Segundo Ribeiro (2001) a precipitação é também um dos principais componentes do balanço hídrico.

O estado de Alagoas está localizado em uma sub-região do Nordeste que possui grande variabilidade na distribuição pluviométrica devido a sua orografia e sistemas de ventos locais. A localização do Nordeste Brasileiro (NEB) faz com que a influência de vários sistemas meteorológicos, atuando de forma diferenciada em relação a sua frequência e intensidade, torne a climatologia da região complexa, uma vez que esta região parece ser o fim de várias trajetórias destes sistemas. A atividade e intensidade desses sistemas são condicionadas à circulação atmosférica que é determinada pela condição térmica dos oceanos (FIGUEIREDO, 2002).

O litoral alagoano, do extremo norte ao extremo sul, em se tratando de precipitação, apresenta um declínio de norte a sul, com índices pluviométricos anuais médios superiores a 1.200 mm, sendo que quanto mais ao norte estes índices podem ser ainda maiores, podendo ultrapassar 1800 mm. Em média, o litoral norte, apresenta 1.487,0 mm anuais, enquanto no litoral sul é 1.295,3 mm. Entretanto, no centro da faixa litorânea do Leste alagoano, encontra-se o valor mais elevado de precipitação anual, ou seja, com média anual de 1636,9mm. Ainda de acordo com estes estudos, mais para o interior do Estado, onde apresentam uma pluviometria média anual mais baixa quando comparada com localidades da estreita faixa litorânea. Nessa região a precipitação apresenta valores entre 920,0 e 1831,0 mm anuais, prevalecendo o declínio dos quantitativos de chuva de norte em direção sul (FIGUEIREDO, 2002).

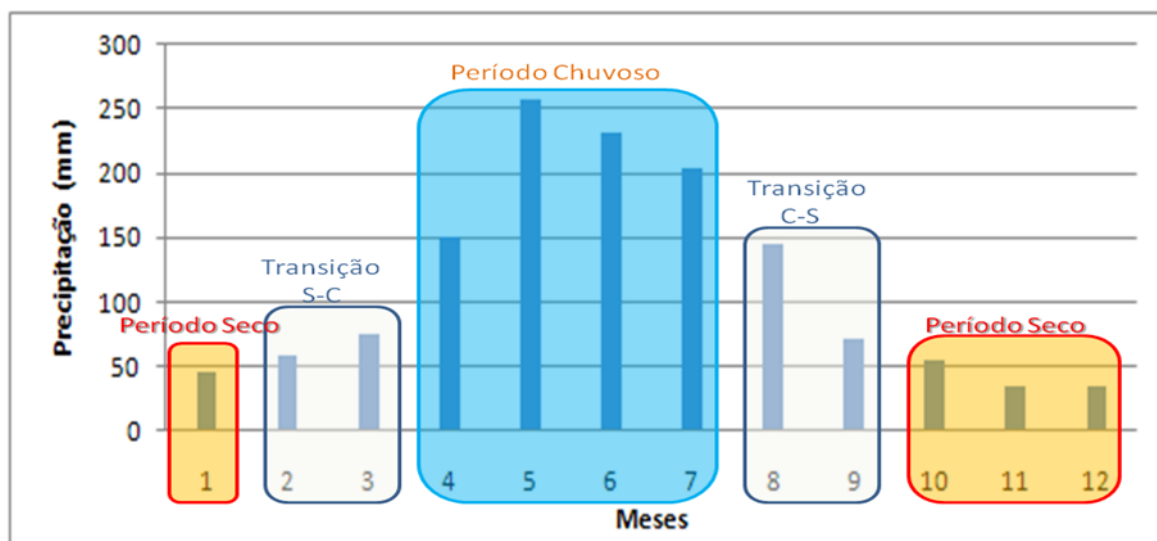
A região de Coruripe, segundo o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do estado de Alagoas - *Diagnóstico do Município de Coruripe* de 2005, apresenta uma precipitação média anual de 1.634.2 mm.

Observa-se que os totais pluviométricos anuais médios para todo o Estado de Alagoas apresentam em sua distribuição um decréscimo de leste (litoral) para oeste (sertão), conforme observa-se na Figura 8.



**Figura 8 - Campos de precipitação média anual (intervalo de 200 mm) para o estado de Alagoas. Fonte: (SEMARH/DMET-AL, 2008).**

A distribuição sazonal da normal climatológica para a região leste do estado alagoano, segundo a Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação (SERHI, 2003), e comprovada pelos dados normalizados, apresenta um período chuvoso compreendido nos meses de abril, maio, junho e julho, enquanto o período seco se caracteriza em outubro, novembro, dezembro e janeiro e pode ser observado na Figura 9, os períodos referidos aos valores normalizados da região de Coruripe com o conjunto de dados no período compreendido entre 1990 e 2008 (ver Anexo 1), se estende de abril a agosto, destacando-se o mês de maio responsável pelos maiores índices de precipitação, enquanto o período mais seco compreende o período de outubro a fevereiro, corroborando com os resultados supracitados.



**Figura 9 – Comportamento da Precipitação média mensal normalizada (mm) para o período de 1990 – 2008 da estação pluviométrica de Camaçari.**

Ao analisar o comportamento da precipitação acumulada no período de 2007, 2008 e 2009, comparada ao valor da normal climatológica regional (Figura 10), pode-se perceber que a precipitação anual acumulada é coincidente com o tempo de operação do reservatório Coruripe – I que foi de 1.701,2, 1.593,3 e 1.843,2 mm, respectivamente, enquanto o valor médio da normal climatológica local é de 1.363,96 mm. Os meses com maiores intensidades foram maio, junho, julho e agosto, o que representa, em média, 58,3% da precipitação anual dos três anos.

Mostrando ser um período com índices acima das normais, destaca-se o ano de 2009, principalmente o mês de maio (A), com índice pluviométrico de 617 mm, o que corresponde a aproximadamente 33% do total deste ano.

Kousky (1979) sugeriu que o máximo de chuvas no Nordeste Brasileiro (NEB) estaria ligado à maior atividade de brisas que advecta bandas de nebulosidade para o continente e à ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa. Comenta, ainda, que o máximo de chuvas poderia estar relacionado à máxima convergência dos Alísios com a brisa terrestre, mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior.

De acordo com Fedorova (2001) as estações chuvosas, freqüentemente desastrosas nas regiões tropicais, estão associadas com o deslocamento da ZCIT. De acordo com Molion & Bernardo (2002) existem mecanismos de macro, meso e

escala local que provocam chuvas na região do Nordeste do Brasil. Dentre os mecanismos de grande escala destacam-se os Sistemas Frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Perturbações ondulatórias no campo dos Alísios (POAs), Complexos Convectivos e Brisas Marinha e Terrestre fazem parte da mesoescala, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas se constituem fenômenos da microescala. Para Cohen *et al.*, (1989) e Ferreira *et al.*, (1990), a quadra chuvosa está relacionada com distúrbios ondulatórios.

Ainda na Figura 10 é possível observar que a precipitação registrada para a quadra chuvosa oscilou em relação à normal climatológica para os meses de abril a agosto (B), enquanto maio ocorreu um excesso de precipitação nos três anos de 153,3 e 232,5 mm para 2007 e 2008 respectivamente e destacando o ano de 2009 que teve 360,03 mm acima da média (A). Enquanto, os meses que caracterizam a quadra seca, apenas os meses de fevereiro e março tiveram precipitação acima do esperado nos anos de 2007, 2008 e 2009, com uma exceção no mês de março de 2009. Já para outubro, novembro, e dezembro (C) e janeiro a precipitação para os três anos foram abaixo da média normal, principalmente o mês de novembro, que apresentou valores quase nulos nos três anos de estudo.

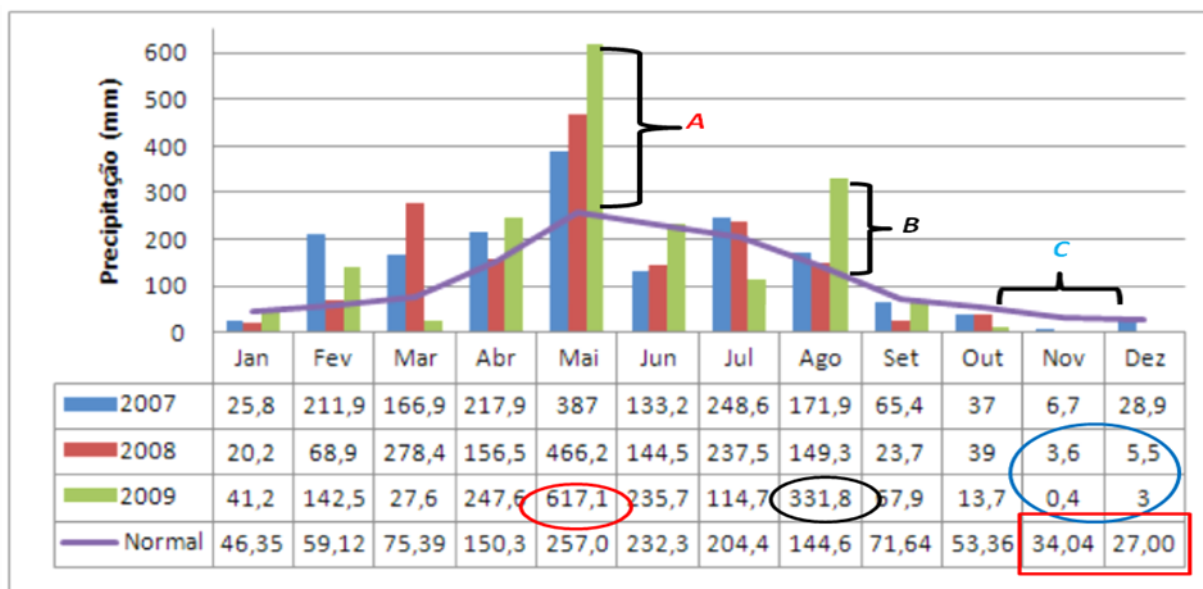


Figura 10 – Comportamento da precipitação no período de operação da barragem 2007 – 2009 comparado com a precipitação da normal climatológica.

Esse elevado valor observado em maio de 2009 foi responsável pelo encharcamento do solo na área da Bacia do Rio Coruripe. Posteriormente, no mês de junho aconteceu um fenômeno relevante para esta pesquisa, onde nessa

ocasião, devido aos grandes valores precipitados, somados a continuidade do período chuvoso, rompeu um pequeno reservatório à montante da Barragem Coruripe – I. Isso proporcionou um grande volume de água fluindo rio abaixo carreando e empilhando sobre o leito, sedimentos e desestabilizando as margens até o reservatório.

#### 4.2- Vazão

A Figura 11 foi confeccionada a partir dos dados das médias normalizadas de vazão referente ao período compreendido entre 1978 a 2008 (ver Anexo 2) e a precipitação normalizada (ver Anexo 3), apresentando um valor máximo médio de vazão em torno  $16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no mês de junho, portanto, com *retardo* (C) em relação ao pico de precipitação pela contribuição do escoamento subterrâneo que ocorreu em maio, comprovado pelos dados climatológicos normalizados. Isso porque a precipitação ao entrar em contato com a vegetação e com o solo, primeiramente se infiltra, percola e demora um determinado período para escoar até a calha principal do rio por escoamento superficial ou subterrâneo.

A resposta que se observa no regime das vazões é decorrente diretamente do comportamento do regime de precipitação. Enquanto, parte da precipitação pode ser interceptada pela vegetação, se existir, infiltrando no solo, outra parte ao entrar em contato com o solo, inicia o processo de infiltração. Enquanto o solo encontra-se em processo de saturação, inicia-se o escoamento superficial. O tempo que leva para a água, precipitar até chegar a calha do rio que drena a área vertente, depende de algumas características do solo e da região, como declividade, tipo de solo, composição e granulometria, condições de cobertura vegetal e uso do solo. Portanto, quanto maior o nível de cobertura vegetal e conservação do solo e menor declividade, maior é o tempo de resposta até a calha do rio por escoamento subterrâneo.

Neste estudo, o tempo de resposta observado para os maiores índices foi de dois meses, de acordo com os dados normalizados disponíveis. Portanto, ocorrendo o pico da precipitação em maio e a resposta, ou pico das vazões em julho, confirmado pelas condições de resposta que se espera normalmente encontrar.

Já para os meses seguintes, a vazão apresentou uma resposta muito semelhante ao comportamento da precipitação (Figura 11). A partir do mês de agosto até março vê-se que a resposta é quase que imediata mostrando dependência direta entre essas variáveis (D), possivelmente em decorrência das chuvas anteriores que ocorreram, como consequência a vazão aos poucos se reduz, pois ainda existe água armazenada no subsolo, o que mantém a curva da vazão até fevereiro. A partir de março, a vazão começa a aumentar gradativamente como resposta as primeiras chuvas que ocorreram na região.

Pela Figura 11, em abril o índice de precipitação apresentou-se elevada, enquanto pode ser observado que a vazão aumentou mais suavemente e com um pequeno retardo, possivelmente devido ao solo está com déficit de água por consequência da estação seca. Essa subida mais suave da curva da vazão (A) pode ser explicada pelo solo está iniciando o armazenamento de água para atingir sua capacidade de campo, sendo que logo após atingir esta condição, a liberação de água por escoamento superficial e sub-superficial inicia para a calha do rio é iniciada. Isso é comprovado pelo crescimento da curva de vazão a partir do mês de maio (B) como resposta pelos maiores índices de precipitação ocorridos na região vertente e pela liberação de água subterrânea armazenada.

O retardo no pico da vazão, no mês de julho, em relação ao pico da precipitação em maio, de Sá pela contribuição oriunda do escoamento subterrâneo, que se soma a partir desse período com o escoamento superficial.

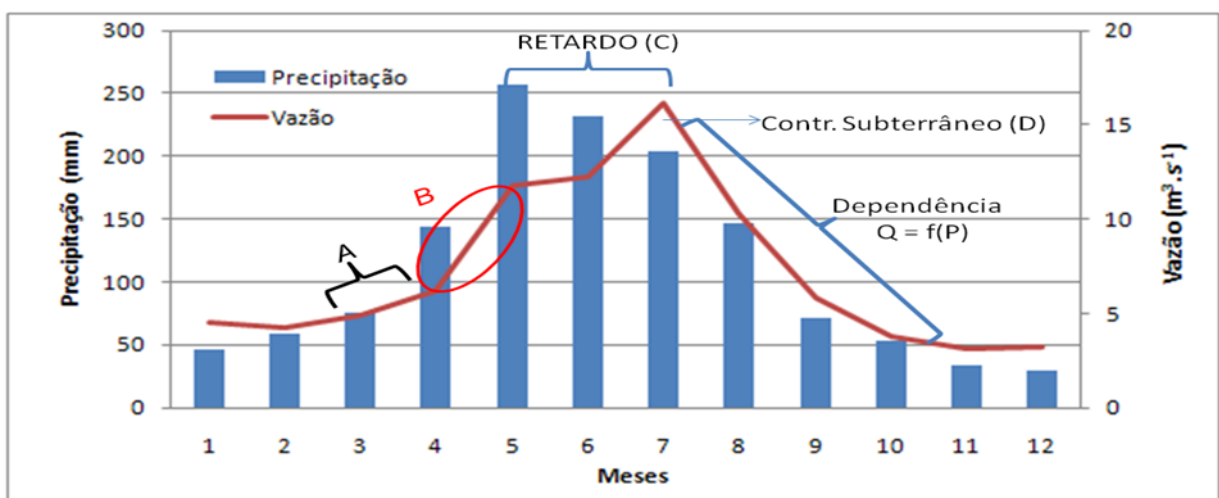
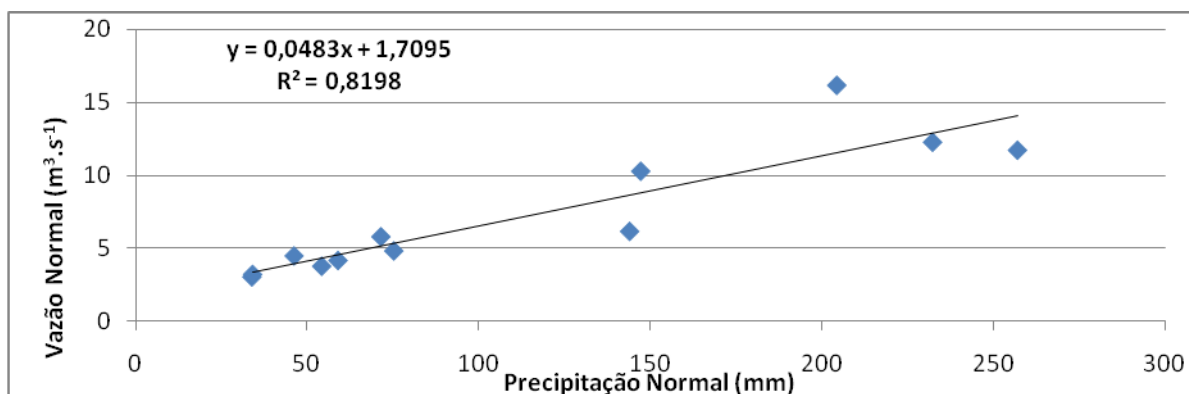


Figura 11 – Histograma de precipitação e Hidrograma de vazão, médias mensais normalizadas da estação pluvio-fluviométrica de Camaçari.

Observando a correlação encontrada entre as séries de dados histórica de precipitação e vazão, vê-se que a mesma foi positiva, apresentando um coeficiente de correlação ( $r = ((R^2)^{1/2})$ ) em torno de 0,91, o qual mede o grau da correlação entre duas variáveis relacionadas. Pelo índice mencionado na metodologia deste trabalho, este valor refere-se a uma correlação considerada *fortíssima*, conforme a Figura 12.



**Figura 12 –** Dispersão dos dados de precipitação / vazão normalizadas climatologicamente, com a referida reta de regressão linear e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a estação de Camaçari.

Para fins de cálculos da concentração de sedimentos carregados para o interior do reservatório em seu período operacional, foi utilizada a Equação da reta “ $Q = 0,0483P + 1,7095$ ”, expressada anteriormente (Figura 12), para obter a vazão afluente correspondente aos volumes precipitados entre 2007 a 2009.

#### 4.3- Concentração sólida

Na Tabela 2 são apresentados os valores das concentrações de sedimentos em suspensão encontradas nas amostragens realizadas no período de janeiro a setembro (ver Anexo 6), as quais foram coletadas antes da região de alagamento do reservatório, e em dias com ocorrência de chuvas e, conseqüentemente, com alteração na cota da seção do rio. As concentrações de outubro, novembro e dezembro foram obtidas por meio da equação da reta de regressão linear através da relação precipitação normalizada/concentração, já que esta apresentou um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,92, o que é considerada *fortíssima* pela metodologia aplicada, podendo ser utilizado com nível de confiança alto.

**Tabela 2 – Concentração de sedimentos em suspensão amostrada (kg.m<sup>-3</sup>).**

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Conc. (kg.m <sup>-3</sup> )	0,1	1,12	1,23	3,67	4,36	4,58	3,46	1,45	1,22	0,74	0,37	0,27

Essa concentração quantificada na seção do rio antes do alagamento corresponde à quantidade da contribuição oriunda de áreas externas à área utilizada pela S. A. Usina Coruripe. Corresponde às áreas vertentes ao restante da bacia hidrográfica, região a montante do reservatório. Já que a área de contribuição vertente direta a região alagada pelo reservatório, é praticamente de domínio da S. A Usina Coruripe, portanto, a parte interessada no aproveitamento da Barragem, tem por finalidade integral a irrigação de culturas canavieiras.

Na Figura 13 é mostrado o comportamento da concentração sólida encontrada nas amostras realizadas durante o ano de 2009, onde se vê que o pico de concentração de sedimentos em suspensão se apresenta em período não coincidente com o pico da precipitação. Esse comportamento entre os maiores valores de precipitação e de sedimentos é explicado pelo fato de que justamente a estação das chuvas inicia no mês de março, destacando, portanto, o mês do pico na curva de precipitação sendo maio. Logo, se os maiores índices de precipitação ocorrem em maio, esses volumes elevados são os responsáveis pelo maior transporte de sólidos, sendo possível observar que o aumento da concentração sólida inicia a partir do mês de março (Figura 13) onde já começam a ocorrer volumes precipitados, os quais iniciam o que se chama carga de lavagem superficial, e cresce até o mês de junho, onde atinge o pico dessa concentração carregada referente aos enormes índices pluviométricos de maio.

Devido ao solo está seco, depois de um período aproximado de 6 meses com pouca ou sem precipitação, e a não compactação pela não ocorrência de chuvas somado ao solo revolvido pelo plantio e capina realizados no período de replantio, os primeiros volumes precipitados depois da estação seca (Janeiro e Fevereiro) acabam por infiltrar-se no solo, pois não ocorrem com grande intensidade até meados de março. Já os volumes seguintes, os quais ocorrem com maior intensidade encontram um solo em partes saturado ou prestes a saturar, como também mais compactado pela ação das gotas de chuvas. Daí inicia o que se conhece como escoamento da carga de lavagem (A) que corresponde as maiores concentrações de sedimentos transportados superficialmente e carregados até o



sistema de drenagem. Esse é o mecanismo que explica o pico de sedimentos em suspensão defasado em torno de um mês em relação ao pico da precipitação (B).

Lopes e Srinivisan (1981) concluíram que as chuvas com alta intensidade geralmente produzem escoamentos suficientes para causar erosão laminar, uma vez que tenham superado a capacidade de infiltração do solo. Esta correlação positiva de precipitação x vazão x descarga sólida, ou seja, o aumento de uma variável normalmente implica no aumento da outra variável.

Por esse raciocínio, aumentando uma variável aumenta outra, se explica o comportamento dos meses seguintes. Depois das camadas superficiais terem sido de certa forma “lavadas” (Junho), pelos enormes índices pluviométricos que antecederam esse período, o solo disponível para ser carregado até o sistema de drenagem pelas chuvas, diminui gradativamente até chegar a níveis que não seja possível detectar grandes concentrações (C) (de Agosto a Janeiro), como é o caso encontrado no final de janeiro onde a concentração encontrada foi praticamente nula, a concentração desse mês em particular, devido ao longo período sem chuvas, se assemelha a concentração referente a outubro, novembro e dezembro as quais, no caso em estudo foram extrapoladas a partir da reta de regressão em relação aos dados de precipitação do período estudado. Essa concentração encontrada em janeiro se assemelhou a concentração encontrada a jusante da Barragem Coruripe – I na amostra feita para comprovação onde se constatou que praticamente todo sedimento carregado se deposita no interior do reservatório, com concentração de  $0,06 \text{ kg.m}^{-3}$  (Ver Anexo 6).

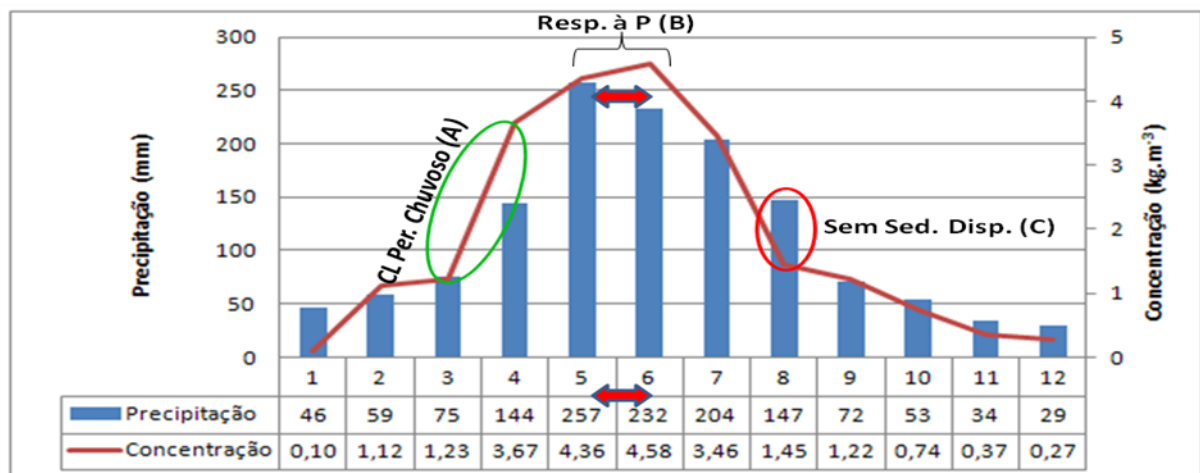


Figura 13 – Comportamento da concentração de sedimentos amostrados em relação à precipitação média normalizada climatologicamente do período entre 1990 a 2008.

A Figura 14 mostra que o pico de concentração de sedimentos em suspensão que também não coincide com o pico da vazão. Esse comportamento entre os maiores valores de sedimentos suspensos antecipado ao da vazão se explica, devido a que seguindo a sequência de “*eventos x comportamento*”, onde já foi mencionado que os maiores volumes de precipitação acarretam em maiores concentrações de sedimentos transportados superficialmente como carga de lavagem (A). E como a vazão não estabelece um reflexo imediato, pois parte da água precipitada infiltra e apenas uma parte se transforma em escoamento superficial direto, mesmo assim pode-se afirmar que as maiores vazões são referentes aos maiores períodos de volumes de precipitação. Porém, os sedimentos carregados superficialmente apresentam em seu comportamento uma resposta mais rápida (Adiantado em  $f(Q)$ ), observando os picos no comportamento referentes as concentrações e a vazão, esse comportamento, atrasado da vazão, é explicado pela maior demora da parcela referente ao escoamento subterrâneo para chegar ao rio do que o escoamento superficial, o qual carrega junto a concentração de sedimentos. O que explica essa diferença de aproximadamente um mês entre o pico da maior concentração de sedimentos no mês de junho e o pico da maior média mensal da vazão que se dá no mês de julho (B). O restante do comportamento da concentração sólida, apresenta a mesma configuração apresentada em relação a precipitação, com decréscimo acentuado até o mês de agosto e mais suavizado até janeiro sem sedimento disponível (C).

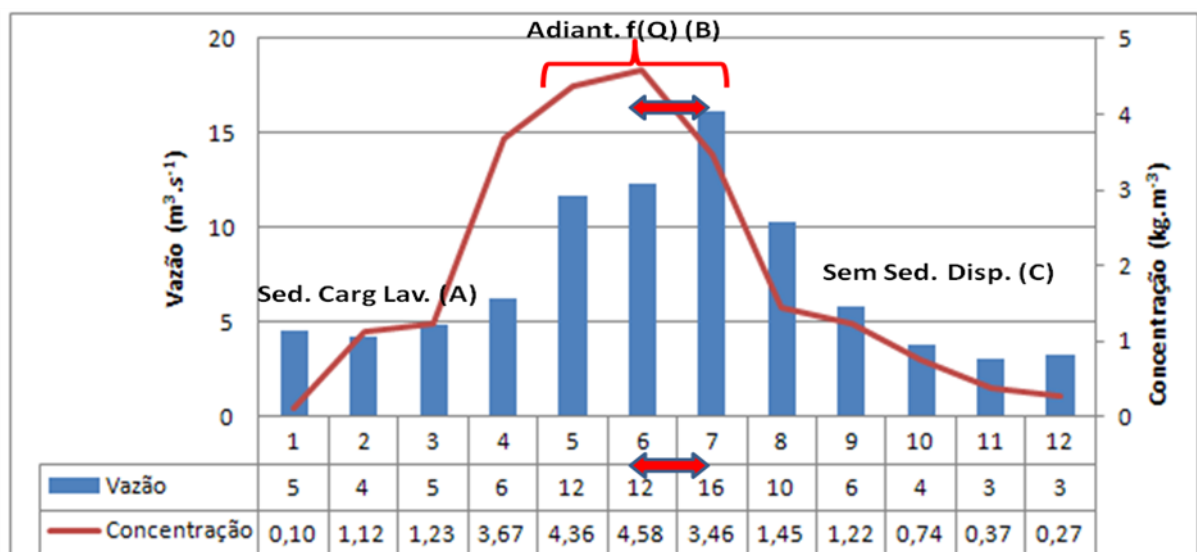
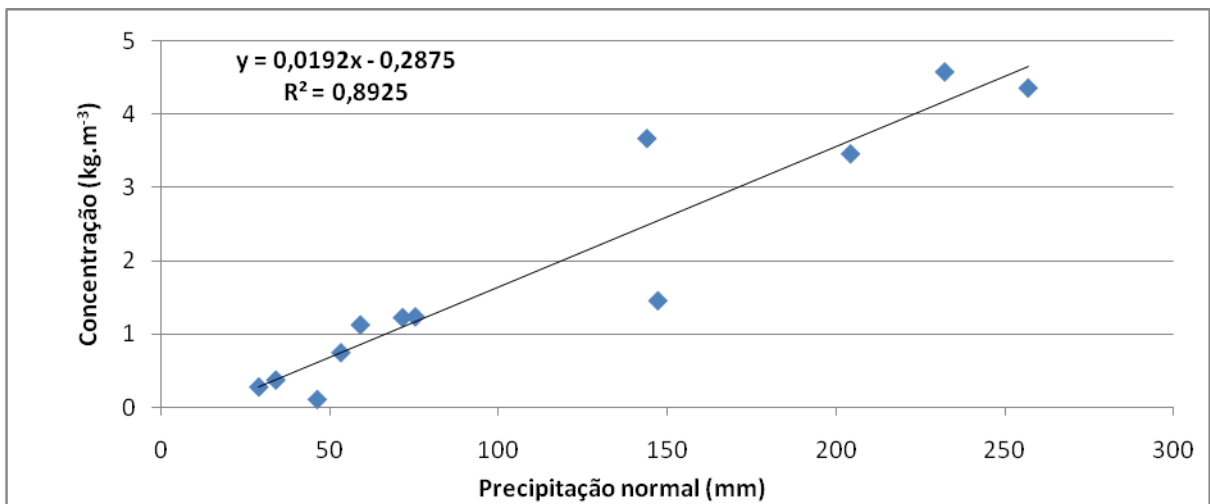


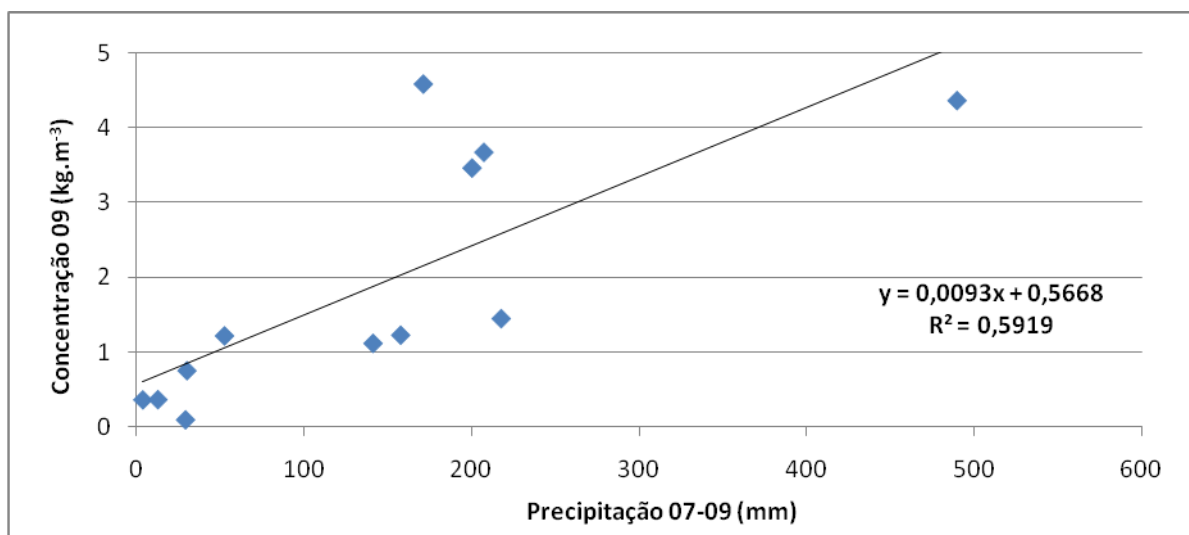
Figura 14 - Comportamento da concentração de sedimentos amostrados em relação à vazão média normal do período 1978 – 2008.

Na Figura 15 pode-se observar a correlação entre o comportamento da concentração de sedimentos em suspensão relacionada à série histórica de dados de precipitação, apresentando uma correlação em torno de 0,94. Isso significa que, para fins de estudos com precisão moderada, é válido utilizar dados de precipitação para a extrapolação de concentrações sólidas carregadas em suspensão. Logo, possibilitando esta fortíssima dependência entre volumes precipitados e sedimentos carregados em caso de extrapolação para períodos que não se tenha dados amostrais da concentração de sólidos em suspensão é válida. Segundo Villela e Mattos (1985) isto se deve a elevada velocidade com que se dá o escoamento superficial, a qual é determinada pela declividade do terreno.



**Figura 15 –** Dispersão da reta de regressão linear entre concentração de sedimentos em suspensão relacionados às médias normalizadas de precipitação e o respectivo coeficiente de determinação.

A Figura 16 mostra a relação de dispersão do comportamento da concentração sólida em suspensão encontrada nas amostras realizadas em 2009, diretamente relacionadas à precipitação média no período de operação do reservatório, compreendido de 2007 a 2009.



**Figura 16 - Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão relacionados às médias de precipitação e respectiva reta de regressão linear e coeficiente de determinação.**

Desta relação obteve-se um coeficiente de correlação de 0,77, que para fins de cálculos de volume carregado anualmente e tempo de utilização do reservatório em questão, essa relação expressa uma boa estimativa. Com esta relação, pode-se estimar o aporte mensal e anual de sedimentos carregados para o interior do reservatório durante seu período de operação.

Baseado na metodologia aplicada para a obtenção da quantidade de sedimentos carregados por arraste e rolamento em relação ao volume escoado pela calha no momento da amostragem (ver Anexo 7), foi encontrado um valor de 1,63 kg.h<sup>-1</sup>, refletindo em um transporte por arraste constante de sedimento grosseiro pelo leito do rio, que posteriormente atingirá o lago do reservatório em aproximadamente 39 kg.dia<sup>-1</sup>. Inicialmente esse valor pode parecer pequeno, mas levando em consideração que no dia da amostragem a velocidade do escoamento estava baixa, com valor estimado em 0,4 m.s<sup>-1</sup>, enquanto em outras oportunidades foram observadas vazões médias de 2,5 m.s<sup>-1</sup>, o que já alteraria essa concentração para um volume aproximado de 10,20 kg.h<sup>-1</sup> ou seja, aproximadamente, 245 kg.dia<sup>-1</sup>.

Quando projetado aos três anos de operação poderia se chegar a aproximados 268.275 kg de sedimentos, carreados por arraste para dentro dos depósitos do reservatório.

Essas concentrações por arraste de material grosseiro implicam em sérios problemas para o lago, sendo que este material, pelo processo de rolamento e saltitação, começa a depositar-se ao longo do represamento, disposto de granulometria maior para menor, formando deltas de deposição, enquanto que o material mais fino e em suspensão deposita-se por todo o lago de maneira mais uniforme.

Como observado na literatura (ALMEIDA *et al.* , 1997; AMORIM, 1999) em se tratando de assoreamento de reservatórios, algumas conclusões convergem, sendo as principais o transporte de sedimento diretamente relacionado com a precipitação, a distribuição espacial e temporal relacionadas com os fatores geológicos da bacia e a descarga sólida diretamente relacionada ao escoamento superficial direto (carga de lavagem) e com o potencial eólico da região.

Segundo Amorim (1999), a má conservação dos solos, não preservação de matas ciliares, mau uso de técnicas conservacionistas e de manejo de solo, áreas cultivadas em declives acentuados impróprios para agricultura e não manutenção de cobertura mínima dos solos ou não uso de plantio direto são as principais variáveis responsáveis por altos níveis de sedimentação e assoreamento em reservatórios.

Já Carvalho *et al.* (2000) descrevem que os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros agentes poluidores. O sedimento degrada a água para consumo humano, industrial, entre outros. Relatam ainda que produtos químicos e lixo são assimilados sobre e dentro das partículas, tornando-as agentes potencializadores dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos provenientes do lixo, resíduos tóxicos, nutrientes e bactérias patogênicas.

Entre alguns trabalhos realizados na área Hidrossedimentológica citam-se os de Nunez (1991) que avalia perdas de solos e nutrientes na bacia hidrográfica do Arroio Grande, Santa Maria, RS; os estudos de Canalli (1981); Silveira (1982); o trabalho de Corso (1989) no arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS; os estudos de estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do lajeado São José,

Chapecó, SC por Bassi (1990), e o trabalho de Goldenfum (1991) sobre a bacia do arroio Forquetinha, RS.

A distribuição da deposição de sedimentos pela granulometria ao longo do reservatório não foi comprovada neste experimento com as amostragem feitas com a draga, pois estas não apresentaram concentração alguma de material grosso (cascalho e areia), a qual era composta somente de material fino (ver Anexo 8). Como conseqüência, impossibilitou as análises de granulometria por peneiramento, já que não teria nenhuma concentração para caracterizar e quantificar.

O mais provável a se constatar e explicar essa ausência de material grosso (areia), nas coletas de fundo, é o imenso volume de sedimentos antes armazenados na pequena barragem a montante, a qual com seu rompimento no evento ocorrido em junho, transladaram e depositaram essa lama sobre o fundo do reservatório Coruripe – I, formando um manto de lodo recobrando toda a extensão deste, impossibilitando a análise granulométrica do material de fundo.

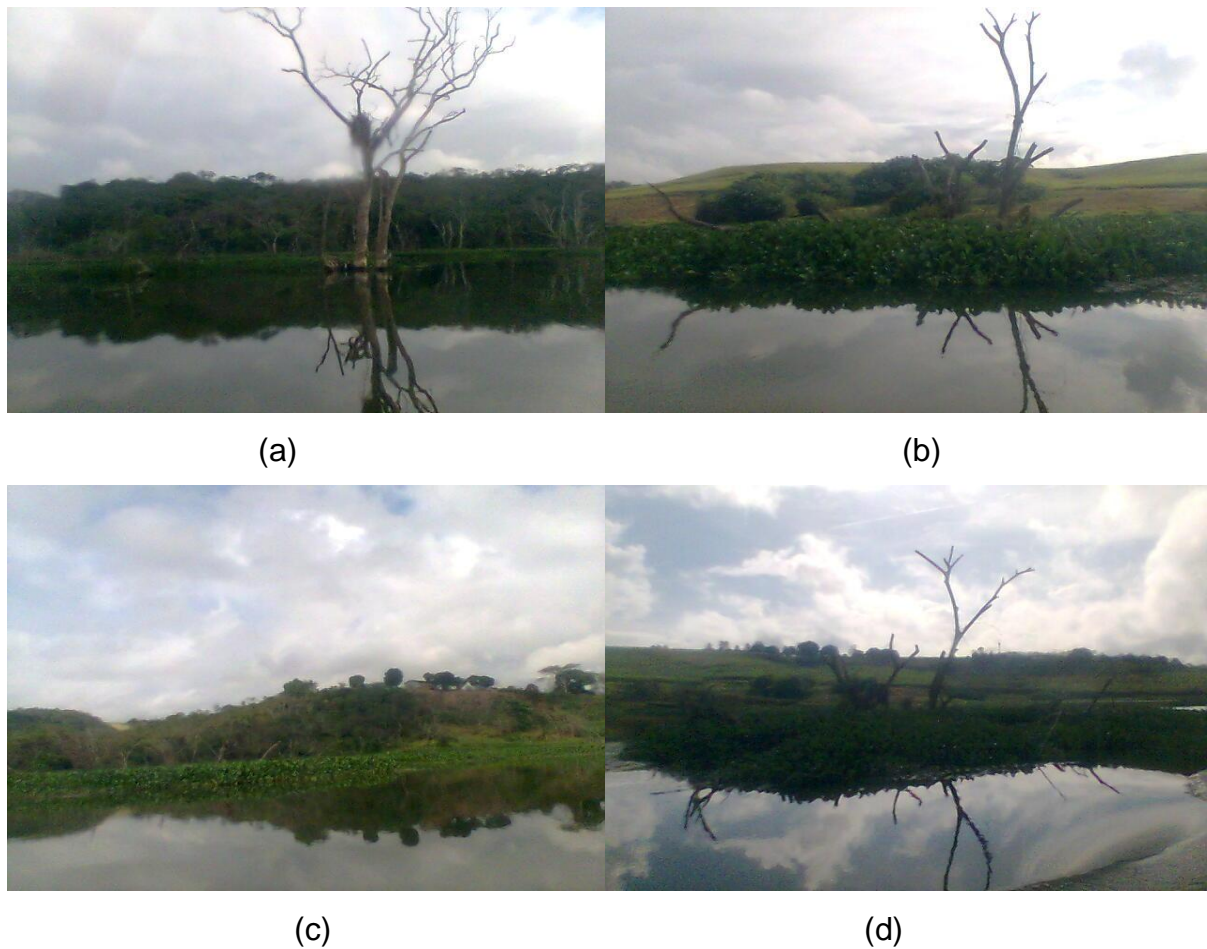
Devido a esse grande volume de água deslocado a jusante, para a Barragem Coruripe – I, já que esta apresentava visivelmente uma extensa área assoreada e eutrofizada, logo, deslocou uma quantidade enorme de vegetação semi-aquática sobre toda a extensão do lago, inclusive parte dessa vegetação deslocou-se para jusante.

Essa vegetação, juntamente com a grande quantidade de sedimentos deslocada, e conseqüentemente, depositada em curvas, deltas e remansos do lago, o que além de alterar significativamente o perfil do leito deste reservatório reduz o volume útil da barragem, pois visualmente diminui a efetividade do reservatório, o qual já está em regime de degradação e diminuição constante e severa de sua capacidade de armazenamento.

Na Figura 17, nota-se visualmente o nível de eutrofização atual do reservatório, lembrando que grande parte dessa eutrofização foi solta das áreas já assoreadas e eutrofizadas e espalhadas pelo reservatório. Isso ocorre principalmente nos acúmulos sedimentares sobre a parte côncava das curvas do traçado do curso principal das águas dentro do lago, como também sobre depósitos, deltas e meandros preferenciais para depósitos de sedimentos, distribuídos ao longo do lago. Para essa vegetação aquática sobreviver, é necessária a fixação de suas raízes em solo, que geralmente não são muito profundas, pois nota-se visualmente na Figura 18 o grande transporte de sedimentos para dentro do leito fluvial oriundo



da desestabilização e remoção de margens e, provavelmente, de sedimentos antes armazenados na barragem rompida a montante.



**Figura 17 - Locais assoreados, cobertos por eutrofização no interior do lago da barragem Coruripe –I sendo: (a) eutrofização de margem, (b) eutrofização em deltas, (c) eutrofização em meandros, (d) eutrofização deslocada pelo lago.**



**Figura 18 – Grande quantidade de sedimentos carregada pela calha do rio ao reservatório sendo: (a) sedimentos carregados pelo rio, (b) banco de areia formados por sedimentos.**

É possível observar principalmente danos decorrentes do evento relacionado anteriormente, o qual provocou impactos, desde a desestabilização de margens até mesmo o rompimento da cabeceira da ponte a jusante a barragem (Figura 19a e 19b). É importante lembrar que nesse evento a empresa Coruripe optou pelo rompimento do dique de segurança do barramento (Figura 19c e 19d), já que o nível da água atingiu a cota 29,30m, cerca de 0,70 cm antes de ocorrer o transbordamento, quando seu nível máximo está na cota 31. Caso esta barragem transbordasse, poderia causar impactos irreversíveis na região a jusante, tanto nas próprias instalações industriais da Usina de manufaturamento de açúcar e álcool, como nas comunidades ribeirinhas. O próprio município de Coruripe poderia sofrer impactos, já que este se encontra nas margens do rio Coruripe.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 19 – Sendo (a) desestabilização de margens por vazões elevadas, (b) rompimento da ponte da BR 101, (c) reservatório totalmente cheio, (d) abertura do dique de segurança e vegetação semi-aquática deslocada.**



#### 4.4 - Levantamento Topo-batimétrico

Com os dados obtidos em campo (ver Anexo 4) foi possível gerar um arquivo com informações pontuais, que possui as coordenadas geográficas e altitude, onde  $z$  é a altitude do fundo da superfície do reservatório em relação ao nível do mar, obtido através da medida de profundidade realizada com o ecobatímetro.

Para se ter uma idéia das áreas disponíveis no reservatório entre 2006 e 2009, foi sobreposto o mapa do trajeto do levantamento topo-batimétrico ao mapa de projeto, sendo que a região onde não foi possível fazer o levantamento topo-batimétrico está atualmente com nível de profundidade menor que 0,8 m por se apresentar completamente assoreada e totalmente tomada por eutrofização.

A Figura 20 apresenta a região onde foi possível realizar o levantamento topo-batimétrico, em relação ao traçado original do lago. Essa foi a alteração (diminuição) da área de alagamento do lago entre o período de operação do reservatório compreendido entre setembro de 2006 a dezembro de 2009.

De antemão é possível observar que a extensão do lago diminuiu de forma significativa em aproximadamente 40 % de seu comprimento. Em 2006 a profundidade média do lago, ao menos em torno de 2/3 da extensão da mesma, era de aproximadamente 12 m, já que o reservatório foi construído numa região de vale de várzea.

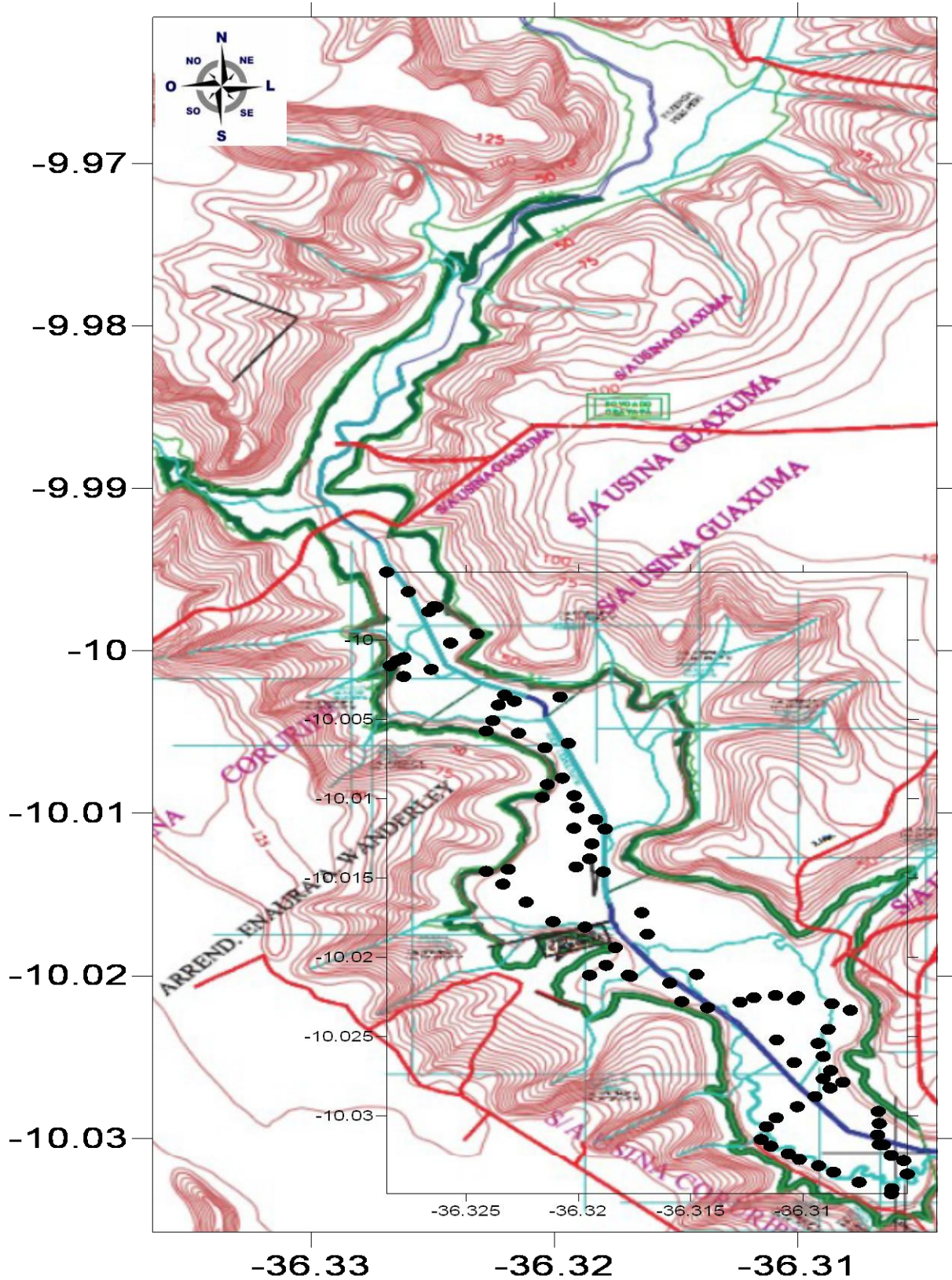


Figura 20 - Traçado do percurso no levantamento batimétrico realizado no reservatório Coruripe – I (2009), sobreposto ao mapa de projeto original (2006).

Esse levantamento foi de primordial importância para a determinação do novo perfil de fundo do reservatório da Barragem Coruripe-I. Baseando-se na profundidade de cada ponto sondado foi possível confeccionar o mapa do novo perfil, possibilitando observar quais os pontos mais críticos na atual configuração desse leito.

Contudo, a partir da Figura 21 é possível observar, além do novo perfil de fundo do reservatório, que está drasticamente alterado pelo processo de empilhamento pelo rompimento da barragem, as demais regiões compreendidas entre os limites do antigo lago e a que se teve acesso a barco. A princípio, não deveriam estar assoreadas, mas devido ao assoreamento do mesmo está crescendo no sentido de jusante a montante, grande parte por causa dos sedimentos carreados por arraste. Outra parte pelo escoamento superficial direto, que lava e carrega até o lago os sedimentos desprendidos das áreas cultivadas em seu entorno, áreas estas que quanto mais a montante se percorre, observamos que suas margens estão desprotegidas. Portanto, áreas potenciais ao fornecimento de sedimentos.

Entretanto, observa-se ainda na Figura 21 que a profundidade média diminuiu drasticamente, para aproximadamente 6,5 m, o que preocupa, principalmente pelo pouco tempo de operação dessa Barragem (menos de 3 anos), o que obviamente diminuiu muito o volume de água represada.

As áreas em torno do centro de curvas do percurso principal do lago são regiões preferenciais à formação de deltas e meandros de remanço. Devido, principalmente, as menores velocidades do escoamento os sedimentos se depositam nestas áreas. Conseqüentemente, estas regiões de fluxo lento, além do assoreamento, tornam-se propícias ao acúmulo de plantas semi-aquáticas, ocasionando o crescimento das regiões eutrofizadas.

Pode-se ainda afirmar que grande parte dessa eutrofização, foi removida das áreas já assoreadas e eutrofizadas anteriormente localizadas na parte superior do reservatório. Vegetação esta, removida em decorrência dos grandes volumes precipitados e pela força das águas oriundas do rompimento da barragem a montante que ocorreu em junho.

Vale mencionar que a diferença entre o traçado do lago e os pontos do levantamento topo-batimétrico visualmente observados na Figura 21 é devido a precisão do GPS no momento da coleta das coordenadas, já que este em virtude da nebulosidade apresentou erro médio de até 11 metros.



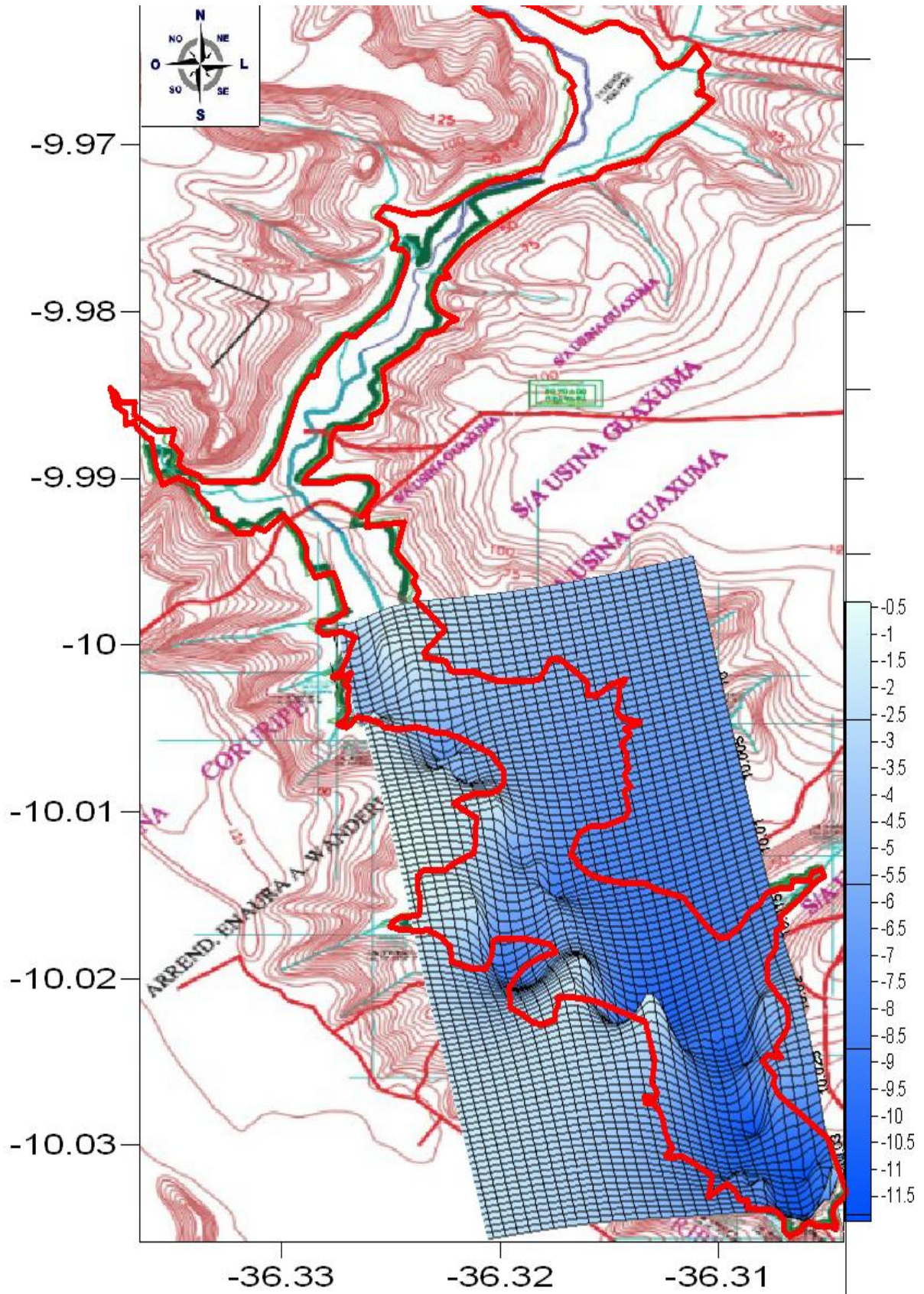


Figura 21 - Mapa do novo perfil de fundo da Barragem Coruripe – I levantado em 2009, sobreposto ao desenho original do lago em 2006.

#### 4.5 – Alteração na capacidade de armazenamento entre 2006 e 2009

O reservatório da Barragem Coruripe – I no rio Coruripe, município de Coruripe - AL possuía em 2006 uma área inundada de 498 ha, com um volume aproximado de 59.760.000 m<sup>3</sup>, até o nível proposto para a implantação da mata ciliar, na cota 27, com profundidade média de 12 m. Atualmente essa capacidade de armazenamento d'água na mesma cota está reduzida a 24.431.500 m<sup>3</sup>, apresentando uma área inundada de 373 ha com profundidade média aproximada em 6,55 m, já que foram encontrados valores mínimos deste 0,8 m na parte superior, até máximos em torno de 12,3 m próximos a represa.

Comparando esses resultados com dados de projeto, vê-se que ocorreu uma redução significativa na capacidade de armazenamento d'água em torno de 59,12% em apenas 3 anos de operação.

#### 4.6 – Produção de Sedimentos

De acordo com as concentrações de sedimentos em suspensão, encontradas nas amostras coletadas na seção da Bacia Hidrográfica vertente acima do reservatório em questão, realizadas em 2009, foi possível calcular o aporte total de sedimentos provindos do rio que é carregado para o reservatório. Para isso, foi utilizada como referência, a média mensal dessa concentração de sedimentos encontrada no período estudado, ano de 2009, que foi de 1,89 kg.m<sup>-3</sup>, com a vazão média mensal extrapolada em relação a precipitação média ocorrida no período de 2007 a 2009, que foi de 8,60 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Utilizando a Equação 1, resultou em um valor médio aproximado de 16,25 kg.s<sup>-1</sup>, o que significa 512.460 t.ano<sup>-1</sup>. Portanto, nesses três anos de operação do reservatório, foi estimado um aporte total de sedimentos em suspensão carregado para seu interior de aproximadamente 1.537.380 t. Esse total deve ser somado ao aporte total de sedimentos por arraste, carregado no mesmo período de operação, cerca de 268,3 t. Então, totalizando uma carga de sedimentos fornecida para o reservatório pelo rio aproximado em 1.537.648,3 t durante os três anos operacionais.

Bicalho, (2006) em seus estudos no rio Descoberto Distrito Federal, concluiu que em se tratando de sedimentos mistos pode-se adotar peso específico aparente, adotando 1,43 t.m<sup>-3</sup>. Já, segundo Carvalho (1994), Strand (1974), Vanoni

(1977) e outros autores, em pesquisas com amostragem de sedimentos em reservatórios, concluíram que para esses depósitos mistos pode-se utilizar um peso específico aparente de  $1,5 \text{ t.m}^{-3}$ .

Portando, para este estudo adotou-se um valor médio de peso específico em torno de  $1,465 \text{ t.m}^{-3}$ . Sendo assim, em termos de volume inutilizado por este material sólido, chegou-se a um volume inutilizado de  $1.049.589,3 \text{ m}^3$ , em seu período operacional.

Para grandes reservatórios, com capacidade superior a 12 milhões de  $\text{m}^3$ , a eficiência de retenção pode ser considerada de 100%. Em pequenos reservatórios o material sólido mais fino não tem tempo suficiente para sedimentação e deixam o reservatório com o fluxo efluente (COIADO, 2001).

Segundo Bicalho (2006), no estudo do rio Descoberto (Distrito Federal), encontrou um coeficiente de retenção de 0,98%, cujo valor é indicado por Carvalho et al. (2000) para rios de bacias hidrográficas no Distrito Federal. Enquanto Carvalho et al. (1994) em pesquisas em bacias hidrográficas no estado do Rio de Janeiro adotou 0,54% para aporte de sedimentos mistos, mas com predominância de material grosseiro.

Já Farias (2008) em seu trabalho, estudando reservatórios alimentados por bacias hidrográficas vertentes no sudoeste do estado do Ceará, encontrou um coeficiente de retenção em torno de 0,93%.

Logo, pelo reservatório em questão ser considerado de grande porte e por estar situado na região Nordeste, optou-se por adotar um coeficiente de retenção médio, de aproximadamente 0,82 %. Contudo, baseando-se pela Equação 2, foi possível calcular a estimativa do volume de sedimentos retido neste reservatório em cada ano de operação, encontrando um volume aproximado de  $286.837,68 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ . Em se tratando de 3 anos de operação, somam-se  $860.513,04 \text{ m}^3$ .

#### 4.7 – Estimativa da vida útil do reservatório

De acordo com os dados obtidos nas amostragens realizadas e relacionando-os com a vazão normalizada, obteve-se pela Equação 2, um deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (Dst) de 512.549,43 t.ano<sup>-1</sup>, sendo considerado uma eficiência de retenção (Er) de 0,82% e como peso específico aparente médio dos depósitos (Yap) adotou-se 1,465 t.m<sup>-3</sup>. Então, tem-se no total um volume de sedimentos retido no reservatório (S) de 286.887,74 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Como de início havia disponível um volume total do reservatório (Vres) em torno de 59.760.000 m<sup>3</sup>, a partir da Equação 3 se chegou ao tempo de assoreamento (T) total aproximado em 208,3 anos. Porém, com o atual volume útil desse reservatório (T<sub>2</sub>), esse prazo de utilização diminuiu para aproximados 85 anos restantes até o assoreamento total do reservatório.

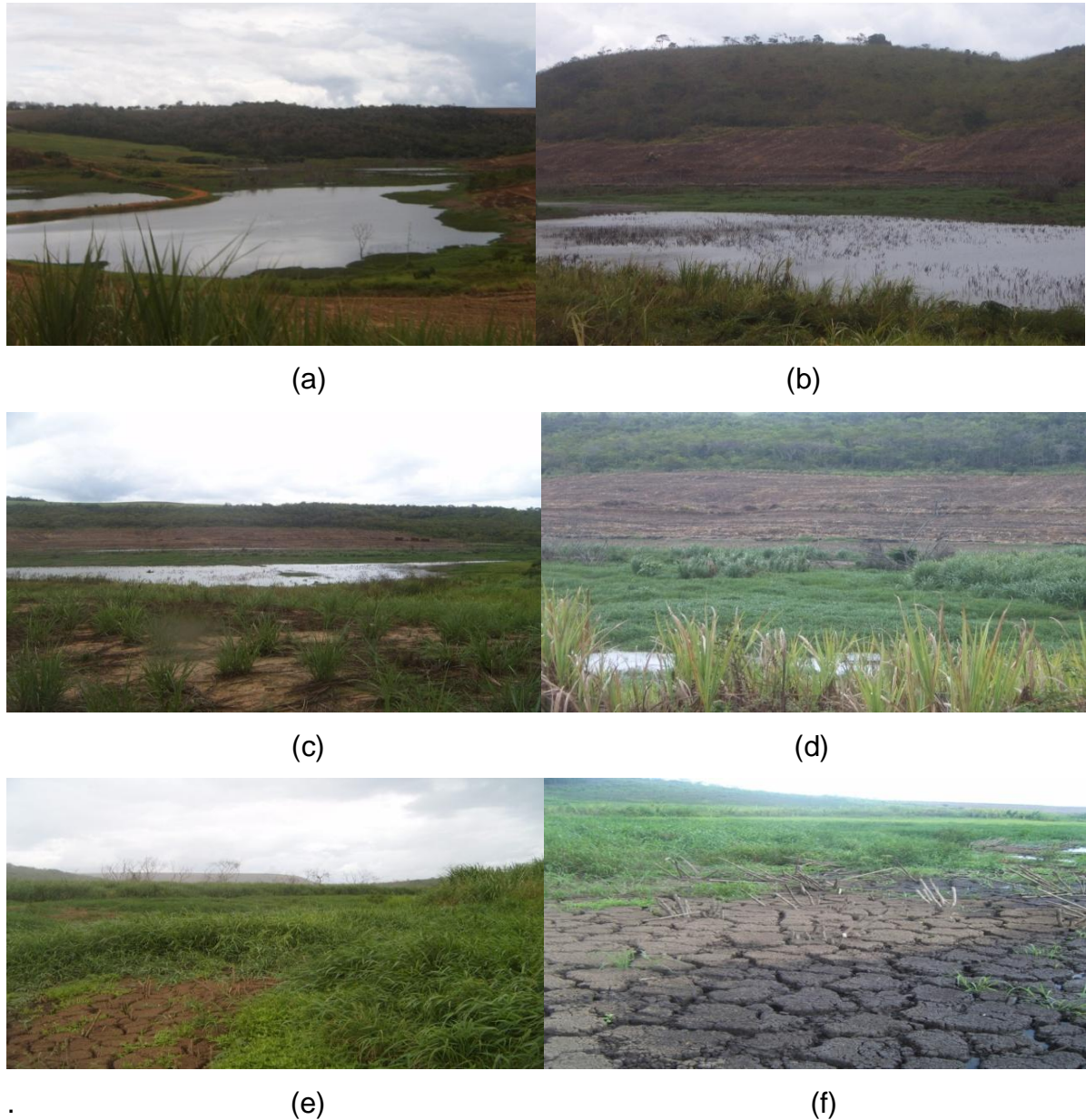
Desse total de sedimentos depositados, cerca de 512.430,43 t.ano<sup>-1</sup> correspondem aos sedimentos em suspensão. Esta estimativa foi realizada através de medições em alguns eventos, sendo que para os meses em que não houve medição de descarga sólida (Outubro, Novembro e Dezembro) utilizou-se a curva da regressão linear obtida pelos dados de descargas sólidas médias, extrapolada para os períodos correspondentes em termos da precipitação média ocorrida entre 2007 a 2009. Transformando esses resultados em função da área total da bacia hidrográfica do rio Coruripe, que em sua totalidade abrange 1.572 km<sup>2</sup> (157.200 ha), o que representa uma taxa de erosão total aproximada de 326,05 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Farias (2008), no seu trabalho em bacias com características diferentes no interior estado do Ceará, concluiu que a produção de sedimentos encontrada variou de 1 a 686 t.k<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, atribuindo essa variação a diferenças no percentual de cobertura de solos que variou entre 100 a 76% da área, declividade média e aos diferentes usos dos solos. Portanto, os resultados encontrados neste estudo condizem com valores obtidos em regiões semelhantes.



#### 4.8- Assoreamento do Reservatório Coruripe-I

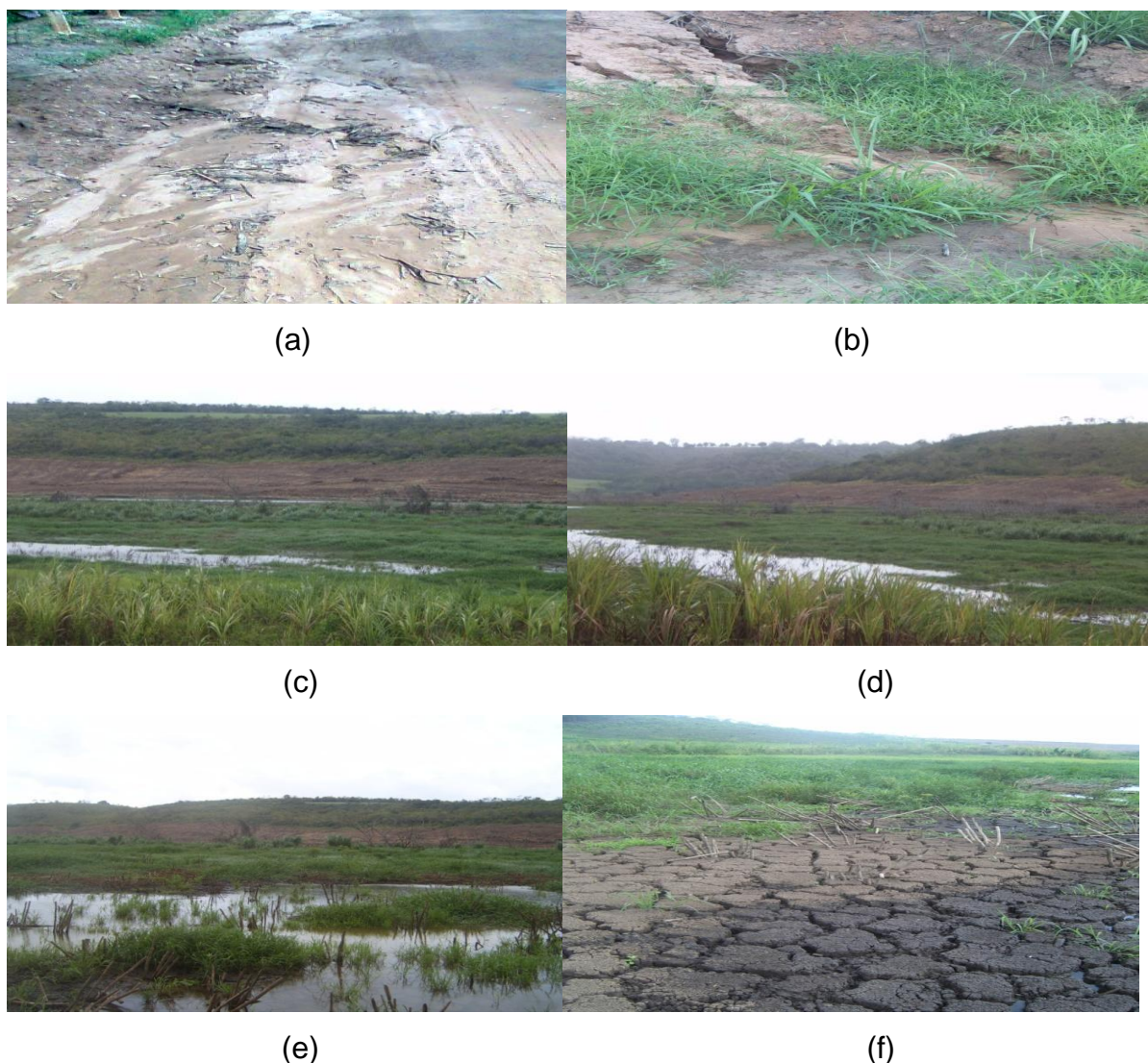
Embora o evento climático tenha influenciado significativamente no processo erosivo, as margens do rio e do reservatório onde ocorreram os processos erosivos estavam desprovidas de mata ciliar e nestes locais existem plantações de cana-de-açúcar até as margens destes. Como se pode confirmar pela Figura 22.



**Figura 22 - Condições inadequadas de cultivo e da região totalmente assoreada a partir do entorno de 3/5 da extensão do reservatório, sendo (a) ausência de matas ciliares; (b) cultivo em declives acentuados; (c) cultivo em áreas de preservação; (d) cultivo até as margens do lago; (e) cultivo em terras assoreadas; (f) inutilização do reservatório.**



Baseando-se pelos valores aqui encontrados, a Figura 23 mostra alguns dos aspectos ou mecanismos responsáveis pela atual realidade da Bacia do Rio Coruripe na área de estudo, em especial dos arredores do reservatório Coruripe – I. Essas imagens nos ajuda a compreender e explicar o porquê deste estudo ter encontrado esses resultados. Isso é preocupante, principalmente, pelo curto período em operação deste reservatório, aspectos estes que poderiam ter seus impactos minimizados por medidas a serem recomendadas se fossem efetuadas desde o início de sua operacionalidade. Mesmo assim, ainda podendo ser otimizadas e colocadas em prática.



**Figura 23 - Aspectos das condições gerais atuais do entorno do reservatório Coruripe – I, sendo (a) carreamento oriundo de estradas; (b) desestabilização por solo descoberto; (c) cultivo até a margem; (d) sem mata ciliar preservada; (e) eutrofização de parte do lago; (f) assoreamento visível com cultivo na região assoreada.**

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1- Conclusões

Os resultados obtidos no presente trabalho, aliados à pesquisa bibliográfica realizada, permitiram chegar às seguintes conclusões:

Entre 2007 e 2009, a redução na profundidade média foi de 12 para 6,5 m;

Entre 2007 e 2009, a redução no volume útil foi de 59,12 %;

De acordo com as práticas atuais a vida útil não se prolongará além de 3 anos;

Taxa de erosão média aproximada em  $326,05 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ;

Estima-se que o volume aproximado de assoreamento do lago é de  $512.549,43 \text{ t.ano}^{-1}$ , totalizado aproximadamente 1.537.648,3 toneladas nos 3 anos de operação;

As áreas com as maiores taxas de assoreamento foram a central e as laterais próximas a cabeceira do represamento. Nestes locais foram observados alguns pontos do estreitamento do lago e até mesmo extinção de parte de áreas devido ao transporte de sedimentos pelas enxurradas das encostas para seu interior.

As maiores espessuras de assoreamento do lago associam-se às margens arenosas sem nenhum tipo de filtro ou cobertura vegetal margeando o reservatório.

De acordo com as amostragens realizadas e o regime de vazões, estima-se que o reservatório teria, a princípio, se forem tomadas providências de remediação urgentes, uma vida útil operacional de aproximadamente 85 anos.

Contudo, se a partir deste momento, forem executadas, em regime de urgência, práticas de não utilização e conservação das áreas marginais ao reservatório, este poderá mesmo nas suas atuais condições de assoreamento elevar seu tempo de utilização para um período semelhante aos resultados encontrados neste.

Caso contrário, se seguir-se da mesma maneira a qual vem se trabalhando ao longo dos últimos anos, a vida útil deste reservatório não se prolongará além de 3 anos de operação.

## 5.2 - Recomendações

Com base nas conclusões encontradas, elaborou-se um conjunto de recomendações (prognósticos) que visam contribuir para a redução do grau de deterioração da bacia hidrográfica e na redução do acelerado assoreamento do lago e ainda melhorar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

As recomendações, se implantadas adequadamente na bacia hidrográfica, permitirão maior infiltração de água das chuvas para o lençol freático, reduzirão as erosões e o assoreamento do rio e do reservatório, reduzindo os impactos ambientais negativos decorrentes de ações antrópicas.

- Preservação das matas nativas existentes na bacia hidrográfica;
- Arborização de estradas;
- Em áreas de cultivo agrícola e pastagens deverão respeitar faixas de contenção com largura estipulada no código florestal e legislação complementar, nas margens dos cursos d'água (rio e reservatório);
- Em áreas com cultivos agrícolas em declividades superiores a 15% deverão ser aplicadas práticas conservacionistas rigorosas;
- Cuidados especiais deverão existir com as culturas nas encostas;
- A falta de mata ciliar em muitos trechos do curso d'água e em alguns divisores d'águas deverá ser corrigida permitindo a invasão por "macegas" e árvores nativas da região;

É importante ressaltar que, apesar de o processo de assoreamento de reservatórios ser inevitável, ele pode ser amenizado através de medidas preventivas e corretivas, com o objetivo de controlar a produção de sedimento e corrigir o problema já instalado. Carvalho (1994) salienta que as medidas preventivas são mais eficientes e econômicas do que as medidas corretivas, as quais geralmente são aplicadas por falta de previsão e adotadas em condições tais que os prejuízos materiais e financeiros já são intoleráveis.

Porém, se visualizado nas figuras, observa-se que não existe nenhuma prática conservacionista, nem mesmo a preservação de faixas ciliares no entorno do reservatório, mas sim, diversas regiões onde existem fornecimento constante de sedimentos para o lago, principalmente pela má utilização de estradas e valas ao redor das áreas cultivadas.

Na indicação e implementação destas medidas deve-se lembrar que a deposição do sedimento é a última etapa que se inicia na erosão superficial da bacia hidrográfica, sendo assim, as medidas de controle da produção de sedimento na bacia são de suma importância para minorar este processo que acarreta perdas econômicas e podem inviabilizar a operação e, conseqüente, atendimento das demandas por parte do reservatório.

Reforça-se, por fim, que estudos posteriores em barragens também detectem as áreas potenciais à produção de sedimentos, com o objetivo, portanto, de lidar com prevenção e não apenas estimativa de vida útil e recuperação de danos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. G. de ; SOUZA, C. M. M. ; SILVA, J. A. Estudo Geoquímico de Elementos Traços na lagoa de Cima. In: VI Congresso Brasileiro de Limnologia. São Carlos. **VI Congresso Brasileiro de Limnologia**, v.1, 1997.

AMORIM, R. F. C. de.; **Transporte de material sólido e assoreamento em reservatórios de pequenas barragens de terra na região central do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu – SP. 127p., 1999.

AUZET, A. V.; POESEN, J.; VALENTIN, C. **Soil patterns as a key controlling factor of soil erosion by water**. Catena, v.46, p.85-87. 2002. (APUD: PINHEIRO, A.; KAUFMANN, W.; FAHT, G.; SILVA, M. R.; GOLDENFUM, J. A. **Estudo da carga de lavagem no escoamento superficial na Bacia do Ribeirão Concórdia - SC**. Universidade Regional de Blumenau, 2008.

BARROSO, N. G. **Análise comparativa entre métodos de estudos do impacto ambiental na bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Mirim, SC**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 171p., 1987.

BASSI, L. **Estimativa da produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do lagoado São José, Chapecó, Santa Catarina**. Santa Maria, Universidade federal de Santa Maria, Curso de Pós Graduação em Agronomia. Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada. 87p.,1990.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F.; **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livro. 392p., 1985.

BICALHO, C. C.; **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio descoberto. [Distrito Federal]**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. 123p., 2006.

BORDAS, M. P. SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, Livro: **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS; São Paulo: USP/ABRH, p. 915-943., 1993.

BRANCO, N. **Avaliação de metodologias para a estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas**. Dissertação de Mestrado. PPGEA – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 119p., 1998.

BRASIL. **MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado de Alagoas, Co-parcerias: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Programa Luz Para Todos, Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, Recife. Agosto/2005.

BRUK, S. Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs. UNESCO, IHP - II **Project A.2.6.1**. Paris. 1985.

BUFFON, A. G. M. **Variação temporal da taxa de sedimentação na represa Velha (CEPTA/IBAMA/SP) e a sua influência sobre as características limnológicas do sistema. Um estudo de impacto ambiental**. Monografia (graduação). Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga, Pirassununga. 85p., 1999.

CABRAL, J. B. P. **Estudo do processo de assoreamento em reservatórios**. Programa de Pós-graduação em Geografia. Instituto de Geografia UFU, Caminhos de Geografia, p. 62-69, 2005. Disponível em [www.ig.ufu.br/caminhos\\_de\\_geografia.html](http://www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html). Acessado em outubro de 2009.

CANALLI, G. E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. Efeito das características das chuvas, da declividade das vertentes e do uso do solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Dissertação de Mestrado. Hidrologia Aplicada. 107p., 1981.

CARLSTRON FILHO, C; GIMENEZ, A. F; PIRES NETO, A. G; PRADINI, L. F; MELO, M. S; FULFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS). In: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais** – São Paulo. ABGE, p. 143-162, 1981.

CARVALHO. N. O, CATHARINO. M. G. Avaliação do assoreamento de reservatório da UHE Itaipu. In: **Anais**. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/ I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, v. 5, p. 174-183, 1993.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Rio de Janeiro, RJ: ELETROBRÁS/Centrais Elétricas Brasileiras S.A, 1994.

CARVALHO, N. Erosão crescente na Bacia do São Francisco .Revista Brasileira de Engenharia, **Caderno de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 2, p. 5-19, 1995.

CARVALHO, N.O. Assoreamento de reservatórios – Conseqüências e mitigação dos efeitos. In: **Anais**. IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. Santa Maria-RS. Cdrom, p. 1-22, 2000.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA Jr. N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília. ANEEL. 185 p., 2000.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JUNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C. & LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas Sedimentológicas, Aneel** - Agência Nacional de Energia elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília. 154p., 2000.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F. da; NOBRE, C. A. **Aspectos Climatológicos das Linhas de instabilidade da Amazônia**. Climanálise, v. 4, n.11, p. 34-39, 1989.

COIADO, E. M. Produção, transporte e deposição de sedimentos. In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre. ABRH, cap.10, 280p., 2001.

CORSO, J. **Estimativa da Produção de sedimentos do arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS, a partir de Medições de Turbidez da água**. Santa Maria, Universidade federal de Santa Maria, Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada. 70p., 1989.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L. E. F.; Vocabulário de Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas. 90p., 1993.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da microbacia contribuinte**. Dissertação de Mestrado. PPGECC – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 108p., 2002.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F. DE. **Análise de metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica**. Estudo de caso: Rio Coruripe/Al e Rio Solimões/Am. Rio de Janeiro, RJ – Brasil. 150p., 2006.

FARIAS, T. R. L. **Produção de Sedimentos em Bacias Hidrográficas sob diferentes Contextos Ambientais: Medida e Modelagem**. Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos. 138p., 2008.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: **CATIE**, 90p., 1996.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica**. 1 ed. Pelotas, RS, Editora Gráfica Universitária. 242p., 2001.



FERREIRA, N. J.; CHAN, C. S.; SATYARMUTI, P. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, SBMet, p. 19-24, 1990.

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, v.2, 1989.

FIGUEIREDO, J. O. G. de R. **Distribuição espacial em Alagoas com ênfase à variabilidade causada pelos padrões de temperatura da superfície do mar.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. UFAL. 148p., 2002.

GIMENEZ, A. F.; CARLSTRON FILHO, C.; CARNEIRO, C. D. R.; STEIN, D. P.; PRADINI, L. F.; MELO, M. S.; FULFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR). In: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais** – São Paulo. ABGE, p. 24, 1981.

GOLDENFUM, J. A. **Simulação Hidrossedimentológica em pequenas Bacias Rurais.** Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Dissertação de Mestrado. Hidrologia Aplicada. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 118p., 1991.

GUPTA, K. & SAUL, A.J. Specific Relationships for the First Flush Load in Combined Sewer Flows. **Water Resource**, v. 30, n. 5, p. 1244-1252, 1996.

INFANTI, J. N. & FORNASARI, F. N. Processos de dinâmica superficial. Livro: **Geologia de Engenharia.** ABGE. São Paulo, p. 131-152. 1998.

ICOLD, International Commission on Large Dams Sedimentation control of reservoirs/Maîtrise de l'alluvionnement des retenues. **Committee on Sedimentation of Reservoirs.** Bulletin 67. Paris. France, 1989.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D. & BECKER, A. **Development and Test of a Spatially Distributed Hydrological/Water Quality Model for Mesoscale Watersheds. Ecol. Model**, p. 261-289, 1998.

LEE, J. H.; BANG, K. W.; KETCHUM, L. H.; CHOE, J. S.; YU, M. J. First flush analysis of urban storm runoff. **Science of the Total Environment**. 293p., 2002.

LINSLEY.R.K; FRANZINI,J.B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo - SP. 198p., 1978.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI , J.; BENATTI , R. J. Equação de perdas de solo. Instituto Agrônomo, São Paulo. **Boletim Técnico**, p. 21-24, 1990.

LOPES, V. L.; SRINIVASAN, V. S. 1981. Erosão Superficial e produção de sedimentos pelas chuvas: o estado de conhecimento e perspectivas. In. Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos 4. Fortaleza. **Anais...** São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, v1, 228p., 1981.

LOPES, V. L.; **Estudo do assoreamento do reservatório de Americana**. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Estadual Paulista-UNESP-RC. Americana. 185p., 1993.

MACHADO, W.C. SILVA, R.A.C. ITAME, O.Y. Levantamento batimétrico do reservatório do Rio Santo Anastácio, 1998. Disponível em <http://www.cartografia.org.br/xixcbccd/artigos/c2/CII-43/CII43>. Acessado em outubro de 2009.

MACHADO, R. E. & VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Martins – SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 735-741, 2003.

MEYER, L. D. Soil Erosion by Water on Upland Áreas. Chapter 27. **Environmental impacto n Rivers (edited by H. W. Shen)**. Colorado State University, Fort Collins, p. 1-27, 1972.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XI, **Anais**, Rio de Janeiro, (CD-rom). 2002.

MORAES, M. C. S.; **Distribuição de Gotas e a Relação Z-R para Radar na Costa Leste do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL, p.10-36, 2003.

MORRIS, G. L; FAN, J.; Reservoir Sedimentation Handbook. **Mcgraw-HILL**. New York. 365 p., 1997.

NUNEZ, M. V. J.; **Perdas de Solo e Nutrientes na Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, RS**. Santa Maria, Universidade federal de Santa Maria, Curso de Pós Graduação em Agronomia. Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada. 67p., 1991.

PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. & VILLELA, S. Avaliação da descarga de sedimentos afluente à captação da estação elevatória I do Projecto de Transposição das Águas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 2, p. 47-79, 1995.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; PARANHOS, R.M. Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. **Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos**. Santa Maria-RS, v. 1, p. 35-51, 2000.

PDRH - **Plano diretor de recursos hídricos do Rio Coruripe**, 126p., 2001.

PONÇANO, W. L.; GIMENES, A. F.; LEITE, A. A. G.; CARLSTRON FILHO, C; PRADINI, F. L.; MELO, M. S. de. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro. IN: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais**, São Paulo, ABGE, v. 2, p. 331-353, 1981.

RAMOS, C. L. Critérios indicativos para a caracterização da potencialidade do assoreamento em reservatórios urbanos. In: **Anais**, XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte. Cdrom. p. 1-15, 1999.

RIBEIRO, J. B. M. **Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento em Bragança-Pa**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 130 p., 2001.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. S.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba. 372p., 2001.

SAUNITTI, R. M. **Estudos sobre a erosão na bacia e assoreamento do reservatório do rio Passaúna**. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Geologia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 83-92, 2003.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 115p., 2005.

SEMARH - Secretaria Estadual de Meio ambiente e Recursos Hídricos. **Comitê de Bacia da região Hidrográfica Coruripe**. 2003. Disponível em <http://www.semarh.al.gov.br/comitesdebacias/coruripe>. Acessado em dezembro de 2009.

SERHI. **Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação**, 2003.

SILVA, J. R. C.; DEGLORIA, S. D.; PHILIPSON, W. R.; MCNEIL, R. J. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise Georreferenciada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 17, p. 451-457, 1993.

SILVA, Z. S.; **Uma análise da situação da Mata Ciliar**. Monografia (Curso de Geografia, Departamento de Artes e Humanidades). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 38p., 2006.

SILVEIRA, G. L.; **Representatividade dos Parâmetros de chuva e influência da Área cultivada, da Declividade e do Uso do Solo na Produção de Sedimentos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Dissertação de Mestrado Hidrologia Aplicada. 151p., 1982.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos erosivos. Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre. **ABRH**, cap. 10, p. 283-293, 2001.

SIMONS, D. B.; SENTÜRK, F. Sediment transport technology Fort collins. **Water Resources Publications**. USA. 807p., 1976.

SPERLING, E.V. **Livro Morfologia de lagos e represas**. 1ª Ed. Belo Horizonte, DESA/UFMG. 137p., 1999.

STRAND, Robert I. Design of Small Dams: Sedimentation. Appendix H. **US Bureau of Reclamation**. Washington, DC. 1974.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Livro Ambientes Fluviais**. UFSC e UFPR. Florianópolis. 183p., 1990.

TARELA, P. A.; MENENDEZ. A. N. A Model to Predict Reservoir Sedimentation. IN: Lake & Reservoirs: **Research and Management**, v. 4. p. 121-133. 1999.

TOMAS, P. P. Erosão Hídrica do solo. Lisboa, <http://www.uni.pt/homepages/docentes/ptomas/HF-01.pdf>. 1993.

TUCCI, C. E. M. **Livro Hidrologia: Ciência e Aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/ADUSP. 934p., 1993.

UFRA. Ministério da Educação e do Desporto. Universidade Federal Rural da Amazônia. Instituto de Ciências Agrárias, Levantamento e Conservação do Solo, **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 128p., 2007.

UMEZAWA, P. K. **Previsão de deplúvio (Washload) em rios de áreas elevadas**. Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Porto Alegre. 217p., 1979.

VALLADARES, G. S. Sig na Análise do Risco de Salinização na Bacia do Rio Coruripe-AI. **ENGEVISTA**, v. 6, n. 3, p. 86-98, 2004.

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

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. Mc Graw-Hill do Brasil. 245p., 1985.

## **7. ANEXOS**

**Anexo 1 - Médias mensais anuais históricas das precipitações e as respectivas médias mensais do período entre 1990 a 2008.**

Janeiro		Fevereiro		Março		Abril	
2008	20,2	2008	68,9	2008	278,4	2008	156,5
2007	25,8	2007	211,9	2007	166,9	2007	218,5
2006	7	2006	72,4	2006	7,3	2006	86
2005	29,7	2005	70,6	2005	15,8	2005	86,2
2004	171,7	2004	79,7	2004	17,4	2004	39,7
2003	9,6	2003	32,4	2003	86,5	2003	92,4
2002	213,4	2002	72,8	2002	57,8	2002	99,1
2001	22,4	2001	10,3	2001	65,6	2001	74,2
2000	59,8	2000	95,3	2000	141,7	2000	313,5
1999	10,7	1999	16,4	1999	6,4	1999	63,6
1998	61,7	1998	4,9	1998	34,3	1998	49
1997	90	1997	88,6	1997	108,6	1997	204,4
1996	31,8	1996	9,5	1996	38,9	1996	395,9
1995	5,6	1995	6,3	1995	16,3	1995	178,4
1994	6,7	1994	17,8	1994	142,3	1994	150,9
1993	6,4	1993	2,7	1993	14,4	1993	25,8
1992	61,7	1992	101,1	1992	195,8	1992	163,1
1991	35,3	1991	44,8	1991	60,3	1991	58,5
1990	16,2	1990	33,5	1990	25,5	1990	178,1
Média	<b>46,345</b>	Média	<b>59,12</b>	Média	<b>75,39</b>	Média	<b>144,07</b>



**Continuação**

Maio		Junho		Julho		Agosto	
2008	317,7	2008	144,5	2008	237,5	2008	149,3
2007	317,1	2007	133,2	2007	286,6	2007	195,6
2006	296,4	2006	162	2006	155,7	2006	29,4
2005	567,5	2005	303,4	2005	168,7	2005	169,4
2004	197,3	2004	367,5	2004	143,8	2004	137,5
2003	149	2003	113,7	2003	135,6	2003	109,6
2002	286,5	2002	370,2	2002	176,8	2002	157,5
2001	38	2001	397	2001	300,4	2001	154,8
2000	123,6	2000	254,1	2000	206,7	2000	117
1999	158,4	1999	146,3	1999	241,5	1999	86,4
1998	185,2	1998	197,9	1998	175,7	1998	116,6
1997	256,4	1997	139,2	1997	197,9	1997	141,7
1996	119,2	1996	184,2	1996	225,2	1996	191,4
1995	411,4	1995	260,8	1995	308,9	1995	130
1994	429,6	1994	515,5	1994	214,9	1994	88,7
1993	109,2	1993	194,4	1993	87,4	1993	128,4
1992	58,5	1992	218,1	1992	192,7	1992	156,4
1991	264,6	1991	174,8	1991	163,8	1991	221,7
1990	238,7	1990	134,1	1990	353,9	1990	133,3
Média	<b>257,07</b>	Média	<b>232,33</b>	Média	<b>204,42</b>	Média	<b>147,325</b>

**Continuação**

Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
2008	23,7	2008	39	2008	3,6	2008	5,5
2007	65,4	2007	37	2007	6,7	2007	28,9
2006	65,5	2006	41,8	2006		2006	34,3
2005	36,6	2005	4,3	2005		2005	109
2004	140,2	2004		2004		2004	4,3
2003	42	2003	36,3	2003	29,7	2003	5,3
2002	20,8	2002	22	2002		2002	25,7
2001	44,8	2001	178,3	2001	33,7	2001	86,6
2000	153,5	2000	20,2	2000	10,5	2000	41,6
1999	126	1999	146	1999	97	1999	21,5
1998	35	1998	49,6	1998		1998	24,3
1997	3,8	1997	3,4	1997	6,8	1997	30,9
1996	22,2	1996	4,4	1996	35,9	1996	26,5
1995	60,2	1995	15,6	1995	135,5	1995	9,3
1994	144,5	1994	28,4	1994	45	1994	52,6
1993	19	1993	251,9	1993	55,3	1993	17,7
1992	139	1992	16,8	1992	21,8	1992	8,7
1991	80,4	1991	32,9	1991	19,3	1991	1,4
1990	140,5	1990	58,1	1990	9,1	1990	33,5
Média	<b>71,64</b>	Média	<b>52,61579</b>	Média	<b>34,28667</b>	Média	<b>28,52829</b>

**Anexo 2 – Médias mensais anuais históricas das vazões e as referidas medias mensais do período entre 1978 a 2008.**

<b>Janeiro</b>		<b>Fevereiro</b>		<b>Março</b>		<b>Abril</b>	
2008	4,875464	2008	3,091232	2008	7,743824	2008	2,635572
2007	2,224067	2007	8,838638	2007	6,821298	2007	4,364696
2006	2,526158	2006	2,119527	2006	2,495561	2006	3,542475
2005	5,992218	2005	1,111575	2005	1,493404	2005	3,616649
2004	25,88871	2004	14,95634	2004	3,282926	2004	2,602264
2003	1,354786	2003	2,060645	2003	3,238626	2003	3,179578
2002	16,15056	2002	4,339739	2002	3,445617	2002	3,139324
2001	5,284746	2001	1,196368	2001	1,549454	2001	2,073362
2000	1,79336	2000	3,184763	2000	1,681682	2000	5,858074
1999	1,771269	1999	2,026914	1999	2,301122	1999	2,456893
1998	3,154079	1998	3,157005	1998	3,317098	1998	4,46189
1997	8,395637	1997	7,064914	1997	14,66257	1997	15,88741
1996	5,162937	1996	5,266448	1996	5,850347	1996	18,82547
1995	3,647563	1995	4,218514	1995	4,186226	1995	8,389549
1994	1,716156	1994	1,880873	1994	2,390989	1994	2,191187
1993	3,317355	1993	2,824394	1993	2,724973	1993	2,761405
1992	5,620409	1992	12,62238	1992	13,79497	1992	13,80222
1991	3,653928	1991	3,694996	1991	4,178328	1991	3,819364
1990	5,925029	1990	6,340971	1990	6,741247	1990	8,796342
1989	3,733574	1989	3,364434	1989	3,937564	1989	10,64004
1988	2,387402	1988	2,602836	1988	6,910584	1988	9,246675
1987	4,119511	1987	3,717102	1987	3,88132	1987	5,604651
1986	1,567977	1986	1,945582	1986	2,773052	1986	1,849462
1985	1,981757	1985	3,60189	1985	3,133954	1985	15,40297
1984	2,393662	1984	2,285565	1984	3,192196	1984	5,707889
1983	2,153836	1983	2,859868	1983	2,8616	1983	2,229126
1982	1,602133	1982	1,487339	1982	0,830499	1982	9,536326
1981	2,436576	1981	2,837217	1981	10,40086	1981	6,148342
1980	2,259775	1980	8,166091	1980	9,371827	1980	3,893632
1979	4,139894	1979	4,198459	1979	4,503758	1979	4,969178
1978	2,963805	1978	3,505197	1978	7,023745	1978	4,446818
<b>Média</b>	<b>4,522398</b>	<b>Média</b>	<b>4,211865</b>	<b>Média</b>	<b>4,861975</b>	<b>Média</b>	<b>6,196091</b>

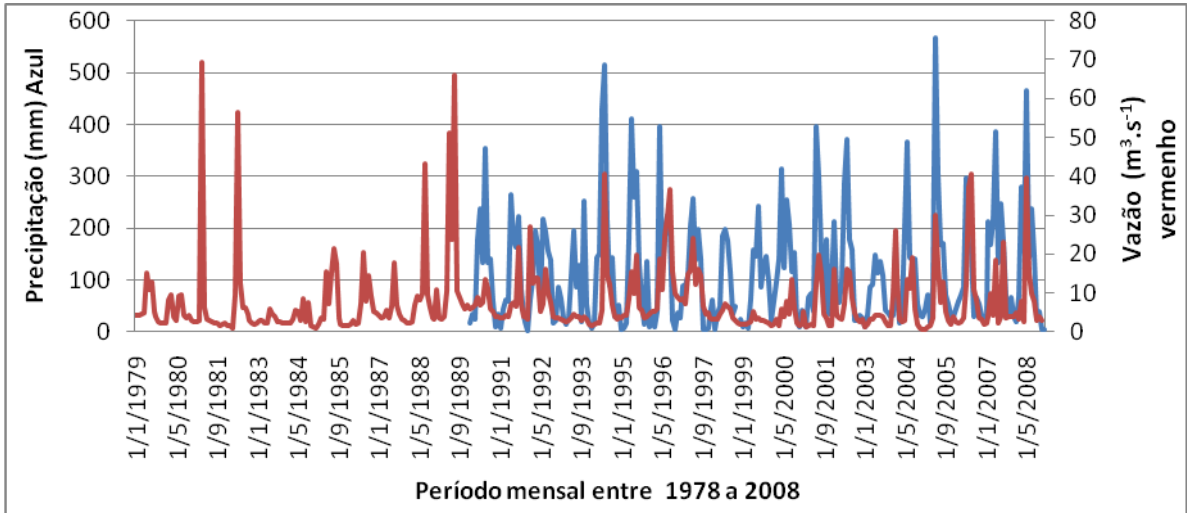
### Continuação

Maio		Junho		Julho		Agosto	
2008	39,5537	2008	15,21392	2008	9,733535	2008	7,768776
2007	10,52549	2007	11,13159	2007	12,41038	2007	10,00662
2006	12,04972	2006	37,21552	2006	40,73087	2006	10,9387
2005	3,005167	2005	17,50965	2005	7,650657	2005	12,68918
2004	2,921805	2004	13,51497	2004	11,11302	2004	19,24738
2003	4,204655	2003	4,279648	2003	4,256859	2003	3,835284
2002	7,321194	2002	16,06617	2002	15,54317	2002	8,447733
2001	1,50126	2001	12,31967	2001	19,68284	2001	14,99225
2000	3,907677	2000	7,992462	2000	4,68445	2000	13,46859
1999	5,1108	1999	3,402215	1999	3,597448	1999	2,932356
1998	5,543742	1998	7,101172	1998	6,517187	1998	5,871466
1997	23,93288	1997	12,10143	1997	16,2941	1997	14,40932
1996	10,92541	1996	24,86179	1996	29,65477	1996	36,73442
1995	15,60516	1995	9,954429	1995	19,79203	1995	6,354966
1994	5,677794	1994	40,6783	1994	14,84214	1994	12,12037
1993	3,512666	1993	4,575366	1993	3,976274	1993	3,895732
1992	5,13273	1992	7,197899	1992	16,17369	1992	10,20724
1991	6,937157	1991	7,613415	1991	6,615136	1991	21,79425
1990	6,896864	1990	7,477264	1990	13,44554	1990	11,09047
1989	51,23653	1989	23,66704	1989	66,07373	1989	10,66268
1988	8,076159	1988	9,732724	1988	43,09403	1988	9,4453
1987	3,694413	1987	6,490516	1987	17,91691	1987	6,779738
1986	2,345664	1986	7,2803	1986	20,34589	1986	8,032553
1985	7,182158	1985	15,14691	1985	21,28231	1985	17,40915
1984	5,248658	1984	2,893224	1984	8,37472	1984	2,453242
1983	2,142925	1983	5,743992	1983	4,454355	1983	3,861896
1982	56,40558	1982	12,55393	1982	6,142665	1982	6,111439
1981	3,154054	1981	3,081767	1981	2,460245	1981	2,360263
1980	2,845885	1980	9,185354	1980	9,611492	1980	4,332998
1979	15,2782	1979	10,80941	1979	12,79793	1979	5,312949
1978	31,80402	1978	13,86884	1978	31,67571	1978	15,69238
<b>Média</b>	<b>11,73162</b>	<b>Média</b>	<b>12,27938</b>	<b>Média</b>	<b>16,15949</b>	<b>Média</b>	<b>10,2987</b>

### Continuação

Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
2008	2,923538	2008	3,987456	2008	3,059923	2008	3,258559
2007	5,923975	2007	3,826436	2007	3,867436	2007	4,012748
2006	8,171402	2006	3,741712	2006	3,113861	2006	2,06992
2005	5,303767	2005	3,020192	2005	1,935717	2005	3,940911
2004	5,766347	2004	1,910014	2004	0,829343	2004	0,707034
2003	2,592622	2003	1,633804	2003	1,458476	2003	0,959365
2002	4,930466	2002	3,197832	2002	2,652403	2002	3,287258
2001	4,69399	2001	3,640969	2001	1,550629	2001	1,435737
2000	6,369002	2000	2,389965	2000	1,593394	2000	2,029143
1999	3,041896	1999	2,471539	1999	2,19763	1999	1,645556
1998	3,509058	1998	2,868804	1998	2,320616	1998	1,976976
1997	6,420384	1997	4,668889	1997	4,775444	1997	3,682009
1996	15,62574	1996	9,946607	1996	8,80873	1996	8,350985
1995	5,534027	1995	3,545228	1995	3,83905	1995	4,581644
1994	6,857624	1994	3,798401	1994	3,388995	1994	3,940277
1993	2,820853	1993	3,759697	1993	3,213085	1993	1,827432
1992	7,645828	1992	3,959723	1992	3,624873	1992	3,426474
1991	7,3225	1991	3,965881	1991	3,800293	1991	3,2123
1990	5,98882	1990	5,123749	1990	3,853483	1990	3,744074
1989	8,852704	1989	7,32761	1989	5,871508	1989	6,944293
1988	6,206747	1988	3,693811	1988	3,404395	1988	10,87839
1987	4,406186	1987	3,195957	1987	2,762002	1987	2,414224
1986	14,54082	1986	9,097859	1986	5,346354	1986	4,79989
1985	3,626347	1985	1,90721	1985	1,531231	1985	1,480951
1984	7,678268	1984	1,439562	1984	1,242407	1984	1,035451
1983	2,646807	1983	2,488329	1983	2,303307	1983	2,190016
1982	4,664202	1982	3,015219	1982	2,197683	1982	2,036519
1981	2,258309	1981	1,644057	1981	1,782043	1981	2,150113
1980	3,415506	1980	4,295671	1980	2,864077	1980	2,428001
1979	3,984281	1979	2,674697	1979	2,310796	1979	2,103595
1978	6,915645	1978	6,0778	1978	4,165832	1978	4,385364
<b>Média</b>	<b>5,827021</b>	<b>Média</b>	<b>3,816603</b>	<b>Média</b>	<b>3,085968</b>	<b>Média</b>	<b>3,255974</b>

**Anexo 3 – Comportamento médio das variáveis precipitação e vazão medias durante o período considerado para estudo compreendido entre 1978 a 2009.**



**Anexo 4 – Pontos levantados no Levantamento Topo – Batimétrico.**

<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	-36,3091	-10,0276	-12,3	46	-36,3211	-10,0178	-6,9
2	-36,3104	-10,0266	-9,8	47	-36,3197	-10,0181	-4
3	-36,3112	-10,0252	-9,3	48	-36,3184	-10,0194	-1,7
4	-36,3147	-10,0211	-11,3	49	-36,3188	-10,0205	-2,5
6	-36,3169	-10,0185	-6,3	50	-36,3195	-10,0211	-1,1
7	-36,3172	-10,0172	-6,3	51	-36,3178	-10,0211	-5,9
8	-36,3189	-10,0146	-5,3	52	-36,3177	-10,0212	-5,5
9	-36,3202	-10,0119	-5,8	53	-36,3159	-10,0216	-9,8
10	-36,3202	-10,0098	-5,3	54	-36,315	-10,0228	-0,8
11	-36,3216	-10,0099	-3,3	55	-36,3143	-10,0232	-2,2
12	-36,3205	-10,0065	-4,3	57	-36,313	-10,0228	-9,5
13	-36,3208	-10,0036	-4,8	58	-36,3122	-10,0225	-9
14	-36,3229	-10,004	-4,3	59	-36,3112	-10,0224	-9
15	-36,3266	-10,0019	-2,8	60	-36,3103	-10,0225	-9
16	-36,3276	-9,99696	-3,3	61	-36,3104	-10,0227	-10,3
17	-36,3285	-9,9957	-2,1	62	-36,3087	-10,0229	-9,8
18	-36,3267	-9,99821	-3,5	63	-36,3079	-10,0233	-4,2
19	-36,3264	-9,99789	-2,3	64	-36,3089	-10,0245	-9,4
20	-36,3263	-9,99793	-0,8	65	-36,3093	-10,0254	-8
21	-36,3245	-9,99961	-1,6	66	-36,3091	-10,0262	-7,4
22	-36,3257	-10,0002	-3,6	67	-36,3088	-10,0271	-7,1
23	-36,3278	-10,0012	-4,3	68	-36,3082	-10,0279	-5,4
24	-36,3278	-10,001	-4	69	-36,3088	-10,0282	-10,1
25	-36,3281	-10,0013	-3,6	70	-36,3095	-10,0288	-9,9
26	-36,3284	-10,0016	-2,8	71	-36,3103	-10,0294	-10,2
27	-36,3278	-10,002	-0,7	72	-36,311	-10,0301	-10
28	-36,3233	-10,0035	-7,5	73	-36,3116	-10,0307	-9,6
29	-36,3236	-10,0041	-4,3	74	-36,3119	-10,0315	-9
30	-36,3238	-10,0051	-5,7	75	-36,3114	-10,0319	-7
31	-36,324	-10,0057	-1,9	76	-36,3107	-10,0324	-9
32	-36,3227	-10,0059	-4,8	77	-36,3102	-10,0327	-6,4
33	-36,3215	-10,0068	-3,3	78	-36,3093	-10,0331	-10,3
34	-36,3214	-10,0091	-1,5	79	-36,3087	-10,0335	-10,3
35	-36,3207	-10,01	-5,9	80	-36,3075	-10,0342	-11,3
36	-36,3201	-10,0106	-6,7	81	-36,3061	-10,0349	-3
37	-36,3192	-10,0113	-5,5	82	-36,3061	-10,0346	-8,5
38	-36,3188	-10,0119	-9,3	83	-36,3054	-10,0337	-5,5
39	-36,3194	-10,0128	-5,3	84	-36,3055	-10,033	-11,3
40	-36,3195	-10,0138	-5,9	85	-36,3061	-10,0325	-8,9
41	-36,3201	-10,014	-6,6	86	-36,3064	-10,0318	-9
42	-36,3231	-10,0145	-6,4	87	-36,3066	-10,0318	-9,8
43	-36,3241	-10,0146	-1,7	88	-36,3067	-10,0312	-12,3
44	-36,3234	-10,0154	-8	89	-36,3066	-10,0305	-9,4
45	-36,3223	-10,0165	-8,7	90	-36,3067	-10,0297	-9,5

**Anexo 5 – Diferenças entre as épocas seca e cheia, sendo: (a e b) estação fluviométrica (Ponte da Rocheira); (c e d ) montante a Ponte da Rocheira; (e e f) jusante a Ponte da Rocheira; (g e h) margem direita da jusante a Ponte da Rocheira; (i e j) comporta de controle da represa Coruripe – I; (k e l) vertedouro da represa Coruripe – I; (m e n) jusante a represa Coruripe – I.**



(a)



(b)



(c)



(d)



Continuação



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

Continuação



(k)



(l)



(m)



(n)

**Anexo 6 – Relação entre precipitação, volume escoado e produção de sedimentos de eventos da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe em 2009.**

<b>Meses</b>	<b>Prec.Nor(mm)</b>	<b>Prec 07-09 (mm)</b>	<b>Vaz Nor(m<sup>3</sup>.s-1)</b>	<b>Conc(kg.m-3)</b>
<b>1</b>	46	<b>29,07</b>	5	<b>0,10</b>
<b>2</b>	59	<b>141,10</b>	4	<b>1,12</b>
<b>3</b>	75	<b>157,63</b>	5	<b>1,23</b>
<b>4</b>	144	<b>207,33</b>	6	<b>3,67</b>
<b>5</b>	257	<b>490,10</b>	12	<b>4,36</b>
<b>6</b>	232	<b>171,13</b>	12	<b>4,58</b>
<b>7</b>	204	<b>200,27</b>	16	<b>3,46</b>
<b>8</b>	147	<b>217,67</b>	10	<b>1,45</b>
<b>9</b>	72	<b>52,33</b>	6	<b>1,22</b>
<b>10</b>	53	<b>29,90</b>	4	<b>0,74</b>
<b>11</b>	34	<b>3,57</b>	3	<b>0,37</b>
<b>12</b>	29	<b>12,50</b>	3	<b>0,27</b>



**Anexo 7 - Amostrador de sedimentos de arraste com amostra de sedimentos coletada na seção de monitoramento da Bacia do Rio Coruripe.**



**Anexo 8 – Amostras de material de fundo coletada no interior do reservatório Coruripe – I, comprovando a homogeneidade das mesmas.**

