

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

ADOREA REBELLO DA CUNHA ALBUQUERQUE

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA REABILITAR ÁREAS
DEGRADADAS NA BASE GEÓLOGO PEDRO DE MOURA: BACIA DO
RIO URUCU (COARI-AM).**

RIO DE JANEIRO

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ADOREA REBELLO DA CUNHA ALBUQUERQUE

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA REABILITAR ÁREAS
DEGRADADAS NA BASE GEÓLOGO PEDRO DE MOURA: BACIA DO
RIO URUCU (COARI-AM).**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG-UFRJ) para obtenção do Grau de Doutora em Geografia.

ORIENTADOR: DR. ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA
GUERRA


RIO DE JANEIRO


2007


174ª ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM GEOGRAFIA

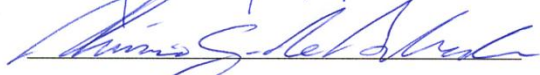
Às treze horas do dia treze de setembro de dois mil e sete, no Auditório do Bloco I, sala 017-, do Prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, reuniu-se a Banca Examinadora de Tese de Doutorado em Geografia, aprovada pelo Diretor Adjunto de Pós-Graduação do Instituto de Geociências em 28 de agosto de 2007, constituída pelo Professores Antonio José Teixeira Guerra - Orientador – Presidente – Antonio Carlos de Barros Corrêa, Mônica dos Santos Marçal, Aloísio Granato de Andrade e Antonio Soares da Silva, para proceder ao Exame de Tese de Doutorado em Geografia de *Adoréa Rebello da Cunha Albuquerque*, que versa sobre “**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA REABILITAR ÁREAS DEGRADADAS NA BASE GEÓLOGO PEDRO DE MORA: BACIA DO RIO URUCU (COARI-AM).**” Aberta a sessão, o Presidente da Banca, Professor Antonio José Teixeira Guerra passou a palavra à candidata que fez um resumo da Tese em julgamento. Depois foi passada a palavra aos Examinadores Professores Antonio Carlos de Barros Corrêa, Mônica dos Santos Marçal, Aloísio Granato de Andrade e Antonio Soares da Silva, que elogiaram e fizeram considerações críticas ao trabalho apresentado. Encerrado o Exame a Banca reuniu-se na sala ao lado para efetuar o julgamento, voltando logo a seguir para anunciar o resultado. A Banca reconhece a qualidade da Tese e **APROVA** a candidata no Exame de Tese de Doutorado em Geografia, recebendo assim, o título de **DOUTOR** em

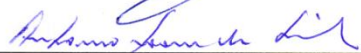
Ciências (Geografia). Nada mais havendo tratar, o Presidente da Banca, professor Antonio José Teixeira Guerra mandou lavrar a presente Ata, que eu, Ildione de Jesus O. Rocha, Assistente em Administração do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, assino com os demais membros da Banca Examinadora e a candidata. Rio de Janeiro, treze de setembro de 2007.











Ficha Catalográfica

ALBUQUERQUE, Adoréa Rebello da Cunha

Aplicação de técnicas para reabilitar áreas degradadas na Base Geólogo Pedro de Moura:
Bacia do Rio Urucu (Coarí-Am).

Tese de Doutorado: Universidade Federal do Rio de Janeiro 2

1. Bacia Hidrográfica 2. Erosão 3. Ambientais

I. Título

A minha família pelo incentivo para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao plano superior pela força de chegar até aqui;

Ao meu esposo e às minhas filhas pela paciência e apoio durante a realização deste trabalho;

A minha mãe pela força e dedicação;

A minha sobrinha Dory pelo auxílio e contribuições para resolver problemas de última hora;

Ao grande amigo Brigadeiro Luis Humberto França, pelo auxílio de transporte aéreo no percurso Manaus - Rio de Janeiro para a efetiva presença na UFRJ durante a realização do curso de Doutorado;

À minha Tia Loló pelo apoio de me receber em sua casa da Tijuca;

Ao meu orientador Dr. Antonio José Teixeira Guerra, pelo incentivo e acompanhamento constantes;

Ao Evandro, colega de departamento, pelas discussões teóricas, pelo crédito depositado e pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao colega Fábio, pela colaboração e auxílio técnico na confecção de perfis, gráficos e croquis representativos;

À Karen minha colega pela colaboração na condução de técnicas de geoprocessamento e interpretações;

Ao Kid, funcionário da UFAM e desenhista pela projeção dos desenhos e plantas.

Ao apoio logístico fornecido pela PETROBRAS.

Os solos e as paisagens comportam-se como sistemas abertos, na medida em que ganham e perdem matéria e energia, além de suas fronteiras.

(GUERRA e MENDONÇA, 2004).

LISTA DE SIGLAS

UNBSOL – Unidade Base Solimões

LUC – Leste do Urucu

SUC – Sul do Urucu

RUC – Rio Urucu

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LISTA DE FIGURAS

4.1:	Vista aérea da cidade de Coari (AM).....	38
4.2:	Imagens da Base de extração de gás.Geólogo Pedro de Moura. Bacia do Rio Urucu (AM).....	39
4.3:	Localização da Província do Urucu — Base Geólogo Pedro de Moura.....	42
4.4:	Lago Coari.....	42
4.5:	Distribuição Esquemática da Bacia Amazônica.....	45
4.6:	Estação para registros de condições climáticas.....	48
4.7:	Perfil de solo exposto à ação erosiva.....	49
4.8:	Voçoroca do Porto Hélio enchente (2006).....	50
5.1:	Dutos para transporte de gás.....	63
5.2:	Os deslocamentos para transporte de material e o trânsito de máquinas pesadas na Base de Operações são atividades de extrema necessidade.....	63
5.3:	Os cortes realizados em taludes para a abertura de estradas que se direcionam até os poços de gás têm gerado processos erosivos que se iniciam pelo aparecimento de ravinas e evoluem para voçorocas nas laterais da estrada.....	64
5.4:	Manilha comumente utilizada para a canalização dos cursos de água durante a construção de estradas.....	64
5.5:	O diâmetro das manilhas que drenam canais fluviais da bacia do Rio Urucu se torna subdimensionado.....	65
5.6:	Manilha de 1m de diâmetro totalmente obstruída por sedimentos que são transportados da estrada.....	65
5.7:	Cursos fluviais como o da figura, compõem sub bacias do Rio Urucu, praticamente todos os canais que se situam próximos ao curso médio e superior, se encontram sob este nível de assoreamento.....	66
5.8:	A formação de crostas na superfície do solo diminui a taxa de infiltração e proporciona aumento dos fluxos superficiais.....	68
5.9:	A existência de fluxos que se configuram como pequenos canais torna-se uma das principais causas do aumento de erosão na Base de Operações.....	
5.10:	Colapso de material existente nas áreas de cabeceiras de voçorocas.....	71
5.11:	O papel dos dutos posicionados na parte superior das manilhas é capturar a água	

	concentrada nas canaletas.....	72
5.12:	Observar o acúmulo de sedimentos na superfície existente na base das caixas de concreto das manilhas.....	72
5.13:	Medidas mitigadoras como a hidrossemeadura (<i>braquiária</i>) não apresentaram o resultado esperado.....	73
5.14:	Voçoroca do Porto Hélio com fluxos no nível de base da incisão.....	78
5.15:	Observar a falência deste tipo de obra para a canalização de fluxos em estradas.....	81
5.16:	A sobreposição de lonas auxilia apenas a retenção de fluxos no topo.....	81
5.17:	Incisão localizada na parte superior do talude.....	83
7.1:	Projeto de contenção das voçorocas do Porto Hélio.....	91
7.2:	Perfil situado nas áreas de cabeceira da voçoroca do Porto Hélio.	94
7.3:	Tonalidades expostas em perfil na área do Porto Hélio.....	95
7.4:	Neste trecho a jusante da voçoroca está conectada ao Rio Urucu.	98
7.5:	Croqui representativo dos espaçamentos de plantio.....	103
7.6:	Os elevados níveis de compactação do solo, ofereceram resistência às perfurações e abertura das covas para o plantio.....	104
7.7:	Fluxos laminares na superfície interna da voçoroca do Porto Hélio.	104
7.8:	Vista parcial do horto desenvolvido na Base Geólogo Pedro de Moura -Petrobras.....	107
7.9:	Muda de angelim, <i>Hymenolobium excelsum</i> . Leguminosae papilioindeae. Tipo de leguminosa que pode auxiliar na fixação de nitrogênio no solo.....	108
7.10:	A Acapurana, por sua adaptação aos ambientes transicionais de alagados e terra firme, deverá possibilitar a redução de fluxos superficiais no interior da voçoroca.....	109
7.11:	Frutos e flores do Ingá de macaco. A árvore é grande fixadora de nitrogênio do ar através dos nódulos radiculares.....	114
7.12:	O Buriti é uma palmeira amazônica típica de ambientes alagados.	115
7.13:	Marcação dos pontos de construção das canaletas em intervalos de seis metros de distância correspondente às cabeceiras.	117
7.14:	Para a perfuração do solo neste local foi utilizado o trabalho mecânico de uma retroescavadeira devido os níveis de compactação.	117
7.15:	A existência de 5 ramificações nas cabeceiras de drenagem fornece à Voçoroca, a configuração de uma pequena bacia de forma dendrítica.....	119

7.16:	A mesma voçoroca na localidade do Porto Hélio em Junho de 2005.	119
7.17:	Proposta de construção de barragens para conter erosão dentro da voçoroca.....	121
7.18:	Alcovas de regressão, feição erosiva que aparece em vários pontos da incisão. Com a evolução destas pode ocorrer o desmoronamento do material acima e contribuir assim para o aumento das dimensões da voçoroca.	123
7.19:	Pequenos desmoronamentos ocorrem em toda extensão da voçoroca, principalmente onde aflora o lençol d'água.....	123
7.20:	As barragens construídas na superfície interna da voçoroca propiciaram a redução do processo erosivo.....	124
8.1:	Localização da Base Geólogo Pedro de Moura.....	126
8.2:	O recobrimento das áreas adjacentes aos poços.....	127
8.3:	Visão da faixa de entorno dos poços.....	127
8.4:	Incisões existentes na área de entorno.....	128
8.5:	Toras de madeira não foram suficientes para a contenção de fluxos.....	128
8.6:	Recomposição de Cobertura vegetal (Revegetação) - Fluxograma.....	132
8.7:	Fluxograma – Etapas de Recuperação LUC –37.....	134
8.8:	Técnicas de contenção aplicadas no campo de LUC.	138
8.9:	Posicionamento das estacas formando patamares ao longo da encosta. Todos os degraus devem ser revestidos com a manta de juta, impedindo assim o transporte de sedimentos ao longo da encosta.....	139
8.10:	Visão dos patamares em seção transversal.....	140
9.1:	O escoamento superficial tem causado a exposição de dutos tanto nas estradas do RUC como do SUC.....	143
9.2:	Rede de ravinas a montante da incisão.....	144
9.3:	Formas de erosão mais acentuadas à jusante, evolução para voçorocas.....	144
9.4:	Estrutura testemunha.....	146
9.5:	Tubulações Expostas nas Estradas.....	149
10.1:	A necessidade de escavações para aterro de dutos e a exposição do terreno, a ação de fluxos superficiais propiciou o aparecimento de inúmeros sulcos na parte mais elevada do relevo.....	150
10.2:	Os dutos, que são enterrados no solo com o objetivo de confinar os fluxos para a	

passagem e abertura de estradas acabam apresentando subdimensionamento de diâmetro causado pela elevação de nível da água e da grande quantidade de sedimentos que são carreados para dentro do canal.	151
10.3: A elevada carga de sedimentos transportados causa assoreamento nos canais fluviais.....	152
11.1: Encosta conectada ao canal hidrográfico.....	160
11.2: Rompimento de aterros.....	161
11.3: Exemplo de fluxos concentrados nas laterais das estradas, provocando o aparecimento de sulcos que evoluem para voçorocas.	163
11.4: Encosta exposta por processo de terraplenagem.....	165
11.4.1: Manta antierosiva de juta.....	165
11.4.2: Revestimento de encosta com biomanta.....	165
11.4.3: Resíduos de manta de juta no solo.....	167
11.4.4: Amostra de juta em decomposição. Foto (Albuquerque, 2005).	167
12.1: Telas de plástico – Embalagens de materiais.....	170
12.2: O uso de telas de plástico na vertente.....	171
12.3: Mantas de lona recobrimdo encostas. A aplicação de medida mitigadora executada de forma conjunta com a obra reduziria custos de recuperação.....	172
12.4: As encostas que sofrem ação de corte ou terraplanagens não devem permanecer por longo tempo expostas à ação erosiva.....	172
12.5: Deslizamento de Bolsacreto.....	173
12.6: Exemplo de canaleta sem redutor de velocidade para fluxos.....	174
12.7: Exemplo de canaleta com redutor de velocidade dos fluxos.....	174
12.8: Porto Hélio – Antes da aplicação de técnicas de reabilitação.....	175
12.9: Porto Hélio depois da aplicação de técnicas de reabilitação.....	175
12.10: Parte interna da incisão erosiva do Porto Hélio, antes da construção de barragens....	176
12.11: Porto Hélio depois da construção de barragens, os sedimentos são retidos no fundo e possibilitam o preenchimento da incisão. Os vegetais que foram plantados auxiliam na contenção.....	176
12.12: Cabeceiras – Voçoroca do Porto Hélio em fase anterior à aplicação das práticas mecânicas.....	177

12.13:	Cabeceiras Voçoroca Porto Hélio - Fase posterior à aplicação das técnicas mecânicas e vegetativas.....	177
12.14:	Erosão marginal.....	178
12.15:	Queda de canaleta por erosão marginal.....	178
12.16:	Erosão marginal.....	179
12.17:	Retentores de Sedimentos – Fibra Natural.....	179
12.18:	Fixação dos retentores com bambu.....	180
12.18.1:	Palificada Dupla.....	180
12.18.2:	Palificada Dupla com preenchimento vegetal.....	181
12.19:	Palificada em treliça.....	181

LISTA DE QUADROS

Quadro III:	Dimensão das obras em hectares.....	41
Quadro IV:	Critérios de classificação e identificação de áreas sujeitas à deflagração de processos erosivos.....	61
Quadro V:	Esquema Representativo – Erosão Bacia do Rio Urucu.....	74
Quadro VI:	Cronograma de atividades para contenção do processo erosivo no Porto Hélio.....	92
Quadro VII:	Levantamentos de campo – Registros de Pontos Impactados – Polo Urucu	153
Quadro VIII:	Esquema representativo - Erosão Porto Evandro.....	162
Quadro IX:	Levantamento de Campo - Estrada do Porto Evandro 05/06.....	168

LISTA DE TABELAS

Tabela I:	Resultados das análises físicas de solo - perfis 1 e 2 – voçoroca Porto Hélio...	96
Tabela II:	Resultados das análises físicas de solo.....	141

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1:	Informações sobre as reservas de gás no Brasil.....	37
Gráfico 4.2:	Temperatura Média Anual.....	55
Gráfico 4.3:	Precipitação Acumulada – Média Anual.....	55
Gráfico 4.4:	Umidade Relativa – Média Anual.....	56
Gráfico 7.1:	Buritirana.....	110
Gráfico 7.2:	Angelim.....	110
Gráfico 7.3:	Andiroba.....	111
Gráfico 7.4:	Ingá de macaco.....	111
Gráfico 7.5:	Visgueiro.....	111
Gráfico 7.6:	Ucuuba.....	112
Gráfico 7.7:	Buriti.....	112
Gráfico 7.9:	Vermelhino.....	112
Gráfico 7.10:	Açaí.....	113

RESUMO

As bacias hidrográficas constituem unidades de análise de grande importância, quando se trata da realização de estudos sobre impactos. São as bacias células ambientais que refletem os impactos gerados em seu entorno. Estas formas de impacto, dentre outras, envolvem principalmente a degradação do solo pela erosão. Com base neste pressuposto o presente trabalho, tem a finalidade de apresentar um diagnóstico sobre risco erosivo realizado na Base Geólogo Pedro de Moura, situada à montante da Bacia do Rio Urucu, município de Coari, onde a Petrobrás realiza extração de gás e petróleo. Concomitante ao diagnóstico se propõe ainda a apresentar propostas de recomendação e contenção de processos erosivos, por meio de medidas mitigadoras, que priorizem a utilização exclusiva de materiais que possam ser absorvidos pelo ambiente como: patamares e barragens de toras de árvores de diâmetros diferenciados, cercas vivas, mantas de juta que possam exercer o papel de “biorretentores” de sedimentos, dissipadores de energia, sem revestimento de concreto e recomposição de cobertura vegetal com espécies nativas dos ambientes amazônicos, ou seja, ambientes de terra firme, ambientes de inundação e ambientes de transição. Estas técnicas foram aplicadas, para possibilitar o menor impacto possível, nos mecanismos do sistema geomorfológico, em fases de geração de fluxos do tipo (*runoff*), em cada uma das áreas onde a recuperação foi executada. As formas erosivas se estabeleceram pela necessidade de execução das obras locais como a construção de estradas de acesso, retificação de canais hidrográficos e a construção de portos, para o escoamento da produção, deflagrando-se desse modo uma modalidade erosiva conhecida como “erosão antrópica” associando assim atividades humanas ao sistema de vulnerabilidade erosiva da área representado, pela formação geológica local, a Formação Solimões.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Erosão. Ambientais

ABSTRACT

The hidrográficas basins constitute units of analysis of great importance, when it is about the accomplishment of studies on impacts. They are the basins ambient cells that they reflect, the impacts generated in its entorno. These forms of impact, amongst others, mainly involve the degradation of the ground for the erosion. With base in this estimated the present work, it has the purpose to present a diagnosis on erosive risk carried through in the Base Geologist Peter de Moura, situated to the sum of the Basin of the River Urucu, city of Coari, where Petrobra's carries through gas extration and oil. Concomitant to the diagnosis, if it still considers to present proposals of recommendation and containment of erosive processes, by means of mitigadoras measures, that prioritize the exclusive use of materials that can be absorbed by the environment as: log platforms and barrages of trees of differentiated diâmetros, you surround alive, jute blankets that can exert the paper of "biorretentores" of sediments, energy spendthrifts, without covering of concrete and resetting of vegetal covering with native species of Amazonian environments, or either, firm land environments, environments of flooding and environments of transistion. These techniques had been applied, to make possible the lesser possible impact, in the mechanisms of the geomorfológico system, in phases of generation of flows of the type (runoff), in each one of the areas where the recovery was executed. The erosive forms if had established for the necessity of execution of the local workmanships as the construction of access roads, rectification of hidrográficas channels and the construction of ports, for the draining of the production, deflagrando themselves in this way a known erosive modality as "antrópico erosion" thus associating activities human beings to the system of erosive Vulnerability of the represented area, for the local geologic formation, the Solimõe's Formation.

Key words: Hydrographic basin. Erosion. Environmental

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	21
1.1. OBJETIVOS	22
1.1.1. GERAL	22
1.1.2. ESPECÍFICOS	22
1.2. JUSTIFICATIVA	22
CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS: ASPECTOS CONCEITUAIS	26
2.1.1. DELIMITAÇÃO DAS BACIAS	29
CAPÍTULO III: METODOLOGIA	30
3.1. GEOPROCESSAMENTO	30
3.1.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	31
3.2. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS	31
3.3. AS TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS	34
3. 4. DADOS CLIMÁTICOS	35
3.5. REDE DE DRENAGEM	35
3.6. CONFECÇÃO DE PLANTAS E CROQUIS	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	37
4.1 A ÁREA DE ESTUDOS	37
4.2. LOCALIZAÇÃO	41
4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	43
4.4. ASPECTOS DA GEOMORFOLOGIA	45
4.5. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	47
4.6. SOLOS	48
4.7. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DO RIO URUCU	49
CAPÍTULO V: ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NA BASE GEÓLOGO PEDRO DE MOURA - BACIA DO RIO URUCU	58
5.1. ASPECTOS E PARÂMETROS INDICADORES DE EROSÃO	59
5.2. OS FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO	66
5.3. IDENTIFICAÇÃO E CADASTRO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE EROSÃO	75

5.3.1. PORTO HÉLIO.....	76
5.3.2. ESTRADA DO RUC 37	78
5.3.3. ESTRADA DO LUC	79
5.3.4. CONTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DE ESTRADAS SOBRE CANAIS	79
5.3.5. PORTO EVANDRO	82
5.3.6. ESTRADA DO RUC 29	82
5.3.7. ESTRADA DO SUC	82
CAPÍTULO VI: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	84
6.1. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	84
6.2. PLANOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS — PRAD.....	84
6.3. ASPECTOS LEGAIS DO PRAD.....	86
6.4. LEGISLAÇÃO.....	87
CAPÍTULO VII: RESULTADOS	90
7.1. DIAGNÓSTICO DA ÁREA-PROBLEMA E O PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DE RECUPERAÇÃO	90
7.1.1. PORTO HÉLIO.....	90
7.1.2. PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO	101
7.1.3 REVESTIMENTO VEGETAL	101
7.1.4 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO.....	116
7.1.5 CONSTRUÇÃO DE CANALETAS.....	116
7.1.6 CONSTRUÇÕES DE BARRAGENS	118
7.1.7. O SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO NO PORTO HÉLIO.....	124
CAPÍTULO VIII: RECOMENDAÇÕES – TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO	125
8.1. LUC – SETOR LESTE DO RIO URUCU	125
8.1.2. APLICAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS	130
8.1.3. RECOMENDAÇÕES.....	130
CAPÍTULO IX: O CAMPO DE RUC	143
CAPÍTULO X: ESTRADA DO SUC – SETOR SUL DO URUCU	150
CAPÍTULO XI: RECOMENDAÇÕES.....	159
11. PORTO EVANDRO	159

11.1. DIAGNÓSTICO DO PROCESSO EROSIVO NO PORTO EVANDRO - CONTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR SOBRE OS CANAIS.....	159
CAPÍTULO XII: CONCLUSÕES	169
REFERÊNCIAS.....	182

INTRODUÇÃO

A Base Geólogo Pedro de Moura é uma reserva de gás e petróleo localizada no Município de Coari, Estado do Amazonas. Esta base recebe também a designação de UNB-SOL, sigla que para a Petrobras significa Unidade de Negócios da Bacia do Rio Solimões. A bacia do Solimões é de grande importância para o estado do Amazonas, por sua larga utilização para o trajeto de balsas e navios, condição de acesso e navegabilidade na referida área.

O local preciso da Base é o rio Urucu, afluente da margem direita do Solimões. Por abrigar reservas de gás e petróleo, que se encontram atualmente em fase de exploração, este rio torna-se exposto às mais variadas formas de impactos, tendo em vista, a necessidade da abertura de estradas até os poços e a construção de gasodutos que devem transportar o gás até a cidade de Manaus. Estas atividades têm propiciado processos de erosão acelerada na localidade, criando assim, a necessidade de elaboração de um diagnóstico sobre o risco erosivo na Bacia do Rio Urucu e, por conseguinte a aplicação de um plano de recuperação de áreas degradadas para o local.

Neste sentido, o trabalho: “Aplicações de Técnicas Geoambientais para Recuperar Áreas Degradadas na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura: Bacia do Rio Urucu – Coari/AM” será desenvolvido a partir dos reconhecimentos, identificação de feições erosivas e análise dos fatores controladores deste processo.

A principal finalidade deste trabalho será oferecer posteriormente subsídios e propostas que possam contribuir para a aplicação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para a bacia hidrográfica do rio Urucu, como forma de monitorar as modificações ambientais que possam se manifestar de forma acentuada no solo.

Para o melhor entendimento desta proposta, o referido trabalho apresenta-se subdividido em capítulos distintos conforme descrição a seguir: I. Descrição Física da Área de Estudos; II. Metodologia; III. Fundamentação Teórica: Discutindo a erosão no âmbito das bacias hidrográficas; IV. Resultados: Análise do processo erosivo na base Geólogo Pedro de Moura na Bacia do Rio Urucu; V. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas: Definições e Recomendações para a aplicação do PRAD.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. GERAL

- Elaborar um diagnóstico sobre o risco erosivo, utilizando como unidade de estudo a Bacia do Rio Urucu onde está situada a Base de Extração de Gás e Petróleo Geólogo Pedro de Moura. Concomitantemente, identificar, reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os fatores controladores da erosão, visando contribuir para a aplicação de um Plano de Gerenciamento e Controle da Erosão na referida Bacia.

1.1.2. ESPECÍFICOS

- Delimitar a área da bacia do rio Urucu, reconhecendo a rede hidrográfica local através da hierarquia e mensuração dos canais hidrográficos;
- Investigar as causas do processo erosivo local a partir de reconhecimentos de campo, identificação, classificação e cadastramento das formas erosivas presentes;
- Associar estas formas erosivas ao material de origem da área e as atividades humanas que detonam processos de erosão acelerada;
- Identificar e analisar as propriedades físicas do solo, na área da bacia, verificando de que forma estas propriedades exercem controle de erosão, quando associadas às atividades humanas.
- Contribuir para a elaboração de um plano de gestão e controle de erosão para a área da bacia, como medida mitigadora para a previsão de grandes impactos.

1.2. JUSTIFICATIVA

Grande parte dos projetos que causam impactos diretos e indiretos ao ambiente necessita de uma ampla e completa avaliação preliminar das condições de riscos que possam oferecer. Estas situações de risco envolvem além dos aspectos físicos as condições sócio-ambientais. A exemplo, quando se fala de Amazônia, por se tratar de uma importante reserva biológica do planeta, estudar estas situações constitui um verdadeiro desafio. Desafio este que se estabelece a

partir da necessidade de considerarmos as peculiaridades da Amazônia quanto à dinâmica ecossistêmica.

Diante deste aspecto, este trabalho envolve o estudo de questões ambientais que precisam de medidas mitigadoras emergenciais principalmente àquelas ligadas à degradação do solo, estimando-se que este é um dos elementos que mais receberá impactos no empreendimento que será projetado pela PETROBRAS no estado do Amazonas. Muitos impactos se tornaram evidentes em decorrência da implantação do gasoduto que transportará o gás extraído da Bacia do Rio Urucu no Município de Coari, até a cidade de Manaus por cerca de 640km de distância.

Com a finalidade de conduzirmos um estudo adequado de diagnóstico e análise do risco erosivo, a metodologia de bacias foi aqui proposta por permitir uma visão geral dos fatores controladores da erosão a partir dos mecanismos de transporte de sedimentos e assoreamentos nos canais hidrográficos.

Em função da natureza do empreendimento é permitido afirmar que o solo será o elemento mais afetado pelas atividades humanas, pela necessidade de construção do gasoduto. Sendo assim, a PETROBRAS através da unidade SMA (Saúde e Meio Ambiente), tem procurado encontrar alternativas que permitam a implantação e operação do gasoduto com menor impacto possível.

Com base no exposto, a realização desta tese servirá de apoio para a execução desta obra dentro dos parâmetros e critérios exigidos na Legislação Ambiental, ou seja, redução de impactos no meio, controle e monitoramento de modificações ambientais e oferecimento de medidas mitigadoras.

Para a aplicação de uma proposta de estabilização das incisões erosivas locais foi estabelecido como critério fundamental a não utilização de materiais que possam permanecer no ambiente como plástico, ferro ou concreto.

A necessidade de elaborar planos de reabilitação em áreas degradadas, por processos erosivos desperta o interesse de vários profissionais que atuam no ramo das ciências ligadas ao ambiente. Neste sentido, um variado conjunto de técnicas e práticas alternativas, cuja finalidade é a contenção da dinâmica erosiva tem sido oferecido, em trabalhos de caráter técnico e científico em seminários ou eventos de natureza diversa. Entretanto, grande parte destas técnicas, diante das necessidades específicas que o processo erosivo requer, tornam-se complexas pelos motivos expressos:

a) alto custo da obra, aspecto que acaba inviabilizando, muitas vezes, a intenção de conter a erosão, principalmente, quando esta erosão se instala em áreas onde se encontram populações como pequenos produtores rurais ou um público mais carente, este último geralmente habitando áreas de risco;

b) a utilização de vigas de ferro, armação de concreto, manilhas para retificação e canalização de cursos fluviais, plásticos ou outro material que posteriormente possa constituir resíduo a ser absorvido pelo solo, ou pelo ambiente de modo geral.

Com base no que foi exposto, esta tese, desenvolvida na Base Geólogo Pedro de Moura – Província de Gás da Petrobrás, situada na bacia do Rio Urucu (AM), procura apresentar como alternativa para a contenção do processo erosivo, o emprego de técnicas geoambientais, onde a aplicação de práticas vegetativas e mecânicas apresenta como princípio norteador, o conhecimento dos mecanismos geomorfológicos da geração de fluxos, e dos aspectos que envolvem os ciclos de degradação e deposição nas fases de erosão e evolução geomorfológica.

Neste sentido, o termo técnicas geoambientais, está sendo aqui exposto, com a finalidade de propor a adoção de uma postura diferenciada, mediante a necessidade de amenizar e conter a erosão.

A partir deste enfoque, é proposto como regra básica, durante a aplicação de técnicas geoambientais, a utilização exclusiva de materiais como toras de madeira, palhas, espécies vegetais típicas de ambientes amazônicos como a terra firme e semi-alagados, mantas de juta e “biocanaletas” (nome proposto para designar valetas forradas apenas com vegetais) para controlar a evolução erosiva.

Outro fator relevante, é que a forma de concepção destas técnicas foi elaborada a partir dos interesses estabelecidos no âmbito dos pressupostos teóricos, que envolvem o trabalho geográfico, onde foi permitido ao processo geomorfológico a chance de restabelecer seus mecanismos de erosão e deposição de forma mais natural possível, buscando providenciar assim a reabilitação da área em condições próximas às condições originais.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ABORDAGEM SOBRE A EROSÃO NO CONTEXTO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

INTRODUÇÃO

O entendimento e a análise do papel da erosão no âmbito das bacias hidrográficas remete à necessidade de reconhecimento e identificação das interações existentes entre mecanismos hidrológicos e processos erosivos, dentro de uma área delimitada, neste caso, a bacia. No decorrer desta análise, é primordial estabelecer que esta área deve ser considerada como unidade ambiental de visualização da dinâmica geomorfológica existente entre escoamento subsuperficial, rastejamento, escoamento superficial, movimentos de massa, transporte eólico e outros processos de erosão, transporte e deposição. Assim, as bacias se tornam unidades de análise da própria evolução da paisagem principalmente no que se refere aos processos erosivos (LEÃO, 2005).

Em países tropicais, onde estes processos se manifestam de forma pronunciada, tanto nas bacias como fora delas, já existem políticas de controle à erosão em bacias, implantadas segundo critérios da Agência Nacional de Águas (ANA), com o objetivo de desenvolver uma estratégia que vise proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos. A ANA para fins de planejamento e aplicação de programas de mitigação das alterações ambientais oficializou a definição de bacia hidrográfica baseada em pressupostos legais. Sendo assim, o conceito adotado por esta agência fundamenta-se na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e preconiza em seus fundamentos que a “bacia hidrográfica é a unidade territorial de caráter básico e fundamental para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos”. O conteúdo enunciado na referida lei se estabelece na constatação de que muitos problemas ambientais de qualidade e quantidade de água serão evitados ou resolvidos de forma eficaz, por meio de ações que visualizem a bacia hidrográfica como um todo, incluindo as atividades desenvolvidas em sua área de abrangência e os atores sociais que direta e indiretamente utilizem os recursos hídricos no âmbito desta unidade espacial.

Em razão da complementaridade hidrológica existente entre as águas subterrâneas e superficiais, a gestão deste recurso deve ser acompanhada de modo integrado contemplando a

erosão dos solos a partir desta integração. Este aspecto envolve a compreensão de processos tanto físicos como bióticos, onde a água é o constituinte fundamental do chamado ciclo hidrológico na natureza, sem a mesma se torna impossível o estabelecimento de uma rede intrínseca de interações de sistemas interligados a processos geomorfológicos e climáticos. As interações destes processos têm sido gradativamente alteradas pela ausência de uma proposta adequada à identificação e ao reconhecimento destas interações. Como alternativa para esta problemática, o manejo de bacias tem-se mostrado como um instrumento de controle e monitoramento destas modificações.

Desse modo, o manejo de bacias hidrográficas procura identificar as modificações ambientais nos cursos de água, principalmente àqueles derivados de processos erosivos, uma vez que estes são responsáveis, na maioria das vezes, pelo assoreamento dos canais. Além disso, visa promover a proteção da água, do solo e outros recursos ambientais, essenciais a sustentabilidade da atividade econômica, ao controle da degradação ambiental local e a jusante da bacia. Segundo Lanna (1995), o manejo de bacias desenvolveu-se historicamente a partir de medidas reativas a situações de degradação ambiental verificadas em bacias hidrográficas intensamente exploradas pela agricultura.

Allameddine *et al* (2005), mencionam que estes problemas têm alcançado magnitudes de grau elevado e de grande repercussão tanto direta como indireta, sendo assim, neste primeiro capítulo, procuraremos expor problemas ambientais decorrentes principalmente da erosão dos solos nas bacias hidrográficas, tomando como referência à noção de dinamismo geomorfológico existente nestas unidades.

2.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS: ASPECTOS CONCEITUAIS

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica. Nessa fase, este estudo, abrange fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e hidrológicos, que, por sua vez, caracterizam-se como condicionantes da circulação da água tanto em superfície, como em subsuperfície. A possibilidade de abrangência destes fatores favorece a condução de estudos diversificados dentro dos limites das bacias hidrográficas. A partir desta abordagem, as bacias têm sido referenciadas como unidades plenamente adequadas, para avaliação e monitoramento das alterações ambientais, onde parâmetros como a quantidade de água e de sedimentos erodidos das encostas,

associados às taxas pluviométricas, possam ocasionar modificações nos canais (BROKES, 1987; FARIA, 1992; COELHO NETTO, 1994; CUNHA, 1995; 2003; MARTIN, 1998; BOTELHO, 1999; OLIVEIRA, 1999; VIEIRA; CUNHA; 2001; CUNHA, 2003; GUERRA, 1996; GUERRA, 1999; GUERRA, 2003).

A propósito, é válido mencionar que a bacia hidrográfica se caracteriza como uma unidade física de fundamental importância, não apenas para análise da realização do ciclo hidrológico, mas para o conhecimento e investigação dos fatores controladores da ação erosiva da água.

A princípio, bacia hidrográfica pode ser definida como uma área topograficamente drenada por um curso de água, ou por um sistema interligado de cursos de água, de tal forma que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída, a seção de referência da bacia (LENCASTRE e FRANCO, 1984).

Com base neste pressuposto, é possível compreender as bacias como unidades físicas para a condução de métodos e estudos, onde a investigação dos fatores ligada à ação erosiva da água possa ser avaliada de forma abrangente. Autores como Karman (2001), Barros *et al* (2005), Menezes *et al* (2005), ressaltam que a mesma deve ser entendida como uma área de captação da água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda a água captada converge para um único ponto de saída, o *exutório*. Esta forma de análise, segundo Karman (2001), permite quantificarmos o ciclo da água nas bacias através da fórmula indicada a seguir:

$$P - E - Q (\pm \Delta S) = 0$$

Onde P corresponde ao volume de água precipitado sobre a área da bacia, E o volume que voltou à atmosfera por evaporação e transpiração, Q ao volume total de água escoado pela bacia, durante um intervalo de tempo, e ΔS as variações positivas e negativas de armazenamento de água. Para Tucci (1993), o papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de água (volume precipitado) em uma saída de água (escoamento), de forma espacial e temporal, podendo ser representado através de hidrogramas. Com referência a esta questão, Richards (1982) propõe que a bacia é um sistema aberto dentro do qual atuam, de forma interativa, mecanismos de entrada e saída de fluxos conforme demonstrado no esquema a seguir:

Entrada = *Saída* ± *Mudanças nas condições de armazenamento*

[Chuvas] = *[Fluxo de canal + Evaporação]* ± *Mudanças nas condições de umidade do solo e armazenamento do aquífero*

Rennó e Soares (2003) expressam que a bacia hidrográfica é *a unidade espacial* para a aplicação de modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou, então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (FIGUEIREDO e ROSAS 2003; SANTOS e CERQUEIRA, 2003).

Para o alcance de resultados mais coerentes durante a condução de estudos, a bacia pode ser subdividida em setores menores, ou seja, sub-bacias, onde aplicações cartográficas providenciem a discretização pormenorizada do setor da bacia na área a ser investigada e avaliada (SOUZA *et al.* 2005). Nesta linha de abordagem, e utilizando aplicações do ponto de vista geomorfológico e cartográfico, Botelho (1999) menciona que a bacia hidrográfica é uma célula natural que pode, a partir da definição de seu *outlet* ou ponto de saída, ser delimitada por uma base cartográfica, que apresente linhas de cotas altimétricas, como as topográficas, por exemplo, ou por fotografias aéreas, pois estas permitem uma visão tridimensional da paisagem. A delimitação de bacias pode também ser executada por imagem de satélite, todavia a maior ou menor precisão vai depender do tamanho da bacia a ser mapeada.

O contorno desta área, ou seja, de uma bacia, é estabelecido pela linha de separação de águas, o *divisor de drenagem*, que, por sua vez, divide as taxas de processos hidrológicos como precipitação, vazão e percolação entre bacias vizinhas.

Os terrenos de uma bacia são delimitados por dois tipos de linhas de separação de águas: uma topográfica ou superficial e outra freática ou subterrânea. A linha de separação freática é, em geral, determinada pela estrutura geológica dos terrenos, sendo muitas vezes influenciada também pela topografia. As áreas demarcadas por esta linha de separação dificilmente coincidem com exatidão devido à dificuldade em determinar-se precisamente a separação freática, uma vez que ela não é fixa, mudando com as flutuações o lençol de água subterrânea, ao longo do ano; para efeitos práticos, costuma considerar-se que a bacia de drenagem é determinada pela linha de

separação topográfica. Quanto mais próximo estiver o lençol freático mais próximas entre si estarão as linhas de separação. Com o rebaixamento do lençol subterrâneo, durante a estação seca, a linha de separação freática se distancia da topográfica (NOGUEIRA, 2004).

2.1.1. DELIMITAÇÃO DAS BACIAS

Com a finalidade de executar estudos de bacias de forma pormenorizada e precisa, é necessário delimitar, identificar e reconhecer a área drenada, a partir de um fator determinante: a topografia. Autores como Xavier da Silva (1994); Rennó e Soares (2003) indicam que nesta fase de reconhecimento, métodos cartográficos e de programas como os de Modelo Numérico do Terreno (MNT), utilizando técnicas variadas de representação, têm contribuído de modo eficaz (Fig. 1.1).

Para atingir a aplicação de uma abordagem integrada nos estudos de bacias, devem fazer parte desta delimitação os seguintes componentes hidrográficos: área de drenagem, comprimento da bacia, forma da bacia, densidade dos rios e densidade de drenagem. Em seguida, estes componentes devem ser associados e avaliados através de análise interativa onde estejam inseridos elementos topográficos como: inclinação do terreno, comprimento da rampa, forma da encosta e orientação de vertentes, providenciando, desse modo, a identificação de áreas onde ocorram produção e transporte de sedimentos (NAKASHIMI *et al.*2005).

Estabelecida a delimitação, podem ser direcionadas as fases de reconhecimento de campo, implantação de estações para monitoramento de perdas de solo e verificação dos índices pluviométricos, reconstituição da rede de drenagem, identificação dos grupos de solo, unidades geomorfológicas, índices de vazão e aplicação de outras metodologias específicas de ciências distintas.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

A exploração mineral é um processo que causa sérios impactos ao meio ambiente; neste sentido, quanto mais rápido for elaborada uma proposta de recuperação desses impactos, melhor será a resposta oferecida pelo sistema ambiental.

A natureza desta tese se expressa por meio da necessidade da utilização de práticas de caráter emergencial, que propiciem a contenção da erosão severa instalada na Base Geólogo Pedro de Moura — bacia do rio Urucu. Desse modo, os métodos aplicados foram trabalhados diretamente nos locais mais atingidos pelo processo erosivo, elegendo-se aqueles que mereciam aplicação de medidas de contenção de forma rápida.

Por meio de visitas e reconhecimentos preliminares de campo, todas as incisões erosivas presentes na área de estudos foram cadastradas com o auxílio do GPS marca de fabricação Garmin. Para a obtenção de dados de mensuração das formas erosivas, foi utilizada uma trena de 100 metros realizando-se medidas diretas no local para a posterior confecção das plantas dos projetos de recuperação. Com a finalidade de acompanhar e avaliar as medidas mitigadoras, todos os pontos foram fotografados e devidamente registrados. Deve ser ressaltado, que o acervo fotográfico trabalhado a partir da execução desta tese foi obtido de modo conjunto pela equipe composta pelos professores: Evandro Aguiar (coordenador do projeto); Antônio Fábio Guimarães Vieira e Adoréa Rebello Albuquerque (bolsistas), auxiliados por Marlenilton Marques e Francisco Bessa (discentes).

Com a finalidade de identificar as características da bacia hidrográfica do rio Urucu, foram utilizadas os métodos e técnicas apresentados a seguir:

3.1. GEOPROCESSAMENTO

Visando o reconhecimento, identificação e localização da área da Base dentro dos limites da bacia, foram obtidas no IBGE e na (4.ª) Divisão de Levantamentos em Manaus as cartas de imagem de radar MIR 136 – rio Tefé, MIR 137 – Coari e MIR 137 (1987).

Para a confecção dos mapas foram utilizados os produtos das seguintes instituições: *IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)* e da *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*.

Os dados adquiridos no site da Nasa foram os seguintes: dados de *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*, produto disponibilizado via internet de forma gratuita, a extração de curva de nível, e a imagem do sensor Landsat-TM 5 do ano de 1995.

Os dados foram integrados e trabalhados por meio do uso dos softwares Global Mapper 5, Erdas 8.4, Arcview 3.2a, projeção geográfica Lat/Long e Datum SAD 69.

Com a aquisição da imagem foi possível fazer a primeira etapa do trabalho (georreferenciamento). Na segunda etapa, após o georreferenciamento já consolidado, foi delimitada a área da bacia e com o recorte definido foi possível fazer os seguintes mapas: 1— Mapa de Vegetação; 2 — Mapa de Hidrografia; 3 — Mapa de Curva de Nível; 4 — Mapa de Temperatura; 5 — Mapa de Umidade; 6 — Mapa de Precipitação.

3.1.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes produtos de Sensoriamento Remoto e Dados Cartográficos:

a) Imagens *Thematic Mapper – TM LANDSAT – 5*, com as correções: radiométricas e geométricas associadas a um sistema de Projeção Geográfica Lat/Long e Datum SAD 69, órbita/ponto 231/062. Foram utilizadas as imagens de três bandas espectrais do TM: 3 (vermelho), 4 (infravermelho) e 5 (infravermelho-médio), resolução espacial de 30m.

b) Dados em *Shapefile* (vegetação, hidrografia, curva de nível, temperatura, umidade e precipitação) da área da bacia do rio Urucu.

Os seguintes aplicativos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG), foram utilizados: *Global Mapper 5*; *ERDAS 8.4* (Correção geométrica); *Arcview 3.2a* (criação do Banco de Dados Geográficos, cruzamento e análise geográfica dos dados); .

3.2. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS

Com a finalidade de verificar as condições de erodibilidade dos solos, foram realizados exames morfológicos de perfis, de forma direta no campo, e em seguida no laboratório.

Com o objetivo de identificar e descrever as características morfológicas dos solos, que influenciaram no aparecimento das formas erosivas realizou-se a seleção dos pontos de coleta de amostras, na superfície, na parte interna das voçorocas e ao longo das baixas encostas que compõem o relevo local.

Esta forma de amostragem teve como objetivo, a verificação das características físicas do material pedológico, tanto em superfície como em subsuperfície.

A distinção e a diferenciação, entre os horizontes e camadas, expostos pela ação erosiva, foi trabalhado utilizando-se como parâmetro visual a variação da cor, que por sua vez, foi definida seguindo-se a tabela de cores de Munsell (1994). Nesta escala, a simbologia de letras e números, corresponde a um matiz, onde as cores em vermelho são representadas pelo (R); o amarelo representa-se pelo (Y) e às misturas (YR). Quando o matiz associa-se aos números obtêm-se as representações a seguir: 10 R = 100% vermelho; 2,5 YR = mistura contendo 1 parte de amarelo para 3 de vermelho; 5 YR = mistura contendo 1 parte de amarelo para 1 de vermelho; 7,5 YR = mistura contendo 3 partes de amarelo para 1 de vermelho; 10 Y R = 100% amarelo (MANFREDINI *et al*, 2005).

A coleta das amostras foi realizada dos horizontes inferiores, para os superiores, em quantidade de 2 kg aproximadamente por horizonte ou camada, segundo os critérios estabelecidos por Lemos e Santos (1996).

No laboratório, foram realizadas análises físicas, onde as identificações dos percentuais de textura foram obtidas a partir da exposição ao ar livre das amostras para secar, submetidas posteriormente à análise pelo método da pipeta. Este método consiste em pesar-se 20 gramas de TFSA dispersa em solução de hidróxido de sódio (NaOHN). A suspensão é passada em peneira de 0,05 ou 0,02mm de malha, recebendo líquido em proveta de sedimentação e lavando-se o material retido até completar todo o volume da proveta de 1000 ml, que é posteriormente agitado. Após descanso das amostras, a pipeta foi utilizada para a coleta de 20ml, limite da solução onde se concentram as argilas. Após a secagem em estufa foi possível saber o teor de argila da amostra. A areia total retida na peneira depois de seca, foi passada em novo jogo de tamis, fracionada de acordo com a escala da Sociedade Internacional de Ciência do Solo, para o conhecimento do total de areias finas e grossas. A fração silte foi obtida por determinação. Os valores percentuais foram obtidos acordo com o Manual da EMBRAPA (1979) aplicando-se as seguintes expressões:

% de argila = [(peso da argila + dispersante) – peso do dispersante] 100 x “f” % de areia fina = peso da areia fina x 5 x “f”

% areia grossa = [(peso da areia fina + peso da areia grossa) – peso da areia fina] 100 “f”

% silte = 100 - (% argila + % de areia fina + areia grossa)

Os valores de Densidade Aparente foram obtidos por meio do peso necessário para completar o volume 33,40cm³ do anel volumétrico. O anel foi preenchido com solo e calcado com leves batidas até o nivelamento da quantidade de solo nas suas bordas. Posteriormente o anel foi pesado. A aplicação da fórmula abaixo possibilitou o conhecimento dos valores das densidades:

$$DA = \frac{M}{V} \text{ G/CM}^3$$

V

ONDE M = MASSA

V = VOLUME

Definidos estes valores foi possível reconhecer o percentual de Porosidade Total pela seguinte expressão:

$$\% \text{VPT} = \frac{DR - DA}{DR} \times 100$$

DR

ONDE: DA = DENSIDADE APARENTE

DR = DENSIDADE REAL

Com o objetivo de reconhecer a Densidade real (Dr) das amostras coletadas, foi utilizado o balão volumétrico, aferido em 50 ml, com álcool, contendo solo seco em estufa a 105° C. Inicialmente foram pesadas 20g de solo, e colocadas em lata de alumínio de peso conhecido e

levadas à estufa, cerca de 6 a 12 h. Retiradas da estufa foram dessecadas e pesadas para a obtenção do peso da amostra seca, que depois foram transferidas para o balão, sendo adicionada em seguida, álcool etílico e agitadas manualmente para a eliminação de bolhas de ar. Completando-se o volume do álcool gasto, este valor foi registrado para posteriormente ser feito o cálculo da Densidade real ou Densidade de partículas (EMBRAPA, 1979), pela seguinte fórmula apresentada a seguir:

DENSIDADE DE PARTÍCULAS:

$$(g/cm^3) = a / 50 - b \quad \text{onde;}$$

a = peso da amostra seca a 105°C

b = volume de álcool gasto

3.3. AS TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS

Para a aplicação das técnicas de reabilitação, utilizou-se o critério de associação de técnicas, como a revegetação e as práticas mecânicas. Para a aplicação destas técnicas foram realizadas reuniões preliminares de planejamento, e, elaborado um cronograma de execução das obras locais. Cada um dos pontos atingidos pela erosão teve aplicação metodológica diferenciada e específica, que será apresentada de acordo com o desenvolvimento do trabalho, conforme a aplicação recomendada. Dentre os métodos e técnicas descritos, se encontram os espaços de abertura das covas para o plantio, as profundidades e distâncias das valetas para o desvio de fluxos preferenciais que serão descritos de detalhadamente no local específico. Cada etapa da recuperação foi devidamente planejada em fluxogramas, onde a simbologia dos gráficos representa: a descrição pormenorizada do processo e as alternativas encontradas para a aplicação de medidas.

A construção de barragens e patamares também foi estabelecida e trabalhada de acordo com a necessidade de cada localidade atingida mediante a um plano de execução de obras. Merece a ressalva, que muitas técnicas foram trabalhadas pela primeira vez, não tendo assim referências teóricas específicas, mas assim adaptadas, uma vez que a equipe de trabalho optou pela não utilização de vigas de ferro, concreto ou plástico, buscando assim a possibilidade de

oferecer ao processo erosivo a oportunidade de restabelecer mecanismos de transporte e sedimentação da forma natural possível. A seleção de espécies para o plantio foi trabalhada de acordo com as especificidades de cada ambiente e será abordada em cada fase de execução deste trabalho.

3.4. DADOS CLIMÁTICOS

Os valores de temperatura, umidade e precipitação, foram adquiridos através da plataforma de coletas de dados, via campo e compilados de Aguiar (2001) e Pereira (2006), trabalhados de acordo com a escala de cores estabelecidas no Atlas do IBGE. Estes dados fazem parte de um grande projeto denominado URUCLIMA, do qual esta tese compõe apenas o item que corresponde, ao estudo dos impactos no solo e aplicação de propostas de reabilitação. Desse modo, outros pesquisadores como Aguiar (1996, 2001 e 2004) e Pereira (2006) vêm monitorando possíveis alterações climáticas e realizando o tratamento destes dados desde 1997.

A base de dados climáticos é obtida através da estação **CAMPBELL** instalada na Base Geólogo Pedro de Moura. Esta estação é operada por um software de programação e comunicação denominado *PC208-E* e um software auxiliar de programação “*Weather Pro*”. O relatório diário gerado a partir desta base contém: temperatura média de 24 horas; temperatura máxima absoluta do dia e hora de sua ocorrência; umidade mínima e umidade máxima e os respectivos horários; pressão máxima e mínima; e somatório diário de chuva, transferidos diretamente para o “notebook” Pentium 1, “Compaq” modelo “Presário” com 1.6 Gb e 16 Mb RAM. Este equipamento opera em campo no descarregamento dos dados do módulo de memória da estações e posteriormente nos trabalhos de gabinete.

Segundo Aguiar (2001), a análise dos dados foi realizada por técnicas de variância, onde foi verificado o comportamento médio dos diversos elementos climáticos e submetidos às análises estatísticas. Na fase de sistematização, foi utilizada a planilha eletrônica do Excell e para os cálculos estatísticos o software SAS System.

3.5. REDE DE DRENAGEM

Para a identificação e reconhecimento dos padrões morfométricos da rede de drenagem, foi utilizada metodologia proposta em Cardoso *et al* (2006), onde foi possível a partir da

obtenção da área da bacia, obter-se diferentes características como: perímetro, coeficiente de capacidade, fator de forma, densidade de drenagem. Outros índices como coeficiente de manutenção, densidade hidrográfica e comprimento médio dos canais, foram obtidos utilizando-se a metodologia apresentada por Silva *et al* (1996) através da relação de bifurcação (Rb) e o número de segmentos de bacia.

As análises morfométricas possibilitaram o conhecimento dos aspectos hidrográficos da rede de drenagem do Rio Urucu e, a partir deste conhecimento, as possíveis recomendações para a minimização dos impactos que atingem diretamente os recursos hídricos locais. É importante, destacar que mesmo sendo a primeira vez, que a bacia hidrográfica do rio Urucu foi delimitada, foi possível por meio das técnicas de morfometria, identificar dentre as características hidrográficas o formato da bacia, que pode ser classificado, como um ponto favorável para auxiliar à redução de riscos associados às enchentes.

3.6. CONFECÇÃO DE PLANTAS E CROQUIS

Durante a realização de seis visitas técnicas ao campo no período de no período de março de 2004 a Julho de 2006, todas as medidas dos pontos onde ocorriam processos erosivos foram obtidas com trena de 100 m de modo direto no terreno.

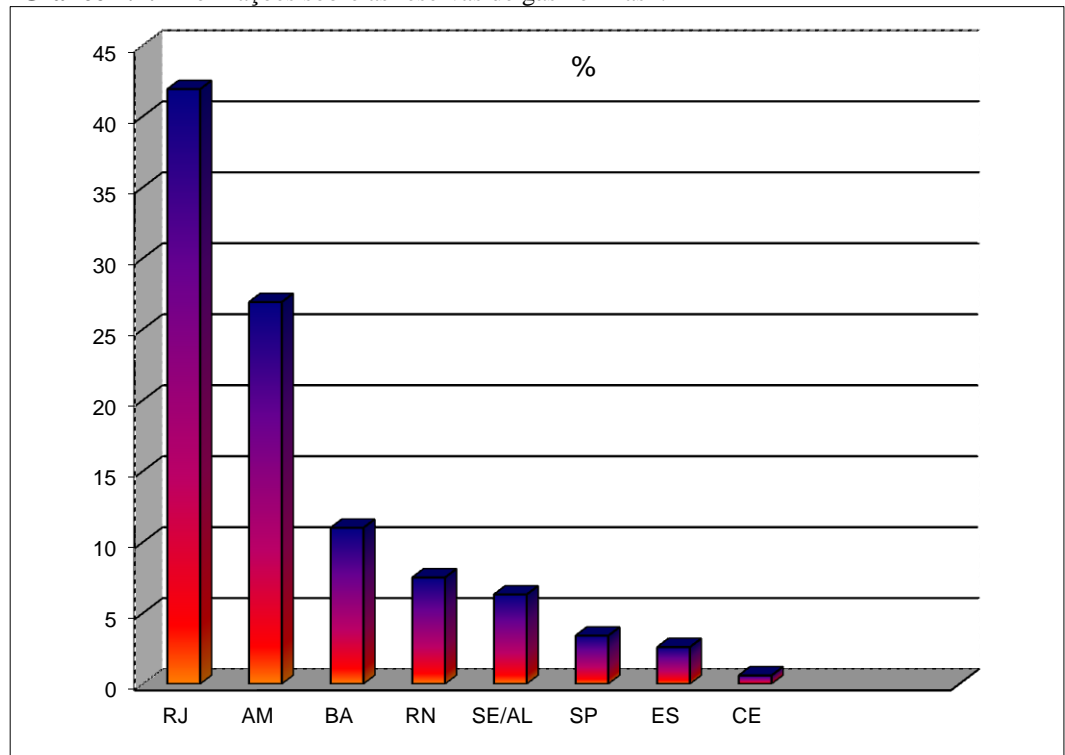
Com base nestas medidas, foram elaboradas as plantas e, croquis representativos, para a aplicação da proposta mitigadora ou da recomendação a ser aplicada, como medida de contenção. Dessa forma, todos os desenhos foram concebidos a partir de reuniões de trabalho e posteriormente projetados no programa Corel Draw 12 e as plantas no Auto Cad. Nestas projeções, encontram-se as escalas gráficas representativas não só das dimensões do terreno, como do material, no caso de toras de madeira, que foram utilizados na aplicação das técnicas de reabilitação dos pontos atingidos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 A ÁREA DE ESTUDOS

O Amazonas é detentor da segunda maior reserva brasileira de gás natural do país, com um total de 44,5 bilhões de m³, mantendo-se no segundo lugar da produção nacional, onde o primeiro Estado é o Rio de Janeiro (Gráfico I). As reservas deste gás estão localizadas na bacia do rio Urucu, Município de Coari (Fig. 4.1), situado à margem direita do rio Solimões (ELIAS e CIDADE, 2004).

Gráfico 4.1: Informações sobre as reservas de gás no Brasil.



Fonte: Elias e Cidade (2004).

Org.: Adoréa Rebello

Os valores acima correspondem aos percentuais de reservas de gás no Brasil. O Estado do Rio de Janeiro, representado pela bacia de Campos, ocupa o primeiro lugar com 41,9% destas reservas. O Estado do Amazonas, com a bacia do rio Urucu, no Solimões, está em segundo lugar com 26,7%. A Bahia é a terceira em produção com 11%. Os outros Estados encontram-se assim

representados: RN com Potiguar (7,5%), SE/AL (6,3%), SP com a bacia de Santos (3,4%), ES (2,6%) e CE (0,6%).

A área de estudos desta tese corresponde justamente à localização de um empreendimento da Petrobras, onde foi construída e encontra-se em fase de operação a base de extração de gás, denominada Geólogo Pedro de Moura situada no rio Urucu, município de Coari (AM). A Base Pedro de Moura é parte integrante da Unidade de Negócios da Bacia do Rio Solimões – UN-BSol e deverá ser a responsável pela produção e escoamento de 10 milhões de m³ /dia de gás natural por um gasoduto que será construído entre os municípios de Coari e Manaus. O gás do Urucu poderá, a princípio, resolver a situação do problema energético da cidade de Manaus, que de acordo com o Ministério de Minas e Energia, utiliza termelétricas à base de combustíveis bastante caros e exige subsídios para suprir a diferença de preço em relação às hidrelétricas (Petrobrás, 2005).



Figura 4.1: Vista aérea da cidade de Coari (AM).

Fonte: Prefeitura de Coari (2006).

O projeto, estruturado pela Petrobras, Gaspetro, Eletrobras, BNDES, Companhia de Gás do Amazonas e pelos Ministérios de Minas e Energia e do Planejamento e Orçamento, envolve investimentos em novas instalações termelétricas e em adaptações nas existentes. Além do envolvimento das instituições estatais, o projeto, que deverá ser concluído em dois anos, prevê a participação majoritária de investidores privados. O preço da energia a ser gerada será cerca de

50% menor que o praticado hoje na região, criando condições para o desenvolvimento econômico e industrial, gerando empregos e aumentando o bem-estar da população (SUAREZ, 2004).

Esse empreendimento, orçado em US\$ 1,7 bilhão, vai garantir a geração de 930 MW de energia elétrica, destinada à região amazônica, utilizando cinco milhões de metros cúbicos/dia de gás natural produzidos nos campos de Urucu e Juruá, no alto Amazonas. O gás será transferido até Coari, no rio Solimões, utilizando-se um primeiro gasoduto já em construção, com 280 quilômetros de extensão e está sendo analisada a viabilidade de implantação de outro gasoduto com 420 quilômetros que transportará o gás até Manaus. Também faz parte do projeto um gasoduto de cerca de 500 quilômetros de extensão, de Urucu para Porto Velho (RO), para levar o gás natural que será consumido nas usinas termelétricas da região (Fig. 4.2).



Figura 4.2: Imagens da Base de extração de gás. Geólogo Pedro de Moura. Bacia do Rio Urucu (AM).

Foto: Francisco Bessa (2006).

As primeiras descobertas de petróleo na Amazônia ocorreram em 1954, nas cidades de Nova Olinda, Autaz Mirim, e Maués, na bacia do Amazonas, sem, no entanto, representarem quantidades comerciais. Em 1978 foi descoberta a província gaseífera do Juruá. Mais de 10 anos depois, em outubro de 1986, é descoberto o petróleo na Amazônia, na Província do Urucu, a 600 km de Manaus (ELIAS e CIDADE, 2004).

Segundo dados da **UN-BSol**, a produção de petróleo e Líquidos de Gás Natural (LGN) é de 58 mil barris/dia. O petróleo do Urucu é considerado o de melhor qualidade do País, uma vez que dele são produzidos, principalmente, derivados mais nobres de alto valor agregado como o nafta e o diesel.

A exploração de gás na bacia do Urucu se insere num contexto político e sócioeconômico de mudanças para a Amazônia, onde no primeiro momento, seriam criados 2.000 empregos diretos, gerando uma massa salarial de R\$ 50 milhões/ano. Do ponto de vista tributário, no âmbito dos tributos municipais, são destinados em royalties para cidade de Coari, R\$ 23 milhões por ano, que é o município que mais recebe por produção terrestre, este município, com área de 57.230 Km², apresenta população de 67.087 habitantes e densidade demográfica é de 0,85 habitantes por km² (IBGE, 2000).

Os dados expostos acima evidenciam, de modo claro, a importância da construção e operação desta base de extração de petróleo para o estado do Amazonas. Todavia, empreendimentos deste porte representam riscos ambientais que, se não observados e identificados de forma eficaz e tempo hábil; podem ocasionar danos de caráter praticamente irreversíveis. Neste sentido, o referido projeto, por meio do SMS, Sistema Meio Ambiente e Saúde da empresa Petrobras, tem a finalidade de investigar as causas dos fenômenos erosivos que ocorrem na bacia do Urucu, a partir da abertura de estradas vicinais, existentes na Base de Extração de Gás Geólogo Pedro de Moura e ao mesmo tempo, se propõe a analisar estas causas e propor medidas mitigadoras como alternativas, para a elaboração de diretrizes que formulem um Plano de Gestão e Controle da Erosão na mencionada bacia e evite o assoreamento dos canais fluviais.

Visando cumprir a legislação pertinente para o Licenciamento de construção e implantação da Base Geólogo Pedro de Moura foi realizado pela Universidade Federal do Amazonas o relatório de Estudo Prévio de Impactos Ambientais (**EPIA**). Segundo dados contidos neste relatório, as áreas de solo que receberão impactos de forma direta com a construção deste

empreendimento no Estado do Amazonas representam aproximadamente 616,5 ha, distribuídos de acordo com a apresentação referenciada no Quadro III.

QUADRO III: DIMENSÃO DAS OBRAS EM HECTARES.

Tipo de Obra	Dimensão em ha
Corredor para passagem do poliduto	560
Estradas vicinais	24
Clareiras para heliporto, e acampamentos.	7,5
Terminal da Unidade de Negócios Solimões	25

Fonte: Relatório EPIA – UFAM (1996).

4.2. LOCALIZAÇÃO

A área de estudos situa-se no alto curso do Rio Urucu, município de Coari (AM), setor correspondente a mesoregião centro-amazonense, Estado do Amazonas, entre as coordenadas de -04° 52'05,4274"/-04°52'05,1099" de Latitude e 65°08'00,8650" /-65°08'01,2278" de Longitude (PETROBRAS, 2000). Encontra-se distante de Manaus cerca de 600 km a SW, na margem direita do Rio Solimões. A Base de Operações Geólogo Pedro de Moura da Unidade de Negócios da bacia do Solimões (BOGPM-UNbSOL), situa-se à jusante da bacia do Urucu (V. Mapa de Localização; Mapa Imagem e Figura 4.3. apresentados a seguir).

Urucu é um afluente do rio Solimões com desembocadura no lago Coari. Apresenta suas nascentes no divisor de águas do sistema Tefé/Urucu/Coari/Juruá, onde inicia um percurso de 430 km em direção sudoeste/nordeste (Fig. 4.4). Ao término deste trajeto tem sua faixa de desembocadura situada dentro do lago Coari. O Urucu é a forma de acesso natural à região da província.



Figura 4.3: Localização da Província do Urucu — Base Geólogo Pedro de Moura.
Fonte: Petrobras (2005).

Sob o aspecto das condições hidrográficas e geomorfológicas locais, o lago Coari recebe influências diferenciadas quanto ao volume de água recebido. Sendo assim, os trechos superior e médio dependem de condições pluviais, enquanto o curso inferior sofre influência do volume de água recebido do caudaloso Solimões, configurando-se em uma espécie de ria fluvial (Fig. 4.5).



Figura 4.4: Lago Coari.
Fonte: Petrobras (2005)

A bacia do rio Urucu apresenta faixa de desembocadura dentro do Lago Coari. Na parte superior da imagem encontra-se o rio Solimões. A grande quantidade de sedimentos quaternários, transportada por este rio, propicia a formação de uma faixa aluvional na área de contato entre um sistema de águas escuras e um sistema de águas barrentas, estreitando a saída do lago. Além de configurar-se geomorfologicamente como uma ria fluvial, caracteriza-se também como uma área de “encontro de águas”, fenômenos hidrográficos comuns na Amazônia.

Sobre as condições de declividade deste rio, Aguiar *et al.* (2004), mencionam que embora ainda não se disponha de dados suficientes sobre as condições topográficas locais, este rio pode ser classificado como um rio de planície, onde se torna evidente a existência de meandros. A lâmina de água máxima de 5 metros é definida pela altura máxima dos terraços marginais e sem transbordamento. Maiores índices de cheias ocorrem nos meses de intensas chuvas na região, período correspondente ao intervalo de dezembro a junho.

4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A geologia da área de estudos corresponde à bacia sedimentar do Solimões, principal calha coletora dos sistemas de drenagem. A parte que se refere ao arcabouço estratigráfico desta bacia está representada por um substrato Proterozóico, onde são identificadas associações litológicas dobradas metamorfizadas em fácies anfibolito e granulito, além de inúmeros anfibolitos relacionados aos Complexos Guianense e Xingu, respectivamente dos escudos das Guianas e do Brasil Central (ISSLER *et al.* 1974).

Esta vasta cobertura sedimentar denomina-se Formação Solimões apresentando idade cenozóica e se distribui regionalmente desde o Baixo Solimões até os contrafortes andinos (Fig. 4.6). É constituída principalmente por sedimentos inconsolidados pelítico-psamíticos, depositados em ambiente continental (fluviolacustre). Caputo *et al.* (1972), ao citarem a referida formação, indicam que esta se encontra superposta à Formação Alter do Chão, sendo o contato entre as duas, estabelecido em forma de forte processo erosivo. Essa unidade aparece confinada ao interior da bacia paleozóica, não havendo nenhum registro de contato com o nível de embasamento, situada em uma planície de dissecação, vem sofrendo movimentações positivas, provavelmente desde o início do Terciário (SANTOS, 1974).

É composta principalmente de arenitos argilosos e argilitos avermelhados inconsolidados, com idade considerada Neocretáceo a Terciário, tendo sido depositada em ambiente continental

com fácies de planícies e leques aluviais apresentando, ainda, composição ferruginosa, como indicação de períodos de formação de lateritas, sob condições sazonais úmidas (DAEMON e CONTREIRAS, 1971; DAEMON, 1975; EIRAS *et al.*, 1994).

Horbe *et al* (2007) demonstraram em seus estudos que a bacia do rio Solimões, se configurou até o Mioceno, como um anfiteatro de sedimentação que culminou com a deposição da Formação Solimões. Mencionam ainda estes autores que no Neógeno, devido à consolidação da cadeia andina, ocorreu uma inversão da drenagem de oeste para leste, com o estabelecimento da atual bacia do rio Solimões e ao longo do seu curso, em consequência dos seus meandros e da grande quantidade de material carregado em suspensão, houve deposição de sedimentos quaternários. Esta formação é constituída por argilitos friáveis, cinza a cinza-esverdeados, com finas intercalações de areia, com tendência de elevados níveis de areia na parte do topo. O material de origem se caracteriza como uma rocha saprolítica mosqueada, cuja coloração em tons avermelhados deriva do acúmulo de oxihidróxido de ferro com tamanhos granulométricos que variam de 5 mm a 15 mm.

Para Eiras *et al.* (1994), estas características correspondem a ambientes fluviais meandrantes associados aos lagos abandonados. O aspecto de atividades transgressivas sobre as unidades sedimentares da bacia paleozóica, evidencia-se como um manto de recobrimento sobre unidades anteriores como o cristalino.

Durante o quaternário verificou-se a deposição de sedimentos relacionados aos processos dinâmicos dos rios e seus tributários, que drenam a região, controlados por variações sazonais onde se destacam depósitos aluvionares e de planícies de inundação, compreendendo materiais argilosos, siltosos e arenosos e, menos freqüentemente, conglomeráticos, assim como depósitos de materiais de natureza psamítica pelítica em lagos atuais como o Aruã, Urucu e Coari (Fig.4.6)



Figura 4.5: Distribuição Esquemática da Bacia Amazônica.
Fonte: CPRM, 2006.

4.4. ASPECTOS DA GEOMORFOLOGIA

Para diagnóstico geomorfológico da área de estudos foi seguida à classificação proposta pelo IBGE. Sendo assim, dados descritos por Gatto (1991) indicam que a citada região compreende dois grandes conjuntos geomorfológicos denominados: *Depressão da Amazônia Central* e *Planície Interiorana*.

A Depressão da Amazônia Central é a unidade de maior extensão da Região Norte, ocupando uma superfície que se estende desde o litoral do Pará até os extremos ocidentais do Estado do Acre. Barbosa *et al.* (1974), expressam que esta unidade apresenta aspectos geomorfológicos distintos. Na parte situada ao Norte, a dissecação proporcionou a existência de formas onduladas, onde se observa fraca incisão de drenagem, com a presença de cristas e colinas de vertentes ravinadas e relevos residuais, com altitudes superiores a 100m em relação à altimetria média regional. Ao sul, as características principais estão associadas aos grandes rios que compõem a calha do Amazonas. Estes rios são dotados de leitos alargados e foz afogada, refletindo a influência de transgressões marinhas.

O relevo tem aspecto tabular, dissecado pela drenagem de densidade elevada, e fraco grau de aprofundamento. Estes aspectos, todavia, não impedem que ocorram trechos de superfície de aplainamento conservado e sujeita, em certos pontos, a alargamento temporário.

Na faixa que corresponde ao setor oeste, a área é representada por formas com topos tabulares de longa extensão e intercaladas por pequenas colinas. Os seus interflúvios, passíveis de inundação, apresentam lagoas de forma circular, sem comunicação definida com a rede de drenagem local.

Sobre a Planície Interiorana é importante mencionar que são áreas de depósitos holocênicos com sedimentação expressiva, e localizados ao longo das margens dos rios. Resultado de sedimentação holocênica, as planícies são constituídas principalmente por siltes e argilas depositadas por colmatagem nos lagos e terrenos periodicamente inundados. Conforme indicações contidas em Moreira (1977), podem também apresentar composição arenosa nos diques marginais, pestanas ou *pointbars* que se evidenciam a cada processo de cheia dos rios amazônicos.

O setor de destaque na Planície Interiorana é a Planície Amazônica, por sua extensão e continuidade, uma vez que ocorre em todo o curso do rio Amazonas. De fraco gradiente, com o curso totalmente situado sobre seqüências sedimentares da Província Amazônica, além do regime proporcionado pelos afluentes de hemisférios diferentes e águas oriundas do degelo de neves de altitudes, o rio Amazona entra em território brasileiro nas proximidades da divisa do Brasil, Peru e Colômbia, com o nome de Solimões. Com eixo de direção oeste-leste, percorre cerca de 2.500 km (SOARES, 1977).

Junto à foz a planície se apresenta como um emaranhado de canais recentes, paleocanais, furos, igarapés, paranás, meandros abandonados e lagos, marcando um complexo ainda em evolução.

Nas áreas próximas às fronteiras observa-se que a planície apresenta-se dissimétrica, ocorrendo, na maior parte do percurso, alternadamente ora numa margem, ora noutra. Os terraços fluviais assumem maiores dimensões espaciais e importância econômica, uma vez que, são utilizados para a produção de culturas de curto ciclo ou criação extensiva (GATTO, 1991).

4.5. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Seguindo a classificação climática proposta por Koppen (*apud* Nimer,1991), a região em estudo tem seu clima genericamente úmido do tipo Af – Tropical Chuvoso. Aguiar (1995) ressalta que esta classificação é utilizada universalmente para toda a região amazônica, enfatizando a parte central desta região onde a área do empreendimento está situada.

Dados de umidade revelam altíssimos índices, com um mínimo de 86% no mês de setembro e 91% em abril. Aguiar *et al*, (1996), mencionam que há uma estreita relação entre os meses mais chuvosos com os mais úmidos. Quanto aos valores de temperatura estes mesmos autores indicam para a localidade médias mensais de 20 e 22° C, ocorrendo médias máximas de 31 e 33°C nos meses mais secos, que correspondem ao período de junho a outubro, onde a maior incidência de radiação solar impede a formação de nebulosidade.

A média anual de chuvas está em torno de 2.200 mm. Análises sobre dados de chuva evidenciam que na distribuição mensal de chuvas o período mais chuvoso é de dezembro a maio e o menos chuvoso de junho a outubro (AGUIAR, 2001).

A partir de 1997, quatro estações de registros sobre dados climáticos foram montadas na Base Urucu, para o monitoramento das condições de precipitação, temperatura, umidade e direção de ventos. As estações fazem parte de um projeto denominado URUCLIMA, elaborado por meio de convênio, firmado entre a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Petrobras, cujo objetivo é o reconhecimento e a identificação de possíveis alterações climáticas (AGUIAR, 2001). Este dado merece ser mencionado pela importância que registros desta natureza possam oferecer futuramente em trabalhos que requeiram estudos sobre séries climáticas, alterações nas magnitudes e frequências de eventos (Fig.4.6).

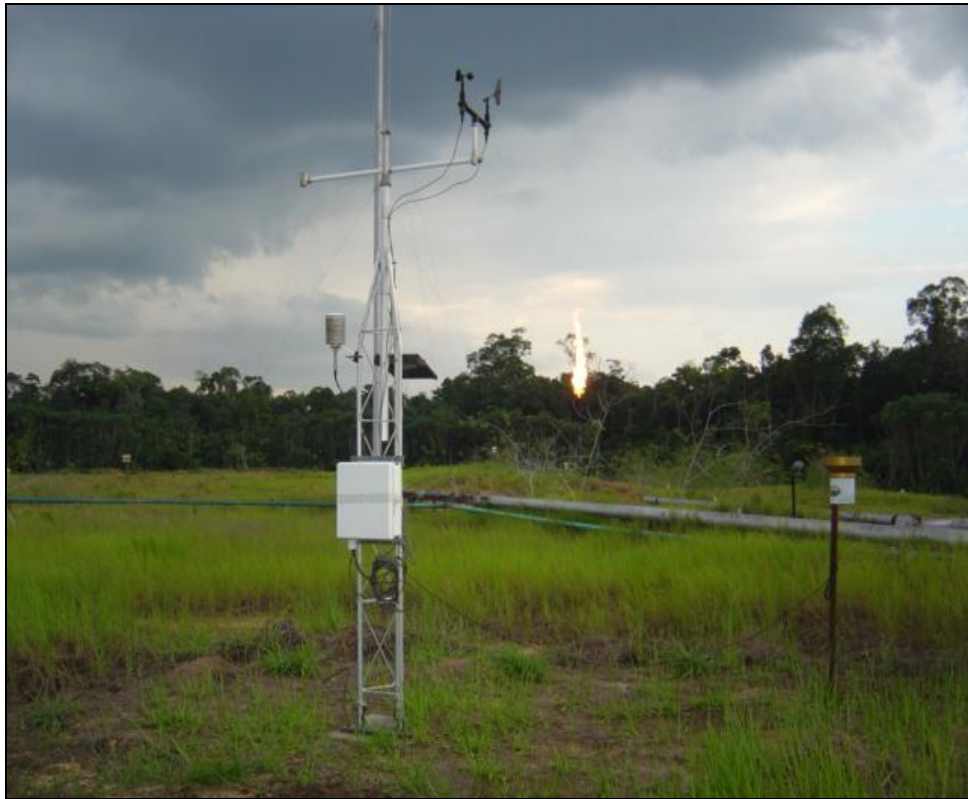


Figura 4.6: Estação para registros de condições climáticas.
Foto: Aguiar (2005).

4.6. SOLOS

Dados atuais sobre classificações de grupos de solos são praticamente inexistentes para a área de empreendimento do projeto. Ressalte-se que um dos aspectos a ser estudado e analisado neste trabalho será o levantamento e classificação dos aspectos pedológicos locais. Todavia, dados obtidos durante reconhecimentos de campo indicam que na referida localidade podem ser encontrados:

Argissolos nas cotas mais elevadas onde são construídas as estradas (Fig.4.8) e os *Glei Pouco Húmido*, às margens do rio Urucu. Os Cambissolos são também comuns, embora não tanto representativos.



Figura 4.7: Perfil de solo exposto à ação erosiva.
Foto: Vieira 2004.

Os *Argissolos Vermelhos Amarelos*, portanto, constituem a classe de solo dominante na região e representam, basicamente, os terrenos onde os dutos para o transporte de carbonetos serão enterrados. Estes solos pertencem à Formação Solimões e se caracterizam por uma seqüência de sedimentos compostos por argilitos e siltitos finamente laminados ou maciços, de coloração amarelada. Essa forma de coloração foi observada ao longo de todo o percurso durante os levantamentos de campo na área do Urucu-Coari (LEITE *et al.*, 1996)

4.7. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DO RIO URUCU

A partir da delimitação obtida pelo fechamento de poligonais representadas pela distância entre aos canais de 1ª ordem, foi possível reconhecer que a referida bacia apresenta área de 8.986,44 km² ou 898.644,71 ha. A área correspondente à faixa de ocupação da base é de 616,5 ha, dimensão que remete ao valor correspondente a aproximadamente 1% da área total. Ainda que se considere este valor em termos dimensionais relativamente baixo, a necessidade de controle e monitoramento de áreas susceptíveis à erosão, nos limites da Base, é de extrema importância para o perfeito funcionamento da rede de drenagem e da conservação do solo, considerando que a construção do gasoduto irá gerar impactos bem maiores.

A Base de Operações Geólogo Pedro de Moura está situada no setor SW da bacia do rio Urucu próximo a sua montante entre as seguintes coordenadas: -04° 52'05,4274"/-

04°52'05,1099" de Latitude e 65°08'00,8650" / -65°08'01,2278" de Longitude (Ver Mapa de Localização).

Geologicamente a área da bacia é representada por sedimentos inconsolidados pelítico-psamíticos, depositados em ambiente continental (fluviolacustre), que compõem a Formação Solimões (CARVALHO *et al.*,1996). Este tipo de composição sedimentar do terreno torna propício o surgimento de formas erosivas severas como as voçorocas. Além deste aspecto, outros fatores como a execução de obras de engenharia (abertura de estradas, terraplanagem, perfurações de poços, construção de portos, asfaltamentos e outros), contribuem para acelerar o processo erosivo na área. A exemplo tem-se a voçoroca do Porto Hélio, que pelo grau de degradação acentuado do terreno, associado aos fluxos internos, terminou configurando-se como um canal de primeira ordem da bacia do Urucu (Fig.4.8).



Figura 4.8: Voçoroca do Porto Hélio enchente (2006).
Foto: Albuquerque (2006).

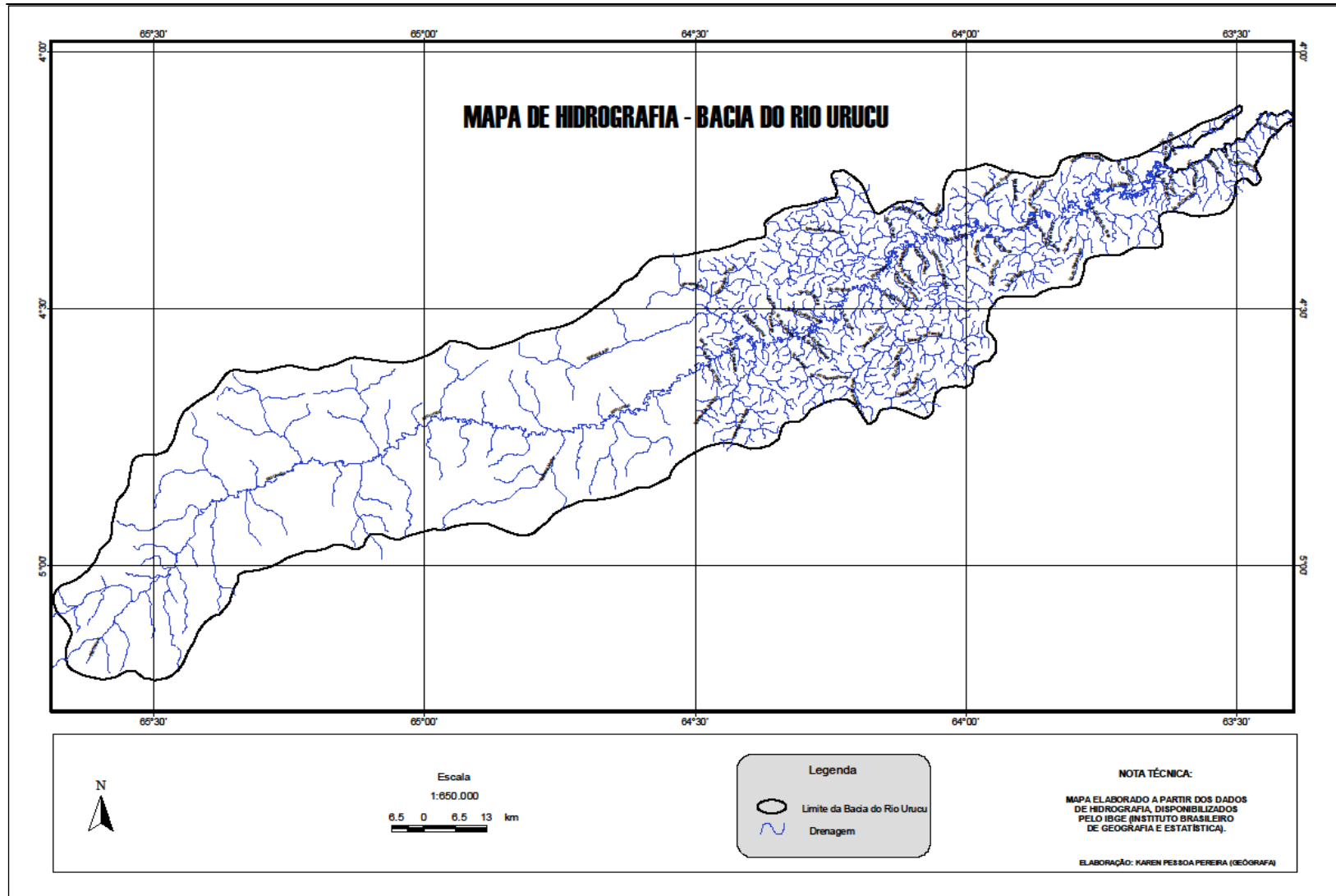
Com a finalidade de realizar reconhecimentos sobre os aspectos físicos da bacia do rio Urucu, foram utilizadas imagens de satélite para gerar mapas que permitiram a identificação do tipo de cobertura vegetal, rede hidrográfica, condições climáticas e níveis de declive. Todavia, a

delimitação dessa bacia ainda é de caráter recente, uma vez que a maior parte dos trabalhos consultados não incluiu a bacia do rio Urucu como ambiente de estudo em sua totalidade.

Os mapas gerados permitiram a visualização de uma rede de drenagem mais densa nos setores médio/jusante correspondentes às áreas circundantes ao núcleo urbano de Coari, onde coberturas vegetais já alteradas permitem a exposição da rede hidrográfica de modo mais evidente.

Para identificar os níveis de densidade hidrográfica, aplicou-se a metodologia proposta em Silva *et al.* (1996) e Tucci (2001), onde o parâmetro utilizado para demonstrar o comportamento hidrográfico dos canais é um índice que tem por finalidade comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água, existentes em uma área de tamanho definido, ou seja, a área da bacia. Neste sentido, foi possível identificar a densidade hidrográfica, por meio da fórmula $Dh = A/N$ onde, A é a área de drenagem e N o número total de rios na bacia. A obtenção dos resultados a partir destes cálculos permitiu verificar que a Bacia Hidrográfica do Urucu possui 5,39 rios por km^2 . Isto significa um bom índice de drenagem, caso a utilização desta bacia fosse destinada para fins agrícolas não se evidenciariam problemas ligados à irrigação (Ver Mapa de Hidrografia). Entretanto, para realizar construções ou obras de grande porte, este fator deve ser considerado e constantemente monitorado, tendo em vista a necessidade de canalizar estes cursos de água para a passagem de estradas ou pontes, como foi o caso da maior parte dos canais impactados na bacia do Urucu. As canalizações conjugadas ao material de origem e a ausência de monitoramento provocaram em parte, a atuação de processos erosivos, assim como a sedimentação e assoreamento dos canais.

Visando reconhecer as condições relacionadas às análises das densidades de drenagem (Dd), foram incluídos parâmetros como medidas planimétricas e curvimétricas, a fim de se obter o comprimento dos canais e da área da bacia. Estes procedimentos proporcionaram a obtenção da Densidade de drenagem pela fórmula $Dd = Lt/A$ onde Dd é a densidade de drenagem em km/km^2 , Lt é o comprimento total dos canais em km , e A é a área da bacia em km^2 . Assim, os resultados obtidos para a bacia do rio Urucu, demonstraram um comprimento total de cursos d'água de $Lt= 32.500 km$ e superfície de $8.986,44 km^2$ com densidade de drenagem de $3,6 km/km^2$.



Mapa de Hidrografia da Bacia do Rio Urucu -AM

Com referência aos níveis de densidade de drenagem em bacias, Cardoso *et al.* (2006), realizando estudos no rio Debossan (RJ), encontraram níveis de drenagem para aquele rio de 2,35 km/km², mencionam estes autores que valores de densidade de 0,5 km/km² representam bacias com drenagem pobres e valores de 3,5 km/km² ou mais representam bacias bem drenadas. Valores de drenagem de 4,6 km/km² foram encontrados no rio Turvo Sujo em MG e valores de 0,5 km/km² foram obtidos para os rios Capim e Guamá no estado do Pará.

Cardoso (2006), ressaltam ainda que, a densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Conhecendo-se estes valores, pode-se elaborar um banco de dados com informações que auxiliem a elaboração do planejamento e manejo em bacias hidrográficas.

Para que a bacia hidrográfica seja sempre mantida em perfeitas condições de fluxo, Silva (2006) explica que é necessário reconhecer e identificar o coeficiente de manutenção dos fluxos (Cm). Reitera que este índice representa uma medida semelhante à Densidade de Drenagem e tem por finalidade fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro (1 m) de canal de escoamento permanente. Para o cálculo do Cm multiplicou-se a Dd por mil para se obter índices de valor em m²/m. A obtenção de uma área drenada de 3.600 m²/m para a manutenção dos canais apontou que esta bacia apresenta excelentes condições de escoamento superficial, no entanto, este valor expressa a tendência à deflagração de processo erosivo do tipo laminar, a partir do exercício de atividades como a derrubada de árvores, para a passagem dos dutos, pela exposição dos solos e dos canais que compõem a bacia.

Os cursos de água que drenam a bacia apresentam comprimento médio de 6,7 km. Estes dados foram obtidos por meio de curvimetria dos canais existentes em mapa com escala de 1:650.000 e correlacionados pela seguinte fórmula $Lm = Lu/Nu$, onde Lu é o comprimento total dos canais e Nu o número total dos segmentos existentes na bacia. Sobre este item, é necessário recomendar que o planejamento de execução das obras considere este comprimento como um dado a ser levado em conta durante as etapas de abertura de estrada e canalização dos cursos fluviais. Caso não seja possível, manter este comprimento pela necessidade de efetivação da obra, que pelo menos a metade deste valor seja trabalhada para ser preservada, evitando-se desse modo o desaparecimento deles por aterros ou assoreamento.

Outro aspecto investigado foi o Coeficiente de Compacidade (Kc), este coeficiente relaciona a bacia com a forma de um círculo, constituindo assim a relação entre o perímetro da

área drenada e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Seguindo critérios propostos em Vilela e Matos (1975) esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será seu coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo próximo à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a um (1). Uma bacia será susceptível a enchentes mais acentuadas quando seu K_c atingir uma medida mais próxima da unidade (CARDOSO *et al.*, 2006). O valor de compacidade foi obtido pela seguinte equação $K_c = 0.28 P/\sqrt{A}$, onde K_c é coeficiente de compacidade, P o perímetro (km) e A a área de drenagem (km²). O resultado de 1.84 evidencia uma área pouco susceptível a enchentes sob condições normais de precipitação. Enchentes elevadas até o presente não foram registradas para a bacia.

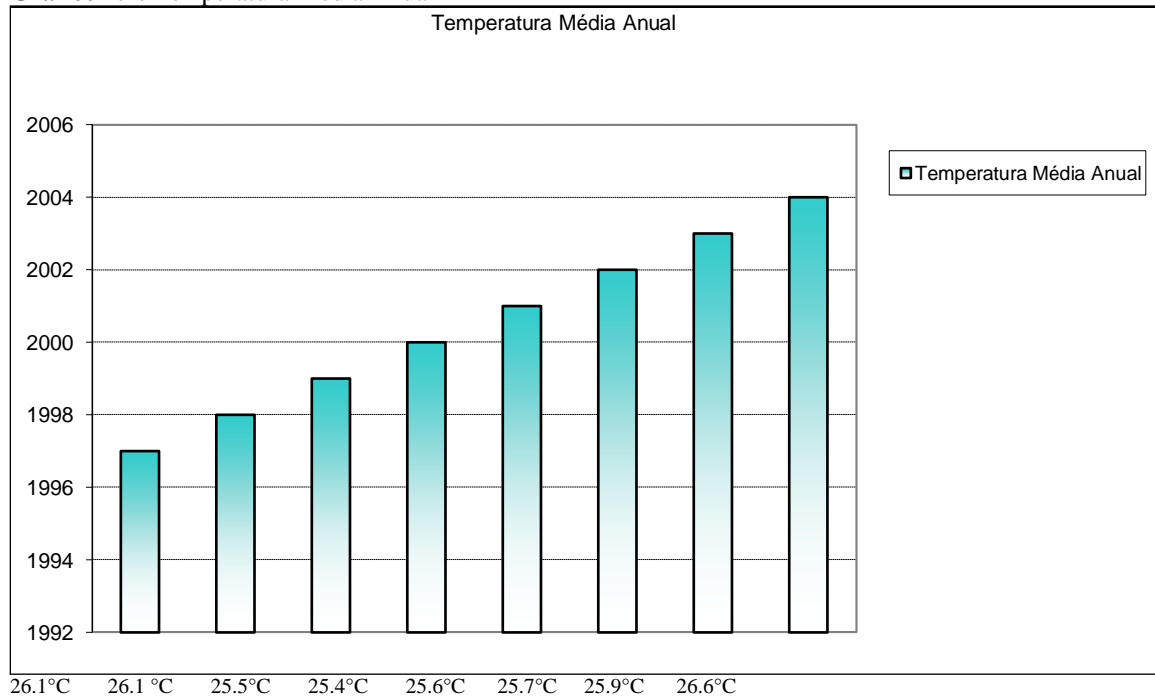
As análises morfométricas sobre a bacia hidrográfica do Urucu, permitiram a verificação do *Fator Forma* que é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia pela obtenção de projeções geométricas, neste caso, a base correspondente a um retângulo calculado pela seguinte equação:

$KF = A/L^2$, sendo F : fator de forma, A área de drenagem em km² e L o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). O resultado de 0,132 apontou para uma bacia estreita e alongada, onde os valores de forma foram considerados baixos, indicando menos possibilidade de ocorrerem simultaneamente chuvas intensas em toda a sua extensão. Uma bacia onde o fator forma é baixo dificilmente será atingida por enchentes episódicas, enquanto outra bacia de mesmo tamanho, porém com fator forma elevado, certamente será atingida de modo mais crítico. A morfologia do terreno e as condições geológicas contribuem para expressar esta configuração de drenagem.

Com relação às análises dos níveis de precipitação e temperaturas, foi possível indicar para a localidade valores de temperatura relacionados aos índices de médias mínimas de 25,4 ° C no ano de 2000 e médias máximas de 26,6° em 2004 (V. Gráfico 1 Temperatura – Média Anual). Conforme dados trabalhados por Aguiar (2001) e Pereira (2006), as taxas de precipitação oscilaram entre índices mínimos de 2.122,7 mm no ano de 1999 e máximos de 2.869,6 mm em 1998 (V. Gráfico 2- Precipitação Acumulada – Média Anual). Valores de Umidade Relativa, máxima de 96%, foram encontrados no ano de 2002 e valores de Umidade Relativa mínima de

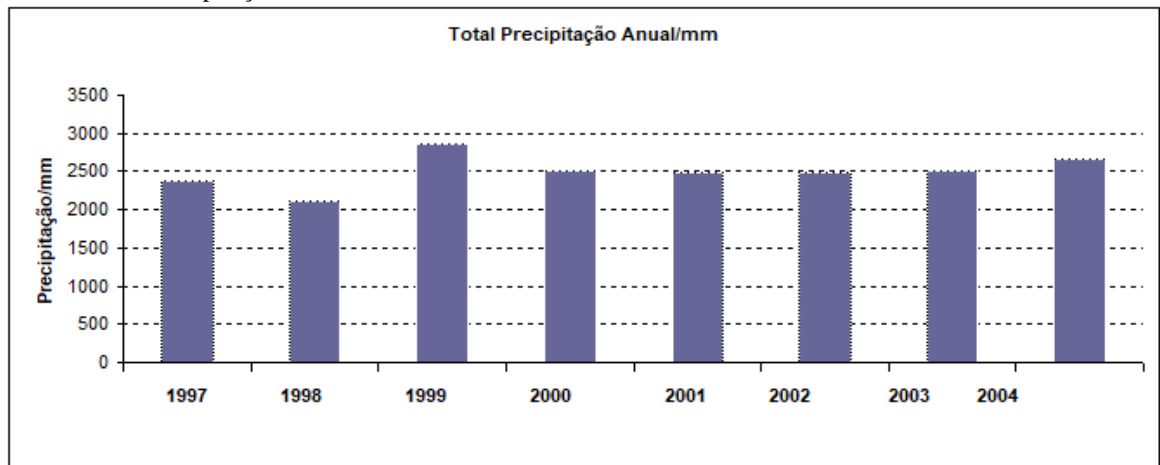
89%, evidenciaram-se em dados registrados no ano de 1997 (V. Gráfico 3 – Umidade Relativa – Média Anual).

Gráfico 4.2: Temperatura Média Anual

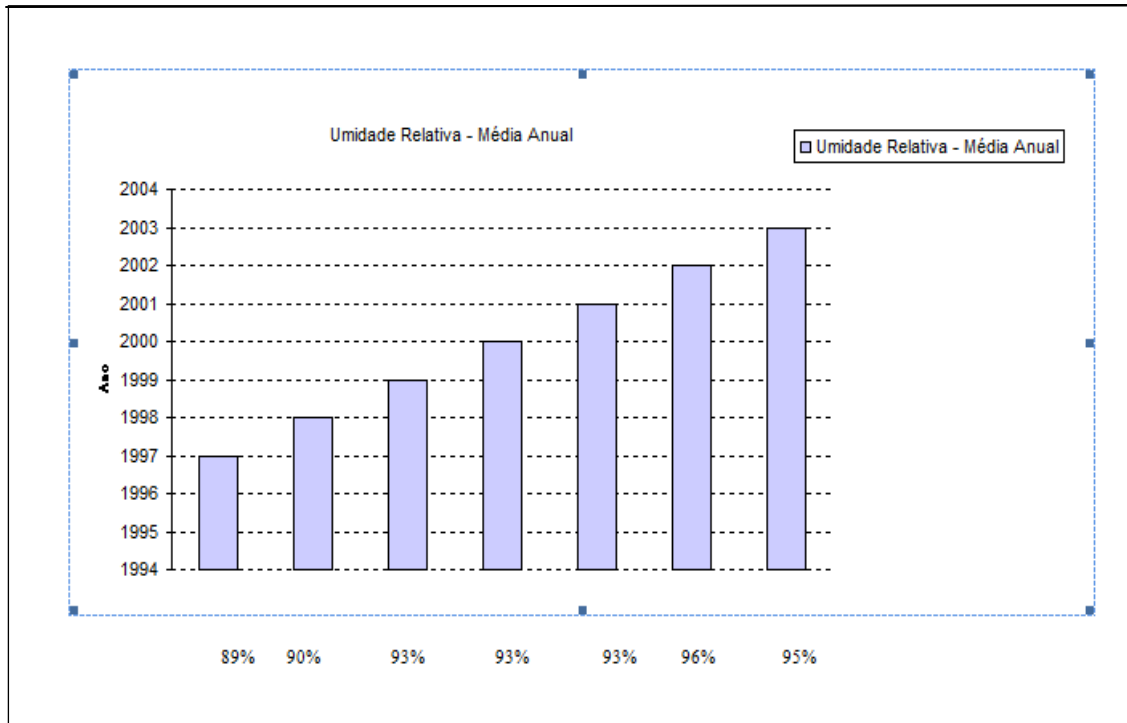


Fonte: Aguiar (2001); Pereira (2004).

Gráfico 4.3: Precipitação Acumulada – Média Anual



Fonte: Aguiar (2001); Pereira (2004).

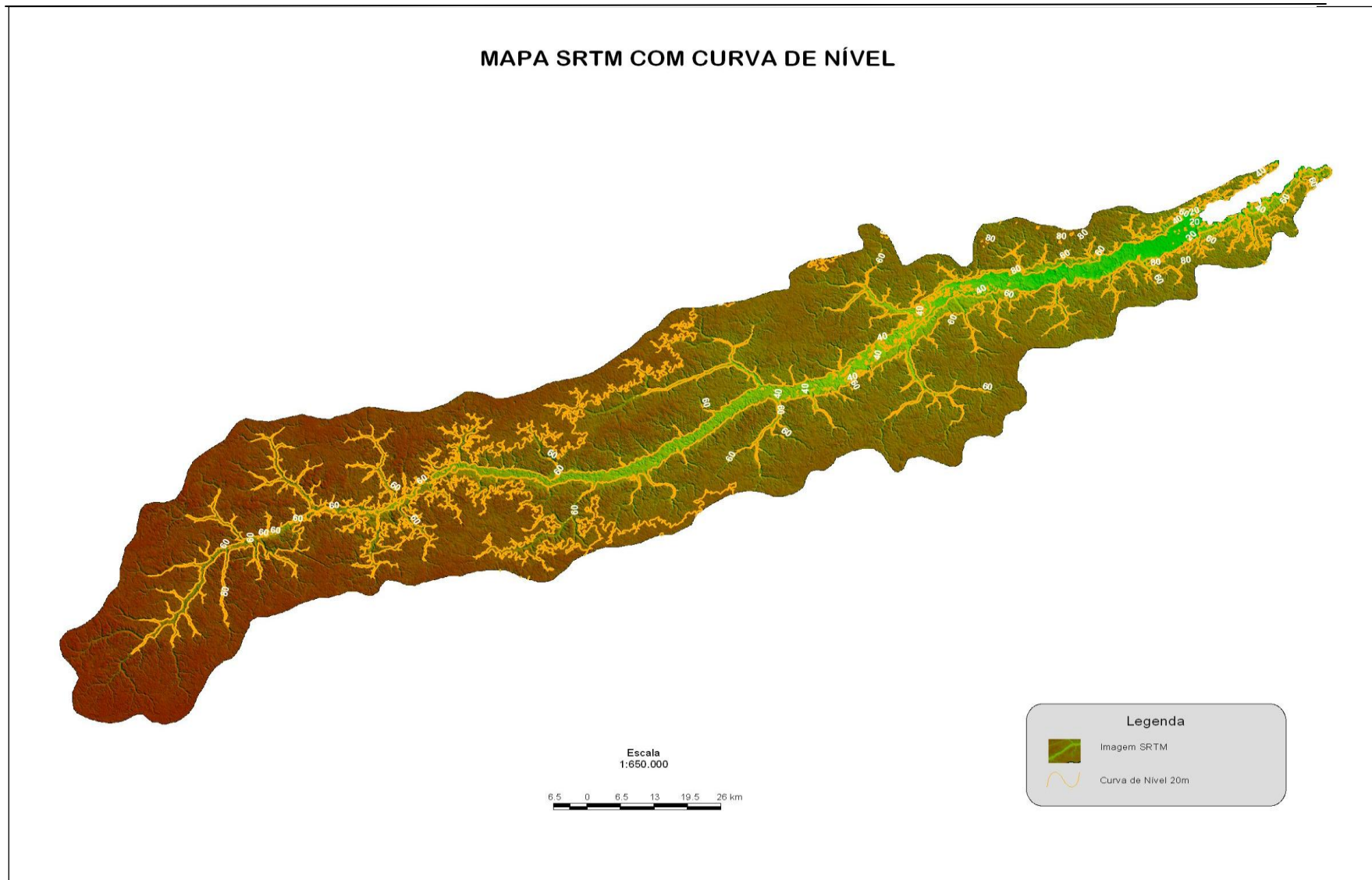
Gráfico 4.4: Umidade Relativa – Média Anual

Fonte: Aguiar (2001); Pereira (2004).

Esses dados, quando observados de forma conjugada, apresentaram correlações positivas para o estabelecimento de condições que definem poucas variações climáticas na área de estudo.

Com respeito às condições de relevo, as variações dos valores encontrados nas interpretações do mapa de curva de nível, possibilitaram a identificação de cotas de 100m no setor SW da bacia, situadas a montante e que representaram 20% da área drenada. As classes referentes a 80 m corresponderam 60% no setor médio, destacando-se assim a este intervalo predominante no terreno (V. Mapa de Curva de Nível). O restante das cotas foi representado por valores de 15% para cotas de 60 m no setor médio/jusante e 5% a jusante da bacia, já na confluência do Lago Coari. As cotas de 80 e 100m se apresentam na área de construção da Base Geólogo Pedro de Moura, onde são mais evidentes as formas erosivas.

Os níveis de cobertura vegetal foram classificados, em sua maior parte, como floresta ombrófila densa de terras baixas, para superfícies classificadas como baixos platôs de terra firme, denominação comum na Amazônia para terrenos não sujeitos à inundações. Outro tipo de cobertura vegetal identificado foi a Floresta ombrófila aberta aluvial com palmeiras e floresta densa aluvial em dossel emergente situadas em áreas próximas ao canal principal da bacia.



Mapa Curva de Nível – Intervalo 20 m - SRTM

CAPÍTULO V: ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NA BASE GEÓLOGO PEDRO DE MOURA - BACIA DO RIO URUCU

A erosão em bacias hidrográficas tem constituído um dos mais graves problemas a ser solucionado, quando se trata da conservação e manutenção dos recursos hídricos. Sob esta linha de abordagem a degradação do solo se transforma em uma característica marcante no âmbito das bacias, evidenciada principalmente por modificações na sua hidrodinâmica que atingem além da frequência de cheias e vazantes, a magnitude dos eventos de transporte de sedimentos e assoreamento dos canais. Estas modificações podem atingir dimensões às vezes imensuráveis, em decorrência das inter-relações sistêmicas dos vários elementos componentes da bacia. Com o objetivo de expor adequadamente o sistema de interações existentes entre estes elementos, Christofolletti (1980, *apud* SIMON e NOAL; 2004) menciona: “a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”. Esta idéia de conjunto de canais gera a necessidade de compreendermos a importância dos rios como responsáveis pelos processos morfogenéticos ativos na esculturação da paisagem terrestre. Considerando este enfoque e analisando o papel da água no contexto hidrogeomorfológico das bacias, Coelho Netto (2001) evidencia que “as encostas, topos ou cristas e fundos de vales, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbanos e áreas irrigadas, entre outras unidades espaciais, estão interligados como componentes de bacias de drenagem”.

A partir desta noção de dinamismo que envolve as bacias, é possível concebê-las então como unidades hidrogeomorfológicas, nas quais se desencadeiam processos, tanto naturais como degradação e agradação, infiltração, solifluxões, enchentes, transporte de sedimentos, entre outros, quanto antrópicos como: desmatamentos, aceleração do processo erosivo, urbanização, construção de estradas, abertura de áreas para o cultivo agrícola e degradação ambiental. Todas estas ações, e principalmente as antrópicas acabam interferindo nas condições originais da paisagem, seja em um curto período de tempo, ou em um intervalo cronológico significativo que terá repercussões negativas.

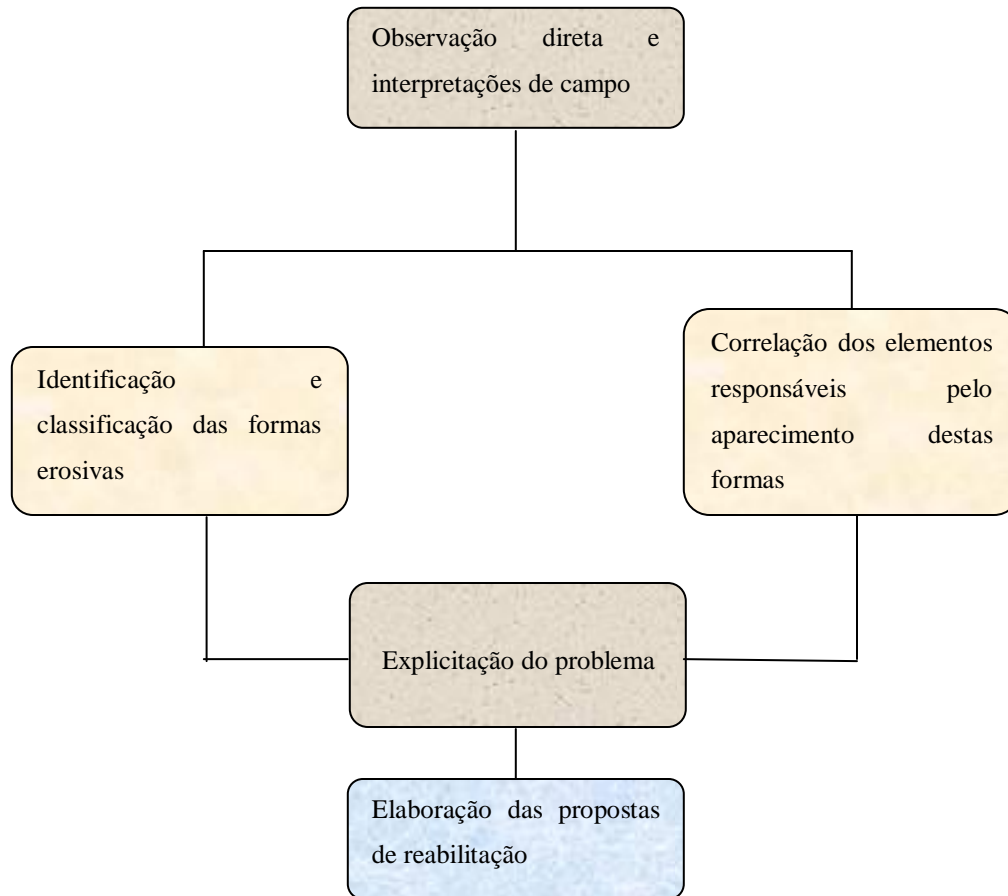
Dessa forma, é válido mencionar que bacia hidrográfica constitui um sistema propício para análises das ações de planejamento ambiental e gestão dos recursos naturais, sendo frequentemente utilizada como referencial geográfico para adoção de práticas de planejamento

ou de manejo e aproveitamento dos recursos naturais, transformado-se em uma unidade básica para o planejamento e gestão ambiental.

Considerando a importância destes aspectos, a bacia hidrográfica do rio Urucu, foi utilizada como uma unidade de análise e visualização do processo erosivo existente na Base de Extração Geólogo Pedro de Moura, detonado principalmente pela abertura de estradas que se direcionam até os poços de extração de gás. Todos os aspectos que serão apresentados a seguir foram considerados com parâmetros indicadores da erosão local.

5.1. ASPECTOS E PARÂMETROS INDICADORES DE EROSÃO

Por meio de observação direta no campo e utilizando-se os seguintes materiais: Trena de 100m, Bússola de Geólogo e GPS (Garmin) foi possível propor e definir critérios de seletividade das áreas que necessitavam tratamentos emergenciais. Posterior a esta etapa foi estabelecido durante reuniões um plano de trabalho para a definição de parâmetros que permitissem a visualização do processo erosivo e pudessem contribuir para as ações norteadoras que formulassem uma análise interpretativa do problema conforme apresentado a seguir:



- (1) Observações diretas e interpretações de Campo
- (2) Identificação e classificação das formas erosivas
- (3) Correlação dos elementos responsáveis pelo aparecimento destas formas
- (4) Explicitação do problema;
- (5) Elaboração da proposta de reabilitação

Dando prosseguimento às etapas de identificação, reconhecimento e análise da situação de risco erosivo, foi possível elaborar critérios ou parâmetros que servissem de indicadores de processos de erosão por meio de seis visitas realizadas na área do empreendimento da PETROBRAS-UNBSOL, na bacia do rio Urucu no período de março de 2004 a Julho de 2006.

Em março de 2004, todos os pontos, onde a erosão se instalou de forma mais acentuada, foram cadastrados em ficha de cadastro (modelo anexo). Nas fichas de cadastro, foram devidamente anotadas as causas que levaram a instalação da erosão e a caracterização geral da

área para análises posteriores. Estas análises possibilitaram a indicação da técnica a ser aplicada para atenuar a erosão.

Nos levantamentos posteriores, que ocorreram em novembro de 2004 e março de 2005, foram estudadas as propostas de recomendação e aplicação das técnicas para a reabilitação das áreas degradadas. Em novembro de 2005 a março de 2006, foi realizada a primeira etapa de reabilitação de áreas comprometidas pelo aparecimento de voçorocas.

Durante estes levantamentos todas atividades derivadas da ação humana para a construção de estradas sejam principais ou vicinais, foram analisadas e consideradas. Em cada ponto onde estas atividades foram observadas, a classificação estabelecida no Quadro IV auxiliou a identificação dos parâmetros (CANIL *et al.* 2005).

A opção por este critério de classificação está baseada no fato de que grande parte das modalidades erosivas, existentes na Base Geólogo Pedro de Moura, são derivadas de obras de engenharia, que envolvem a movimentação de material de forma intensa entre pontos diversos.

QUADRO IV: CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS À DEFLAGRAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS.

Nº	Critério de Classificação	Caracterização
1)	Intervenção Antrópica	Área de empréstimo, movimento de terra, terrenos com solo exposto, áreas de perfuração de poços, portos (embarque/desembarque), movimentação de máquinas pesadas, compactação do solo, cortes de talude.
2)	Processos Erosivos	Ravinas, voçorocas, escorregamento, solapamento de margem.
3)	Tipo de Impacto	Assoreamento dos canais e inundação.

Fonte: Elaborado com base em Canil *et al.* 2005.

Estabelecidos os critérios para a seleção das áreas sujeitas à deflagração de processos erosivos e assoreamentos, enunciaremos a seguir seis aspectos observados durante os levantamentos de campo e que podem ser utilizados como parâmetros de identificação de processos erosivos.

(1) Remoção da cobertura vegetal, de forma mecanizada, com retirada de parcelas significativas das camadas superficiais e profundas de solo para a colocação de dutos de transporte de gás (Figura 5.1);

(2) Deslocamento, transporte de material e compactação do solo. Ações consideradas de extrema necessidade para a realização de obras, movimentação de máquinas e colocação dos dutos (Figura 5.2);

(3) Alterações na topografia como cortes de terraços em patamares (Figura 5.3);

(4) Colocação de tubos do tipo manilha para a canalização de cursos fluviais. Estes tubos muitas vezes apresentam sub dimensionamento de diâmetro pela grande quantidade de sedimentos erodidos da estrada (Figuras 5.4 e 5.5);

(5) Ausência de construções de canaletas de base larga nas laterais da estrada para reduzir a concentração dos fluxos de água (Figura 5.6);

(6) Os taludes necessitam ser reconstruídos nas áreas próximas às margens dos cursos fluviais. A ausência deles tem provocado a concentração dos fluxos de água, proporcionando escoamento concentrado e transporte de sedimentos para dentro dos canais (Figura 5.7).



Figura 5.1: Dutos para transporte de gás.
Foto: Vieira (2004)



Figura 5.2: Os deslocamentos para transporte de material e o trânsito de máquinas pesadas na Base de Operações são atividades de extrema necessidade. Todavia o processo erosivo torna-se acelerado principalmente nas áreas situadas às margens do Rio Urucu.
Foto: Aguiar (2004)



Figura 5.3: Os cortes realizados em taludes para a abertura de estradas que se direcionam até os poços de gás têm gerado processos erosivos que se iniciam pelo aparecimento de ravinas e evoluem para voçorocas nas laterais da estrada.

Foto: Vieira: 2004



Figura 5.4: Manilha comumente utilizada para a canalização dos cursos de água durante a construção de estradas. Para evitar este tipo de situação a recuperação da área deve ser realizada de modo simultâneo à construção de estradas.

Foto: Aguiar (2004).



Figura 5.5: O diâmetro das manilhas que drenam canais fluviais da bacia do Rio Urucu se torna subdimensionado. A quantidade de sedimentos transportados por *runoff* impede a passagem da água por estes dutos.



Figura 5.6: Manilha de 1m de diâmetro totalmente obstruída por sedimentos que são transportados da estrada. A ausência de canaletas que evitariam a concentração de fluxos é a principal causa deste processo. Ver figura anterior (nº 5.3) onde a existência de canaleta no nível de base do canal foi insuficiente para evitar a obstrução do mesmo. Neste caso, a obra de contenção de fluxos deverá ser refeita, tanto nas encostas como na parte interna dos pequenos cursos de água que cortam as estradas.



Figura 5.7: Cursos fluviais como o da figura, compõem sub bacias do Rio Urucu, praticamente todos os canais que se situam próximos ao curso médio e superior, se encontram sob este nível de assoreamento. Uma das propostas de relevância para os planos de contenção de erosão é a recuperação de cabeceiras de drenagem.

Foto: Aguiar (2005)

5.2. OS FATORES DETERMINANTES DA EROSÃO

Todos os aspectos indicados no item anterior, quando reunidos, propiciam à aceleração de processos erosivos, principalmente, aqueles associados ao escoamento concentrado, que se evidenciam de forma bastante acentuada nas faixas laterais das estradas sejam pavimentadas ou não. Grande parte desse problema está relacionada à ausência de obras de engenharia que possam oferecer medidas mitigadoras para o controle da erosão, de modo concomitante à construção. A propósito Oliveira e Herrman (2004), mencionam que este problema se agrava diante das técnicas inadequadas de terraplenagem e desmatamentos que deixam os horizontes subjacentes do solo muito expostos. Todavia, estes mesmos autores ressaltam ainda que alguns engenheiros têm procurado abandonar tais práticas e sugerido a preservação do horizonte B como forma de atenuar problemas de erosão e sedimentação decorrentes de terraplenagem.

O desconhecimento sobre erosão, a ausência de preocupação em relação aos riscos incorridos e a visão de que processos desta natureza são facilmente corrigidos após a conclusão das obras, são responsáveis por graus de erosão acentuada.

Com a finalidade de compreendermos as causas determinantes dos processos erosivos na bacia do rio Urucu, foram realizados levantamentos de campo na área de estudos para o reconhecimento e identificação de parâmetros que providenciassem o conhecimento desta questão. Os levantamentos associados às referências teóricas auxiliaram o entendimento do processo erosivo atuante no local. Neste sentido, as informações obtidas e coletadas durante estas visitas permitiram evidências, que propiciaram o enunciado de que o processo erosivo na bacia do rio Urucu, principalmente na Base Geólogo Pedro de Moura está associado às causas mencionadas a seguir:

(1) Os processos de transporte e sedimentação, existentes na Base Geólogo Pedro de Moura, estão associados à elevada vulnerabilidade do solo à erosão. Esta vulnerabilidade, por sua vez, é determinada pela composição granulométrica dos mesmos, predominantemente arenosa, nos locais próximos aos cursos de água que cortam as estradas. Este aspecto torna os solos locais susceptíveis ao aparecimento de incisões erosivas. Sob este enfoque de análise, é permitido associar a questão da erodibilidade ao material de origem da Formação Solimões, derivada de níveis de sedimentação ocorridos no Terciário.

A partir destas considerações, é possível a formulação do primeiro nível de entendimento e investigação. Em referências preliminarmente indicadas por Maia (1977), Leite e Tucci (1996), foi mencionado que a área de implementação do empreendimento da Petrobras, abrange sedimentos terciários/quaternários de constituição predominantemente silto-argilosa relacionada à Formação Solimões, assim como depósitos antigos e recentes associados ao sistema de drenagem dos rios da região, tanto nas planícies de inundação, como nas áreas aluviais.

O risco de erosão dependerá, além dos aspectos associados às condições dos solos locais, à análise de fatores de natureza geomorfológica, como a rede de drenagem.

Para melhor referência, Souza Junior (1996); Leite; Tucci (1996) ao diagnosticarem riscos de erosão para o local mencionam:

Os podzólicos são solos que apresentam, de modo geral, elevado grau de erodibilidade especialmente por conta do seu gradiente estrutural, isto é da mudança abrupta que os caracteriza. Em regiões onde as precipitações médias anuais são superiores a 2.500 mm, como na área do empreendimento, é de se esperar o surgimento de erosão do tipo voçoroca (LEITE; TUCCI, - EPIA, 1996).

(2) Durante os reconhecimentos de campo realizados nos meses de julho e agosto de 2004, foi possível identificar que formas erosivas estão associadas à formação de crostas e fluxos superficiais e lineares que evoluem para microrravinas, estas por sua vez proporcionam o aparecimento de cabeceiras de drenagem de córregos que se conectam à densa rede hidrográfica que compõe as sub-bacias do Rio Urucu (Figura 5.8).



Figura 5.8: A formação de crostas na superfície do solo diminui a taxa de infiltração e proporciona aumento dos fluxos superficiais.

Foto: Albuquerque (2004).

Referindo-se à formação de crostas, Guerra (1999) explica que estas se originam à medida que os agregados se rompem no topo do solo e provocam a selagem deste, interrompendo, assim, a capacidade de infiltração e possibilitando a geração de fluxos superficiais.

Com relação às microrravinas que podem originar futuras cabeceiras de drenagem, autores como Horton (1945), Dunne (1980) e Dietrich e Dunne (1993) referenciados em Guerra (1999) atribuem o aparecimento destas a partir do nível máximo de saturação do solo, ou seja, quando se inicia o processo de escoamento superficial (*runoff*). Para Guerra (1998, 1999, 2001), a água acumula-se em depressões (microtopografia) na superfície do solo e começa a descer a encosta, por um lençol de escoamento (*sheetflow*), que pode evoluir para uma ravina. Durante a descida os fluxos superficiais (*runoff*) se transformam em fluxos lineares (*flowlines*), que posteriormente possibilitam a evolução de uma microrravina (*micro-rills*), e depois para

microrravinas com cabeceiras. A remoção inicial das partículas se deve à força de cisalhamento exercida pelos fluxos superficiais à medida que eles se aprofundam.

(3) A formação de cabeceiras pode ser um fator controlado, não somente por fluxos superficiais. Pode ser associado aos fluxos subsuperficiais definidos pela densidade de pequenos canais de primeira ordem (Figura 5.9).

Sob esta forma de abordagem do problema é possível indicar que a densidade de drenagem torna-se a principal causa da erosão na área, ou seja, a bacia do rio Urucu apresenta uma densa rede de canais que podem evoluir a partir da formação de pequenas cabeceiras de drenagem. Estes canais precisam ser identificados, mensurados e estudados. Um minucioso estudo sobre a rede hidrográfica local possibilitará a formulação de uma proposta de mitigação do problema erosivo e a criação de um plano de controle e reconhecimento de alterações ambientais na Bacia.



Figura 5.9: A existência de fluxos que se configuram como pequenos canais torna-se uma das principais causas do aumento de erosão na Base de Operações. Estes canais existem por toda a área e apresentam fluxos interrompidos por sedimentos.

Foto: Vieira (2004).

A formulação deste enunciado foi possível a partir dos levantamentos de campo realizados no período de 29/09 a 01/10/04, onde foi constatada a existência de 16 pequenos canais hidrográficos durante 8 km percorridos na estrada do SUC 3 (Sul do Urucu). É pertinente ressaltar que estes canais apareciam a cada 500 m percorridos na estrada. Estas faixas

interfluviais coincidem, na verdade, com incisões na dimensão dos topos das pequenas colinas que compõem o relevo da área de pesquisa.

Considerando a importância dos fluxos superficiais e sub superficiais nos mecanismos de formação das ravinas e voçorocas, Coelho Netto (1998), ressalta que estas formas erosivas podem ser originadas em diferentes escalas de espaço e tempo, todavia dependem de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer na superfície e em subsuperfície. Ainda sobre este tema, Oliveira (1999), com base em Horton (1945), menciona que, segundo este autor emergem duas rotas possíveis de formação do escoamento superficial: o fluxo superficial hortoniano e o fluxo sub superficial de saturação.

Para a verificação deste mecanismo é necessário compreender que as ravinas e voçorocas podem surgir a partir da interação sinérgica entre os fluxos anteriormente citados. A propósito, Oliveira e Meiss (1985), ao estudarem vários casos de incisão erosiva em encostas no vale do rio Paraíba do Sul, verificaram a relação destas incisões com canais de primeira ordem. A princípio foi possível então uma classificação entre dois tipos de voçorocas: as conectadas e as desconectadas da rede de drenagem local. Esta classificação partiu da formulação de uma hipótese de que grandes incisões erosivas ocupavam longitudinalmente a encosta e seriam resultado de mecanismos específicos de erosão onde antigos ambientes de sedimentação, quando submetidos às chuvas intensas, reativaram antigos canais.

A interação entre fluxos superficiais e subsuperficiais está associada também a mecanismos de poro/pressão na água do solo. Para Oliveira (1999), as poro/pressões podem reduzir as forças de coesão, causando colapso de materiais friáveis ou pouco consolidados, facilitando assim a liquefação dos materiais inconsolidados. No caso da bacia do rio Urucu, o material de origem da Formação Solimões apresenta elevada friabilidade por ser de origem sedimentar (Figura 5.10). Esse processo se manifesta quando os materiais do solo estão saturados. Sendo a saturação resultante de variações do nível do lençol freático, a liquefação pode ocorrer em ritmos sazonais, sendo estações úmidas mais propícias. No caso de zonas de saturação suspensa, a liquefação pode ocorrer durante chuvas que se estendam por um ou mais dias.



Figura 5.10: Colapso de material existente nas áreas de cabeceiras de voçorocas. As superfícies compactadas nas bordas favoreceram o aparecimento de escoamentos concentrados. A associação de uma rede de fluxos tanto superficiais como subsuperficiais favoreceram a evolução deste tipo de incisão. As barras de madeira à direita colocadas como alternativa de contenção aos desbarrancamentos não foram suficientes para conter a erosão.

Foto: Vieira (2005).

1) Outra forma de erosão por quedas d'água (*plunge pool erosion*) foi identificada na Base Geólogo Pedro de Moura. Esta modalidade de erosão foi verificada na parte interna dos pequenos canais hidrográficos locais, proporcionando o transbordamento de fluxos e conseqüente obstrução dos manilhões. A ocorrência desta erosão se define a partir dos fluxos concentrados dentro dos tubos conectados às canaletas e posicionados à parte superior das caixas de concreto que sustentam as manilhas e, atravessam as estradas, devido à ausência de um anteparo no leito do canal, para dissipar a velocidade do fluxo (Figura 5.11). A turbulência ocasionada por meio da queda d'água retira material em torno da zona de impacto e escava uma depressão nos leitos (Figura 5.12). A profundidade varia de acordo com o aumento do deflúvio (DIETRICH e DUNNE, 1993); Oliveira (1999).



Figura 5.11: O papel dos dutos posicionados na parte superior das manilhas é capturar a água concentrada nas canaletas. Entretanto, este tipo de obra, durante a estação chuvosa, tem ocasionado a escavação do leito e transbordamento de água e sedimentos que levam à situação exposta na figura seguinte.

Foto: Aguiar (2005).



Figura 5.12: Observar o acúmulo de sedimentos na superfície existente na base das caixas de concreto das manilhas. Uma das alternativas para evitar esse tipo de situação seria a elevação do nível da base destas caixas.

Foto: Aguiar (2005)

2) Como alternativa de mitigar o problema, a aplicação de técnicas e práticas de caráter vegetativo como o plantio por hidrossemeadura, não têm proporcionado os efeitos esperados. Ao contrário do proposto, vêm gerando o aparecimento de rotas preferenciais de fluxo superficiais que evoluem para fluxos concentrados. Este aspecto ficou claramente identificado durante os

reconhecimentos de campo, quando foi observado e mensurado o espaçamento em intervalos de 100 cm entre os indivíduos (Figura 5.13).



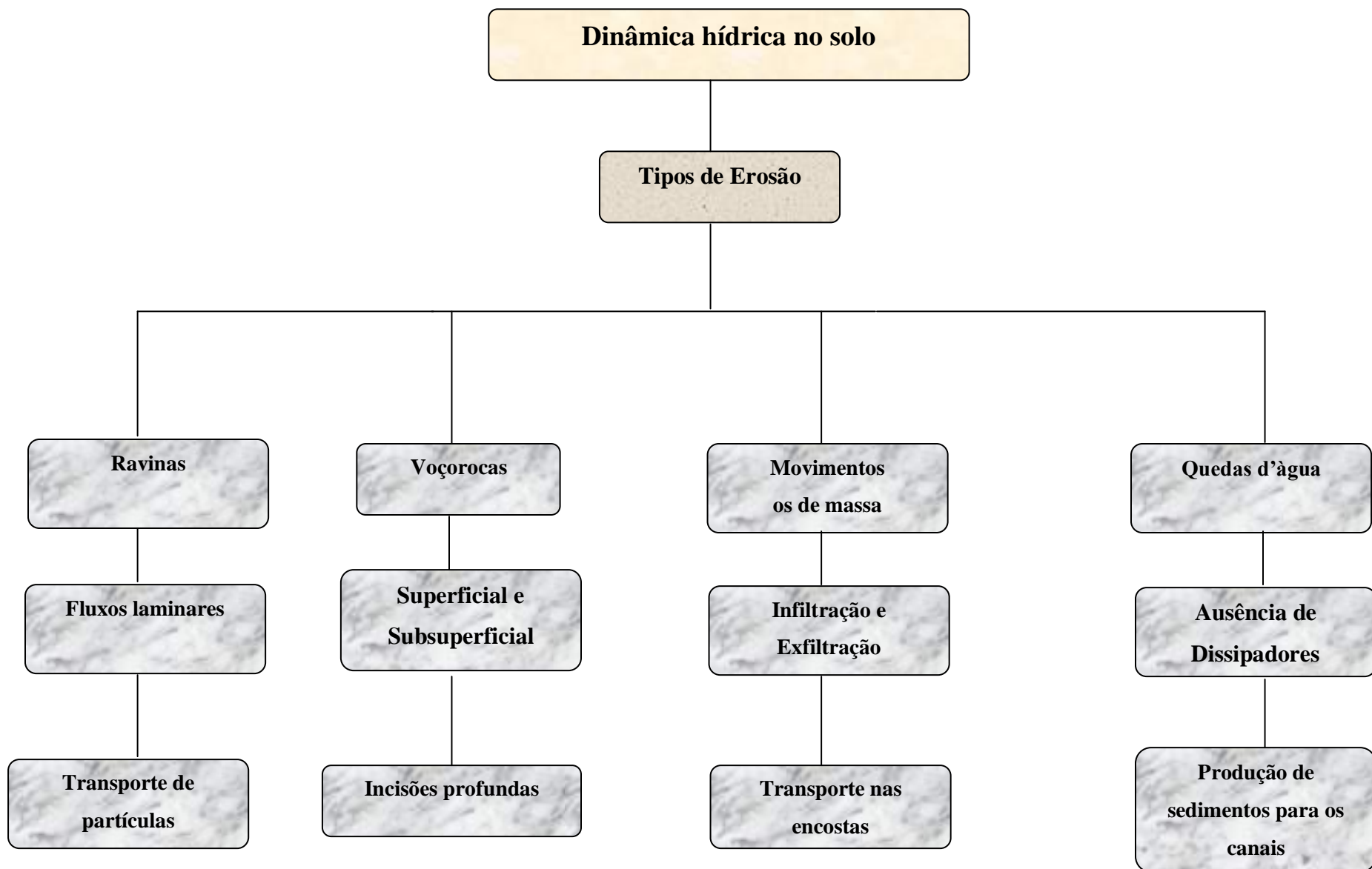
Figura 5.13: Medidas mitigadoras como a hidrossemeadura (*braquiária*) não apresentaram o resultado esperado. A geração de fluxos preferenciais ocorre entre os intervalos de espaçamento dos indivíduos, a distância obtida foi de 100 cm.

Foto: Vieira (2004).

Com base nos critérios e parâmetros que serviram para identificação do processo erosivo exposto este trabalho servirá de apoio à execução das obras de contenção dentro dos critérios exigidos na Legislação Ambiental, ou seja, redução de impactos no meio, controle e monitoramento de modificações ambientais e oferecimento de medidas mitigadoras.

Todos os pontos visitados para o reconhecimento e identificação de processos que possam deflagrar formas de erosão severa foram registrados e devidamente analisados (Ficha de Cadastro — Anexa). Em seguida, será apresentado um plano de reabilitação para áreas degradadas associando-se à previsão e ao controle de ambientes modificados por obras de engenharia e construção.

As observações de campo, realizadas nos meses de julho e agosto de 2004, permitiram a identificação dos fatores que controlavam a erosão na área de estudos. O Quadro V apresenta seguir destaca os principais mecanismos erosivos que foram verificados na área.

Quadro V: Esquema Representativo – Erosão Bacia do Rio Urucu

5.3. IDENTIFICAÇÃO E CADASTRO DOS PRINCIPAIS PONTOS DE EROSÃO

A identificação, classificação e o cadastro de processos erosivos constituem uma etapa de fundamental importância para a elaboração de projetos de contenção e recuperação de áreas degradadas. A propósito, Vieira e Albuquerque (2004) mencionam que a partir do cadastro é possível realizar estudos que possibilitem a identificação das causas e dos fatores controladores de feições erosivas. Nos cadastros, onde são organizados e registrados as dimensões de largura, comprimento, profundidade e volume de material erodido, é possível realizar o monitoramento da evolução do quadro erosivo e procurar medidas alternativas de controle e recuperação das áreas degradadas pela erosão e assoreamento.

Processos erosivos são detonados muitas vezes, por mecanismos hidrológicos que quando associados às características específicas do solo, do relevo, da vegetação e da atuação antrópica tais como abertura de estradas e pavimentação, desencadeiam formas de erosão intensa que, dependendo do grau de evolução, tornam-se bastante difíceis de conter.

Exemplos flagrantes de expansão de processos erosivos, que apresentam sérias dificuldades para a sua contenção, são as voçorocas. Quando estas incisões atingem o lençol freático, devem ser tomadas medidas de prevenção e controle cujos cuidados exigem atenção, experiência e monitoramento efetivo da situação. Desse modo, o principal objetivo da terceira parte deste trabalho é apresentar resultados obtidos a partir da verificação, avaliação e estudo do quadro erosivo existente na Base Geólogo Pedro de Moura situada no município de Coari (AM). Com base nestes estudos e fundamentando-se em referências sobre o tema, foram propostas medidas mitigadoras para a contenção do quadro de degradação e recuperação da mencionada área.

Todos os pontos inspecionados serão descritos com base nos levantamentos realizados de forma direta no campo, tomando-se como parâmetro a prioridade de recuperação da área atingida pela erosão. Neste sentido, foi estabelecido primeiramente o cadastro do local denominado Porto Hélio, onde a ocorrência de uma incisão erosiva do tipo voçoroca tem causado danos ao terreno, que necessitam de recuperação imediata. Este aspecto favoreceu a seleção deste ponto como prioridade para a aplicação de técnicas de contenção e controle de erosão em bacias hidrográficas

5.3.1. PORTO HÉLIO

Antes de iniciarmos a apresentação dos resultados obtidos neste local, reiteramos a necessidade de mencionar algumas informações sobre voçorocas. Sendo assim, é importante expor que voçorocas são feições erosivas cujas dimensões de largura e profundidade são variáveis de acordo com as especificações regionais, entretanto possuem paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante eventos chuvosos. Algumas vezes, as voçorocas se aprofundam tanto que chegam a atingir o lençol freático. Quando comparadas com os canais fluviais, as voçorocas possuem, geralmente, maior profundidade e menor largura. Elas estão associadas com processos de erosão acelerada e instabilidade da paisagem. O desmatamento e o uso agrícola da terra, o super pastoreio e as queimadas, quase sempre são responsáveis diretos pelo surgimento das voçorocas, associados com o tipo de chuva e às propriedades físicas do solo (GUERRA, 1994, p.184).

Guerra ainda menciona que existem várias classificações espalhadas pelo mundo quanto às dimensões das voçorocas, todavia o *Glossário de Ciência do Solo*, dos Estados Unidos, estipula que as voçorocas possuem mais de 0,5 m de largura e de profundidade, podendo chegar a mais de 30 m de comprimento.

Algumas voçorocas têm a sua origem na erosão causada pelo escoamento subsuperficial. Quando este fenômeno ocorre podemos dizer que a interação sinérgica entre os fluxos superficiais e subsuperficiais proporcionaram o escavamento da incisão. No local denominado Porto Hélio nota-se que a explicação da evolução deste processo erosivo pode ser atribuída à interação dos fluxos tanto superficial como subsuperficial. A existência de filetes de água no fundo da voçoroca indica que foi atingido o lençol freático. Vale destacar que medidas mitigadoras devem ser aplicadas para que seja evitada a reativação da rede de drenagem, ou seja, a voçoroca do Porto Hélio poderá posteriormente constituir um canal de primeira ordem na área drenada pela bacia do rio Urucu.

Como contribuição ao estudo das voçorocas e evolução da rede de drenagem Leão (2005) menciona o seguinte:

O desenvolvimento da rede de drenagem muitas vezes se dá pela propagação de canais erosivos nas cabeceiras de drenagem, através de uma evolução regressiva, que promove o recuo re-montante desses canais sobre vales não canalizados. Quando os mecanismos erosivos associados ao recuo re-montante dessa rede de

canais incisos envolvem fluxos de água subterrânea formam-se as voçorocas, que se constituem na extremidade desses canais (LEÃO, 2005, p. 01).

A situação descrita por este autor, na verdade, reflete um dos mais graves problemas de erosão, existente na bacia do rio Urucu, onde grande parte das incisões que foram identificadas e cadastradas está associada ao afloramento de filetes de água que ao se associarem a processos mecânicos como aprofundamento e desbarrancamento de paredes laterais, formam pequenos canais, proporcionando, posteriormente, a propagação da rede de drenagem local.

Para o entendimento desta questão é necessário compreender que as voçorocas podem ser ocasionadas pela interação sinérgica entre fluxos superficiais e subsuperficiais (OLIVEIRA e MEISS, 1985).

Outro aspecto que deve ser abordado é a interação sinérgica de fluxos superficiais e subsuperficiais, aspecto que tem deflagrado aumento de erosão no local denominado Porto Hélio¹. De acordo com Oliveira (1999), a interação de fluxos está associada aos mecanismos de poropressão. Para este autor, as poropressões podem reduzir as forças de coesão, podendo causar colapso de materiais friáveis ou pouco consolidados, facilitando assim a liquefação dos materiais inconsolidados. No caso da área do Porto Hélio, o material de origem da Formação Solimões apresenta elevada friabilidade por ser de origem sedimentar (Fig. 5.14). Esse processo se manifesta quando os materiais do solo estão saturados. Quando a saturação resulta de variações do nível do lençol freático, a liquefação pode ocorrer em ritmos sazonais, sendo estações úmidas mais propícias. No caso de zonas de saturação suspensa, a liquefação pode ocorrer durante chuvas que se estendam por um ou mais dias.

¹ O local denominado Porto Hélio encontra-se atualmente desativado para operações de carga e descarga. A área encontra-se alterada por incisões erosivas conhecidas como voçoroca (*gully*).



Figura 5.14: Voçoroca do Porto Hélio com fluxos no nível de base da incisão.
Foto: Vieira (2004).

5.3.2. ESTRADA DO RUC 37

Durante os reconhecimentos de campo realizados na estrada do RUC 37 foi detectado que o principal problema de impacto no solo se evidencia pela existência de uma feição erosiva classificada como voçoroca. As causas que explicam o seu aparecimento e desenvolvimento estão associadas aos serviços de terraplanagem, que foram realizados no local pela necessidade de construção da estrada de acesso aos dutos e poços. Esta feição erosiva se encontra instalada na parte mais elevada de um platô situado na lateral da estrada cuja declividade foi medida em 5° utilizando-se a bússola de Geólogo. As inclinações locais não são elevadas e permitem a interpretação de que as declividades não exercem controle sobre incisões erosivas neste local. A técnica de cortes de taludes, utilizada durante a implantação da estrada, leva a existência de erosões desta natureza.

Outra causa que pode estar associada ao desenvolvimento desta voçoroca é a retirada de todo o horizonte superficial do solo (*topsoil*), providenciando a exposição da Formação Solimões que, por ser de composição sedimentar, favorece o aparecimento de uma intensa rede de ravinas sobrepostas, responsáveis pela geração de fluxos concentrados que evoluem para voçorocas.

5.3.3. ESTRADA DO LUC

A qualidade da água é um tema que tem merecido atenção principalmente quando se torna evidente a escassez desse recurso e o impacto célere das atividades humanas sobre as águas superficiais e subterrâneas. A qualidade da água não é somente de interesse para sobrevivência humana, mas também é fator envolvido na manutenção dos ecossistemas aquáticos. Os sistemas fluviais, portanto, constituem algo que deve merecer uma atenção especial.

Durante as inspeções técnicas realizadas no LUC foi observado que grande parte dos canais hidrográficos foi recortado pelas estradas e, associado a este aspecto, encontram-se encostas desprovidas de qualquer cobertura vegetal. Os sedimentos oriundos das encostas, pelo escoamento superficial, contribuem significativamente para alteração das condições das águas dos igarapés. Neste sentido, verificou-se que os níveis de turbidez são evidências do aumento da carga em suspensão, a presença dos sedimentos em suspensão, em níveis alterados, poderá reduzir a luminosidade e a transparência dos rios, com implicações diretas sobre o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Havendo condições de deposição, o excesso de sedimentos finos modifica as condições da cobertura do leito alterando a dinâmica morfológica do canal.

Nesta área um fator que tem sido considerado como fundamental na contribuição de sedimento aos canais são as estradas. Este processo ocorre pelo fato de que em áreas ainda florestadas, como é o caso da Base Geólogo Pedro de Moura, as estradas interrompem mecanismos hidrológicos por meio de inúmeros cruzamentos e, funcionam como ponto de entrada de grande carga sedimentar.

5.3.4. CONTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DE ESTRADAS SOBRE CANAIS

As estradas, quando cortam os igarapés, são fontes potenciais de contribuição de sedimento para os rios. Dentre os fatores responsáveis por essa contribuição encontram-se a aplicação de técnicas de terraplanagem, cortes de taludes sem posterior cuidado de reposição de cobertura vegetal e compactação dos horizontes superficiais do solo, este último proporciona a redução de infiltração da água e a conseqüente geração de fluxo laminar. A conexão dos sistemas hidrográficos com as encostas sem proteção vegetal adequada compõe um sistema interativo responsável pela manutenção do fluxo de sedimentos.

Conforme as observações de campo, feitas no LUC, os mecanismos de transferência de sedimentos a partir das estradas puderam ser classificados em três tipos:

- (1) Erosão nas laterais e acostamentos da estrada;
- (2) Erosão de estradas que cruzam canais;
- (3) Erosão e rompimento de aterros nas margens dos canais.

Os dois primeiros estão relacionados à conexão hidrológica entre a estrada e o canal, sendo assim, há mecanismos de produção constante de sedimentos, em ritmos e intensidade que acompanham as precipitações locais. O terceiro mecanismo de contribuição sedimentar das estradas é associado o rompimento de aterros. A passagem de estradas sobre pequenos canais hidrográficos é feita com canalização do fluxo por meio de manilhas e o preenchimento lateral do conduto com terra. O subdimensionamento, ou ainda, a disposição inadequada desses condutos, leva à sua falência, por ocasião de grandes eventos de precipitação (Fig. 5.15). Vazões que excedem capacidade dos condutos e o acúmulo constante de detritos vegetais, em função de ângulos pequenos entre o alinhamento do canal montante e orientação das manilhas, represam água e favorecem ao rompimento dos aterros (Fig. 5.16).

O reconhecimento da dimensão dos condutos (diâmetro) é fundamental nas análises, pois o subdimensionamento é o principal responsável pela obstrução com detritos e/ou rompimento de aterros, como já foi mencionado anteriormente.

Os fatores de verificação desses problemas incluem:

- a) posição da estrada na encosta
- b) declividade da estrada
- c) tipo de solo, relacionando com litologia de aspecto sedimentar
- d) declividade da encosta
- e) tipo de vegetação

O aumento das áreas impermeabilizadas por construções e pavimentos faz com que aumente, não só o volume, mas também a velocidade do fluxo. Estes que antes se encontravam dissipados, tendem a se concentrar, o que conseqüentemente catalisa os processos de desenvolvimento das voçorocas.

As pontes ou galerias permitem a passagem livre do fluxo, enquanto as manilhas, geralmente provocam comprometimento do canal hidrográfico. Entretanto, quando a necessidade de construir estradas envolve rapidez e contenção de custos a utilização de manilhas tem sido a proposta de adequar soluções imediatas.



Figura 5.15: Observar a falência deste tipo de obra para a canalização de fluxos em estradas. A quantidade de sedimentos que se distribui nas encostas próximas às estradas e às margens dos canais exerce sobrecarga rompendo as caixas de sustentação das manilhas. As lonas sobrepostas no topo auxiliam a retenção de sedimentos nos períodos de concentração pluvial.

Foto: Aguiar (2006).



Figura 5.16: A sobreposição de lonas auxilia apenas a retenção de fluxos no topo. Todavia, as concentrações de fluxos na lateral da estrada extravasam a dimensão das canaletas, ocasionando a entrada de água nas faixas próximas às margens.

Foto: Vieira (2005)

Para minimizar os impactos derivados de obras desta natureza, deve-se indicar como alternativa a realização simultânea de medidas de contenção, ou seja, à medida que a obra estiver sendo executada, práticas de contenção como a construção de taludes e canaletas de terra para desvio de fluxos, devem ser priorizadas como tentativa de evitar consequências associadas à evolução do processo erosivo.

Recomendações como esta necessitam, e, de certa forma envolvem modos graduais e lentos de reformulação das técnicas atuais de engenharia e construção.

5.3.5. PORTO EVANDRO

No local denominado Porto Evandro a extração de areia do leito do rio e posterior deposição nas margens está ocasionando aumento de turbidez no canal. A quantidade de areia que está sendo depositada nas margens poderá comprometer a dinâmica hidrológica do canal.

5.3.6. ESTRADA DO RUC 29

Na área do RUC 29 nota-se que novas voçorocas podem surgir, proporcionando o aparecimento dos dutos que estavam enterrados. O quadro erosivo tende a evoluir fato evidenciado devido à existência de incisões de 0,48 cm a 1,00 m de profundidade, todavia as dimensões de largura não ultrapassam a média de 0,50 cm.

A capacidade de escoamento das manilhas posicionadas nos cursos fluviais que cortam a estrada está comprometida em 70%, proporcionando assim a redução de fluxo e capacidade de transporte no canal. O material de empréstimo que recobriu os dutos apresenta-se friável e sofre erosão de forma rápida, necessitando ser recomposto.

5.3.7. ESTRADA DO SUC

A necessidade de realizar obras que facilitem as condições de acesso aos dutos proporcionaram a concentração de fluxos nos taludes situados na lateral da estrada (Figura 5.17).



Figura 5.17: Incisão localizada na parte superior do talude.
Foto: Aguiar (2004)

A concentração de fluxos superficiais ocasionou o aparecimento desta feição erosiva, as larguras obtidas no topo variaram de 0,50 a 1,20m entre a área de montante à jusante. No nível de base estas dimensões não ultrapassaram a ordem de variações entre 0,70 e 1,00m aspecto que configura formato em V, típico de erosões classificadas como ravinas. Nas inspeções de campo foi constatada a inexistência de fluxos ou filetes subsuperficiais. Outro fator que exerce influência sobre as condições de erodibilidade acentuada é a exposição de sedimentos pertencentes à Formação Solimões, que por sua vez apresentam-se extremamente friáveis.

CAPÍTULO VI: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

6.1. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Segundo Salvador *et al.* (2002), a pesquisa em recuperação de áreas degradadas no Brasil tem alcançado estágios de desenvolvimento que foram impulsionados pela implantação de legislação estabelecida e criada para este fim. Estes autores mencionam ainda que atividades ligadas aos estudos ambientais proporcionaram a criação de programas específicos nas Universidades e Instituições que direcionam seus trabalhos para a melhoria das qualidades ambientais. Desse modo, percebe-se um avanço gradativo iniciado em período recente e impulsionado pela demanda no ensino, pesquisa e extensão sobre áreas degradadas. Atualmente, dentre outros desafios, as Universidades procuram tornar viável a coexistência de ecossistemas locais e explorações econômicas sem prejuízos mútuos. Dentro deste contexto, a presente tese procura apresentar um plano de reabilitação da área de estudos por meio da ação conjunta da Universidade Federal do Amazonas e Petrobras.

A área de estudos deste projeto, ou seja, a Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, situada na bacia do rio Urucu (AM), comporta a segunda reserva de gás do país, como foi citado anteriormente. A extração deste tipo de recurso submete à bacia a instalação de processos erosivos. Se por um lado a forma de extração do gás a torna suscetível à erosão, por outro é pertinente ressaltar que no processo extrativo, a restauração completa da área é praticamente impossível de acontecer, pois restaurar implica, segundo Kopenski (2000), na reprodução exata das condições do local antes da alteração sofrida. Este mesmo autor menciona também que a *reabilitação* parece ser a proposta mais próxima da realidade, estando por sua vez ligada ao uso e ocupação do solo, ou seja, uma reutilização do local minerado como área de lazer, residencial, comercial, industrial, entre outros. Já a *recuperação*, por sua vez, implica em colocar no local alterado, condições ambientais as mais próximas possíveis das condições anteriores.

6.2. PLANOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS — PRAD

As atividades extrativas minerais têm buscado formas de aperfeiçoar técnicas e cumprir a legislação ambiental, principalmente nas três últimas décadas. Quando a mineração é realizada sem as técnicas adequadas e sem controle e monitoramento das alterações ambientais gera-se um

quadro de degradação, cuja reabilitação se torna onerosa. A atividade mineral requer, para seu êxito, cuidadoso planejamento a partir do conhecimento efetivo da situação, a adoção de tecnologia evoluída e aplicável ao caso específico por uma equipe qualificada e o restabelecimento das condições anteriores encontradas ou recomendadas (SALVADOR *et al.* 2000; LOCH, 2004; GEISSLER *et al.*, 2006).

A mineração, seja a céu aberto, ou subterrânea, modifica o terreno, todavia o ambiente degradado pode ser reestruturado de forma aceitável, limitando-se o impacto ambiental negativo a um curto período de tempo, desde que sejam realizadas ações de recuperação de modo simultâneo à extração. Neste sentido, a reestruturação é um dos critérios que deve ser obedecido a partir do processo de planejamento e durante a exploração da jazida, até um período após o término da atividade mineira no local. A preocupação com este critério leva a formulação de programas de recuperação (KAGEIAMA e GANDARA, 2001).

A implantação de um programa de recuperação de uma área tem como objetivo minimizar ou eliminar os efeitos adversos decorrentes das intervenções e alterações ambientais inerentes ao processo construtivo e à operação do empreendimento. Para um projeto de recuperação como este seria necessário avaliar alguns tópicos, como os que se seguem, sobre as regiões em que estão localizadas as áreas a reabilitar:

- Seleção, mensuração e definição do tipo de uso futuro das áreas;
- Análise da vegetação ocorrente na região de localização;
- Análise da topografia;
- Análises físico-químicas do solo;
- Atividades de reconformação de terrenos;
- Atividades de preparo e correção do solo para plantio;
- Seleção de espécies vegetais a serem introduzidas.
- Aquisição/produção de mudas
- Atividades de plantio
- Atividades de manutenção dos plantios.

6.3. ASPECTOS LEGAIS DO PRAD

O artigo 225 da Constituição, que trata do Meio Ambiente, incumbe ao poder público “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. Determina também que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Com relação às sanções penais, a Constituição Federal estabelece que “as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar o dano”.

A promulgação da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, determinou a passagem das questões relacionadas a danos ambientais do âmbito administrativo para o âmbito criminal. Essa lei, também conhecida como Lei de Crimes Ambientais, especifica as condições nas quais danos ambientais serão considerados e tratados como crime, com penas de indenização e de reclusão. Determina, também, a co-autoria dos crimes ambientais, definida para todos aqueles que, de alguma forma, atuaram na ação que determinou o dano, no caso de empresas, desde o operário comum até o presidente do conselho administrativo, além das autoridades públicas que tenham, comprovadamente, negligenciado o fato.

Deve ser citada, ainda, a Lei nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente), que adota o critério da responsabilidade objetiva em seu artigo 14, pelo qual “o poluidor é obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade”. Nesta teoria da responsabilidade objetiva não se cogita o elemento de culpa. O empreendedor que, ao criar e operacionalizar a sua atividade, cria riscos para terceiros, fica obrigado a reparar qualquer dano àquele causado, ainda que a sua atividade e a sua atitude estejam isentas de culpa.

De acordo com o DNPM (2002), em decorrência dos dispositivos constitucionais, o exercício da atividade mineradora no País está condicionado a três instrumentos específicos de controle do Poder Público, no que tange aos riscos potenciais de danos ao meio ambiente, resultantes da lavra: o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA), o Licenciamento Ambiental (LA) e o Plano de Recuperação de Arca Degradada (PRAD). (DNPM, 2002).

De acordo com o Decreto nº 97.632/89, os empreendimentos de mineração estão obrigados, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental, a submeter o Plano de Recuperação de Área Degradada (**PRAD**) à aprovação do órgão estadual de meio ambiente competente. Este plano contempla a solução técnica adequada, visualizada pela empresa de mineração, à reabilitação do solo degradado resultante da atividade de extração, para uso futuro.

O PRAD aprovado pode ser revisto ou alterado posteriormente, com a concordância do órgão ambiental competente, com vistas a incorporar inovações tecnológicas ou alternativas mais adequadas em razão do desenvolvimento dos trabalhos de lavra.

6.4. LEGISLAÇÃO

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274/90, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Em seu Art. 4.º afirma que a Política Nacional do Meio Ambiente visará:

VII — (...) a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

O Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que dispõe sobre a regulamentação do artigo 2.º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, determina o seguinte:

Art. 1º— Os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada.

Em seu Art. 2.º, o mesmo decreto define o conceito de degradação:

(...) são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

Por fim, em seu Art. 3.º, o decreto estabelece a finalidade dos PRAD:

A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente. Na prática, este e outros instrumentos, também formulados legalmente (Plano de Controle Ambiental — PCA e Relatório de Controle Ambiental — RCA) têm sido muito mais aplicados no setor de extração mineral. Vale ressaltar que PCA e RCA são específicos para a extração mineral (Resolução CONAMA nº 09 e Resolução CONAMA nº 10, respectivamente, ambas de seis de dezembro de 1990). Neste sentido, os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas são considerados como instrumentos de suma importância no que concerne às propostas de gestão ambiental para outros tipos de atividades antrópicas, sobretudo aquelas que envolvem desmatamentos, terraplenagem, exploração de jazidas de empréstimos e bota-foras. Com referências a estes itens, os levantamentos de passivo ambiental podem ser os instrumentos que antecedem um PRAD. Um EIA também pode demandar um PRAD na qualidade de medida mitigadora. O mesmo é válido para um plano de zoneamento ambiental e para um sistema de gestão ambiental. Em qualquer um dos casos, os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), são muito mais voltados para aspectos do solo e, da vegetação, fato que não os impede de contemplar também, direta e indiretamente, a reabilitação ambiental da água, do ar, da fauna e do ser humano. De acordo com relatório da EMBRAPA (2002), o desenvolvimento de um PRAD, basicamente, requer as seguintes atividades:

- Inspeção ambiental da área a ser reabilitada;
- Documentação fotográfica dos itens de passivo identificados;
- Identificação dos processos de transformação ambiental que deram origem aos itens de passivo identificados;
- Caracterização ambiental dos itens de passivo e de seus processos causadores;
- Hierarquização dos itens de passivo, em termos de sua representatividade, assim como de seus processos causadores;
- Estabelecimento de medidas corretivas e preventivas para cumprir com as necessidades de reabilitação ambiental da área;
- Orçamento das medidas;
- Da mesma forma que a maioria absoluta dos estudos e serviços ambientais, embora em menor escala, os PRAD costumam demandar equipes multidisciplinares.

Expostas e verificadas de forma breve estas considerações sobre aspectos legais do PRAD, foi realizado o levantamento e diagnóstico do ponto ou local a ser recuperado e em seguida viabilizada a proposta de recuperação da área atingida. Seguindo-se em cada uma das etapas o planejamento prévio de todas as fases a serem trabalhadas.

CAPÍTULO VII: RESULTADOS

7.1. DIAGNÓSTICO DA ÁREA-PROBLEMA E O PLANEJAMENTO DAS ETAPAS DE RECUPERAÇÃO

7.1.1. PORTO HÉLIO

A incisão erosiva do Porto Hélio foi identificada e classificada como uma voçoroca. Dentre as causas que condicionaram o aparecimento desta modalidade erosiva, podem ser enunciados fatores como a geração de fluxos superficiais associados à compactação do solo, uma vez que a referida área já foi utilizada como um porto e posteriormente abandonada; desmatamentos e aparecimento de fluxos de subsuperfície são outros fatores que desencadeiam o aparecimento da incisão.

As etapas de recuperação para a área do Porto Hélio envolveram as seguintes fases:

A) PLANEJAMENTO – Esta é uma etapa que antecede a aplicação das técnicas de recuperação, por isso deve ser considerada como essencial antes da tomada de decisão.

Durante o planejamento foi elaborado o projeto de contenção e recuperação (Figura 7.1) e realizada a investigação da área problema, descrevendo-se de modo pormenorizado, as condições ambientais do local, antes de se iniciarem as atividades. O planejamento constituiu desse modo uma base para a determinação das metas a serem atingidas, por meio da aplicação das técnicas de recuperação previstas e realizadas de acordo com o Quadro VI — Cronograma de Atividades.

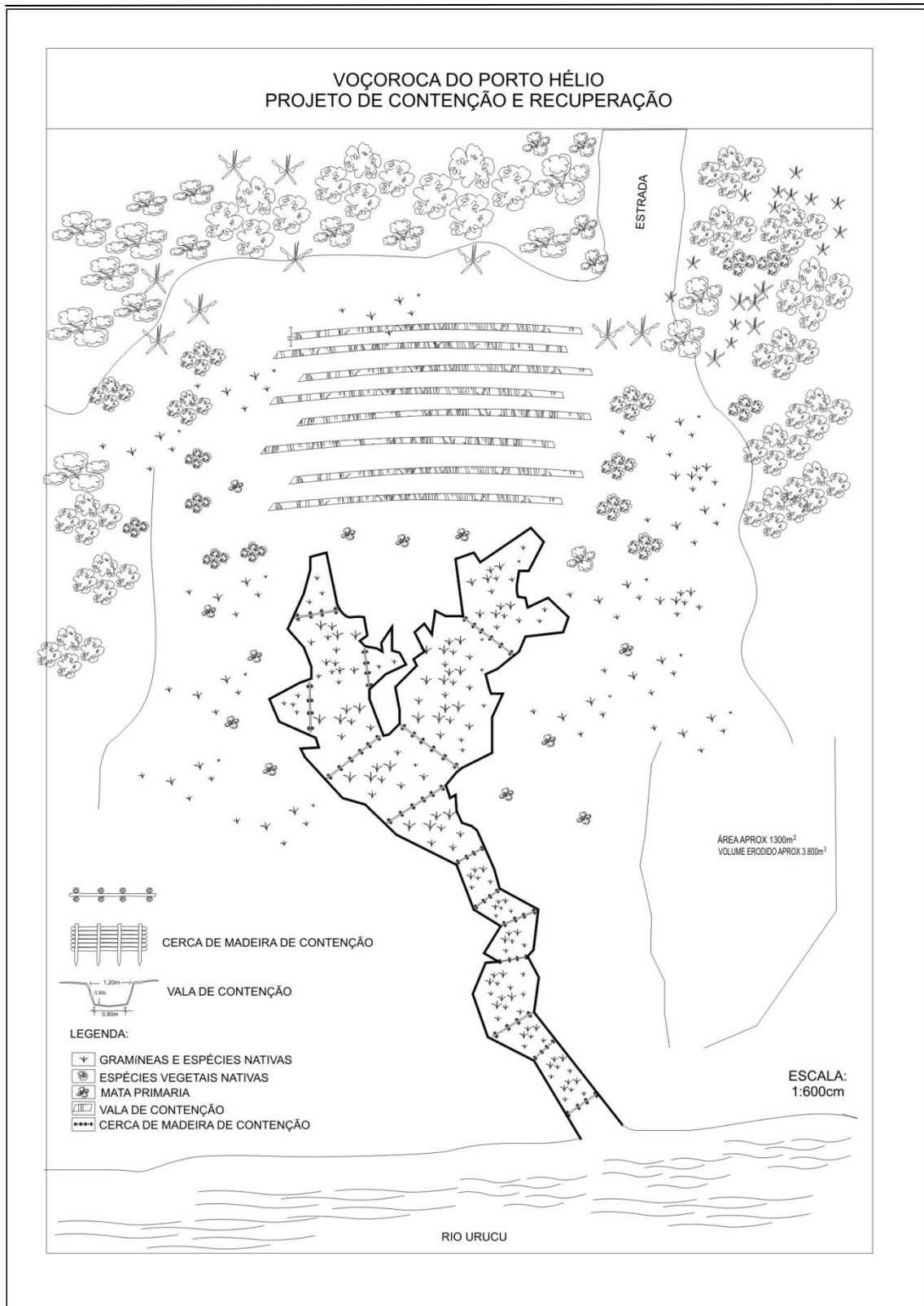


Figura 7.1: Projeto de contenção das voçorocas do Porto Hélio.

Nesta fase tornar-se necessário reunir grupos de especialistas de diferentes áreas procurando definir qual a melhor e mais adequada técnica de recuperação a ser empregada. No caso do Porto Hélio, ficou estabelecida a necessidade de aplicação de técnicas mecânicas, edáficas e vegetativas conforme apresentação a seguir:

Quadro VI: Cronograma de atividades para contenção do processo erosivo no Porto Hélio

Tipo de Atividade	Mês – Setembro 2005	Mão de obra e Máquinas utilizadas
	Dias	
Abertura de canaletas	16, 17 (2 dias)	Mão de obra – 3 homens e utilização da retroescavadeira.
Plantio de mudas na área de contribuição da voçoroca	22, 23, 34 (3 dias)	Mão de Obra – 3 homens. Utilização de 1 caçamba de 7m ³ para transporte de adubo do viveiro ao Porto Hélio.
Recolhimento das toras p/ construção das barragens	22,23,24 (3 dias)	Utilização de 1 caminhão. Mão de obra de 4 homens, 1(uma) moto serra; terçados. <i>Devem ser recolhidas e cortadas somente árvores já derrubadas.</i>
Construção de barragens	25; 26; 27 (3 dias)	Utilização da mão de obra de 5 homens
Plantio de mudas no interior da voçoroca (talude e fundo)	28 (1 dia)	Utilização da mão de obra de 5 homens e máquina de abertura de covas.
Preparo da área para hidrossemeadura	29; 30 (2 dias)	Utilização da mão de obra de 5 homens.

Fonte: Albuquerque (2005).

B) SELEÇÃO DAS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO

A partir das considerações expostas anteriormente, realizaram-se os exames morfológicos de perfis acompanhados de análise textural dos solos locais visando o conhecimento dos aspectos que controlavam a suscetibilidade do terreno à erosão.

Em parte, o processo erosivo que se estabeleceu no Porto Hélio está condicionado pelo trabalho de terraplenagem, realizado durante a construção de uma rampa utilizada para a ancoragem de balsas de carga e descarga. Os níveis de compactação ao proporcionarem a impermeabilização dos horizontes superficiais do solo possibilitaram a geração de fluxos superficiais (*runoff*).

Por se caracterizar como área de transição entre terraço e partes mais baixas do relevo, os fluxos se concentraram em direção às margens do rio Urucu, iniciando o processo erosivo definido por meio de entalhamento, ou incisão de cabeceiras de drenagem. Estas incisões foram atingidas tanto por fluxos superficiais como subsuperficiais, estes últimos, derivados das oscilações do nível freático, pela proximidade do canal hidrográfico. Esta interação de fluxos determinou, assim, o recuo das cabeceiras da voçoroca.

O material de origem dos solos deve ser considerado como um fator controle de formação do voçorocamento, por apresentar elevada friabilidade, por causa da composição arenosa, evidenciada em exame morfológico de campo em profundidades de 1.90 m (Figura 7.2).

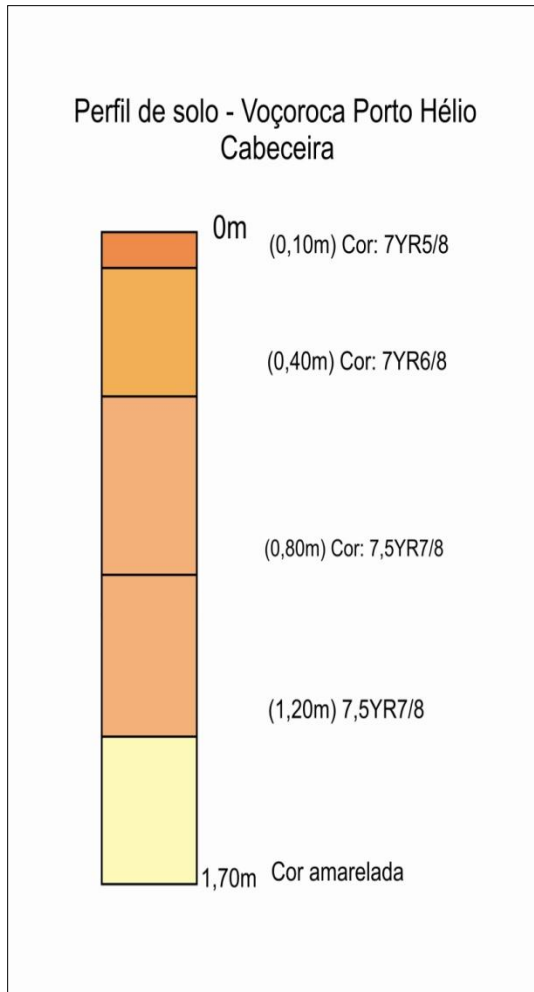
A composição textural dos solos locais acentua a sua vulnerabilidade à erosão, conforme interpretação dos resultados contidos nas análises da Tabela 1. De acordo com estes resultados, os valores de areia e silte sempre apresentaram taxas superiores a 50%, enquanto as argilas mantiveram valores menores, 25.5% aspecto observado durante o conhecimento e análise de dois perfis na voçoroca.



Figura 7.2: Perfil situado nas áreas de cabeceira da voçoroca do Porto Hélio.
Foto: Vieira (2005).

Durante o exame morfológico realizado nas paredes internas da voçoroca, ficou evidente a existência de horizontes arenosos que se tornaram expostos ao longo do perfil, situado próximo às margens do rio Urucu. As tonalidades mais escuras evoluíram para tons mais claros, auxiliando a interpretação de que os teores de areia se acentuavam, de acordo com a profundidade aspecto que deve ser levado em conta considerando-se a geomorfologia do local. A elevada friabilidade deste material proporciona o desmoronamento das camadas superiores, que foram terraplenadas para a construção do porto. As tonalidades mais claras variam do topo até a profundidade de 1.70 m e 1.90. (Fig.7.3)

Perfil 1 - Porto Hélio



Perfil 2 – Porto Hélio

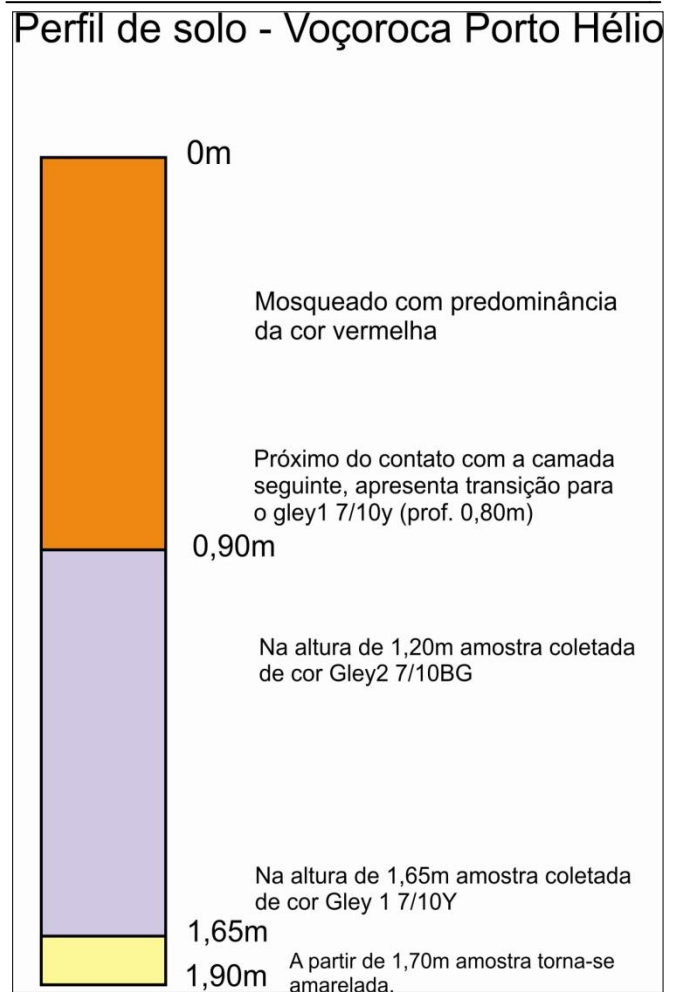


Figura 7.3: Tonalidades expostas em perfil na área do Porto Hélio
Fonte: Trabalhos de inspeções de campo no Porto Hélio (2006).

TABELA I: RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS DE SOLO - PERFIS 1 E 2 – VOÇOROCA PORTO HÉLIO

Amostra	rof (m)	D.Aparente g/cm ³	D.Real g/cm ³	Porosidade Total %	GRANULOMETRIA		
					ARGILA	SILTE	AREIA
Perfil 1				%.....		
1.1	,10	1,2	2,5	52,0	25,5	23,45	51,05
1.2	,40	1,3	2,7	51,8	8	16,55	75,45
1.3	,80	1,4	2,6	46,1	8	7,05	84,95
1.4	,40	1,4	2,7	48,1	8	8,8	83,2
Perfil 2 -	,10	1,4	2,6	46,1	15,5	28,65	55,8
2.1	,40	1,2	2,5	52,0	35,5	56,05	8,45
2.2	,80	1,2	2,5	52,0	35,5	58,9	5,6
2.3	,20	1,4	2,6	46,1	10,5	38,6	50,9
2.4	,65	1,5	2,7	44,4	3	4,8	92,2
2.5	,70	1,5	2,7	44,4	3	11,8	85,2

Os resultados obtidos na tabela acima possibilitaram a seguinte interpretação: Os solos que têm menor porosidade são os solos arenosos, como suas partículas são predominantemente grandes a tendência destas é providenciar um arranjo espacial em forma de pirâmide, fato que caracteriza a porosidade do tipo não capilar, onde os espaços intersticiais são relativamente maiores constituindo os macroporos. Com referência a este assunto, Kiehl (1979) afirma que raras vezes se encontram solos de textura grosseira com porosidade total inferior a 30% ou solos de textura fina com volume de poros superior a 60%.

As interpretações das amostras coletadas na área do Porto Hélio indicam valores variáveis de 44.4 a 52.0% apontando para porosidades classificadas predominantemente no intervalo correspondente às texturas do tipo média e grosseira. De 10 amostras analisadas, somente duas, apresentaram classificações finas a profundidades de 0.40 e 0.80 cm respectivamente no segundo ponto coletado (ver 2.1 e 2.2). Neste item, a porosidade estabeleceu um valor uniforme de 51%.

No restante das amostras todas as classificações obtidas, foram do tipo grosseira com níveis elevados de areia, que variaram de 55.8 a 92.2 %. Em todos os casos as amostras não apresentaram porosidade inferior a 30% e também não ultrapassaram o percentual de 60% proposto para grupos de solos de textura fina.

Além da importância da densidade e da porosidade, a granulometria é outro fator que exerce influência direta nas condições de erodibilidade, pois indica a capacidade de remoção (*detachment*) dos sedimentos, de forma mais rápida ou mais lenta, durante a ação erosiva. Com relação ao tema, Guerra (1996), citando Poesen (1981), menciona que este autor destaca a influência significativa das areias na remoção de sedimentos e sua correlação positiva com índices de erodibilidade. As argilas, ao contrário das areias, dificultam a infiltração da água, todavia, por possuírem ação cimentante, são mais difíceis de serem removidas, uma vez que atuam na formação dos agregados.

Com relação aos valores de densidade real, as classes de intervalos de 2.6 a 2.7 g/cm³ correspondem às massas específicas reais de alguns componentes minerais do solo identificados como caulinita, biotita e esmectita.

As densidades aparentes denotaram valores de 1.2 a 1.5 g/cm³, caracterizando níveis de compactação bastante elevados, fato que também corresponde às observações e levantamentos realizados durante os reconhecimentos de campo mediante as obras realizadas na localidade.

Conclui-se que solos tipicamente arenosos foram encontrados no Porto Hélio, tendo em vista, é óbvio, a proximidade do principal canal hidrográfico da bacia do rio Urucu. Este aspecto é pertinente e expressa o sistema ambiental típico de áreas próximas aos cursos fluviais, por meio de trocas interativas realizadas entre os tipos de solos e curso d'água ali presente. Entretanto, as alterações neste sistema, derivadas da implantação de atividades humanas para a construção de um porto, possibilitaram a deflagração de processos erosivos de difícil controle. A princípio, a exposição das camadas superficiais pelas técnicas mecânicas de terraplenagem e o conseqüente recobrimento por material de empréstimo, obras de extrema necessidade para a construção do Porto, causaram o impedimento da passagem da água para os horizontes subjacentes, graças à compactação que a superfície do solo (*topsoil*) foi submetida proporcionando assim a geração de escoamento superficial do tipo *runoff*.

À medida que estes fluxos se concentravam, influenciados pela inclinação da estrada de acesso ao Porto, surgiram mecanismos interativos dos fluxos de superfície e de subsuperfície,

causando desmoronamentos e solapamentos nos níveis de base, fato que proporcionou o aparecimento de incisões erosivas conhecidas como voçorocas, que posteriormente evoluíram estabelecendo conexões com o canal hidrográfico.

Apresenta-se, assim, o quadro de degradação ambiental do Porto Hélio instalado por uma forma de erosão classificada como erosão antrópica, em consequência das atividades de terraplenagem que detonaram o aparecimento de feições erosivas severas.

A voçoroca do Porto Hélio está conectada à rede de drenagem local pela margem direita do rio Urucu. O setor situado a jusante da incisão sofre oscilações referentes à sazonalidade do regime das cheias e vazantes existente na bacia do rio Urucu. Este aspecto foi diagnosticado durante as visitas de campo no mês de fevereiro de 2006, quando o canal estava cheio e no mês de junho de 2006 durante a seca, ou seja, a antiga voçoroca do Porto Hélio, transformou-se em um pequeno canal de primeira ordem que pode evoluir para uma sub-bacia, por causa da influência direta do nível de águas do rio Urucu (Figura 7.4).



Figura 7.4: Neste trecho a jusante da voçoroca está conectada ao Rio Urucu. Durante as cheias este setor recebe influência direta do leito maior.

Foto: Aguiar (2004).

A jusante da voçoroca é constituída por antigos terraços fluviais, recobertos pelo material de empréstimo transportado para a área com o objetivo de compor superfícies terraplenadas onde funcionou a plataforma de operação do Porto Hélio, hoje desativada. Esta informação é

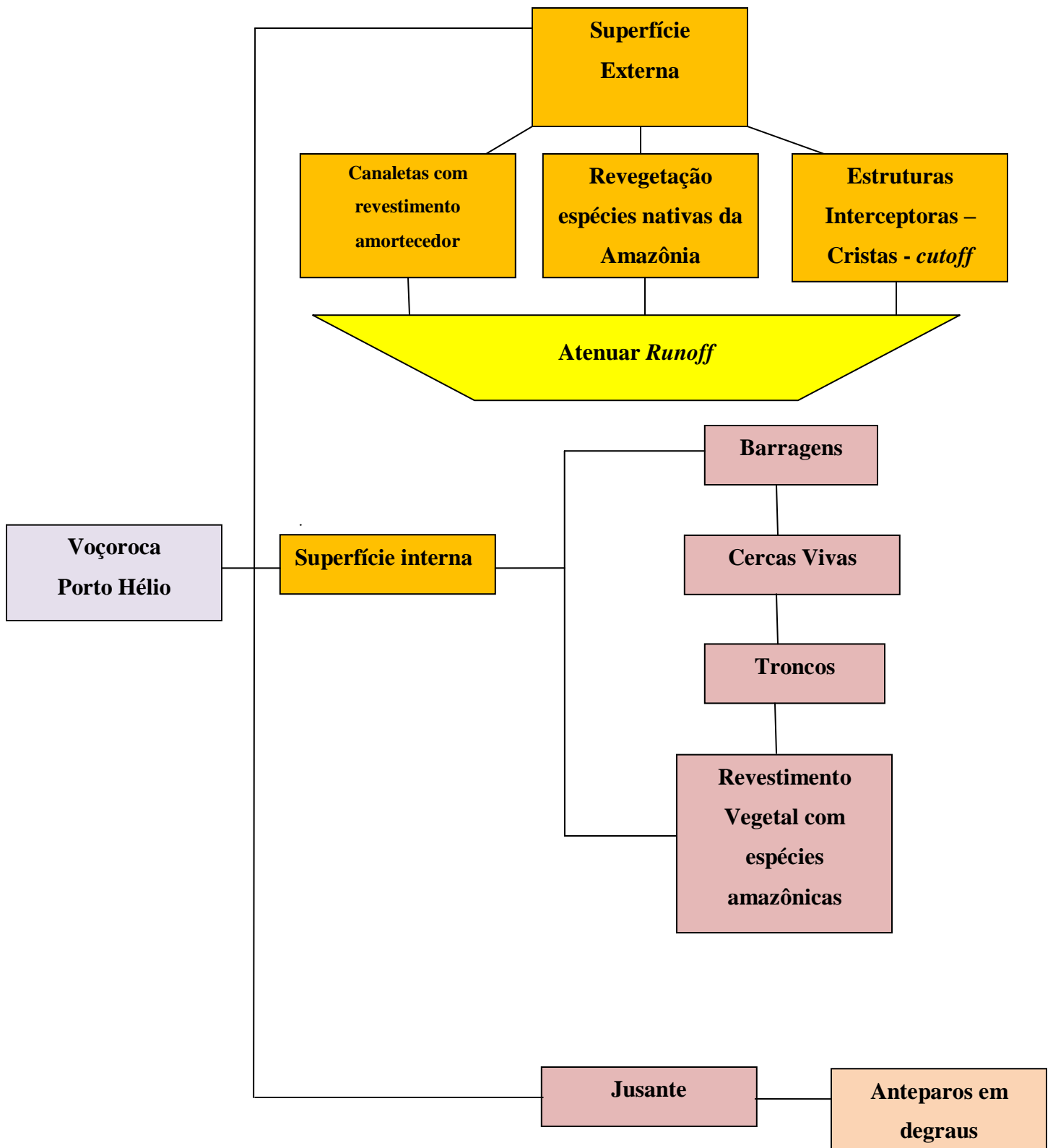
comprovada à medida que análises morfológicas evidenciaram o perfil de um gleissolo, bastante mosqueado situado a 0,90 m de profundidade (Fig. 7.3. Perfil representativo n° 2).

A proposta de implantação das referidas práticas tem como principais objetivos:

- Proporcionar a interrupção de fluxos para o interior da voçoroca
- Garantir a infiltração e reduzir escoamento das águas pluviais
- Recompor a cobertura vegetal

Considerando todos estes aspectos para o conhecimento dos fatores controladores da erosão, foram adotadas para mitigar o processo erosivo que se estabeleceu no local as seguintes práticas de contenção: recomposição de cobertura vegetal associada às técnicas edáficas de preparo do solo e práticas de caráter mecânico. Neste ponto, deve ser ressaltado que em todas as medidas de contenção e reabilitação da área, não foi utilizado nenhum tipo de material de difícil absorção pelo ambiente degradado, ou seja, para a contenção das incisões erosivas tanto na parte interna como externa da voçoroca, não foram utilizados materiais como concreto, plástico ou ferro (V. Fluxograma – Etapas de Recuperação da Voçoroca do Porto Hélio).

Fluxograma das etapas de recuperação da voçoroca do Porto Hélio



7.1.2. PRÁTICAS DE CARÁTER VEGETATIVO

Para Monegat (1992), nas técnicas de caráter vegetativo utiliza-se a cobertura vegetal como ponto de partida para atingir os seguintes objetivos:

- Proteger o solo de chuvas muito intensas;
- Manter a taxa de infiltração;
- Manter e ou aumentar o teor de matéria orgânica;
- Aumentar a retenção de água;
- Atenuar oscilações térmicas;
- Promover o preparo biológico do solo com ciclagem de nutrientes e fixação de nitrogênio.

As espécies devem ser selecionadas com base nas características florísticas de formações florestais remanescentes dentro da própria microbacia e também de outras microbacias, mas com características ambientais semelhantes às daquelas da área a ser revegetada. Com base neste critério e considerando que a cobertura vegetal deve, de acordo com Silva e Junior Dall'Orto (1992) envolver além desses, outros aspectos como os que estão mencionados abaixo:

- Compatibilidade de clima e solo com a vegetação prevista, visando atingir a estabilidade;
- Disponibilidade de sementes ou mudas em viveiros próximos da área;
- Orientações para a seleção de espécies recomendáveis devem ser obtidas em fonte máxima de conhecimento como órgãos de pesquisa, especialistas, empresas ou indivíduos com experiência;
- Os métodos utilizados para realizar o plantio da vegetação prevista tais como: regeneração natural, semeadura direta, plantio manual ou mecanizado, tamanho e idade das mudas e disposição espacial das espécies no campo.

Diante do entendimento dessas considerações que envolvem técnicas de manejo e recuperação de áreas degradadas, foi providenciado para a estabilização do processo erosivo do Porto Hélio:

7.1.3 REVESTIMENTO VEGETAL

Durante a fase de revestimento vegetal a escolha de espécies para a utilização e recomendação em recuperação de áreas degradadas, além de considerar a ocorrência natural das plantas, considerou ainda os seguintes aspectos:

- 1) Característica quanto à exigência de luminosidade (heliófita);
- 2) Características quanto à exigência de umidade (xerófita e higrófita);
- 3) Adaptação a solos empobrecidos;
- 4) Plantas com sistema radicular vasto, capazes de conter erosão;
- 5) Plantas com frutos comestíveis (bagueiras).

Desse modo, 3.000 mudas de espécies nativas da Amazônia², identificadas e apresentadas nas fichas de descrição dos vegetais foram plantadas nos setores correspondentes à área de contribuição e superfícies internas e externas da voçoroca.

O plantio destes vegetais teve como princípio básico a necessidade dos mesmos exercerem o papel de plantas de cobertura, obedecendo-se o espaçamento estabelecido de 2,00 m de distância uma da outra para as espécies mais afastadas da borda e espaçamento de 1,50 m para aquelas espécies que foram colocadas próximas da borda, sempre em forma de triângulo, e mantendo-se a distância entre os indivíduos em covas de 0.40 x 0.50 m (Figura 7.4). O espaçamento foi adaptado com base na metodologia desenvolvida por Veríssimo e Vacarcel (1992) para revegetação de áreas degradadas.

Durante a fase de abertura das covas, devido à elevada compactação do solo, evidenciada pela geração de fluxos laminares e concentrados, houve a necessidade de utilização de ferramentas, do tipo sondas, pela resistência deste às perfurações (Figura 7.5).

Todos os vegetais são perenes e a princípio, não apresentam alterações de cobertura ou comportamento caducifólio, que possa ser associado às mudanças climáticas ou sazonalidade. Acredita-se que poderão permitir a infiltração das águas de modo gradual e, ao mesmo tempo, a retenção das partículas de solo parcialmente erodidas onde conseqüentemente ocorrerá a redução de fluxos laminares (Figura 7.6).

A técnica de revegetação utilizada no Porto Hélio foi o Sistema Plantio Direto (SPD). Santos *et al.* (2004) mencionam que esta técnica surgiu primeiramente com o objetivo de combater a erosão resultante do escoamento superficial das águas de chuva e, conseqüentemente, auxiliar na preservação do meio ambiente.

² As espécies foram obtidas no viveiro de mudas da Base de Operações

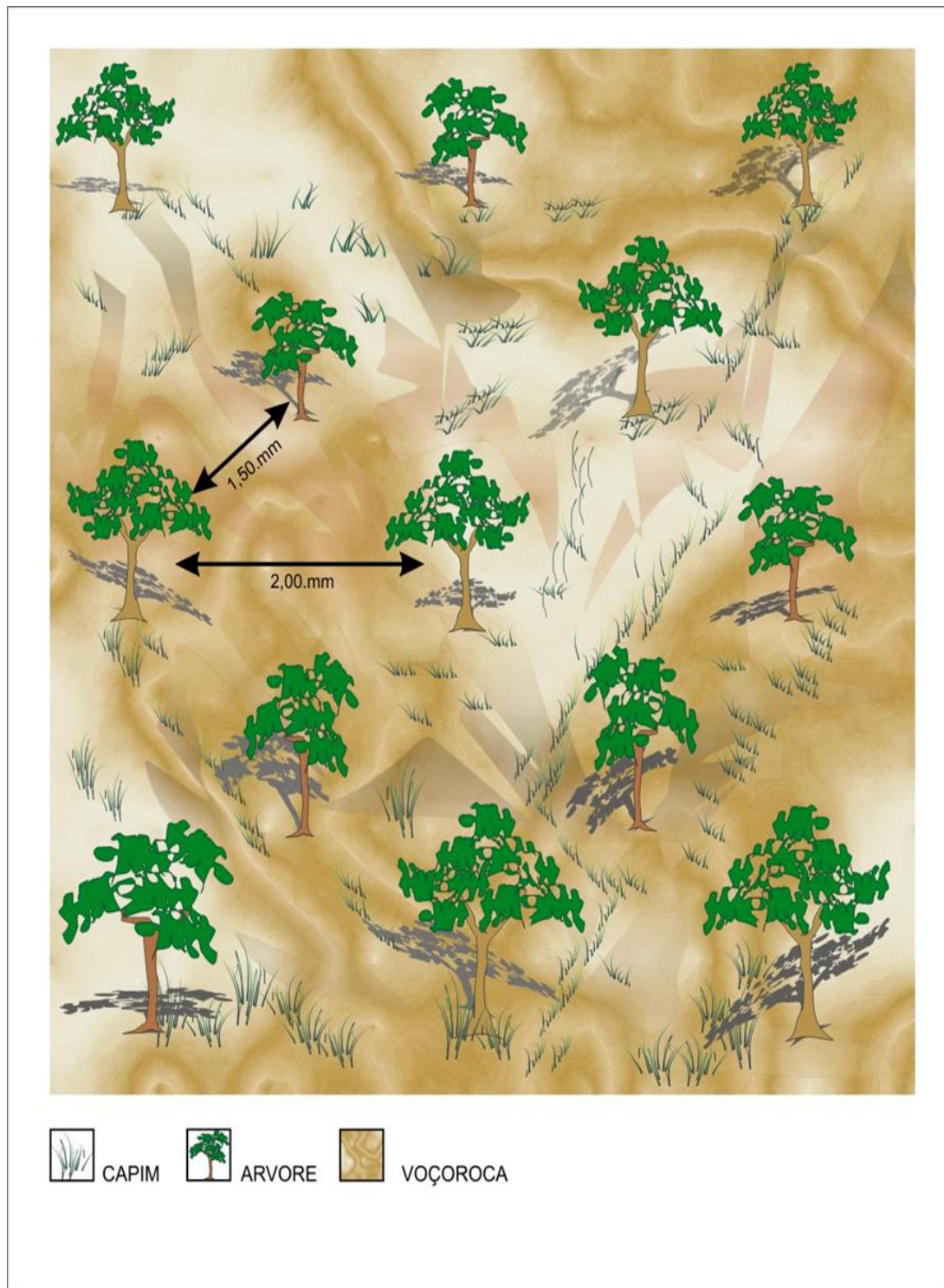


Figura 7.5: Croqui representativo dos espaçamentos de plantio.



Figura 7.6: Os elevados níveis de compactação do solo, ofereceram resistência às perfurações e abertura das covas para o plantio (Novembro/2005).



Figura 7.7: Fluxos laminares na superfície interna da voçoroca do Porto Hélio.
Foto: Albuquerque (2005).

Para estes autores, o sistema consiste no cultivo sem o revolvimento do solo, mantendo em sua superfície uma camada de resíduos (palha), ou de vegetação para protegê-lo.

Essa técnica proporciona, dentre outras vantagens, a melhoria e a conservação do solo pela eliminação, ou drástica redução de seu revolvimento por meio da aração e/ou gradagem, melhora a atividade biológica nas camadas superiores do solo pela adição de palha, protege o solo dos impactos direto, das chuvas e da radiação solar e mantém um maior teor de umidade pelo efeito da própria cobertura vegetal morta, reduzindo o estresse hídrico das culturas em períodos de estiagem. Em outras palavras, para Santos et al (2004), essa técnica de plantio significa manter e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo nas regiões tropicais.

Todos os vegetais foram cadastrados em uma ficha de identificação (Anexos) onde foram registradas informações sobre a utilização deles e anotados dados referentes ao tamanho de cada um, para posterior monitoramento, quanto aos dados de crescimento e adaptação ao ambiente.

O horizonte orgânico foi totalmente removido na área do Porto Hélio pelo desmatamento e uso de pá mecânica. A exposição do horizonte B aos serviços de terraplenagem tornou propício o aparecimento de superfícies compactadas e resistentes à perfuração das covas para plantio.

A resistência oferecida nas camadas superficiais do solo não impediu que a associação de fluxos internos e externos manifestasse formas erosivas severas do tipo voçorocas. Durante as primeiras etapas de reconhecimento e investigação do processo erosivo do Porto Hélio, realizadas em 29/09/2004, esta voçoroca apresentava uma perda de 1.100 m² de área e cerca de 3.800 m³ de material erodido (AGUIAR e VIEIRA, 2004). As análises realizadas para a identificação do tipo de textura do solo evidenciaram teores de areia superiores a 70% nos pontos mais próximos a jusante da voçoroca, ou seja, próximo à margem direita do rio Urucu. Esta característica permitiu que a incisão erosiva fosse classificada como voçoroca conectada à rede de drenagem local.

A elevada quantidade de material que foi removida da voçoroca do Porto Hélio foi transportada pelas águas de escoamento superficial para o rio Urucu e poderá ocasionar futuramente assoreamento do canal, gerando assim, problemas ao fluxo das águas e conseqüentemente dificultar a navegação neste trecho, utilizado comumente por balsas para o transporte de máquinas de grande porte, equipamentos, alimentos e gêneros de necessidade para o perfeito funcionamento da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGP).

Detectado este quadro de degradação ambiental, é importante considerar que a natureza desta tese se volta especificamente à aplicação de propostas de recuperação e não ao monitoramento da evolução do processo erosivo, ou seja, a meta principal foi estabilizar a erosão do Porto Hélio de forma breve e eficaz.

Dentre os critérios estabelecidos para a seleção dos vegetais, dois itens foram de extrema importância, o primeiro foi a adaptabilidade ao ambiente e, o segundo a não introdução de espécies exóticas mesmo que estas apresentassem rápido crescimento e ou, fácil desenvolvimento de copa.

Com respeito ao primeiro item, é importante expressar que este se definiu pela própria natureza do trabalho geográfico, por meio do conhecimento de classificação e identificação dos ambientes físicos ou naturais.

Neste sentido, se estabeleceu que estas espécies seriam plantadas obedecendo-se os níveis de classificação para os seguintes ambientes:

AMBIENTE (I) — Espécies adaptadas aos sistemas Terra Firme;

AMBIENTE (II) — Espécies adaptadas aos sistemas Alagados;

AMBIENTE (III) — Espécies adaptadas aos sistemas de Transição (Terra Firme e Alagado).

A descrição do quadro abaixo corresponde aos aspectos físicos dos três ambientes:

Caracterização dos Ambientes quanto aos níveis de erosão ou deposição	
Ambiente (I)	Superfície compactada. Referente às áreas de contribuição e cabeceira da voçoroca. Vulnerável aos processos de escoamento superficial. Níveis de declividade estabelecidos entre 5 a 12%, apresentando classes de relevo classificadas como suave ondulado composta por grupos de latossolos. Na Amazônia podem ser caracterizados como bordas de terraços.
Ambiente (II)	Áreas abruptas correspondentes às paredes da voçoroca, sujeitas a processo erosivo que originam alcovas e desmoronamentos laterais. Classes de declive entre 3 e 5%. Os solos são do tipo Gley.
Ambiente (III)	Superfície arenosa correspondente ao fundo da voçoroca. Fluxo de água contínuo com variação de nível do freático susceptível ao sistema de cheias e vazantes do rio Urucu. Classes de declividade estabelecidas entre 0 e 3%. Apresenta grupos de solos do tipo aluviais.

Fonte: Albuquerque (2006)

Definido este critério para a seleção das espécies, a próxima etapa do plano de recuperação previsto para o Porto Hélio, foi a escolha das mudas desenvolvidas pela equipe técnica de trabalhos botânicos do próprio horto da Base Geólogo Pedro de Moura (Figura 7.7).



Figura 7.8: Vista parcial do horto desenvolvido na Base Geólogo Pedro de Moura - Petrobras.

Foto: Vieira (2005)

As mudas foram transportadas até a área da voçoroca, onde as covas foram preparadas com NPK na proporção de 1/3/1, este valor pode ser alterado conforme a necessidade do local a ser revegetado. Decorridos os 120 dias após o plantio se realizou a avaliação e o replantio das mudas que pereceram. Neste caso, como o plantio, foi planejado para a estação chuvosa, o índice de mudas que pereceram foi inferior a 30% do total de vegetais plantados. A manutenção e os tratamentos culturais como o controle de formigas, roçadas manuais e o corte ao redor das mudas para evitar a disputa por entrada de luz devem ser realizados pelo menos durante três anos consecutivos.

Para a proteção das cabeceiras da voçoroca, todas as espécies escolhidas foram de ambientes de Terra Firme (Fig. 7.8). Para o interior da voçoroca, as espécies plantadas foram aquelas adaptadas aos ambientes alagados. Neste item deve-se mencionar que a incisão originada no Porto Hélio transformou-se em mais um canal hidrográfico do rio Urucu, tornando-se susceptível ao sistema de cheias e vazantes. Por fim, aquelas de ambientes transicionais, ou seja,

as que podem se adaptar tanto aos alagados como em terra firme, foram plantadas nas pequenas encostas que se formaram nas paredes da voçoroca.



Figura 7.9: Muda de angelim, *Hymenolobium excelsum*. Leguminosae papilioindeae. Tipo de leguminosa que pode auxiliar na fixação de nitrogênio no solo (SILVA *et al.*, 1977).

Foto: Albuquerque (2005).

Este tipo de vegetação foi plantado na área de contribuição da voçoroca, com o objetivo de recompor a cobertura vegetal e interromper a geração de fluxos laminares para dentro da incisão existente no local.

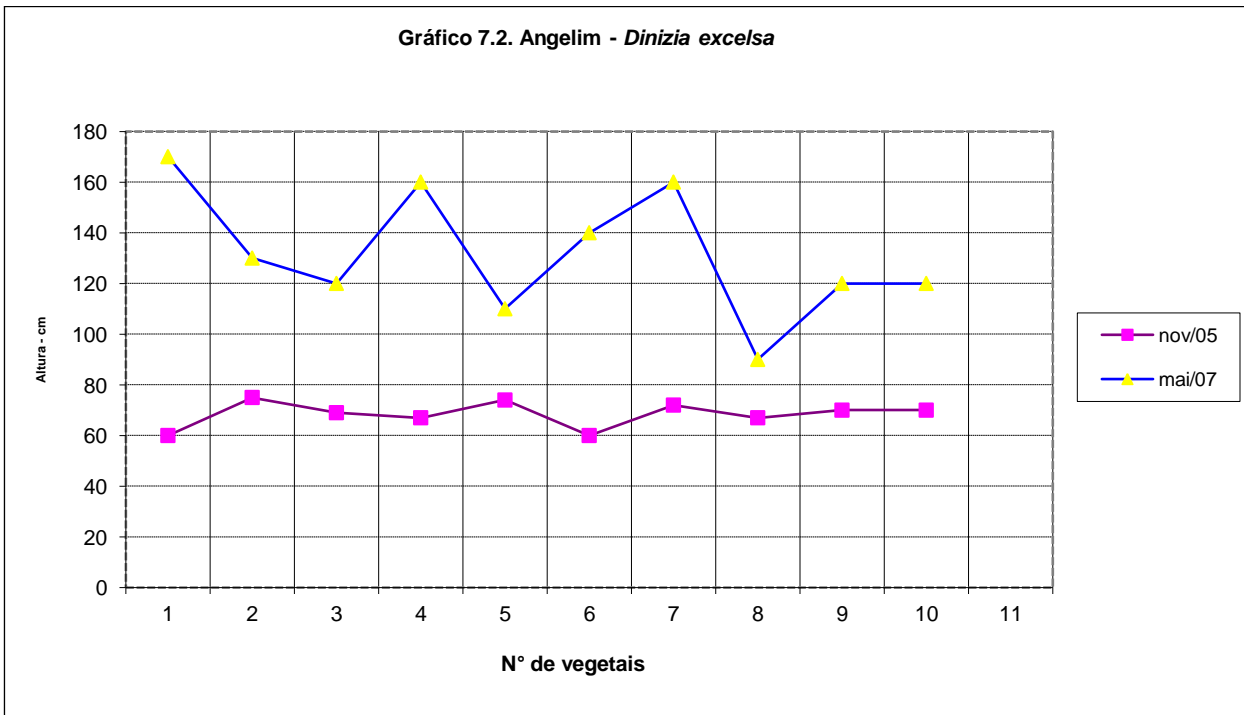
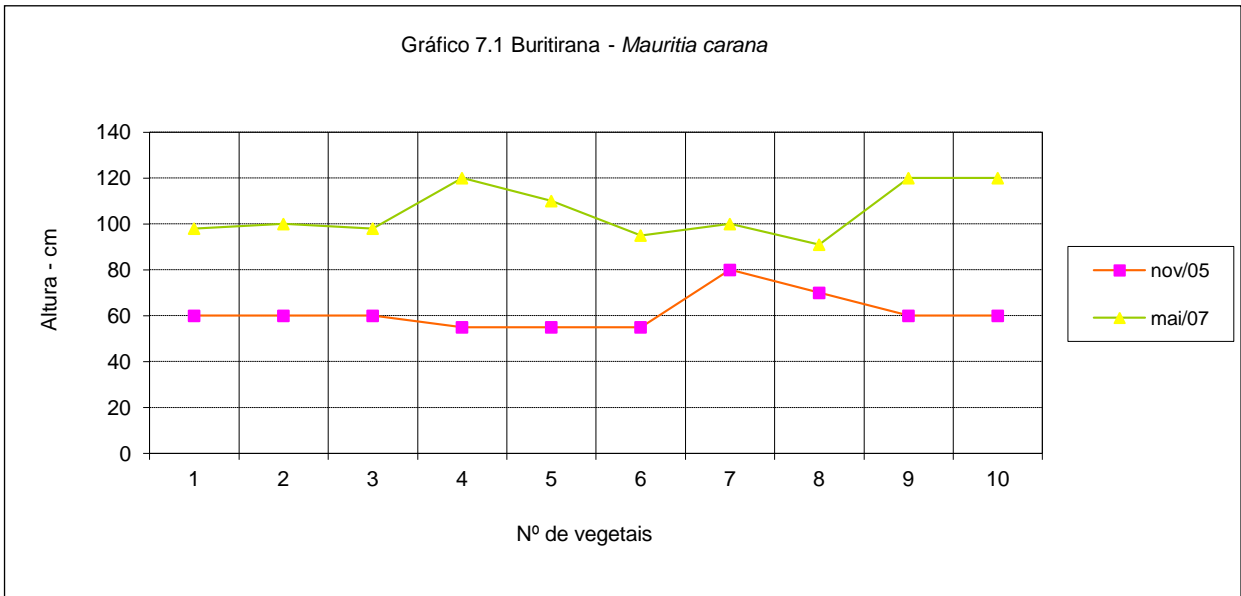
Outros vegetais como a Acapurana, *Campsiandra comosa*, Leguminosae Caesalpinioideae (Figura 7.9), foram plantados na parte interna da voçoroca (fundo e paredes), com o objetivo de reduzir a geração de fluxos superficiais e conter o transporte de partículas. Silva *et al.* (1977) citam que esta árvore atinge porte elevado, sendo própria dos igarapés e das margens alagáveis de rios de água preta. Ocorre ocasionalmente nas campinas arenosas, onde os indivíduos são de porte baixo.

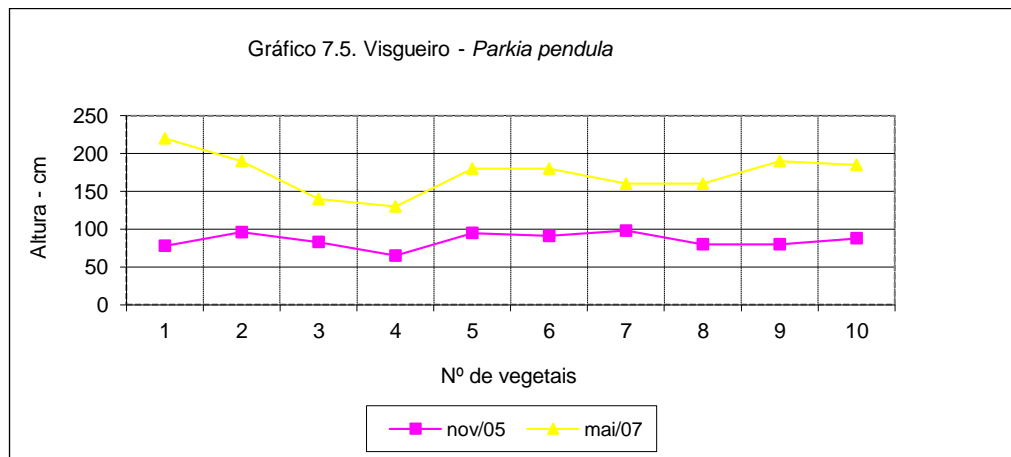
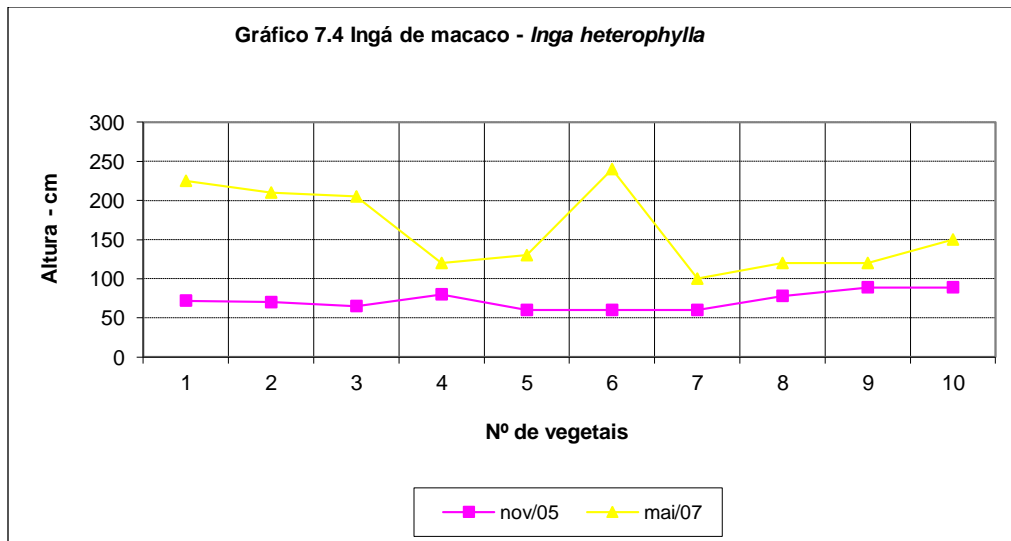
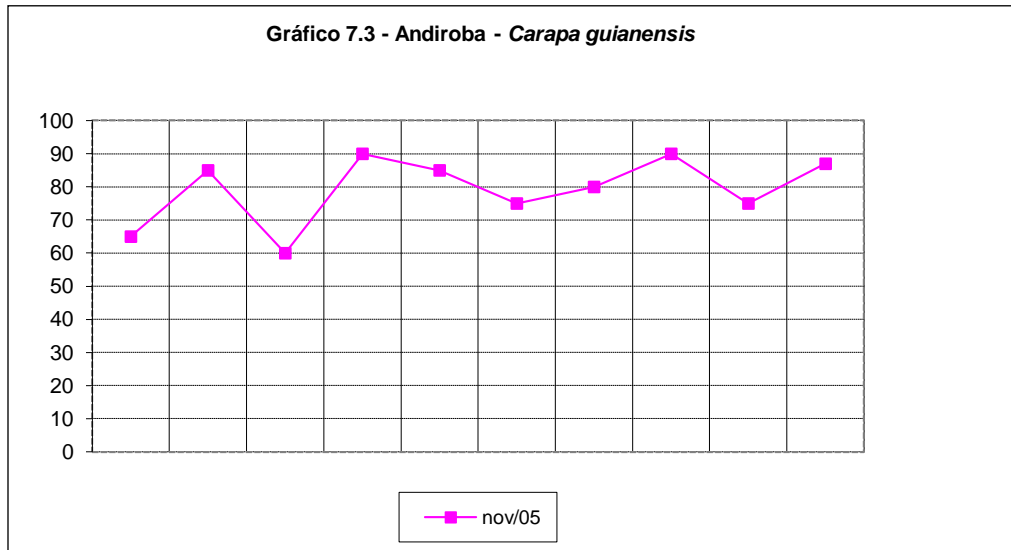


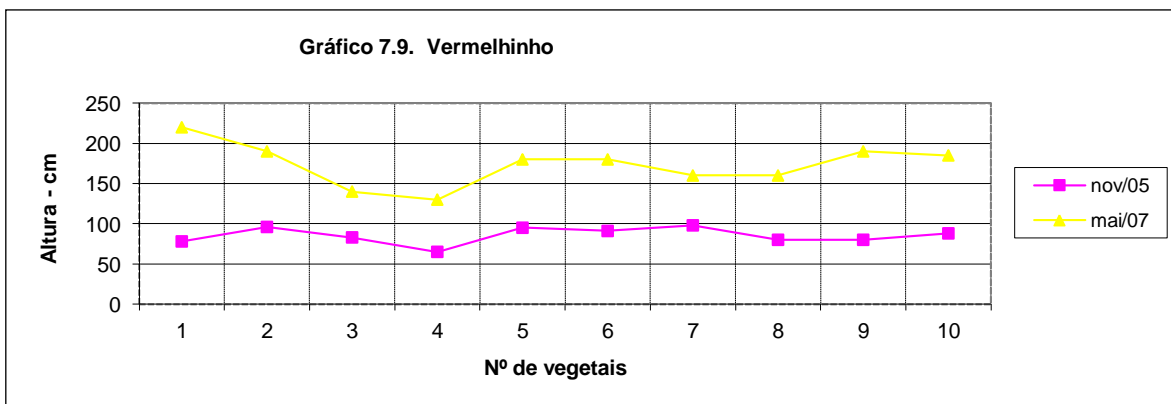
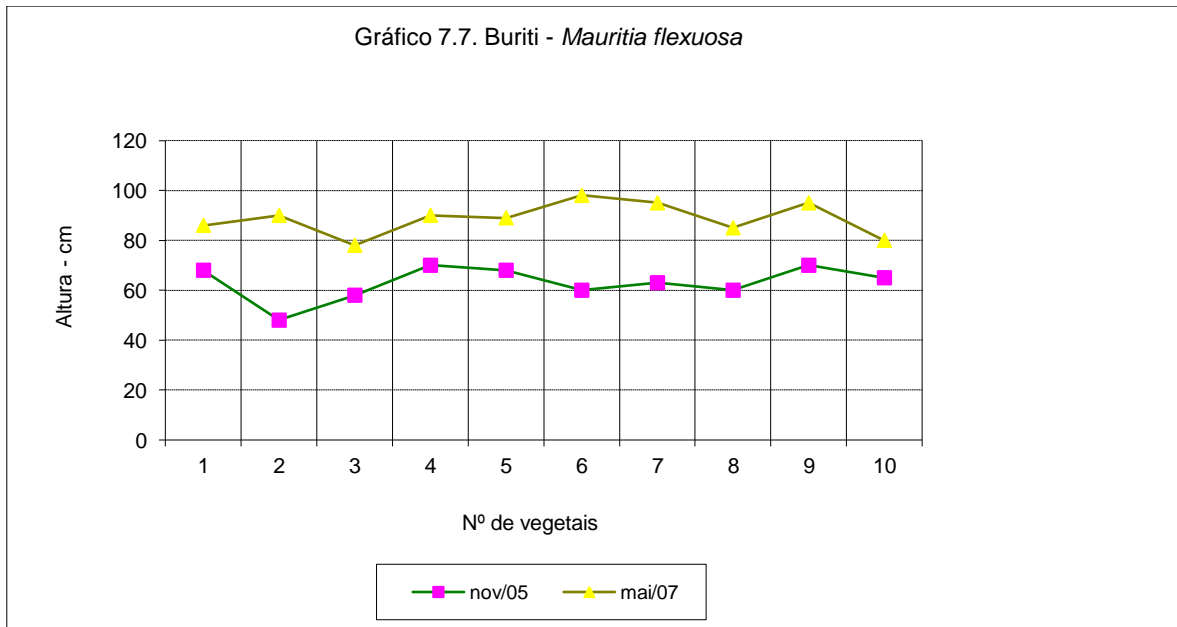
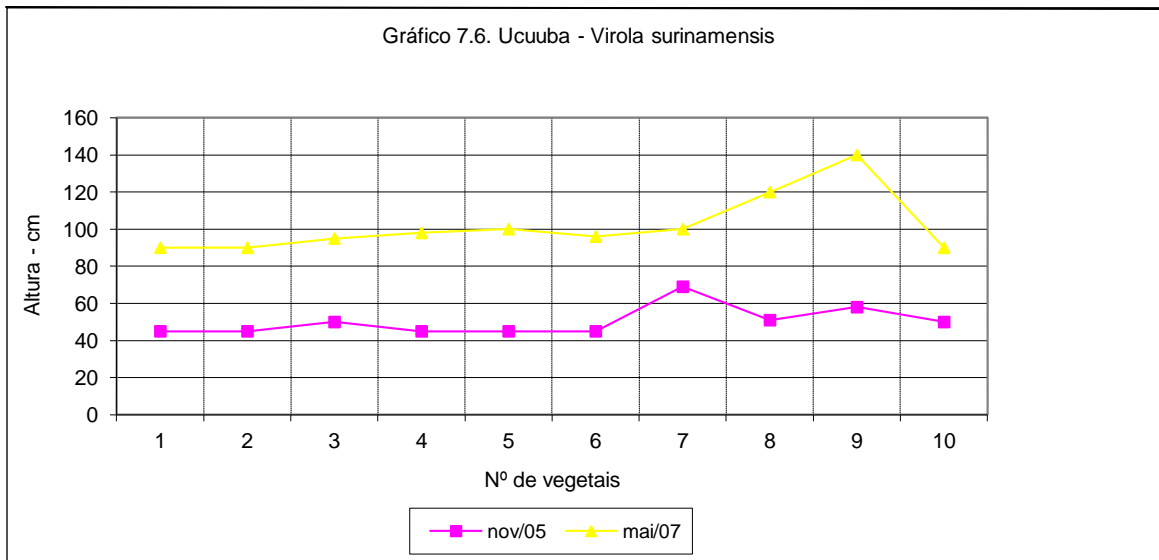
Figura 7.10: A Acapurana, por sua adaptação aos ambientes transicionais de alagados e terra firme, deverá possibilitar a redução de fluxos superficiais no interior da voçoroca.

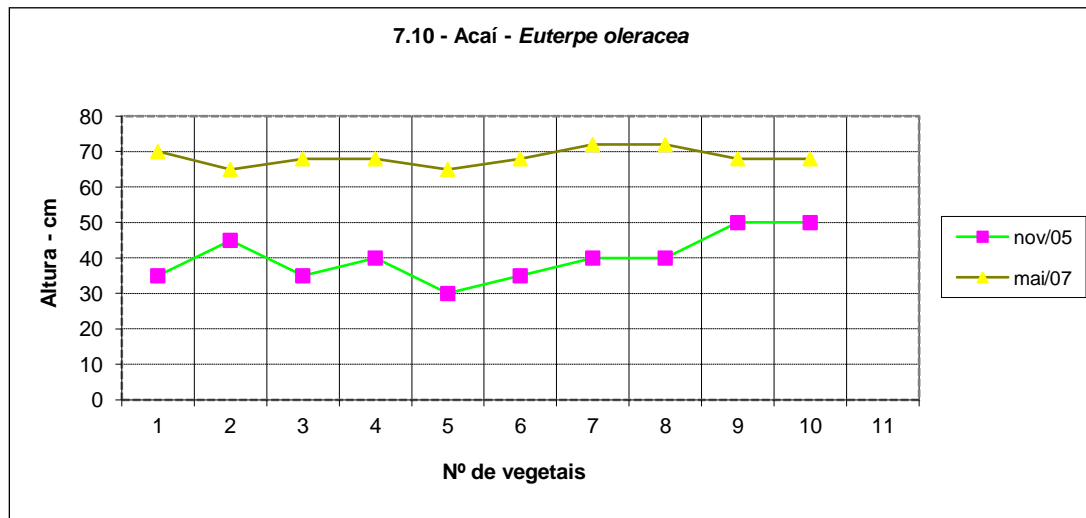
Foto: Albuquerque (2005).

Executada a fase de revegetação, cada indivíduo plantado foi devidamente monitorado, em suas fases de crescimento, com a finalidade de recomendação do vegetal que, apresentasse crescimento mais rápido e que pudesse exercer o papel de cerca viva na condição de retentor de sedimentos em processos erosivos. Os gráficos de crescimento apresentados a seguir refletem as evidências sobre o crescimento de cada espécie.









Por meio das análises interpretativas dos valores projetados nos gráficos, foi possível obter evidências, de que a espécie de desenvolvimento mais rápido e, portanto, adequado à proposta de constituir “cercas vivas” que pudessem exercer o papel de retentores de sedimento, foi a Ingá de Macaco (Graf. 7.4) que atingiu em maio de 2007 a altura de 2.50 m.

A condução deste experimento nos permite mencionar que este tipo de Ingá pode ser recomendado, para trabalhos de recuperação de áreas degradadas, que tenham por finalidade, a recomposição de cobertura vegetal em áreas correspondentes às cabeceiras das voçorocas e superfícies arenosas. A recomendação decorre da resposta positiva face à necessidade de recobrir, de forma mais breve possível, a área de contribuição.

Em referências apontadas por autores como Reitz (1988), Lorenzi (1998), Carvalho (1994) e Backes (2002), existem indicações de que esta espécie ocorre preferencialmente, em matas ribeirinhas, ou solos úmidos, pertencendo ao grupo ecológico de plantas classificadas dentro do estágio secundário inicial, podendo atingir estrato superior.

Quanto à sua forma de dispersão pode ser realizada por hidrocoria, em função de sua ocorrência freqüente junto aos cursos de água e, por zoocoria, quando suas sementes são dispersas por pacus e macacos (Figura 7.10).



1



2

Figura 7.11: Frutos e flores do Ingá de macaco. A árvore é grande fixadora de nitrogênio do ar através dos nódulos radiculares.

A Ingá comum que atingiu 2.20 m e o Vermelhinho que chegou a 1.30 m, no intervalo de tempo estabelecido entre novembro de 2005 e maio de 2007, também podem contribuir para atenuar o transporte de partículas, em ambientes de terra firme, e fortemente alterados, semelhantes aos encontrados na faixa de entorno da voçoroca do Porto Hélio (v.gráficos 7.5 e 7.9).

Na superfície interna da incisão, as espécies adaptadas aos ambientes inundados, como o Buriti, resistiram às enchentes que atingiram o nível de base cumprindo o papel a que foram destinadas, ou seja, a recomposição de cobertura vegetal no interior da voçoroca (Fig. 7.11). A resistência desta palmeira amazônica, à inundação se dá pelo fato dela ser típica de ambientes alagados.

Para Calbo (1996), que realizou estudos e experimentos sobre esta espécie, a boa adaptação à inundação é possivelmente devida a formação de pneumatóforos, que aumentam com o tempo de inundação. Esta forma de adaptação proporciona este vegetal, ter suficiente disponibilidade de oxigênio, para suprir a respiração de suas raízes submersas. As respostas observadas por Calbo (1996), sugerem que o buriti tem uma resistência bem maior ao estresse de inundação que ao estresse de falta de água, o que explica sua ocorrência mais comum em ambientes regionalmente conhecidos na Amazônia, como igapós, que raramente estão sujeitos a um estresse acentuado de déficit de água.

A raiz deste vegetal também pode contribuir de maneira significativa para a retenção de sedimentos e filtragem da água, melhorando assim, o grau de turbidez. As Buritiranas plantadas

na faixa de transição, situada entre o topo e a base da incisão, também resistiram aos fluxos laminares e conseguiram reter sedimentos.

**1****2****3****4**

Figura. 7.12: O Buriti é uma palmeira amazônica típica de ambientes alagados.

Foto: Bessa (2006).

A resistência desta palmeira a sazonalidade das cheias e vazantes, tornou-se evidente durante as fases de monitoramento no mês de maio de 2007. Nas seqüências n°1 e n° 2, os tons em amarelo cinza das folhas, indicam a presença de sedimentos finos, que ficaram retidos na última cheia do ano de 2006. As seqüências n° 3 e n° 4 apresentam o mesmo vegetal em período correspondente à vazante em maio de 2007.

7.1.4 PRÁTICAS DE CARÁTER MECÂNICO

São práticas artificialmente desenvolvidas nas áreas de cultivo pela execução de estruturas como canais e aterros, com a finalidade de controlar o escoamento superficial das águas e facilitar sua infiltração (SALOMÃO, 1999). Considerando estes aspectos a equipe técnica propôs para a localidade do Porto Hélio:

7.1.5 CONSTRUÇÃO DE CANALETAS

A) PROTEÇÃO DAS CABECEIRAS

Com o objetivo de proteger a área correspondente às cabeceiras da voçoroca do Porto Hélio, foi proposta a construção de oito canaletas com intervalo de distância de 6 metros entre as mesmas (Fig. 7.12).

O trabalho de abertura destas canaletas proporciona o desvio e redução de velocidade das águas superficiais (v. planta das etapas de recuperação/ Porto Hélio). Duas canaletas foram abertas com profundidade de 0,70 m, em virtude da compactação do solo e a máxima necessidade de interrupção de fluxos lineares. Esta profundidade foi estimada, considerando-se que este setor corresponde justamente à área de maior contribuição da voçoroca onde estes fluxos são gerados com forte intensidade, e, tendo-se como agravante para o aumento da erosão, fatores como a reduzida capacidade de infiltração do solo e a completa ausência de cobertura vegetal (Fig. 7.13).

As outras canaletas, por encontrarem-se situadas em áreas com cobertura vegetal de porte herbáceo e arbustivo, tiveram suas profundidades estabelecidas em 0,50 m.

Roussie (2006), desenvolvendo trabalhos para contenção de transporte erosivo procurou definir esta técnica mecânica como “canais da grama”. Para a autora canais de grama são canaletas naturais, ou construídas, que apresentam dimensões adequadas para conter o *runoff*. Devem receber revestimento vegetal apropriado e suas funções principais são drenar as águas de superfície e impedir voçorocamentos. É um tipo de técnica, que pode ser usada sozinha ou em combinação com outras práticas como parte de um sistema de controle da erosão. Fiener (2003; 2005) menciona que os canais de grama devem desempenhar o papel de retardar o aparecimento do *runoff* pelo aumento do intervalo de tempo estabelecido entre *inflow* (infiltração) e *outflow* (transbordamento) no solo.

As canaletas que foram construídas no Porto Hélio receberam revestimento vegetal para auxiliar na redução do escoamento de superfície (*runoff*) e conseqüentemente atenuar a erosão.



Figura 7.13: Marcação dos pontos de construção das canaletas em intervalos de seis metros de distância correspondente às cabeceiras.

Foto: Vieira (2005)



Figura 7.14: Para a perfuração do solo neste local foi utilizado o trabalho mecânico de uma retroscavadeira devido os níveis de compactação.

Foto: Aguiar (2005).

B) REBAIXAMENTO DAS BORDAS

Para a redução da declividade nas bordas da voçoroca, foi realizado o rebaixamento ou suavização, dos setores íngremes que correspondem às laterais da incisão com auxílio de ferramentas como pás e pés de cova. Esta redução nos setores declivosos propicia a diminuição da velocidade das águas, que são transportadas para dentro da erosão, possibilitando a retenção dos sedimentos por um tempo maior. Posteriormente foi realizado o revestimento com palhas de vegetais obtidas nas proximidades.

7.1.6 CONSTRUÇÕES DE BARRAGENS

A construção de barragens na superfície interna da voçoroca teve por objetivo dissipar a energia proporcionada pela entrada de fluxos laminares que se tornavam concentrados, à medida que se direcionavam para o interior da incisão.

Com a finalidade de conter estes fluxos e reduzir a quantidade de sedimentos carreados, foram construídas 8 barragens na superfície interna da incisão que posteriormente foram revestidas com palhas e vegetais (ver Projeto de Contenção e Recuperação do Porto Hélio).

As áreas da cabeceira apresentaram 5 cinco ramificações em forma dendrítica (Fig.7.14) que foram consideradas como eixos principais de concentração de fluxos de água na área de contribuição (Vieira e Aguiar, 2004).



Figura 7.15: A existência de 5 ramificações nas cabeceiras de drenagem fornece à Voçoroca, a configuração de uma pequena bacia de forma dendrítica. Em novembro de 2004, esta incisão havia transportado cerca de 3.800m³ de sedimentos que se distribuíram tanto na parte interna como dentro do rio Urucu.

Foto: Vieira (2005)



Figura. 7.16: A mesma voçoroca na localidade do Porto Hélio em Junho de 2005. A interação de fluxos associada à contribuição do volume de água do rio Urucu proporciona a enchente dentro da incisão, configurando-se um pequeno canal de 1ª ordem.

Foto: Albuquerque (2005)

O quadro erosivo das incisões apresentadas na Figura 7.14 atingiu um grau de evolução, onde foi possível detectar a configuração de uma pequena bacia onde fluxos de primeira ordem sofrem influência do sistema de cheias e vazantes do rio Urucu (Fig.7.15).

Para conter estes fluxos foi providenciada a construção das barragens, tendo-se realizado de modo preliminar o planejamento da quantidade de toras de madeira que foram fincadas no nível de base da voçoroca, para possibilitar a retenção de sedimentos.

Desse modo, as barragens foram construídas obedecendo-se às seguintes dimensões:

- 132 m de toras de 20 cm de diâmetro x 2 m de comprimento. Volume que equivaleu a 66 toras (2 x 0,20 m) que foram fincadas na vertical.
- 350 m de toras de 20cm de diâmetro x 2 m de comprimento, que foram fincadas horizontalmente, volume que correspondeu a 175 toras (2 x 0,20 m). (V.Figura 7.16 – Planta de Barragens).

O somatório destes dados correspondeu à necessidade do recolhimento de 241 toras, cujas árvores já tinham sido cortadas para a passagem dos dutos. Esta medida proporcionou o aproveitamento de troncos de árvores que não teriam nenhuma utilidade e que posteriormente sofreriam decomposição. A proposta de aplicar estas medidas mitigadoras associou-se à necessidade de providenciar a contenção da voçoroca do Porto Hélio.

Com o objetivo de avaliar tais medidas e, ao mesmo tempo, verificar o efeito de contenção das barragens foi realizado novo levantamento em julho de 2006. Durante estas observações, ficou evidente que o processo de evolução sofreu reduções consideráveis, chegando a atingir dimensões de largura média estabelecida em 12 m e comprimento aproximado de 80 m, enquanto as profundidades variaram de 1.20 m a 1.60 m.

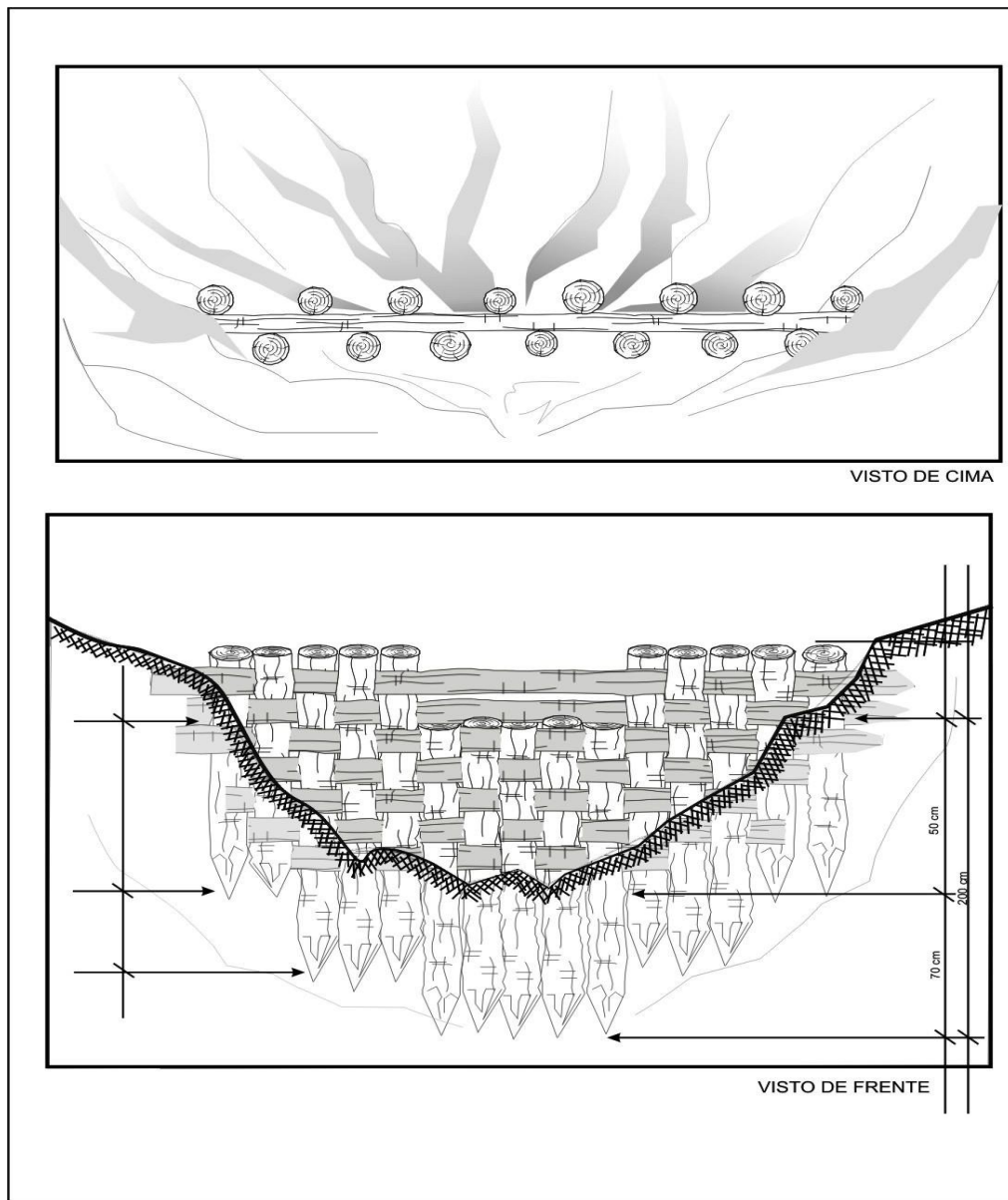


Figura 7.17: Proposta de construção de barragens para conter erosão dentro da voçoroca

O cálculo para o conhecimento da quantidade de volume de solo erodido de dentro da Voçoroca foi elaborado utilizando-se de uma expressão matemática onde representamos:

V – volume total da área;

A – área total;

P – Profundidade da camada;

L – largura;

C – comprimento.

Tem-se que: \longrightarrow **A = L x C** **V = A x P**

Então;



$A = L \times C \longrightarrow 12 \text{ m} \times 80 \text{ m} = 960 \text{ m}^2$;

$V = A \times P \longrightarrow 960 \text{ m}^2 \times 1.70 \text{ m} = 1.630 \text{ m}^3$

A proposta de conter o processo erosivo no Porto Hélio envolve a recuperação da cabeceira de drenagem indicada na Fig. 7.15, evitando, assim a remoção de sedimentos para dentro do canal hidrográfico do rio Urucu e conseqüentemente, seu assoreamento.

No interior desta incisão um conjunto de processos e feições, como afloramento de lençol freático do centro da voçoroca em direção a jusante, movimentos de massa (desmoronamento, queda em blocos e deslizamentos), solapamentos na base das paredes, alcovas de regressão, pedestais, sulcos e pequenos filetes verticais e subverticais. (Figuras 7.17 e 7.18), apresentava-se de forma evidente tornando mais grave o quadro erosivo.



Figura 7.18: Alcovas de regressão, feição erosiva que aparece em vários pontos da incisão. Com a evolução destas pode ocorrer o desmoronamento do material acima e contribuir assim para o aumento das dimensões da voçoroca.

Foto: Vieira (2004)



Figura 7.19: Pequenos desmoronamentos ocorrem em toda extensão da voçoroca, principalmente onde aflora o lençol d'água.

Foto: Vieira (2004)

7.1.7. O SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO NO PORTO HÉLIO

Medidas mitigadoras, preventivas ou corretivas, quando aplicadas com a finalidade de estabilizar o processo erosivo devem exercer principalmente o controle do fluxo de água tanto externo como interno, permitindo-se assim, atingir de forma breve um sistema de reabilitação das áreas degradadas Providelo (2005),

Em regiões como a Amazônia, onde a umidade e densidade de drenagem são acentuadas, a água pode ser o fator que mais cria instabilidade no terreno provocando o aparecimento da incisão erosiva (KAGEYAMA,1994). Isto se manifesta por meio de deslizamentos de superfície e transporte de partículas, ou movimentos de massa, dos depósitos estéreis, em virtude da saturação e/ou das condições lubrificantes da água, causando sedimentação nos cursos de águas.

Considerando as referências de Kageyama (1994), e utilizando-se as técnicas para controle da sedimentação e assoreamento dos cursos de água foi possível estabilizar a erosão da parte interna da voçoroca do Porto Hélio com a construção de barreiras apresentadas (Figura 7.19).



Figura 7.20: As barragens construídas na superfície interna da voçoroca propiciaram a redução do processo erosivo. A manutenção dos sedimentos foi efetuada com o auxílio de palhas que revestiram os intervalos entre as toras. A vegetação posta nas laterais também ajudou a conter os fluxos lineares.

Foto: Aguiar (2006).

CAPÍTULO VIII: RECOMENDAÇÕES – TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO

8.1. LUC – SETOR LESTE DO RIO URUCU

Com a finalidade de planejar as vias de acesso, a área da bacia do Urucu, onde está situada a Base Geólogo Pedro de Moura, foi subdividida em conjuntos de setores (Fig. 4.3. Mapa de Localização p.179).

- O setor localizado ao leste do rio Urucu denominado de **Campo de LUC**;
- O setor localizado ao sul do rio Urucu denominado **Campo de SUC**;
- O setor localizado nas proximidades do curso principal do rio Urucu denominado de **Campo de RUC**

Estes setores correspondem às áreas onde se encontram os poços de gás ou locais onde podem ocorrer perfurações futuras. Serviços como a pavimentação das estradas para facilitar acessos e o recobrimento com blocos de concreto em áreas adjacentes aos poços (Fig. 8.2) são obras de extrema necessidade, entretanto, a geração de fluxos superficiais ocasionados por este tipo de obra proporciona a abertura de incisões erosivas acentuadas em reduzido intervalo de tempo (Figuras 8.3 e 8.4).

No campo de LUC, o processo erosivo (V. Fluxograma 8.1.) se manifestou na área correspondente à faixa de entorno das superfícies recobertas por blocos de concreto aspecto que se evidenciou durante a primeira fase de levantamentos e diagnósticos. Ainda nesta fase foi observado que toras de árvores haviam sido colocadas dentro das incisões como alternativa de impedir a geração de fluxos (Fig. 8.5).

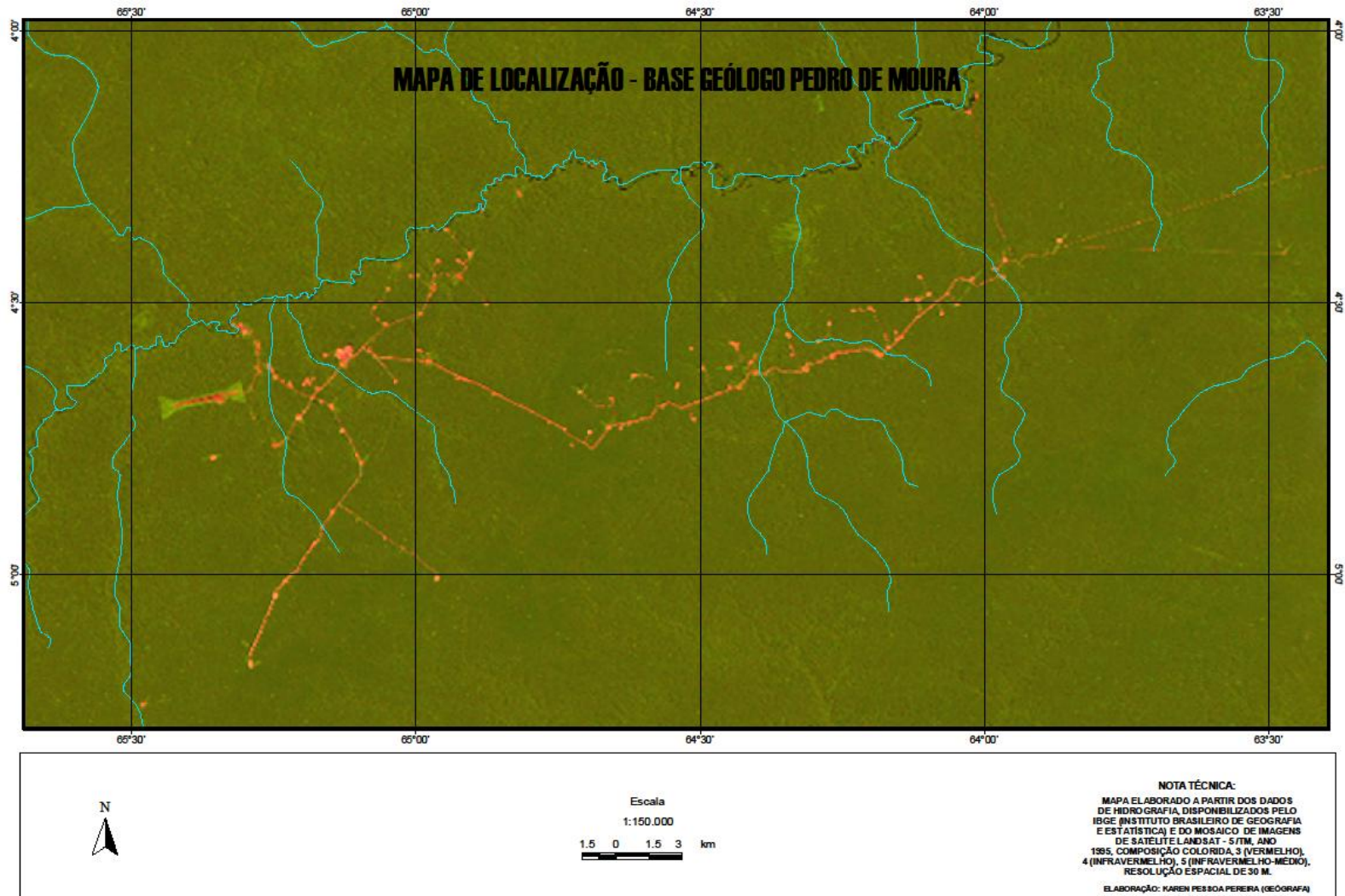


Figura 8.1: Localização da Base Geólogo Pedro de Moura



Figura 8.2: O recobrimento das áreas adjacentes aos poços. As setas indicam locais do entorno dessa área para onde os fluxos são direcionados provocando o surgimento de voçorocas. **Foto:** Aguiar (2005)



Figura 8.3: Visão da faixa de entorno dos poços. A existência de fluxos concentrados ocasiona o aparecimento de processo erosivo acelerado. **Foto:** Aguiar (2005)

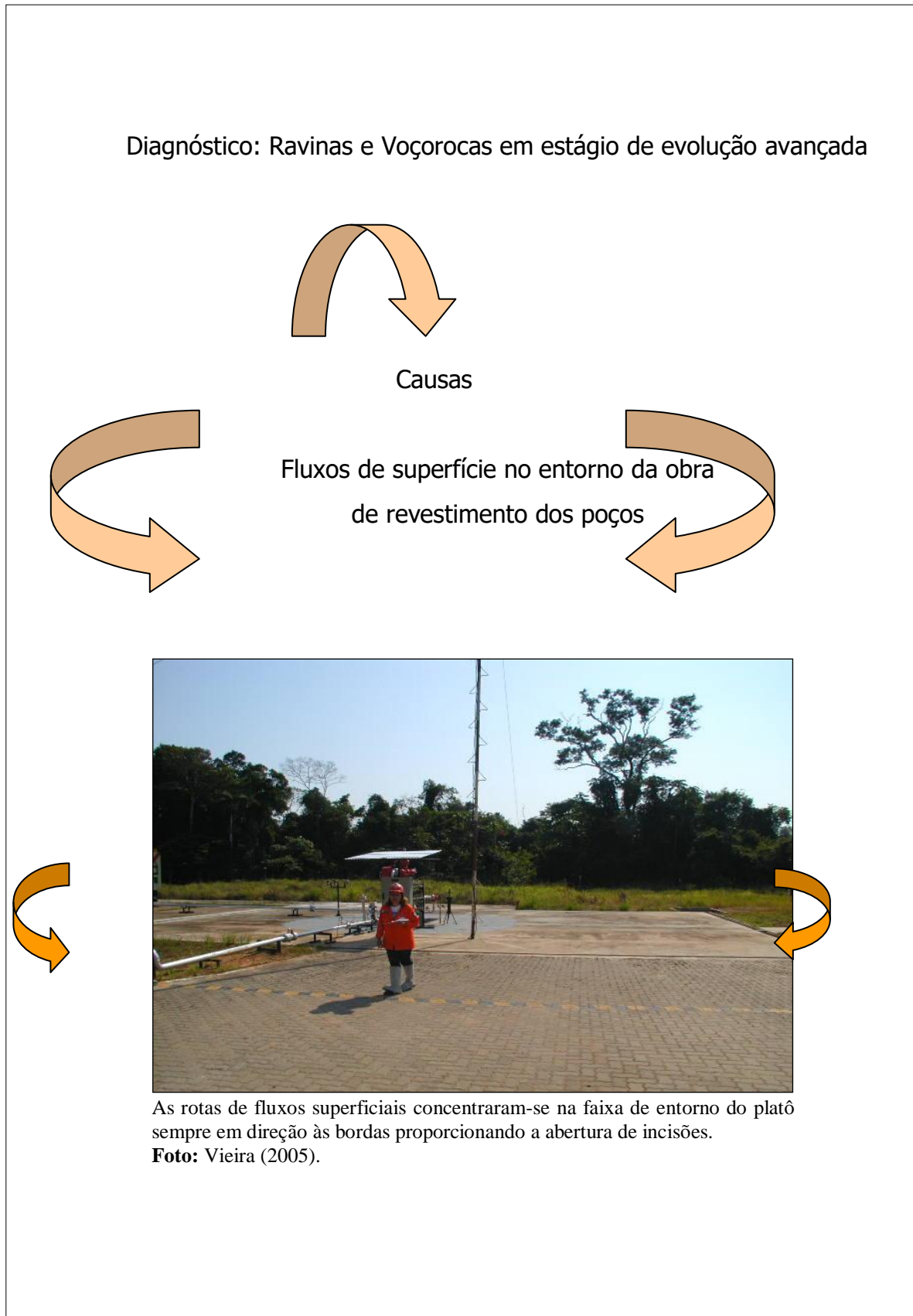


Figura 8.4: Incisões existentes na área de entorno.
Foto: Vieira (2005)



Figura 8.5: Toras de madeira não foram suficientes para a contenção de fluxos.
Foto: Vieira (2005)

Fluxograma 8.1: Quadro Erosivo do Campo de LUC - (LUC 37)



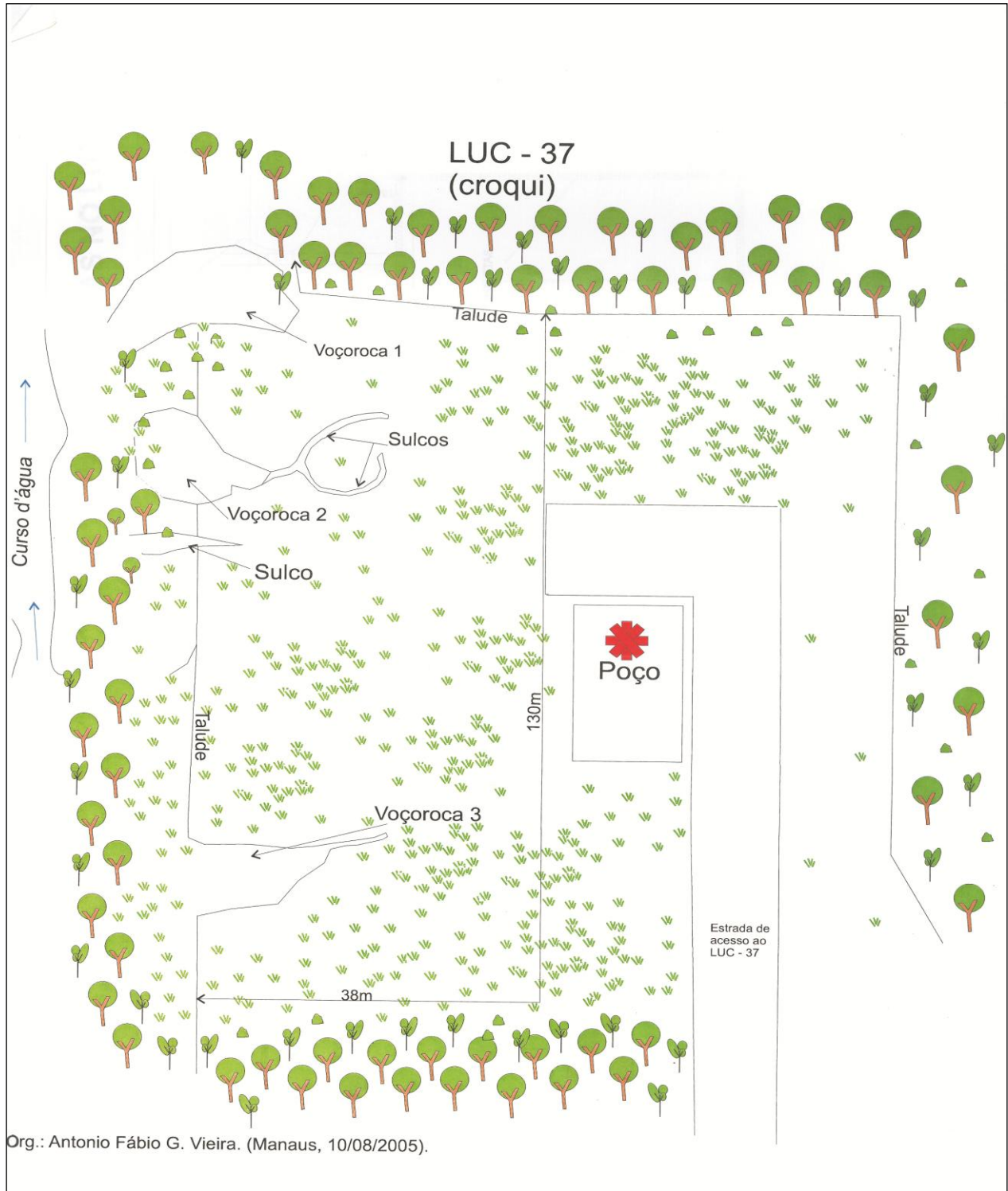
8.1.2. APLICAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS

Antes de apresentarmos as medidas mitigadoras aplicadas como alternativa de estabilização do processo erosivo da área do LUC, é necessário expor que grande parte dos fluxos superficiais existentes no entorno do poço se originou a partir de pequenos desníveis que compõem os baixos taludes que circundam a obra.

O revestimento vegetal que foi feito nas encostas e no entorno torna-se rarefeito à medida que os fluxos destacam partes do solo, pelo transporte erosivo e propiciam o aumento das incisões que evoluem de ravinas para voçorocamentos. Este aspecto ficou evidente, nas fases de diagnóstico e identificação do problema em maio de 2005, quando foi observada a existência de quatro incisões erosivas do tipo voçorocas, situadas por trás da área de revestimento dos poços (V. Croqui LUC 37 a seguir).

8.1.3. RECOMENDAÇÕES

Na fase de identificação do problema, foi possível reconhecer que parte das causas responsáveis pela geração de fluxos foi a ausência de estruturas, ou obras que exercessem a função de dissipadores de energia da água da chuva. Neste sentido, se estabeleceu a necessidade de apontar alternativas, sempre de baixo custo e pouco impacto para o ambiente, que possibilitassem a redução de velocidade da água e a conseqüente retenção de sedimentos, protegendo desse modo, o solo da instalação do processo erosivo (Figuras 8.6 e 8.7).

CROQUI LUC37 – Proposta das Técnicas de Recuperação.

Considerando-se estes critérios, foram elaborados o planejamento das etapas de recuperação e a proposta de ação mitigadora do processo erosivo. O planejamento exposto no quadro abaixo se configurou por meio das seguintes etapas:

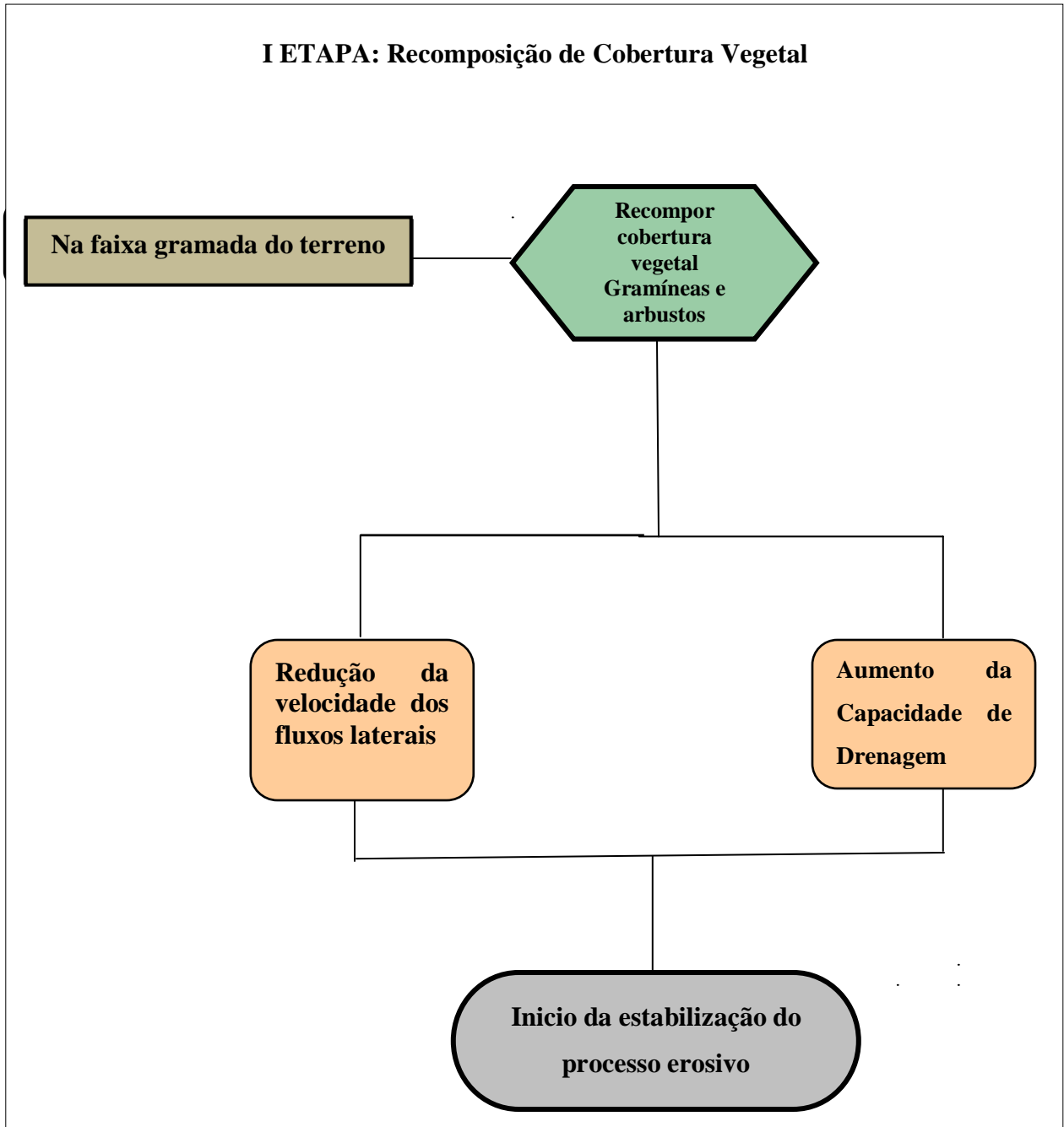


FIGURA 8.6: RECOMPOSIÇÃO DE COBERTURA VEGETAL (REVEGETAÇÃO) - FLUXOGRAMA

A primeira medida para a contenção de erosão na área de LUC foi a reestruturação ou revegetação dos espaços vazios, ou seja, os espaços abertos – onde a grama foi arrancada pela ação erosiva - devem ser novamente preenchidos. Para este revestimento pode ser utilizada a técnica da hidrossemeadura, somente para os taludes presentes no local.

Segundo o Manual de Normas Ambientais do Departamento de Infra Estrutura do Paraná (2003), a técnica de hidrossemeadura consiste na aplicação hidromecânica de uma massa pastosa composta por fertilizantes, sementes, camada protetora, adesivos e matéria orgânica viva, cujo traço característico é determinado pelas necessidades de correção do solo e nutrição da vegetação introduzida. A vegetação resultante deve se caracterizar por um consórcio de gramíneas e leguminosas, de porte herbáceo e arbustivo, dotado de alta rusticidade e fertilidade, e que possam permitir principalmente a cobertura do solo, e em seguida o favorecimento da estabilização por um sistema radicular profundo e consistente.

Torna-se imprescindível que tenham fácil capacidade de propagação e baixa exigência nas condições de solo, geralmente recomenda-se a hidrossemeadura para solos onde o horizonte orgânico já foi extraído pela ação da erosão ou ainda aqueles solos de baixa composição orgânica. A forma de plantio envolve o jateamento dessa espécie de massa orgânica e adesivos, utilizando a água como veículo.

II ETAPA – APLICAÇÃO DE TÉCNICAS VEGETATIVAS E MECÂNICAS

FLUXOGRAMA – ETAPAS DE RECUPERAÇÃO DO LUC 37

Construção de Valetas – Dispersores de fluxos

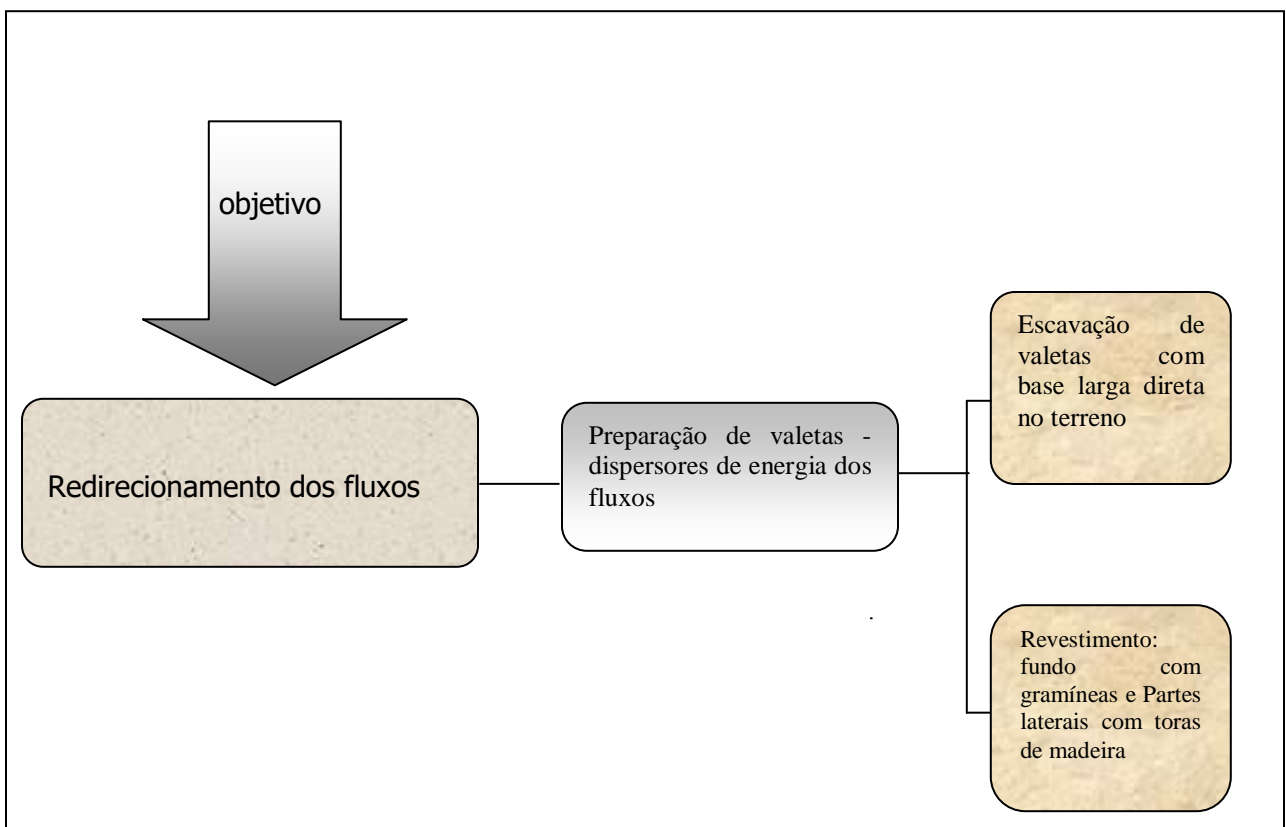
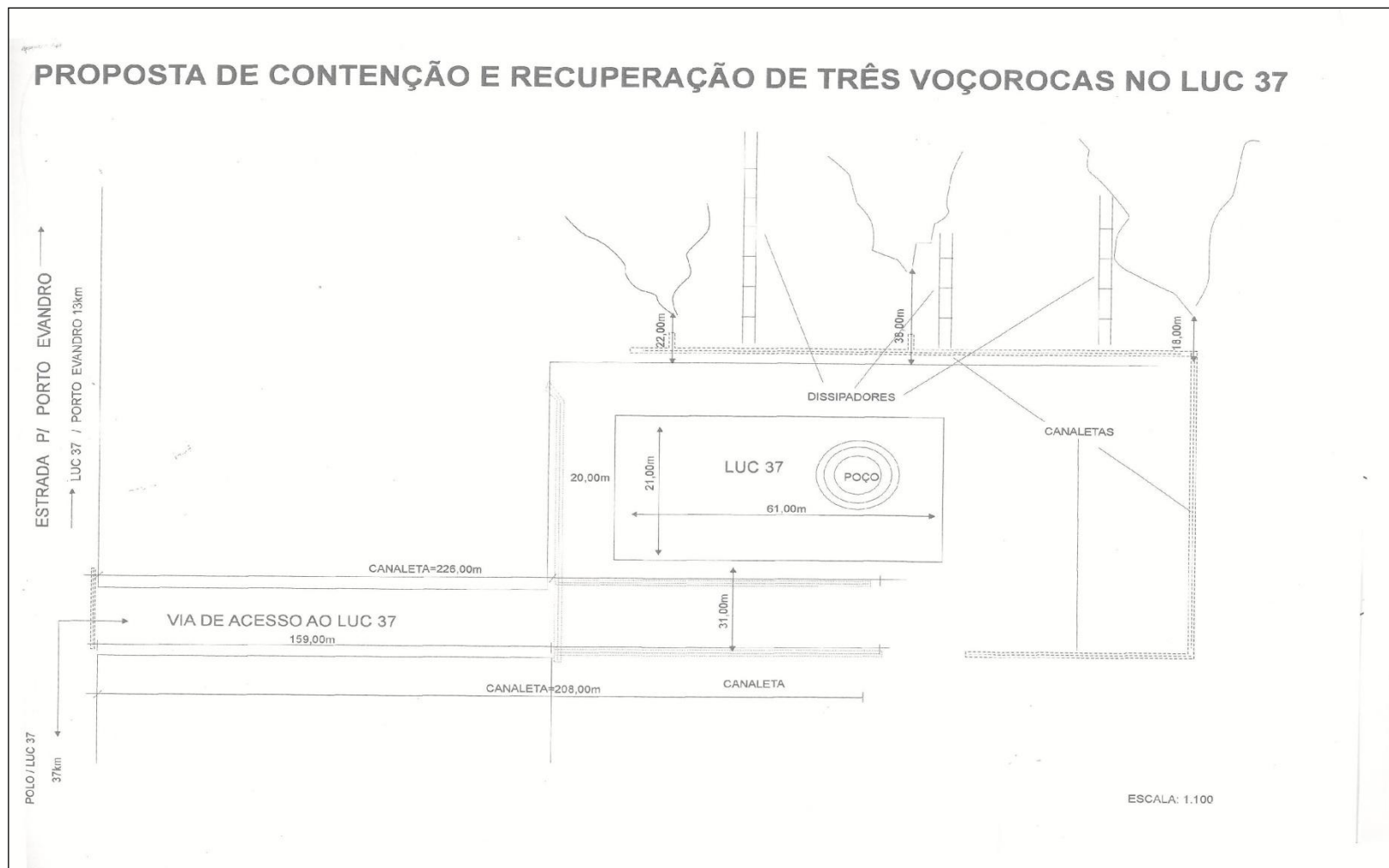


Figura 8.7: Fluxograma – Etapas de Recuperação LUC –37

Para o efetivo controle do processo erosivo atuante no setor leste do Urucu (LUC-37), foram planejadas aplicações tanto de medidas vegetativas como de medidas mecânicas. A proposta destas aplicações foi projetada em planta que permitisse a visualização dos locais previamente definidos como pontos a serem recuperados (v. Planta de Recuperação LUC37 a seguir). Durante o planejamento, o desvio das águas de superfície representou necessidade básica para a contenção de erosão no local.

PLANTADE RECUPERAÇÃO DO LUC 37

I. ETAPA

Contenção e Estabilização das Voçorocas

Na área do LUC 37 os fluxos laterais propiciaram o aparecimento de sulcos e voçorocas. Para a eliminação destes sulcos realizou-se o preenchimento da incisão repondo material de boa coesão como argila associada à matéria orgânica, em seguida foi feito o revestimento da superfície por meio de hidrossemeadura.

Todas as voçorocas existentes no LUC-37 se estabeleceram nas bordas do platô, onde foi realizada a pavimentação dos poços. Sendo assim, a indicação da construção de patamares (degraus) a jusante de cada uma delas foi o processo alternativo encontrado, pelo fato de este setor estar sendo controlado pela declividade acentuada, que se configura entre níveis variáveis de 10° a 20°. A mudança na geometria da encosta facilitou a retenção de sedimentos e propiciou a redução dos fluxos, uma vez que estes patamares exerceram o papel de dispersor dos fluxos e anteparos de sedimentos destacados pela ação do *runoff*.

Considerando-se que o principal objetivo deste plano de recuperação é o uso de materiais que possam ser incorporados posteriormente ao ambiente, a equipe de trabalho preestabeleceu que para a construção dos patamares o material utilizado foi composto de restos de madeira e lenha, encontrados no entorno da obra. Com o objetivo de possibilitar sempre o entendimento ecológico desta proposta de recuperação o modo de construção dos patamares e, todas as fases de recuperação podem ser visualizadas no fluxograma (Fig. 8.8).

As voçorocas existentes no LUC-37 apresentaram dimensões de largura variáveis entre 1.00 e 4.00 m. Já com relação à profundidade, estes valores são consideráveis, pelo fato de elas se encontrarem encaixadas, nas bordas dos platôs. A profundidade da primeira voçoroca, por exemplo, situada a 18.00 metros da área pavimentada (Ver Planta 1:100 **Proposta de Contenção LUC 37**) alcançou 5.60 m de acordo com dados obtidos em julho de 2006, durante os reconhecimentos e visitas de campo. As voçorocas situadas a 38.00 e 22.00 metros apresentaram profundidade de 2.00 e 2.50 m respectivamente, com relação às profundidades, ambas apresentaram valores superiores a 2.00 m.

A quantidade de vegetação do tipo arbustiva e semiarbórea, a altura do platô e a presença de cobras constituíram fatores que impossibilitaram a descida até a jusante da incisão, todavia

estes aspectos não devem constituir fatos que impossibilitem a aplicação da medida mitigadora recomendada, a partir da limpeza do terreno, com rebaixamento da vegetação e posteriormente o isolamento da área.

Na fase de execução, as medidas para a construção e preparação dos degraus foram projetadas em plantas com dimensões a serem obedecidas como medidas-padrão (Fig. 8.9), onde as estacas devem ter no mínimo 10 cm de diâmetro e um comprimento de 1,50 m. Estas estacas devem ser enterradas a pelo menos 0,50 m no interior do solo, antes de serem enterradas deve ser efetuado o revestimento das paredes do solo utilizando-se a manta de fibra de juta. Em fase posterior as estacas devem ser ajustadas lado a lado, dispostas transversalmente ao sentido do fluxo, de modo a impedir o transporte de sedimentos para jusante e diminuir a velocidade da água do escoamento superficial concentrado (8.10).

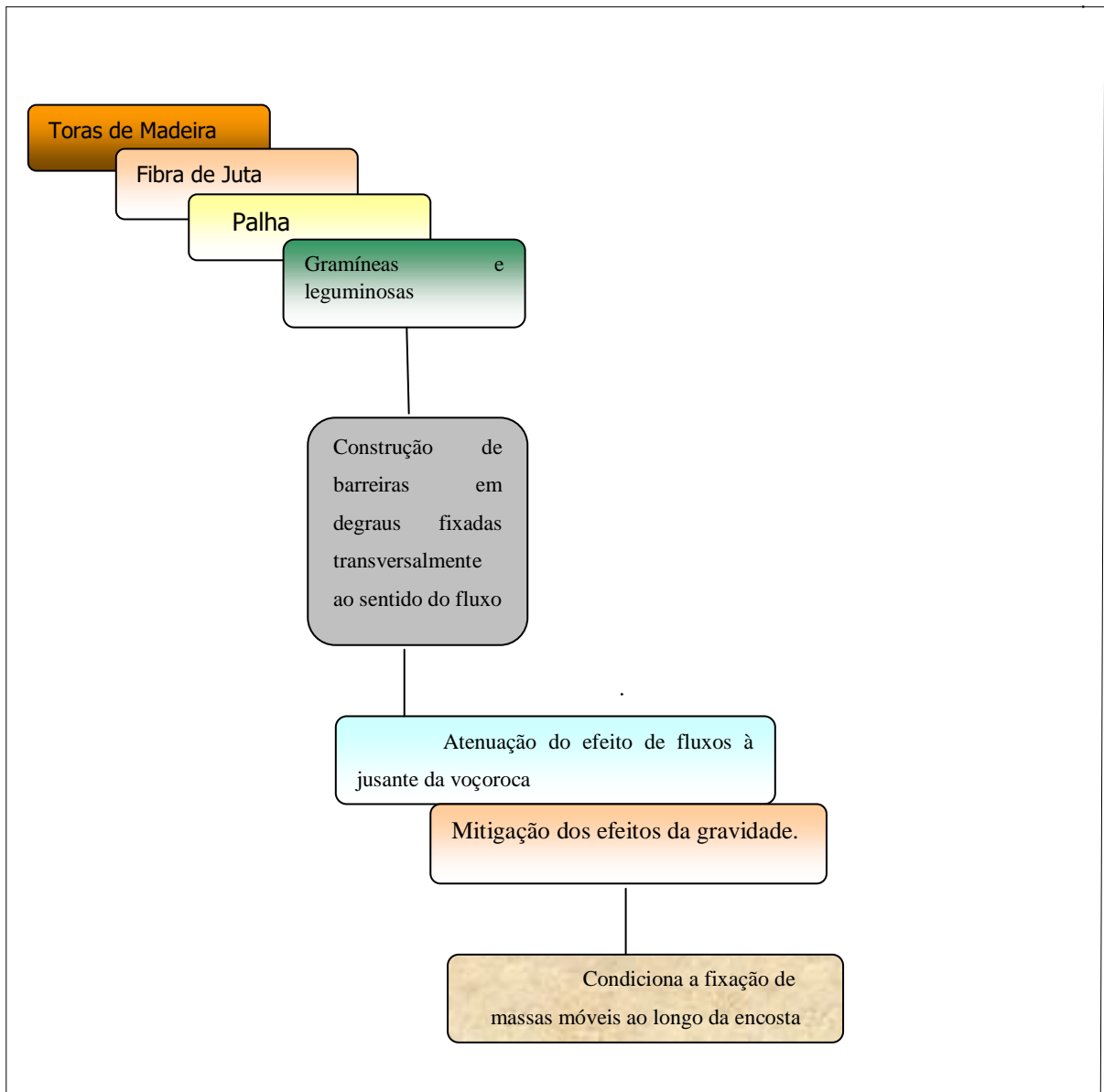


Figura 8.8: Técnicas de contenção aplicadas no campo de LUC.

Os degraus da parte interna do canal devem ser construídos conforme proposta apresentada neste fluxograma. A meta principal deste tipo de construção é pensar sob uma perspectiva de contextualização ecológica, executando desse modo, obras que utilizem apenas materiais que proporcionem ao ambiente sua reabilitação.

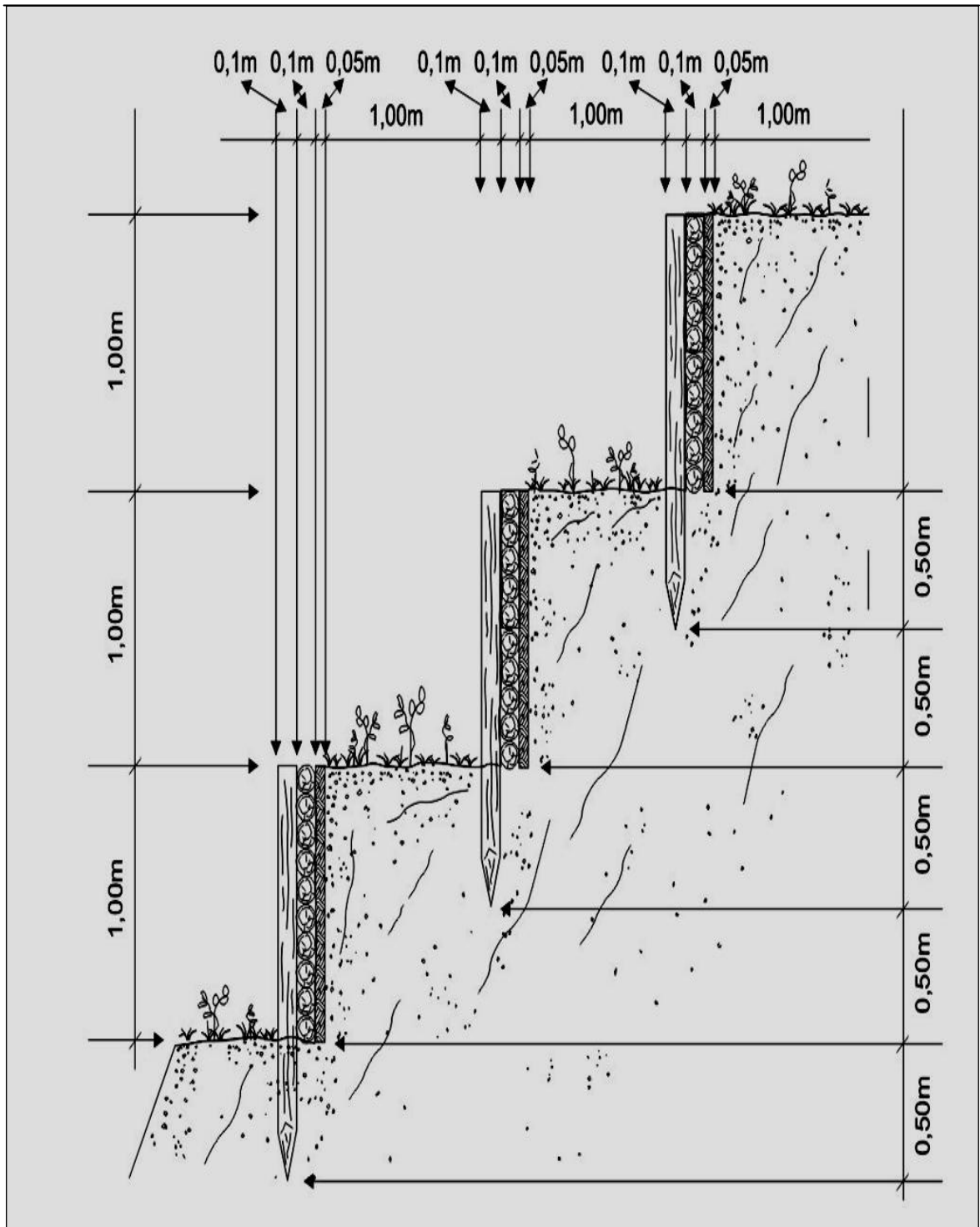


Figura 8.9: Posicionamento das estacas formando patamares ao longo da encosta. Todos os degraus devem ser revestidos com a manta de juta, impedindo assim o transporte de sedimentos ao longo da encosta.

Desenho: KID (2007).

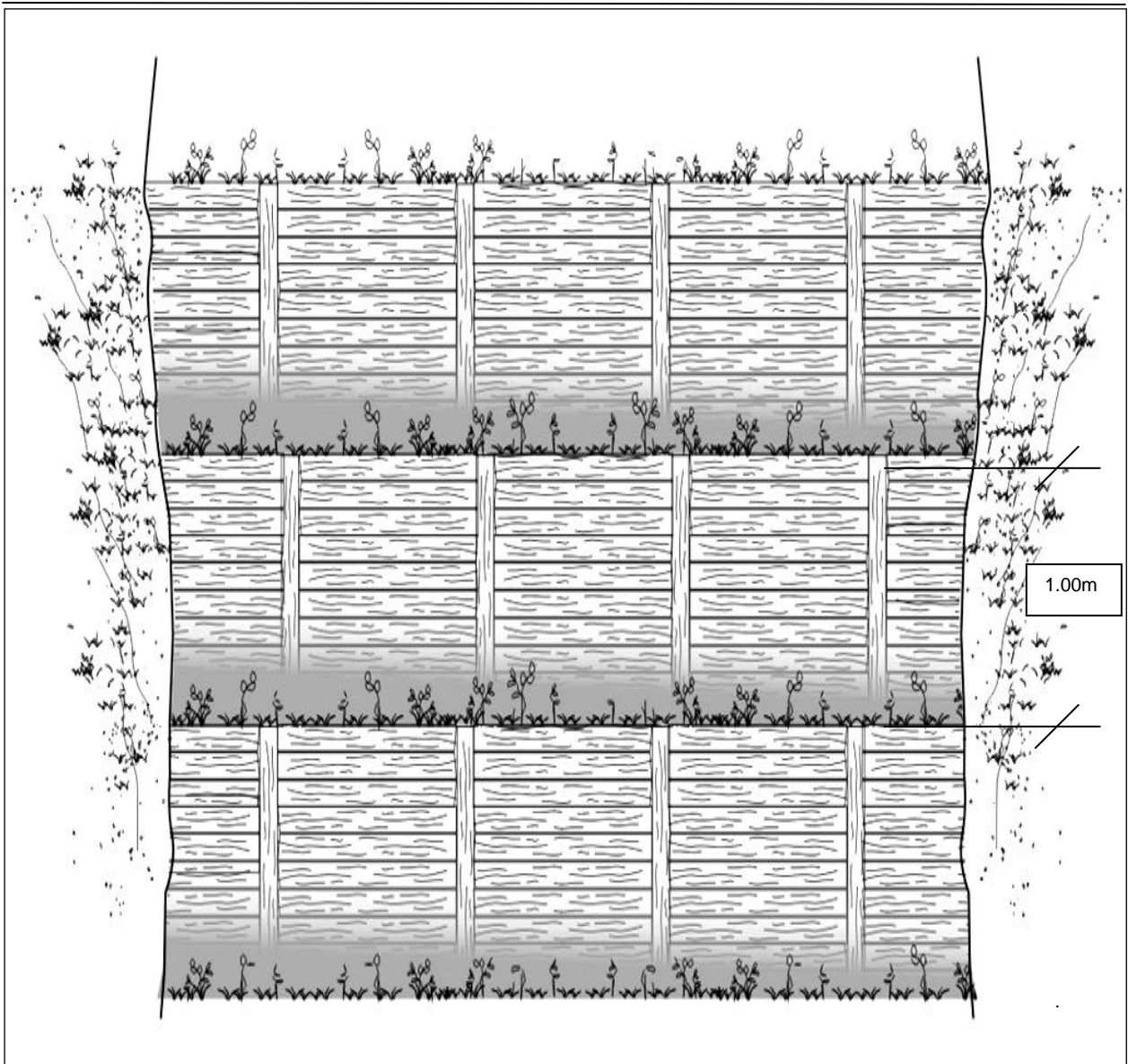


Figura 8.10: Visão dos patamares em seção transversal
Desenho: KID (2007).

A figura acima caracteriza a seção transversal dos patamares construídos ao longo das encostas que circundam a área de LUC, os tons cinza representam a proposta de revestimento destes patamares com biomanta de juta. Esta alternativa definiu-se após os reconhecimentos das condições de textura dos solos. Em análises realizadas em sete amostras, os resultados obtidos (Tabela II) demonstraram teores equivalentes de composição granulométrica em profundidades de coleta até 80 cm nas encostas. Todavia, outros aspectos, como valores elevados de densidade

aparente, refletem a necessidade de utilização de um material que possa auxiliar na retenção dos sedimentos ao longo da encosta, conforme interpretação apresentada a seguir.

Os valores da densidade aparente variaram de 1,23 a 1,26 de acordo com as profundidades onde as amostras foram coletadas. Valores relativamente elevados de DA evidenciam solos com níveis de compactação também elevados, aspecto que favorece a geração de fluxos de superfície do tipo *runoff*, uma vez que, a densidade aparente apresenta correlações negativas, quando conjugada à porosidade, ou seja, densidades elevadas revelam solos com baixa capacidade de proporcionar capacidade de infiltração. Este aspecto não contribui para a estabilização do processo erosivo, ao contrário disso, acelera a abertura de incisões. Com relação à densidade do solo Souza *et al.* (2005), mencionam que esta é uma característica afetada por fatores com a cobertura vegetal, o teor de matéria orgânica e o uso e manejo do solo.

TABELA II: RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS DE SOLO

Prof cm	DA g/cm ³	DR g/cm ³	VPT %	GRANULOMETRIA		
				ARGILA	SILTE	AREIA
			%.....		
20	1,23	2,66	53,75	40,15	27,7	32,15
35	1,23	2,63	53,23	33,0	30,85	36,15
40	1,26	2,66	52,63	35,5	31,25	33,25
50	1,25	2,70	53,70	35,5	33,1	31,40
60	1,23	2,63	53,23	38,0	32,1	29,90
70	1,25	2,66	53,0	38,0	30,85	31,15
80	1,26	2,70	53,33	35,5	32,75	31,75

O aumento excessivo da densidade acarreta redução da permeabilidade e da infiltração da água no solo. Densidade com valor entre 1,27 e 1,57 g cm³ é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (ALVARENGA *et al.*, 1996; CORSINI & FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de 1,40 g cm³ é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD *et al.*, 1996).

As condições de textura não caracterizaram evidências que auxiliassem a deflagração de processo erosivo, considerando que as classes texturais médias revelaram certo equilíbrio nas composições de argila, silte e areia. Todavia, esta forma de análise não é válida para as condições

da primeira amostra, que apresentou níveis elevados dos teores de argila. Ressalte-se, neste caso, que as argilas podem ter sido ali colocadas por material de empréstimo, apenas para recobrir a área, ou o topo do solo (*topsoil*), em etapa anterior à construção da superfície onde o poço está situado, durante as fases de terraplenagens para a preparação da área de construção do poço. A interrupção das condições de infiltração direcionou os fluxos para a faixa de transição, correspondente às vertentes destas encostas, onde o processo erosivo se instalou. Daí a erosão ser mais evidente na faixa de entorno (v. fluxograma do Quadro Erosivo — LUC).

As densidades reais denotaram compostos de quartzo em todas as amostras, fato que de certa forma pode ter auxiliado a erosão.

As interpretações indicam que o modo de execução das obras no LUC –37 determinou a aceleração do processo erosivo, pois favoreceu o escoamento superficial, direcionando-o para as bordas dos baixos taludes ali presentes, que ficaram desprotegidos pela ausência de dispersores de fluxos (v. Figuras 8.3; 8.4 e 8.5).

Sob este enfoque de análise, merece ressalva, a premissa de que deve ser realizado o monitoramento efetivo dos solos, que tiveram suas condições físicas originais, alteradas pela composição de material de empréstimo, como medida preventiva ao aparecimento de incisões erosivas.

O sistema intensivo de uso e manejo do solo, por atividades agrícolas, ou por obras de engenharia, pode alterar seus atributos físicos, ocasionar degradação e perda da qualidade do solo. Os atributos físicos do solo, como as taxas de densidade, por exemplo, são bons indicadores de sua qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência antrópica, determinando o melhor uso e menor degradação.

CAPÍTULO IX: O CAMPO DE RUC

A denominação de Campo de RUC deriva do setor onde está localizada a estrada que corresponde ao curso principal do rio Urucu. Dando continuidade aos trabalhos de observação e registros, dos pontos erosivos que exigiam a aplicação das técnicas mitigadoras em caráter emergencial, foi possível observar durante os levantamentos dois problemas de degradação do solo.

- a) A exposição dos dutos de transporte de gás por incisões erosivas (fig.9.1.)
- b) Áreas que foram terraplenadas, porém não monitoradas e que se tornaram vulneráveis ao aparecimento de ravinas (figuras. 9.2 e 9.3).



Figura 9.1: O escoamento superficial tem causado a exposição de dutos tanto nas estradas do RUC como do SUC.

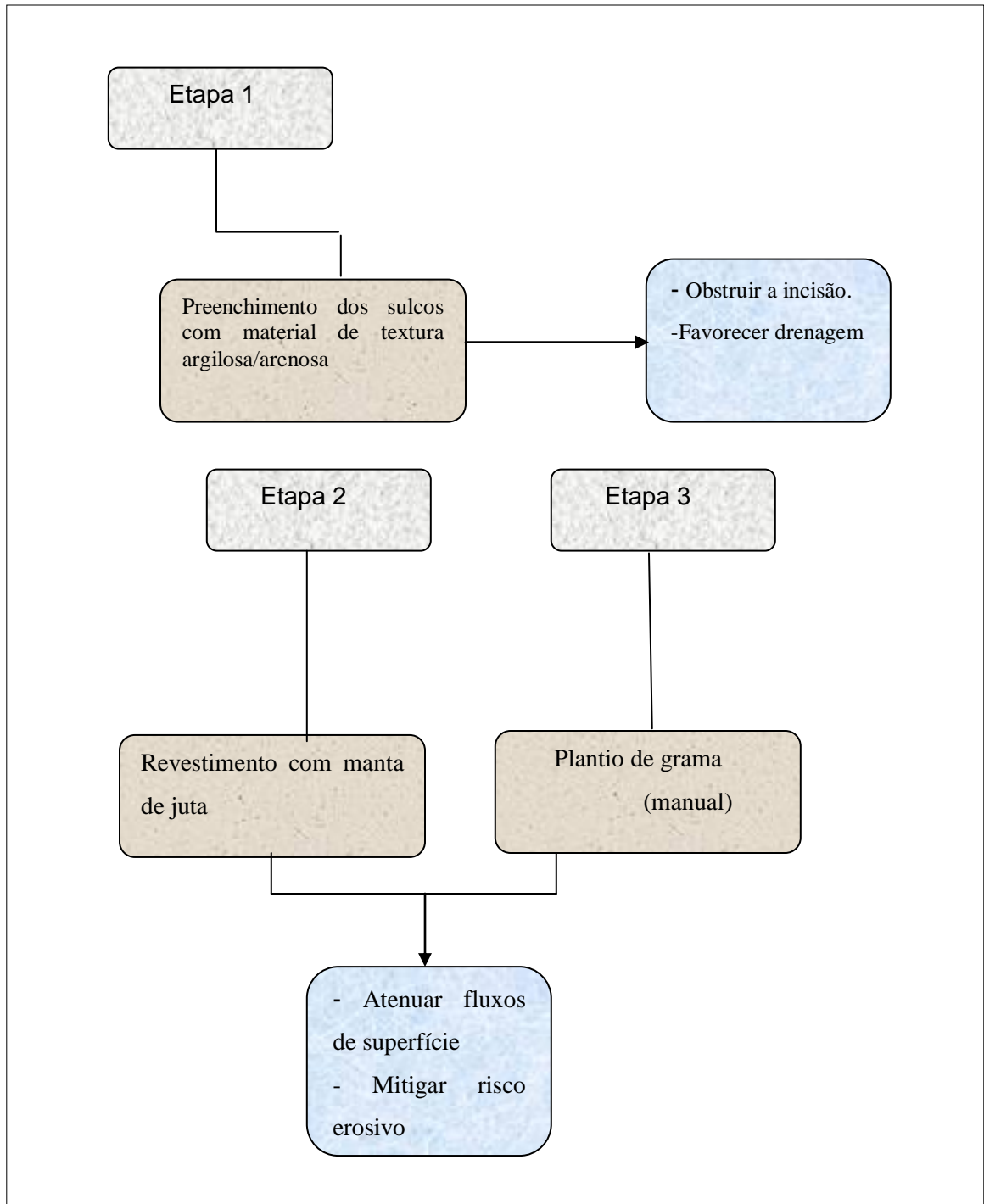


Figura 9.2: Rede de ravinas a montante da incisão
Foto: Vieira (2005).



Figura 9.3: Formas de erosão mais acentuadas à jusante, evolução para voçorocas.
Foto: Vieira (2005)

Para mitigar esta modalidade erosiva, foi proposto preliminarmente um plano de trabalho sob o enfoque de sempre considerar a não utilização de nenhum material que não fosse absorvido pelo solo. As etapas deste plano de trabalho são apresentadas no quadro abaixo:



Nas fases de reconhecimento de campo realizadas em setembro de 2005, foi possível identificar 28 sulcos erosivos com profundidades médias de 0,50 m, este tipo de medida foi obtido pela diferença estabelecida, entre o nível de base e as estruturas testemunhas, denominadas na geomorfologia por *demoiselle*, existentes no interior das incisões (ver Fig. 9.4), evidência em destaque nos 708 metros de estrada que foram percorridos e averiguados (ver planta representativa da estrada do RUC a seguir).



Figura 9.4: Estrutura testemunha
Foto: Aguiar (2005)

O material de empréstimo que recobriu os dutos não apresenta bom grau de coesão. Análises de campo com amostras úmidas demonstraram consistências do tipo solta ou friável, raras foram as ocorrências de consistências do tipo firme, de acordo com exames realizados junto aos 28 sulcos erosivos. Estes aspectos denotam predominância de texturas arenosas e médias (MANFREDINI *et al*, 2005).

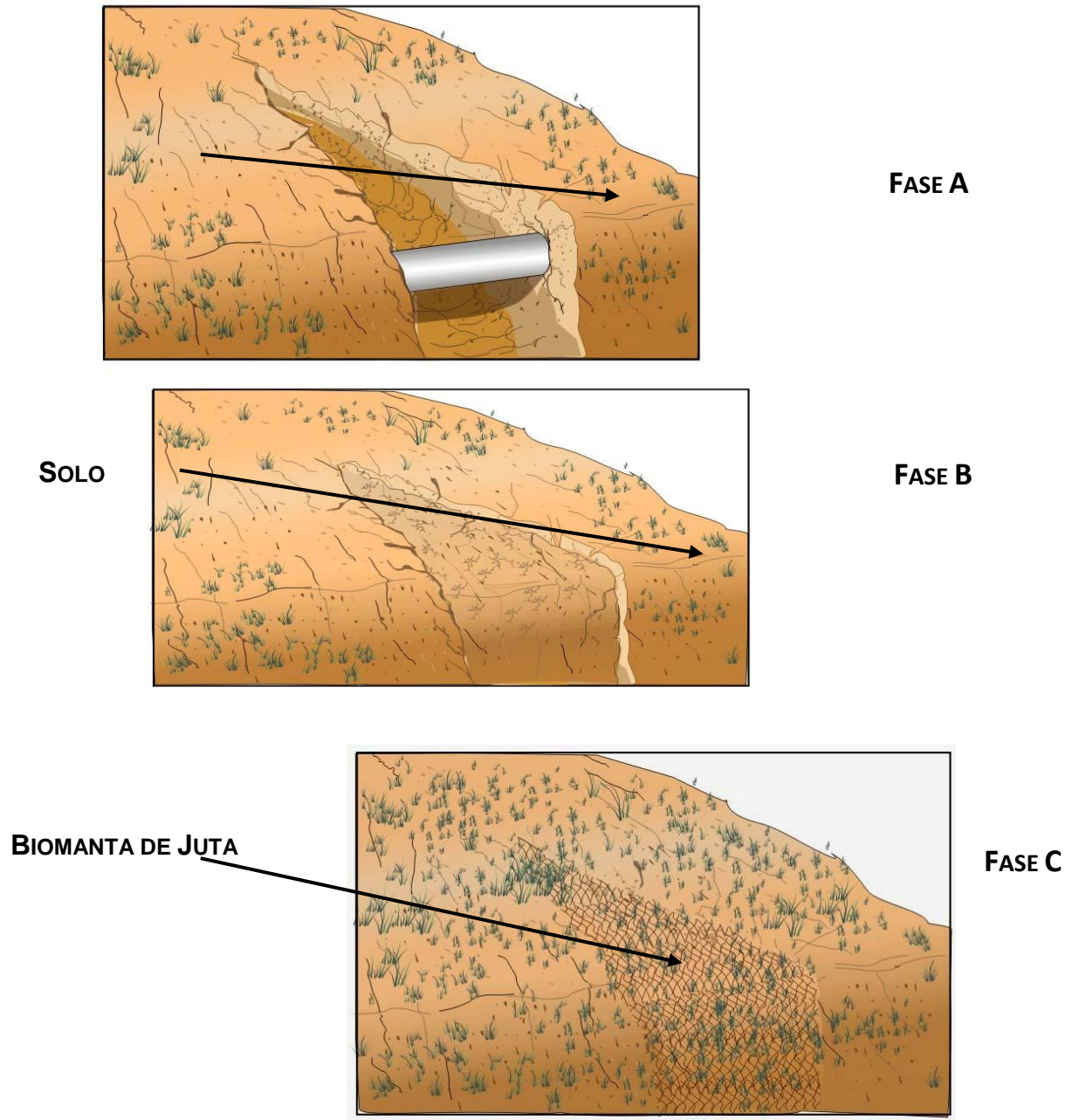
Todo material erodido está sendo transportado para dentro dos cursos fluviais, fato evidenciado diante do comprometimento de 70% da capacidade de escoamento das manilhas,

proporcionando assim a redução de fluxo e capacidade de transporte no canal. O material de empréstimo que recobriu os dutos apresenta friabilidade e erode de modo rápido, necessitando ser recomposto o mais breve possível. Para amenizar o processo erosivo local devem ser repostos aproximadamente 3.000 m³ de aterro, para recobrimento dos dutos e utilizado o revestimento de biomanta de juta (Fig. 9.5. Etapas de Recuperação).



PLANTA DA ESTRADA DO RUC

Figura 9.5: Tubulações Expostas nas Estradas



Fase A: O Problema.

Fase B: Recomposição do material perdido.

Fase C: Plantio de mudas de gramíneas protegidas por biotextil – Manta de juta

CAPÍTULO X: Estrada do SUC – Setor Sul do Urucu

Com base nos levantamentos realizados no setor sul da bacia do rio Urucu, correspondente ao campo de SUC, verificou-se a necessidade da aplicação de técnicas mitigadoras para a solução de dois sérios problemas:

1) A existência de sulcos erosivos com profundidades médias de 0,50 cm que se localizavam tanto na parte superior como inferior dos taludes na lateral da estrada. Esses taludes com declividades classificadas entre 3 a 8% (EMBRAPA, 2006) originaram-se a partir das obras com os cortes no terreno para a abertura de estradas. Outras obras como escavações para enterros de dutos e exposição do terreno aos elevados níveis de precipitação presentes na área da bacia propiciaram a existência deste tipo de feição erosiva (fig. 10.1). Sobre os índices de precipitação, Pereira (2006), realizando estudos no Urucu obteve dados sobre médias máximas de 2.869 mm (1999) e médias mínimas de 2.122 mm (1998). Estes níveis de precipitação, ao atingirem os taludes, passaram a constituir fontes produtoras de sedimentos pelo fenômeno da erosão em sulcos que se instalou na estrada do SUC. Desse modo, a significativa carga de sedimentos, produzidas por esta modalidade erosiva, é destinada aos pequenos canais que cortam a estrada ao longo de 10 quilômetros de extensão.



Figura 10.1: A necessidade de escavações para aterro de dutos e a exposição do terreno, a ação de fluxos superficiais propiciou o aparecimento de inúmeros sulcos na parte mais elevada do relevo.

2) O segundo problema identificado foi o assoreamento dos canais, derivado de dois fatores: dos sedimentos que são transportados da parte interna dos sulcos e da obstrução dos dutos de concreto utilizados para o confinamento dos fluxos e/ou retificação dos canais hidrográficos que drenam a bacia do rio Urucu (Figuras 10.2 e 10.3).



Figura 10.2: Os dutos, que são enterrados no solo com o objetivo de confinar os fluxos para a passagem e abertura de estradas acabam apresentando subdimensionamento de diâmetro causado pela elevação de nível da água e da grande quantidade de sedimentos que são carreados para dentro do canal.

Foto: Aguiar (2006)



Figura 10.3: A elevada carga de sedimentos transportados causa assoreamento nos canais fluviais.

Foto: Aguiar (2006)

O assoreamento dos canais foi um dos aspectos do processo erosivo que mais se destacou no Campo de SUC. Neste sentido, todos os cursos fluviais existentes ao longo da estrada foram cadastrados de acordo com o sistema de identificação proposto pela Petrobras⁶. Em seguida, foram registrados em ficha modelo, de forma concomitante, foi realizado o tipo de recomendação para atenuar a forma de impacto no solo e nos canais (QUADRO VI). Durante os levantamentos e registros realizados no SUC, pode-se observar a densidade de drenagem na bacia, uma vez dos 21 pontos cadastrados como pontos de impactos 17 foram identificados como pequenos cursos fluviais.

⁶ A localização estabelecida e sistematizada pela Petrobrás necessitou ser utilizada na metodologia de levantamento para posteriormente serem aplicadas as práticas de mitigação do problema.

Quadro VII: Levantamentos de campo – Registros de Pontos Impactados – Polo Urucu

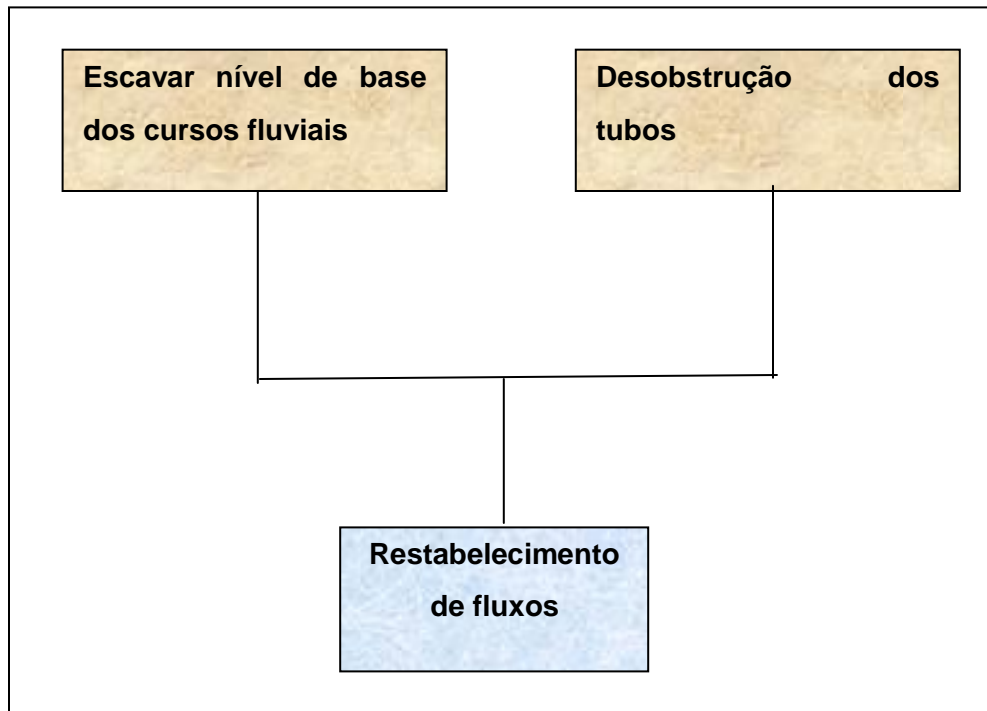
Nº	Ponto de Parada	Localização (KM)	Identificação do Problema	Recomendação	Observação
1	Início da estrada do SUC – sentido Alojamento	1.0	Sulcos de 0,50 cm de profundidade, forte concentração de fluxos originados em talude de 3m de altura.	Gramar a parte inferior do talude. Construir um sistema de patamares para reduzir atuação do fluxo	O material exposto apresenta composição arenosa. Vulnerabilidade elevada a processos erosivos
2	Corte de perfil em estrada (lateral esquerda e direita).	1.2	Corte do perfil exposto pela ação erosiva da água	Gramar	Rocha de composição arenítica, apresenta vulnerabilidade à erosão
3	Canal fluvial – tributário da bacia	2,5	Assoreamento	Restabelecer o fluxo do canal. Erguer tubulação	Aparecimento do primeiro tributário da bacia hidrográfica do rio Urucu
4	Curso fluvial morto - canal totalmente assoreado	2.9	Obstrução do canal, causada pela subdimensão dos tubos de canalização do sistema de drenagem.	Desobstrução da tubulação. Aumentar o raio hidráulico	Lateral da estrada com incisões erosivas
5	Canal fluvial	3,6	Obstrução dos tubos – sistema de drenagem refazer	Limpeza do sistema de drenagem – recuperação do fluxo	Lateral esquerda da estrada – apresenta voçorocamento.

6	Canal fluvial	4	Obstrução das manilhas do sistema de drenagem	Limpeza e recuperação do fluxo	90% dos tubos do sistema de drenagem precisam ser desobstruídos. A elevada carga de sedimentos compromete o sistema de drenagem
7	Canal Fluvial	4.7	Elevação do leito de base no canal.	Escavar o leito	Lateral da estrada – voçoroca
8	Canal Fluvial	5.0	Obstrução das manilhas	Limpeza do sistema de canalização	Tubulação preenchida por sedimentos
9	Erosão na faixa lateral da estrada	5.5	Erosão provocou perda de material – transportado para dentro do canal	Providenciar aterro evitar o rompimento da estrada	Assoreamento do canal
10	Canal fluvial	5.8	Assoreamento	Limpeza do canal	Limpeza da caixa coletora
11	Canal fluvial	6.4	Voçoroca decorrente da escavação do nível de base	Conter avanço da voçoroca para as cabeceiras	Voçoroca em formato linear apresentando 7.00 x 3.00m de profundidade. Concentração de fluxos superficiais
12	Canal fluvial	7.1	Assoreamento	Construir dissipadores de energia para conter a velocidade da água até o nível de base	Canal com inversão de fluxo. Fluxos invertidos indicam divisores de sub-bacias de drenagem
13	Canal fluvia	7.3	Obstrução dos tubos	Liberar obstrução	Inversão de fluxo – sub bacia
14	Canal fluvial	7.6	Tubulação obstruída		
15	Canal fluvial	7.7	Recuperação dos fluxos	Escavamento do	Inversão de fluxo

				leito. Providenciar cobertura vegetal nas margens. Construir dissipadores de água até o nível de base.	
16	Canal fluvial	8.3	Interrupção do fluxo por sedimentos	Remoção dos sedimentos	Margem esquerda de jusante. Represamento.
17	Canal fluvial	8.5	Interrupção de fluxo	Desobstruir canal e tubulações	Interrupção do fluxo.
18	Canal fluvial	8.6	Interrupção de fluxo	Desobstruir canal e tubulações	Idem
19	Canal fluvial	8.7	Interrupção de fluxo	Desobstruir canal e tubulações	Idem
20	Canal fluvial	8.9	Interrupção de fluxo	Desobstruir canal e tubulações	Idem

ETAPAS DE RECUPERAÇÃO DO SUC

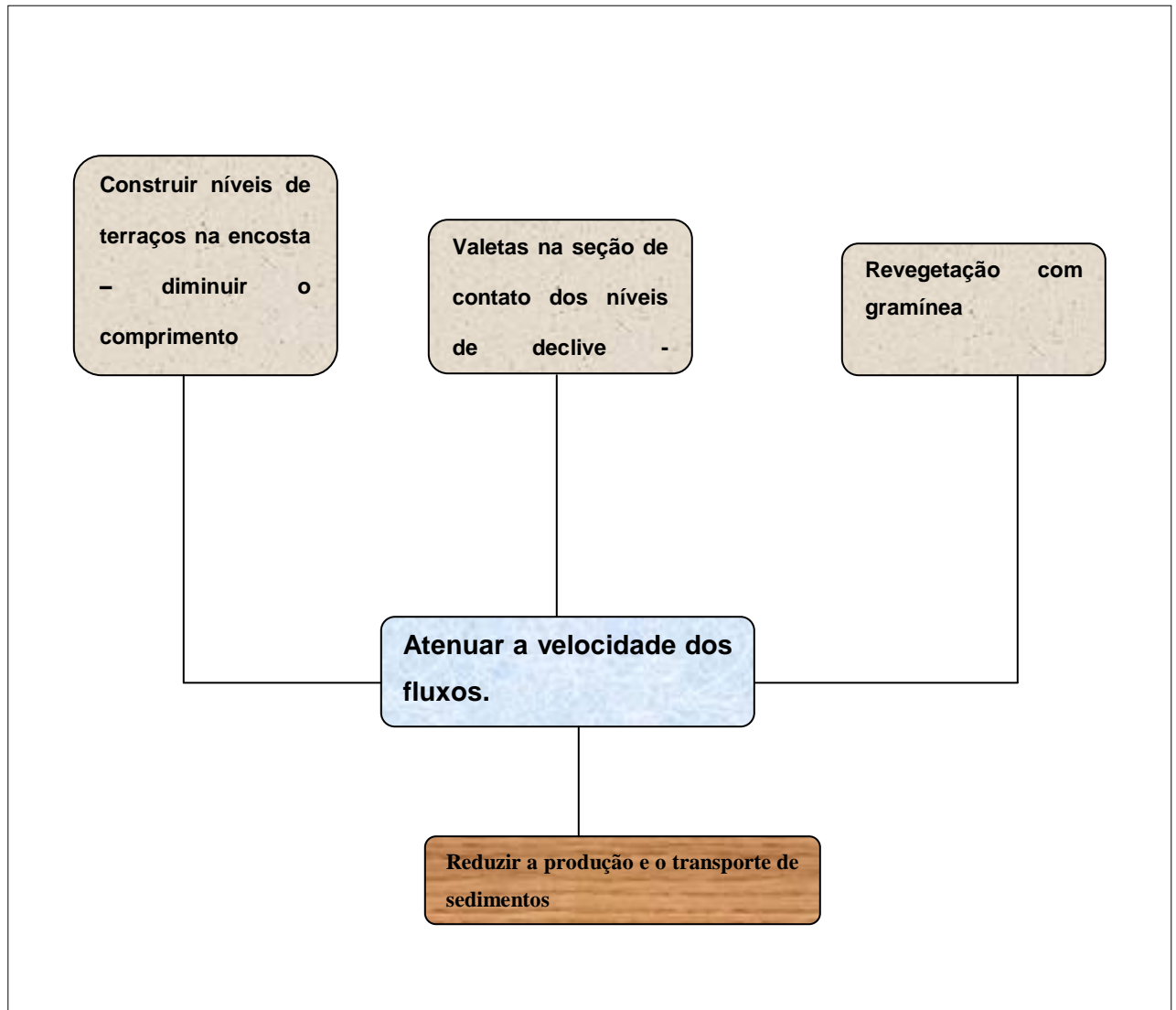
1ª ETAPA – REABILITAR CONDIÇÕES DE FLUXOS



ESQUEMA REPRESENTATIVO DAS ETAPAS DE RECUPERAÇÃO DO SUC

As etapas do quadro acima compõem o processo de recuperação do papel das encostas presentes ao longo da estrada do SUC. Sob este enfoque torna-se pertinente propor a recuperação dos mecanismos de drenagem dentro do solo, a partir do início de execução das obras de terraplenagem.

2ª ETAPA – REABILITAÇÃO DAS ENCOSTAS



A compactação da camada superficial contribui para o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, propicia o aparecimento de ravinas.

Dessa forma, é necessário impor como condição básica para a reabilitação do papel da encosta a introdução das técnicas mitigadoras de erosão, no momento exato de execução das obras de recortes de meia-encosta, cortes de talude ou terraplenagem.

O procedimento de implantação das propostas de recuperação, se não efetuado em concomitante, deve ser efetuado de modo simultâneo à obra. Este pressuposto não deve ser apenas de caráter remediador, mas sim de condição preestabelecida e planejada dentro do cronograma de execução, aspectos que sem dúvida proporcionarão:

- Redução de custos posteriores – com técnicas ou práticas de recuperação vegetativas, mecânicas e edáficas;
- Menor impacto – no solo e nos rios;
- Reabilitação das condições ambientais em prazo reduzido – encostas com boa drenagem e redução no transporte de sedimentos para as bacias;
- Realimentação e armazenamento de água para os canais hidrográficos – solos com condições favoráveis de porosidade e alimentação adequada do lençol freático;
- Redução nas taxas de sedimentos transportados para os cursos fluviais – menor assoreamento e favorecimento das condições de fluxo.

CAPÍTULO XI: RECOMENDAÇÕES

11. PORTO EVANDRO

11.1. DIAGNÓSTICO DO PROCESSO EROSIVO NO PORTO EVANDRO - CONTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR SOBRE OS CANAIS

Com a finalidade de elaborarmos um diagnóstico completo sobre o processo erosivo instalado no Porto Evandro, foi utilizada como metodologia a seleção dos pontos de caráter emergencial em todo o percurso da estrada, e no local preciso do porto.

Dessa forma, é importante ressaltar que a princípio as causas deste processo são as que apresentamos abaixo:

- a) Áreas terraplenadas que dificultam a infiltração e favorecem escoamentos superficiais;
- b) Encostas desprovidas de proteção vegetal, ou sem a aplicação de práticas de caráter mecânico.

Durante as investigações de campo foi verificado que as pequenas encostas ali presentes, exerciam forte influência como fator controle do processo erosivo. Esta situação se tornava mais grave mediante as conexões estabelecidas entre as encostas e os cursos fluviais que compõem a bacia. Este quadro erosivo estabeleceu-se em face da necessidade de realização de obras, que cortaram grande parte dos canais existentes na estrada de acesso ao Porto.

As estradas, quando cortam os cursos de água, são fontes potenciais de contribuição de sedimentos. Na área do Porto Evandro, dentre os fatores responsáveis por essa contribuição, encontram-se a aplicação de técnicas de terraplenagem, cortes de taludes sem posterior cuidado de reposição de cobertura vegetal e compactação dos horizontes superficiais do solo. A conexão dos sistemas hidrográficos, com encostas sem a proteção vegetal adequada, compõe um sistema interativo responsável pela manutenção do fluxo de sedimentos (Fig.11.1). Mediante as observações de campo, os mecanismos de transferência de sedimentos, a partir das estradas, puderam ser classificados em três tipos:

- (1) Erosão nas laterais e acostamentos da estrada;
- (2) Erosão de estradas que cruzam os canais;

(3) Erosão e rompimento de aterros nas margens dos canais.

Os dois primeiros estão relacionados à conexão hidrológica entre a estrada e o canal, sendo assim há mecanismos de produção constante de sedimentos, em ritmos e intensidade, que acompanham as precipitações locais.



Figura 11.1: Encosta conectada ao canal hidrográfico. Os setores a montante e a jusante desta encosta, não receberam aplicação de nenhuma medida preventiva para reduzir a a velocidade dos fluxos e a contribuição sedimentar sobre os canais. Verificar o surgimento de incisões na parte superior.

Foto: Vieira (2004).

O terceiro mecanismo de contribuição sedimentar das estradas é associado ao rompimento de aterros. A passagem de estradas sobre pequenos canais hidrográficos é feita com canalização do fluxo por meio de manilhas e o preenchimento lateral do conduto com terra.

O subdimensionamento ou ainda a disposição inadequada desses condutos, leva a sua falência, por ocasião de grandes eventos de precipitação. Vazões que excedem capacidade dos condutos e o acúmulo constante de detritos vegetais em função de ângulos pequenos entre o alinhamento do canal montante e orientação das manilhas, represam água e favorecem o rompimento dos aterros (Fig.11.2).



Figura 11.2: Rompimento de aterros. Foto: Aguiar (2005).

O reconhecimento da dimensão adequada dos condutos (diâmetro) é fundamental nas análises, pois o subdimensionamento é o principal responsável pelo entupimento com detritos e/ou rompimento de aterros, como já foi mencionado anteriormente.

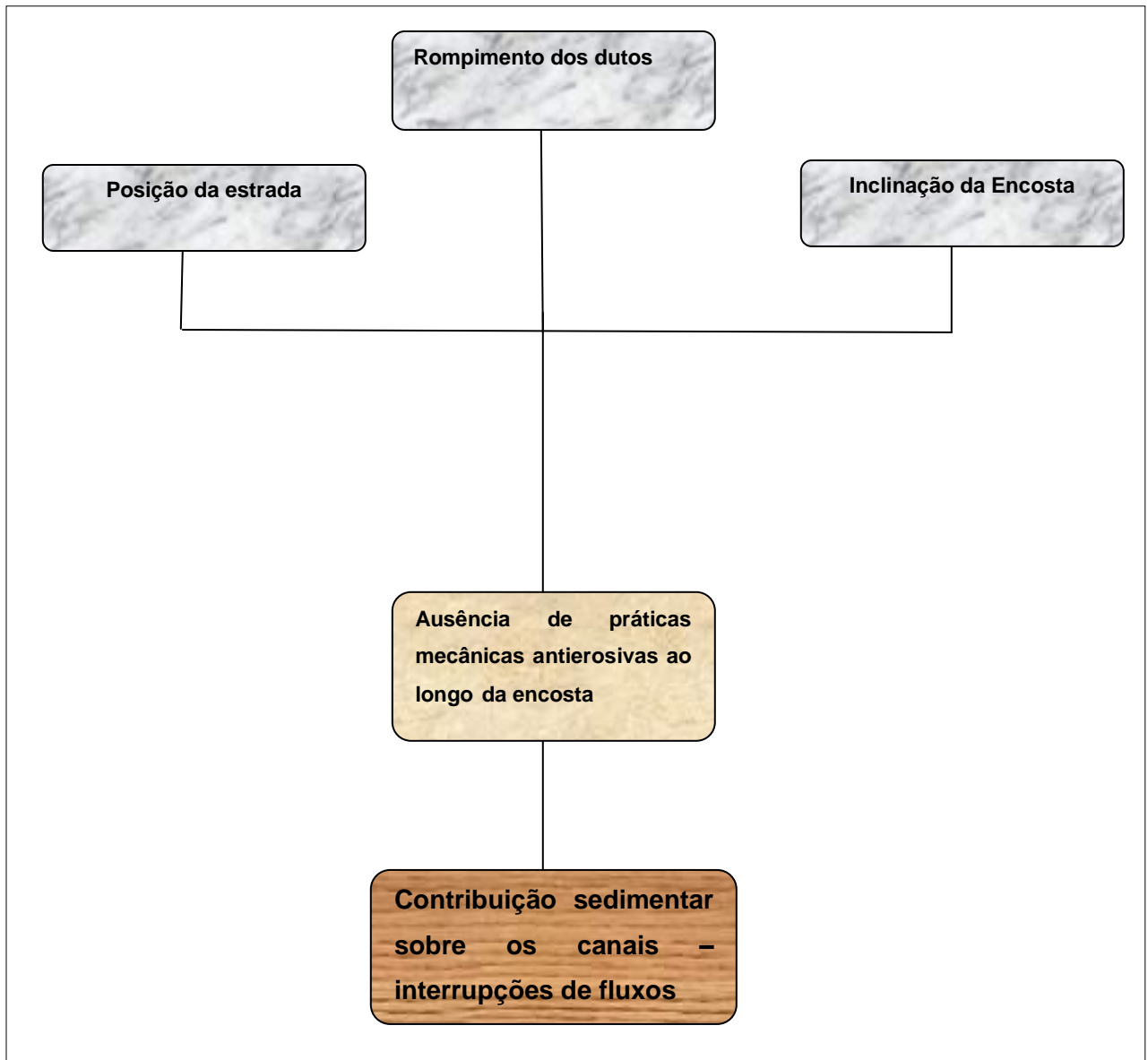
Os fatores de verificação desses problemas incluem: a) posição da estrada na encosta (topo, base, etc.); b) declividade da estrada; c) tipo de solo, relacionando com a litologia; d) declividade da encosta; e) tipo de vegetação; f) ausência de prática mecânica antierosiva.

O aumento das áreas impermeabilizadas por construções e pavimentos faz com que aumente, não só o volume, mas também a velocidade do fluxo. Estes, que antes se encontravam dissipados, tendem a se concentrar, o que conseqüentemente catalisa os processos de

desenvolvimento das voçorocas. As pontes permitem a passagem livre do fluxo fluvial, enquanto os manilhamentos causam, normalmente, comprometimento do canal (Quadro VII).

Além destes, outros problemas ambientais foram identificados no Porto Evandro, como a retirada de areia do leito do rio Urucu e deposição nas margens, causando turbidez da água.

QUADRO VIII: ESQUEMA REPRESENTATIVO - EROÇÃO PORTO EVANDRO



11.2. RECOMENDAÇÕES

A contribuição sedimentar sobre os cursos fluviais na estrada do Porto Evandro, decorre em grande parte da ausência de canaletas nas laterais das estradas. Em consequência da ausência destas estruturas, não é possível dissipar a energia dos fluxos, o que leva a concentração do escoamento superficial proporcionando incisões que se direcionam até os canais (Fig.11.3).



Figura 11.3: Exemplo de fluxos concentrados nas laterais das estradas, provocando o aparecimento de sulcos que evoluem para voçorocas. O material transportado por estas incisões é direcionado para os rios que cortam as estradas.

Foto: Vieira (2004)

Com a finalidade de verificar e registrar todos os pontos de concentração dos fluxos foi realizado o cadastro e feitas as recomendações para mitigar o problema erosivo (Quadro VIII). Para solucionar este tipo de problema recomenda-se a construção de valetas de base larga recobertas por manta de juta e dissipadores internos de fluxos feitos com toras de árvores.

A exposição de encostas (Fig.11.5) por processos de terraplenagem é outro fator que tem contribuído, de modo eficaz, para o assoreamento dos canais. Flagrantes que evidenciam a exposição da encosta ao processo erosivo, para posterior solução do problema, se torna um traço comum neste tipo de obra. A postura que é assumida perante as alterações ambientais manifesta a ausência de preocupação com o funcionamento interativo do meio, ou seja, à medida que encostas ficam expostas por longos períodos, que incluem intervalos estabelecidos entre o início

e a conclusão da obra, os processos de transporte de sedimentos para dentro dos canais, vão se acentuando.

Na maioria dos casos, somente no fim dos serviços de execução, são implantadas as fases de recuperação. Para mudar esta postura recomenda-se, na medida do possível, que a obra de recuperação seja realizada concomitantemente à obra de construção ou, por outro lado, que a recuperação ou o restabelecimento das funções do ambiente, principalmente aquelas associadas ao quadro de natureza geomorfológica, estejam previstas na fase de pré-planejamento das obras.

Como medida de recuperação foi recomendado o revestimento da encosta por mantas de juta (Figuras 11.4.1; 11.4.2), ou biomantas, incluindo a construção de patamares dissipadores de energia.



Figura 11.4: Encosta exposta por processo de terraplenagem



Figura 11.4.1: Manta antierosiva de juta.






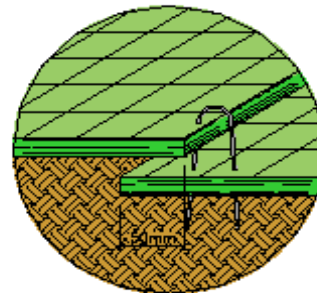
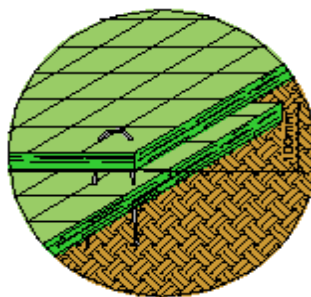
Fig.11.4.2: Revestimento de encosta com biomanta

Sempre em busca de alternativas ambientais para a contenção de processos erosivos, se recomenda para a fixação das mantas antierosivas, talas de madeira ou bambu, somente em casos extremos, os grampos de aço.

No quadro abaixo são apresentados os tipos de estruturas para fixar as mantas no solo, adaptados para os tipos de textura local, a partir do Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentoras de Sedimentos e Hidrossemeio - Deflor Biogenharia (2006).

TIPOS DE GRAMPOS PARA FIXAÇÃO DE MANTAS ANTIEROSIVAS

Grampos	Tipo	Comprimento dos Grampos (cm) e Uso em Taludes (corte/aterro)					
		7.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
Aço		Corte	Corte	Corte	Aterro	Aterro	-
Madeira		-	-	Corte	Corte	Aterro	Aterro
Bambu		-	-	Corte	Aterro	Aterro	Aterro



FORMA DE FIXAÇÃO DOS GRAMPOS – TRANSPASSE LONGITUDINAL E TRANSPASSE LATERAL

A alternativa de propor a aplicação de mantas de juta para reter sedimentos ao longo da encosta se deu pelo fato de que este material, não constitui resíduo de difícil decomposição no solo (Figuras. 7.5.3; 7.5.4).



Figura 11.4.3: Resíduos de manta de juta no solo.



Figura 11.4.4: Amostra de juta em decomposição. Foto (Albuquerque, 2005).

Quadro IX: Levantamento de Campo - Estrada do Porto Evandro 05/06

Nº	Localização (Km)	Identificação do Problema	Recomendação
01	01	Assoreamento	Limpeza das manilhas. Escavar leito – aumentar nível da água. Retirar material removido para construção. Proteção das margens. Construção de Canaletas com estruturas internas de interceptação.
02	1,5	Erosão à jusante da canaleta	Construção de patamares no fim da canaleta para dissipar a energia de água.
03	1,6	Subdimensão dos dutos	Limpeza interna – restabelecer fluxo de água
04	1,7	Existência de sulcos erosivos com 1,50m de profundidade	Preenchimento dos sulcos com solos de textura argilosa.
05	2,1	Ravinamento, concentração de fluxos em áreas declivosas.	Hidrossemeadura
06	2,3	Sulcos à montante da encosta	Construção de patamares – 3m de largura
07	2,6	Voçorocamento	Construção de barragens de madeira
08	3,1	Erosão à jusante da canaleta	Construir blocos próximos à parede da canaleta para reduzir velocidade do fluxo.
09	3,9	Sulcos	Recompor vegetação
10	4,4	Canaletas com declive acentuado	Construir terraços em patamares.

CAPÍTULO XII: CONCLUSÕES

Os critérios propostos nessa tese, no que diz respeito à aplicação de práticas mitigadoras de processo erosivo, sob um enfoque ambientalista, permitiram a interpretação e análise de algumas formas de contenção que podem e devem ser recomendadas. Todavia, também foi possível verificar práticas realizadas durante a execução de obras, que devem ser evitadas com o objetivo de proporcionar a redução de investimentos com programas de recuperação. Os aspectos desta análise foram discriminados e serão apresentados a seguir:

- A aplicação de propostas de caráter ambiental para recuperar áreas degradadas por processos erosivos deverá ser meta prioritária em obras e construções. Na medida do possível, todas as etapas de recomposição dos mecanismos de natureza hidrogeomorfológica como fluxos de canais, transporte de sedimentos, erosão e deposição, escoamento das encostas, infiltração e outros, deverão ser reabilitadas em caráter imediato, evitando-se, assim, medidas remediadoras.

- Dentre os fatores identificados como positivos encontram-se algumas técnicas que foram aplicadas e surtiram efeito adequado à atenuação de processo erosivo como: *Uso de Telas Plásticas* (Figuras 12.1 e 12.2), *Mantas de Lona* (Fig. 12.3) e *Bolsas de Concreto* (Fig.12.4).

- A Figura 12.5 apresenta flagrantos que podem comprometer os mecanismos geomorfológicos de transporte e sedimentação e que devem ser evitados, para a redução de gastos.

- As canaletas de concreto devem ser constantemente monitoradas a jusante, para que não ocorra erosão por quedas de água. O simples uso de dissipadores internos contribui, de modo significativo, para a redução de velocidade dos fluxos, esta modalidade de construção já vinha sendo executada pela Petrobras (Figuras 12.6 e 12.7).

- Ambientes registrados antes da aplicação de propostas mitigadoras de caráter ambiental e seus benefícios e ambientes registrados depois da aplicação de práticas mitigadoras apresentam um quadro de medidas que pode ser aplicado para a contenção de erosão (Figuras 12.8; 12.9; 12.10; 12. 11)

- Recuperação e Proteção das cabeceiras – Antes e Depois - Voçoroca Porto Hélio (Figuras 12.12; 12.13).

- A proteção marginal dos canais também deve ser priorizada pela política ambiental da Petrobras, principalmente se as margens sofreram alteração por intervenções humanas, como a construção de canaletas e dissipadores (Figuras 12.14; 12.15). A necessidade de

cumprimento dos prazos propostos para trabalhos acadêmicos permitiu que neste caso apenas as recomendações fossem elaboradas, sendo assim, apresentam-se como recomendações para a proteção marginal dos canais os retentores naturais (Figuras 12.16; 12.17). Na Amazônia, poderão ser adaptados retentores, confeccionados com sacos de juta ou malva de fibras naturais; são também conhecidos como “sacos de estopa” e podem ter preenchimento de palhas, ou resíduo de áreas desmatadas como galhos e folhas.

➤ Além dos retentores, existem as alternativas de construção de barragens denominadas palificada em treliça e palificada dupla revestidas com vegetação. (Figuras 12.18; 12.18.1; 12.18.2; 12.19).



Figura 12.1: Telas de plástico – Embalagens de materiais.



Figura 12.2: O uso de telas de plástico na vertente.
Fotos: Vieira (2004)

➤ O uso de *telas plásticas* que chegam até a Base Geólogo Pedro de Moura como embalagens de materiais e equipamentos para serviços, surtiu um efeito desejado para a atenuação dos fluxos e redução de sedimentos ao longo da vertente, fato que contribuiu para acentuar processos erosivos e a contribuição sedimentar sobre os cursos de água locais. Esta medida constitui uma modalidade de contenção erosiva que não foi executada durante este trabalho, já se encontrava instalada no local, sob responsabilidade da Petrobrás.

➤ Avaliando esta forma de contenção, poderíamos mencionar que o fator positivo desta medida foi a reutilização do material que ia ser descartado, entretanto, o uso do plástico, a torna inviável, ou seja, constitui resíduo para o solo. A impossibilidade de absorção deste tipo de material inviabiliza aqui neste trabalho, a sua recomendação, tendo em vista a concepção ambientalista do mesmo. Somente em circunstâncias específicas poderá ser adaptada e utilizada. Um aspecto a ser considerado é que muitos destes materiais como plásticos e concreto serão retirados ao final do trabalho de exploração de gás, pela política ambiental da empresa.

➤ As *mantas de lona* são utilizadas para recobrir a encosta e impedir desmoronamentos, para evitar custos com a compra deste material recomenda-se a aplicação da medida mitigadora em caráter concomitante à execução da obra (Fig.12.3).



Figura 12.3: Mantas de lona recobrindo encostas. A aplicação de medida mitigadora executada de forma conjunta com a obra reduziria custos de recuperação.

Foto: Aguiar (2004).



Figura 12.4: As encostas que sofrem ação de corte ou terraplanagens não devem permanecer por longo tempo expostas à ação erosiva.

Foto: Vieira (2004)



Figura 12.5: Deslizamento de Bolsacreto
Foto: Aguiar (2006).

Os fluxos de água, que se formaram na estrada convergiram para a encosta, causando o deslizamento das bolsas de concreto que ali foram colocadas com a finalidade de conter fluxos e escoamentos superficiais. Aspectos como a sobrecarga deste material, contribuíram para acentuar o processo erosivo e o comprometimento da obra. Como medida mitigadora para esta situação se recomenda o revestimento da encosta com mantas têxteis e a construção de patamares.



Figura 12.6: Exemplo de canaleta sem redutor de velocidade para fluxos.



Figura 12.7: Exemplo de canaleta com redutor de velocidade dos fluxos
Fonte: Petrobrás (2006).



Figura 12.8: Porto Hélio – Antes da aplicação de técnicas de reabilitação
Foto: Vieira (2005)



Figura. 12.9: Porto Hélio depois da aplicação de técnicas de reabilitação
Foto: Bessa (2006).



Figura 12.10: Parte interna da incisão erosiva do Porto Hélio, antes da construção de barragens.

Foto: Vieira (2004)



Figura 12.11: Porto Hélio depois da construção de barragens, os sedimentos são retidos no fundo e possibilitam o preenchimento da incisão. Os vegetais que foram plantados auxiliam na contenção.



Figura 12.12: Cabeceiras – Voçoroca do Porto Hélio em fase anterior à aplicação das práticas mecânicas.

Foto: Vieira (2005)



Figura 12.13: Cabeceiras Voçoroca Porto Hélio - Fase posterior à aplicação das técnicas mecânicas e vegetativas



Figura 12.14: Erosão marginal.
Foto: Aguiar (2006)



Figura 12.15: Queda de canaleta por erosão marginal.
Foto: Bessa (2007)



Figura 12.16: Erosão marginal.
Foto: Aguiar (2006)



Figura 12.17: Retentores de Sedimentos – Fibra Natural.
Fonte: Deflor (Bioengenharia, 1995).



Figura 12.18: Fixação dos retentores com bambu.



Figura 12.18.1: Palificada Dupla.
Fonte: Deflor 2007.



Figura 12.18.2: Palificada Dupla com preenchimento vegetal.
Fonte: Deflor 2007



Figura 12.19: Palificada em treliça.
Foto: Deflor 2007.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F. E. **Alterações Climáticas em Manaus no Século XX**. Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGG – Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro. 1995.
- AGUIAR, F. E.; DALLAROSA, R.; MARQUES FILHO, A . O . **Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EPIA) PETROBRAS**. Sistema de Escoamento de Hidrocarbonetos da Província do Urucu para Manaus. Universidade Federal do Amazonas. Centro de Ciências do Ambiente. Manaus. 1996.
- AGUIAR, F. E. **Análise Climática da Província Petrolífera do Rio Urucu (AM)**: Identificação dos possíveis impactos no clima de área de floresta tropical sob processo de intervenção antrópica e seus reflexos em meso e macro escala. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH. USP, 2001.
- AGUIAR, F. E. **Estudos dos Processos Erosivos na Bacia do Urucu**. Convênio Universidade Federal do Amazonas e PETROBRAS. Manaus. 2004. Relatório Técnico.
- ALAMEDDINE, N; CANIL, K.; MIRANDOLA, F.A . **Processos Erosivos na Bacia do Alto Tietê**: Diagnóstico e Diretrizes para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. XI. Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo: USP, 2005.
- ALBUQUERQUE, A.R.C. **Impactos Ambientais na Bacia do Igarapé do Leão**: Tendências à Arenização (Manaus- AM).1999.120f.Dissertação (Mestrado em Geografia). CCMN. UFRJ. Rio de Janeiro.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.;REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.319-326, 1996.
- ALVARES, M. T. P.; PIMENTA, M. T. **Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas**. In: Congresso da água. 4., 1998. Disponível em: http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html Acesso em 19/09/2005.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA special publication, 49).
- ASSUMPÇÃO, A . P. ; MARÇAL, M.S. ; MELO, P.B. **Análise da simetria da bacia hidrográfica do rio Macaé (RJ)**: Uma ferramenta para o estudo da rede de drenage. XI. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. USP. 2005.
- ALVES, R. R. ; ALVES, R.R.; RODRIGUES, S.C. **Dinâmica da evolução de processo erosivo na Bacia do Córrego Lagoinha na cidade de Uberlândia – MG**. X. Simpósio de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

ALMEIDA, F. **A estrutura fundiária como mais uma variável a ser considerada no processo de erosão dos solos. – Sorriso (MT).** Tese de Doutorado. 219. f. Programa de Pós Graduação em Geografia. UFRJ-UFMT. Rio de Janeiro. 1996.

ANTONELLI, V. THOMAZ, E. L. Caracterização do Meio Físico da Bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-PR. **CAMINHOS DE GEOGRAFIA** - revista on line. Disponível em :<<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>> ISSN 1678-6343. Acesso Agosto - 2007.

ARGENTO, M. S. F; KRUEGER, C. F. COSTA. D. T.M. A; REIS, C.H. PEREIRA, R; JANINI, M. Estimativa de aporte de sedimentos em micro-bacias de drenagem. Uma proposta de participação comunitária no Processo de Gestão Ambiental. **Revista da GEOUERJ.** Número especial/2003.ISSN.1417-7543.X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.

BARBOSA,G. V. ; RENNÓ, C. V.; FRANCO,E.M.S. **Geomorfologia.** In: BRASIL. Depto. Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha AS. 22. Rio de Janeiro.1974.

BARROS, J.R.; ARAÚJO, A . H. **Análise Multitemporal das modificações na conformação do canal do Rio Madeira.** XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo: Universidade de São Paulo.2005.

BAZAN, T.. MENGUE, V.P.; ROBAINA, L. E. S. **Estudo do relevo na bacia hidrográfica do rio Arroio Curuçu – RS.** XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. VISENTIN, D. & COGO, N.P. **Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC).** R. Bras. Ci. Solo, 26:455-464, 2002.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1.045-1.054, 2004.

BOIKO, J. D; SANTOS; L. J. C. **Carta de fragilidade ambiental:** estudo de caso da bacia do Rio Currealinho, região metropolitana de Curitiba – PR. X. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

BORSATO; F.B. MARTONI, A . M. **Estudo da Fisiografia das Bacias Hidrográficas Urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná.** Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá.

BRAGA, F.F.; AFONSOS, A . E . **Diagnóstico das alterações na bacia do rio João Mendes.** Niterói, RJ. Gerados pelo crescimento desordenado. XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

BROKES, A . **River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales.** Earth Surface and Landforms, Vol.12 p.337-351.1987. Department of Geography, University College of Wales. UK.

BEGUERÍA *et al.* (2003): “Assessing the effect of climate oscillations and land-uses changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees”. *Ambio*, 32 (4), pp. 283-286.

BERTONI, J.C; TUCCI, C.M. Precipitação. In: TUCCI, C.M. (org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Org. TUCCI.C.E.M. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1993.

BEZERRA, S. A. **Avaliação da erosão em entressulcos na cultura da cana de açúcar**. Recife: UFRPE, 2003. 64p. Dissertação Mestrado.

BERTONI, J.C.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1993,335p.

BORDAS, M.P.; SELMMELMAN,F.R. Elementos de Engenharia e Sedimentos. In: TUCCI, C.M. (org.) **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade (UFRG),1993,p.915-939.

BOTELHO, R. G.M. **Identificação de Unidades Ambientais na Bacia do Rio Cuiabá – Petrópolis (RJ) visando o planejamento e uso do solo**. 1996.114 f. Dissertação (Mestrado). UFRJ. CCMN/PPGG. Rio de Janeiro, 1996.

BOTELHO, R.G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A . J. T.; SILVA, A . S.; BOTELHO, R. G.M. **Erosão e Conservação dos Solos. Conceitos, Temas e Aplicações (Orgs.)**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999.

BOTELHO, R.G.M. ; SILVA,S.A . Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A . C. ; GUERRA. A . J. T (orgs). **Reflexões sobre Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. V.1. p.153-188.

BIGARELA, J. J., e MAZUCHOWSKI,J,Z.. **Visão Integrada da Problemática da Erosão**. In: Simpósio Nacional de Controle da Erosão, 3,1985, Maringá. Livro Guia...Maringá: ABGE/ADEA, 1985.332p.

BINDER, W.: **Rios e Córregos**. Preservar, Conservar, Renaturalizar. A recuperação de rios.Possibilidades e limites da engenharia ambiental. Rio de Janeiro1998.

BRAWN, W. A. G..Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Rev. Bras. de Geogr.** Rio de Janeiro, 23: 591-642. BRAWN, W. A. G. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. *Rev. Bras. de Geogr.* Rio de Janeiro, 1961. 23: 591-642.

BRYAN, R.B. **Knikpoint evolution and rillwash**. *Catena. Supplement*. N.17.1999,p.111-132.

CARDOSO, Christiany, A . DIAS, Herly, C. T. BOECHAT, Carlos, P. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo/RJ. **Revista Árvore**, Viçosa – MG ano/vol.30, nº 002. / 2006. pp 241-248.

CARDOSO, S. GUERRA, A . J. T. **Fatores sócio-ambientais na aceleração de processos erosivos em áreas urbanas: O bairro do Seminário do Crato/CE.** X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro. UERJ. 2003.

CARVALHO, J.S.; CARDOSO, M.J.S.;FRAGA, L.M.B.; ALECRIM, J.D. **Estudo Prévio de Impactos Ambientais.** Sistema de escoamento de hidrocarbonetos. Volume II. Universidade Federal do Amazonas. Manaus:1996.

CASTRO; L.G. N, P. COGO; VOLK; L. B.S. ALTERATIONS IN SOIL SURFACE ROUGHNESS BY TILLAGE AND RAINFALL IN RELATION TO WATER EROSION. **REV. BRAS. CIÊNC. SOLO VOL. 30 NO.2 VIÇOSA MAR./APR. 2006.**

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES,R. & VASCONCELOS, D.N.N. **Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas: Histórico e Atualização** Anais do 26º Congresso Brasileiro de Geologia.; SBG, Belém (PA), 1972.v.03.

CAVAGUTI, N. Erosões Lineares e Solos Urbanos. **Estudos, Caracterização e Análise do Meio Físico de Bauru.** São Paulo. Tese de Livre Docência. Faculdade de Engenharia e Tecnologia, UNESP, Bauru, 1994. 548p.

CERRI, L.E.S, SILVA, J.A.F. e SANTOS, P.H.P. Erosão do Solo: Aspectos Conceituais. **Revista UNG – Geociências.** II (6):92-98, 1997.

CERDA *et al.* (1997): Design and operation of a small portable rainfall simulator for rugged terrain”, **Soil Technology**, 11, pp. 163-170.

COGO, N.P. Conceitos e Princípios Científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da Erosão hídrica. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, P.R.; FREITAS,S.S. **Responsabilidade social da ciência do solo.** P. 251-262.1988.

COELHO NETTO, A. L . Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: ^a J.T; CUNNHA, S. B. da (Orgs). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Guerra. Editora: Bertrand Brasil S.A . 93-148.; 2ª ed.,1994.

COLLARES, E.G. **Avaliação de Alterações em rede de drenagem em microbacias como subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas:** Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari – SP. São Carlos, 2000, 2v.Tese de Doutorado. Escola Superior de Engenharia em São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. **Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.289-298, 1999.

COSTA, N.M. ; BARROSO, A . P. ; FALCÃO, C.R. ; SILVA, T.M. **Manejo conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Saracuruna (RJ).** VI. Simpósio de Geografia Física Urbana, Geoprocessamento e Ensino. Vol 1. Goiânia. 1995.

COSTA, H. B.; ROSSI, M.; COELHO, R. **Mapa de Impermeabilização do solos da bacia do Ribeirão Inhaúma, Campinas – SP.** XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. USP. 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. – Contribuição à análise morfométrica das regiões de bacias do Jequitinhonha e extremo sul da Bahia. *Notícias Geomorfológicas*, 21 (41); 61-84. 1991.

CHRISTOFOLETTI, A.; MAYER, O . S. **Análise da rugosidade topográfica na região administrativa de Campinas.** São Paulo: Boletim de Geografia Teorética, 14 (27-28); 87-100. 1984.

CHRISTOFOLETTI, A . Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização no mundo tropical. In: SOUZA, M. A. A; SANTOS, M; SCARLATO, F.C.; ARROYO, M. **Natureza e Sociedade de Hoje: Uma leitura Geográfica.** São Paulo: Hucitec,1993. pp.127-138.

CHRISTOFOLETTI, A . Aplicabilidade da Geomorfologia. In: GUERRA, Antonio; CUNHA, Sandra Baptista. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,1994.

CHRISTOFOLETTI, A . **Estudo sobre sazonalidade da precipitação na Bacia do Rio Piracicaba (SP).** Dissertação de Mestrado. São Paulo. 1996, 238p.

CHORLEY, R.J. **Geomorfology and general systems theory.** US. Geology. Survey Prof. Paper, 500-B: 10p. 1962.

CAYASSIALS, R; LONG, M; PESCE, F. **Erosion del suelo y propuesta de gestion sustentable.** VI Simpósio de Geografia Física Aplicada. Geografia Física, Urbana, Geoprocessamento e Ensino. Vol I Goiânia. 1995.

CÂNDIDO, H. G. **Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó paraibano.** 2000.105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 2000.

COSTA, N.M; BARROSO,A . P. FALCÃO,C.R; SILVA, T.M. Manejo Conservacionista da bacia Hidrográfica do Rio Saracuruna (RJ). In: **VI Simpósio de Geografia Física Aplicada.** Geografia Física, Urbana, Geoprocessamento e Ensino. Vol I Goiânia. 1995.

COSTA, H. B.; ROSSI, M.; COELHO, R. M. **Mapa de impermeabilização do solo da bacia do ribeirão Inhaúma, Campinas (SP).** XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo, 2005.

COSTA, L. M. S.A; BRITTO, A. L. **Propostas para recuperação ambiental de rios urbanos: uma análise visando a recuperação do Rio Botas na Baixada Fluminense no Rio de Janeiro.** PROURB - Programa de Pós- Graduação em Urbanismo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

COSTA, H. Natureza, mercado e cultura: caminhos da expansão metropolitana de Belo Horizonte. In: MENDONÇA, Jupira; GODINHO, Maria. (Orgs.). **População, espaço e gestão**

na metrópole: Novas configurações, velhas desigualdades. Belo Horizonte: PUCMINAS, 2003, v. 1, p. 159-178.

CUNHA, S. B. **Impacto das Obras de Engenharia sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)**. 1995. 415f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia. Universidade Clássica de Lisboa. Portugal.

CUNHA, S. B. ; GUERRA, A . J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A . J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2000. cap. 7.p. 337-365.

CUNHA, S. B. Canais Fluviais e questão ambiental. In: CUNHA. S. B. ; GUERRA, A.J. T. (orgs.). **Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.V.1. 219-239p.

CRISPIM, J.Q. 2001. **Alterações na hidrologia do canal após construção de reservatório a montante: o caso da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, Rio Paraná**. Dissertação e mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Maringá, PR, 25p.

DAVIDE, A . C. **Seleção de espécies vegetais para a recuperação de áreas degradadas**. SINRAD.Vitória, 1994.

DAEMON,R.F. Contribuições à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, SBG. Rio de Janeiro 1975 (RJ), 5 (2): p.78-84.

DAEMON, R, F. e CONTREIRAS, C. J. A– Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. PETROBRAS, Rel. Int. Belém (PA). In: EIRAS et al –1994 – Bacia do Solimões. Bol. **Geociências**, PETROBRAS, 1971. Rio de Janeiro (RJ).

DENIG. E. A. AZEVEDO,L.C; M.L.O. FERNANDES, M.L; J.T. NERY. **Estudo da Variabilidade Iteranual na Precipitação na Bacia do Rio Uruguai**. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2003. GEOUERJ. Número Especial/2003.ISSN.1415-7543.

DIETRICH, W.E;DUNNE,T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M.J. (eds) In: **Channel Network Hydrology**. Jonh Wiley and Sons ltd. 1993p.175-121.

DE PLOEY,J.; GABRIELS,D. Medición de la perdida de suelo y estudios experimentales. In: KIRKBY, M. J.; R. P. C. Morgan (orgs). **Erosion del suelo**. México.Limusa.1980,Cap. 3.P.89-126.

DANIEL, L.M.; MATSUDA, N.S. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Solimões. Bol. **Geociências**. PETROBRAS. Rio de Janeiro (RJ), 1994. 8(1):17-45.

DEINFRA – Departamento de Infra Estrutura do Estado do Paraná. Diretoria de Engenharia e Meio Ambiente. **Manual de Normas Ambientais**. Acesso no site www.deinfra.sc.gov.br/gestão_ambiental_bidiv.jsp (acesso, janeiro.2007).

- DEFLOR. **Bioengenharia de solos**. Site: www.deflorbioengenhariadesolos. Data de acesso, Maio 2007.
- DIETRICH, W.E.; DUNNE, T. The channel head. In: **Channel Network Hydrology**. Editores: K.Beven e M Kirkby. Jonh Wiley Ltd.;175-219. 1993.
- DORST, J. **Antes que a Natureza Morra**. Coord. Mário G. Ferri ; trad. Rita Buongermino. São Paulo. Edgard Blucher. 1973.
- DUNNE,T. Formation and coontrol of channel networks. **Progress in Physical Geography**, 4, 211-239. 1980.
- ELIAS, S; CIDADE, T. Governo quer gasoduto pronto em 2006. **Revista Amazonas Hoje**. Matéria de Capa.Vol. 02. Editora Amazon Best. Abril e Maio de 2004. Manaus.
- EMBRAPA. **Manual e métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 2. ed. 1997. 212p.
- EVANS, R. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. **In Soil erosion**. Editores M. J. Kirkby e R. P. C. Morgan, 1980.p.109-128.
- ELLISON, W.D. Soil detachment hazard by raindrops splash. In: **Soil Erosion Studies II**. Agric. Engng. 1974, n.18.169-177.
- EIRAS, J. F. BECKER, C. R.; SOUZA, E, M.; GONZAGA, F.G. ; SILVA, J. G.F.; DANIEL,L. L. MATSUDA, N. E & FEIJÓ, F.J. **Bacia do Solimões**. Boletim Geociências, Petrobrás. Rio de Janeiro (RJ), 8 (1); 17-45.
- STEVAUX, J.C. & TAKEDA, A.M. 2002. **Geomorphological processes related to density and variety of zoobenthic community of the upper Paraná River, Brazil**. Z. Geomorph., 129:143-158.
- FARIA, A.P. **A erosão em micro-bacias e suas conseqüências em canais efêmeros, intermitentes e perenes**. 93f.1992. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. CCMN-PPGG. Rio de Janeiro.
- FERNANDÉZ,M.C. Estúdio Geomorfológico e uma cuenca de la margem derecha Del Arroyo de las piedras. In: **VI Simpósio de Geografia Física Aplicada**. Geografia Urbana, Geoprocessamento e Ensino. Vol 1. Goiânia. 1995.
- FIGUEIREDO, B. C. ; ROSAS, R. A . **Diagnóstico ambiental do Rio Piabanha - Petrópolis (RJ)**. X. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro, 2003.
- FIENER, P.; K. AUERSWALD. 2003. Effectiveness of Grassed Waterways in Reducing Runoff and Sediment Delivery from Agricultural Waterways. **Journal of Environmental Quality** 32:927- 935.

FIENER, P.; K. AUERSWALD. Seasonal Variation of Grassed Waterway Effectiveness in Reducing Runoff and Sediment Delivery from Agricultural Watersheds in Temperate Europe. **Soil and Tillage Research**, 2005.

FREITAS, P.L; KERR, J.C. As pesquisas em micro-bacias hidrográficas: situação atual, entraves e perspectivas no Brasil. In: FILHO, Celso Castro Filho; MUZILLI, Osmari (eds). **Manejo Integrado de Solos em Micro-bacias hidrográficas**. Anais do Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação de Solo, 8. Londrina.PR, 1996.

GATTO, L. C. S. Relevo. In: **Geografia do Brasil**. Região Norte.V.3. IBGE. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro.1991.

GEISSLER, H. J.; LOCH, C.; RAMOS, P. R. **Proposta Metodológica para a Recuperação de Áreas Degradadas – Nascentes e Corpos d’água, em Microbacias do Rio Uruguai**. COBRAC. Florianópolis: UFSC, 2006.

GUERRA, A. J. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos/ org. Antonio J. T. Guerra e Sandra B. Cunha - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.1995.** (149-209).

GUERRA, A . J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia – exercícios, técnicas e aplicações**. Orgs. S.B. Cunha e A . J. T. Guerra.Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.1998.139-155.

GUERRA. A . J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio José Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos**. Cap.1. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A . J. T. **Novo Dicionário Geológico Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUERRA, A . J. T. ; MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos Solos e Questão Ambiental. In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Reflexões sobre Geografia Crítica no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.p.225-257.

GONÇALVES, L. F. ; GUERRA, A . J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis – Rio de Janeiro. Cap. 5 In: GUERRA, A . J. T. e CUNHA, S.B. (orgs). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HIEZ, G. **Processamento de dados pluviométricos do Nordeste**. Recife. SUDENE, 1997.

GURNELL, A . M; GREGORY, K.J. The influence of vegetation on stream channel processes. In: BURT, T. P.; WALLING, D. E. (ed). **Catchment Experiments in Fluvial Geomorfology**. London, Geo Book, 1981, p. 515-533.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. Cp. 20. In: TEIXEIRA, Wilson [et al]. **Decifrando a Terra**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2001.

HADLEY,R.F.; LAL,ONSTAD,C.A.; WALLING, D.E.; YAIR,.A. **Recent development in erosion and sediment yeld studies.** Thechical documents in hidrology.Internacional Hidrological Programme. Paris: UNESCO;1972.127p.

HUANG, C. & BRADFORD, J.M. **Application of a laser scanner to quantify soil microtopography.** Soil Sci. Soc. Am. J., 56:14-21, 1992.

HOLLIS, G.E.; LUCKETT, J.L. The response of natural channels to uurbanization: two cases studies from Southeast England. **Journal of hidrology**, 30 (4): 351-363. England. 1976.

HORBE, Adriana, M.C. PAIVA, Mara Rúbia, P; MOTA, Marcelo, B. HORBE, Marco, A. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari – AM. Manaus: **Revista Acta Amazônica**, nº 8 1 VOL. 37(1) 2007: 81 – 90.

HORTON,R.E. Erosion development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, 1945. 56,275-237.

HUDSON, N. W. **An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall.** Proc. Trans. Rhod. Sci.Ass. 49. 15-25. 1961.

Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT. **Orientações para combater a erosão no Estado de São Paulo. Bacia do Pardo Grande.** São Paulo, 3 v. (IPT-SP).1990. Relatório, 28: 184).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). **Controle da Erosão:** bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo, DAEE/IPT, 1989. 92p.

ISSLER, R. S. et al.- Geologia da Folha SA 22. –Belém. In. **Levantamento de Recursos Naturais.** Projeto RADAMBRASIL, DNPM. Rio de Janeiro(RJ),1974. v.5, p.1-60.

KARMAN, I. O ciclo da água. In: TEIXEIRA, Wilson [et al]. **Decifrando a Terra.** 1ª Edição. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2000, Cap 10, p.191-202.

KAGEYAMA, Paulo et al. Revegetação de Areas Degradadas: Modelos de Consorciação com Alta Diversidade. In: **Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD**, 1994.

KAMPHORST, E.C.; JETTEN, V.; GUÉRIF, J.; PITKÄNEN, J.; IVERSEN, B.V.; DOUGLAS, J.T. & PAZ, A. **Predicting depressional storage from soil surface roughness.** Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1749-1758, 2000.

KAGEYAMA, P; GANDARA, F.B. **Recuperação de áreas ciliares.** São Paulo:Edusp. 2001. p. 249-269.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of América, 1986, p.425-441.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: Relações Solo-Panta**. São Paulo. CERES. 1979. 261p.

KIRKBY, M. J. & MORGAN, R. P.C.- **Erosion de Suelos**. Ed. LIMUSA, S.A.Versão autorizada em espanhol Jose Hurtado Vega. México.1994.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração X' Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e Seus Processos Modificadores**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. da Universidade. 2000.

KOFFER, N.F.;MORETTI, E. **Diagnóstico do uso agrícola das terras conceituais e metodológicos**. Edição Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. IBAMA. Brasília. 1991.

LANNA, E. L. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. Aspectos Conceituais e Metodológicos. Edição: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. IBAMA. Brasília. 1995.

LEÃO, O . M. R. **Evolução regressiva da rede de canais por fluxo de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: Bases geo-hidroecológicas para recuperação de áreas degradadas com controle de erosão**. Tese de Doutorado. PPGG. 247f. Rio de Janeiro: UFRJ. 2005.

LEÃO, O.M.R. ; LEAL, P.J.V.; COELHO NETTO, A. L. **Expansão da rede de canais – Hidrologia subterrânea em cabeceiras de drenagem: subsídios ao entendimento dos mecanismos de voçorocamento na Bacia do Rio Bananal (RJ/SP)**. XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – São Paulo. 2005.

LEITE, J.A. e TUCCI,C.A. F. **Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EPIA)**. PETROBRAS. Sistema de Escoamento de hidrocarbonetos da Província Petrolífera de Urucu para Manaus. Vol. II. Análise de Impactos e Medidas Mitigadoras. Manaus (AM), 1996.

LEMOS, R.C. ; SANTOS, R.D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1996.

LENCASTRE, A . E . FRANCO, F. M. **Lições de Hidrologia**. Lisboa: Ed. Universidade de Lisboa. 1984.

LESSA,L; PEIXOTO, N.O; MOURA, J.R.S. Condicionantes morfométricos da erosão linear acelerada atual em compartimentos de colinas no Médio Vale do Paraíba do Sul.- SP/RJ. In: **Simpósio de Geologia do Sudeste**.V.3. Rio de Janeiro;1993. Anais.UERJ. 103-107pp.

LOCH, C. **Mapeamento a base da Gestão Territorial Rural**. Foz do Iguaçu. Itaipu. 2004.

LUPINACCI, C. M; MENDES, I.A. Identificação das perdas de solo por erosão em dois setores da Bacia do Rio Claro. In: **VI Simpósio de Geografia Física Aplicada: Geografia Urbana, Geoprocessamento e Ensino.** Goiânia.1995.

LOPES, M. T; TEIXEIRA, C.P; MENDONÇA, M.M.; GUERRA, A . J.T. ; GONÇALVES, L.F. H. **Impactos sócio-ambientais x edificações em APP** – Um estudo de caso no Bairro Bingen – Município de Petrópolis –RJ. X Simpósio de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

LOPES, I. ;FILHO,B. ; BILLER, D. BALE, M. (orgs.) **Gestão Ambiental no Brasil.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Getúlio Vargas. P. 239-264.

MAIDMENT, D. R. GIS and Hidrologic Modeling. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B.O. STEYAERT, L.T. **Enviromental Modeling with GIS.** New York. Oxford Unversity Press.1993. Cap. 14; p.147-167.

MANFREDINI, S; DIAS, F, S.M.; NETO, J.P.Q; OLIVEIRA, D.; PACHECO, FERREIRA, R.P.D. – Técnicas em Pedologia. In: VENTURI, L. B. (org). **Praticando Geografia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p.85-98.

MANN, R. **Rivers in the City.** Nova Iorque, Praeger Publishers, 1973.

MARTIN, N. B. Manejo de Micro-bacias: O caso do Paraná Rural. In: LOPES, I. Filho Bastos; BILLER, D. Bale, M. (orgs). **Gestão Ambiental no Brasil.** 2ª ed.Rio de Janeiro: Ed. Getúlio Vargas, 1998.p. 239-264.

MARTINS, L; ESTEVES, C. J. O ; SILVEIRA, C. T. ; SOUZA, L.B. MEDEIROS, P.C. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do rio Itaqui com vistas ao Zoneamento Ambiental.** XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro: UERJ, 2003

MATTOS, S. H. V.L. ; PEREZ FILHO, A . **Inter-relações entre sistemas físico-natural e sócio-econômico e qualidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Piçarrão. (Campinas-SP).** XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo. USP, 2005.

MENDONÇA, M. B.F.S; CUNHA, T. D.; MARÇAL, M.S. **Expansão Urbana, classes sociais e impactos ambientais.** O caso da cidade de Macaé. XI. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. USP, 2005.

MERRIT, E. **The indentification of four stages during micro-rill development.** Soil Use and Management, 13.pp. 24-28. 1984.

MENEZES, M.L.N; CARVALHO,V.L.M. **A influência da atividade mineradora na aceleração de processos desnudacionais e assoreamento de cursos de água – Córrego Esperança.** Município de Brumadinho. MG. XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. USP, 2005

MONEGAT, C. **A pequena propriedade:** degradação, revegetação e outras práticas conservacionistas. Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. 227-234. ANAIS. UFPR. 1992.

MORGAN,R.P.C. **Soil Erosion and Conservation.** Loongman Group; Inglaterra, 1977. 298.pp.

MAIA,R. G. **Projeto carvão Alto Solimões.** DNPM/CPRM, Manaus (AM). Relatório Final, 1997.

MOREIRA, A . A . N. **Relevo.** Geografia do Brasil. v.1, Região Norte. Rio de Janeiro. IIBGE, 1977.

MOREAU, A. M.S.S.; FILHO FIGUEIREDO, E. ; FONTES, E. O. **Formas de uso do solo e ocupação urbana em manguezais de três municípios do sul da Bahia.** X. Simpósio de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro. 2003.

MUNSELL. **Soil Color Charte.**New Widson: Kollmorgen Instruments – Macbeth Division, 1994.

NAKASHIMI, A M.; UTIMIRA, I. **Avaliação dos processos erosivos, sedimentológicos e da qualidade da água na bacia hidrográfica do Capivari – SP.** XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Caderno de Resumos. Departamento de Geografia. Faculdade de Letras, Ciências e Geografia. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

NERY, J.T. ; ANDRADE, A. R.; CARFAN,A . C. **Relação de precipitação na bacia do rio Ivaí com variabilidade interanual.** X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ – Rio de Janeiro.2003.

NIMER, E. **Clima in Geografia do Brasil.** Região Norte. Rio de Janeiro:IBGE.1991.

NOGUEIRA, D. **Participação e Reconhecimento na Organização Social em torno da Gestão de Recursos Hídricos:** uma análise comparada da Bacia do Rio das Velhas/MG e da Bacia do Rio dos Sinos/RS. Brasília: UnB, Dissertação de Mestrado, 2004.

OLIVEIRA, M. A. HERRMAN, M.L.P. A ocupação do solo e riscos ambientais. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (orgs). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** 2ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004.

OLIVEIRA, M. A. T. e MEIS,M.R . M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal,SP). **Geociências,** São Paulo, 1985. nº4,87-99.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; GARRIDO, Rosângela (orgs). **Erosão e Conservação dos Solos:** Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap.02.; 57-94p.

OLIVEIRA, M. A . T. ; COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A . S. Morfometria de Encostas e Desenvolvimento de Boçorocas no Médio Vale do Paraíba do Sul. In: **Geociências**. São Paulo. 1994. Vol.13;1,9-23.

PAULA, P.M.; ROBAINA, L. E. S. Estudo das bacias hidrográficas com desenvolvimento de areais no Município de Alegrete/RS. X Simpósio de Geografia Física Aplicada. **Revista GEOUERJ**. Digital. Número Especial. ISSN 1415-7543. Rio de Janeiro, 2003.

PACA. I.I. G; Mc REATH, I . A composição e o calor da Terra. In: TEIXEIRA, Wilson [...]. (org.). **Decifrando a Terra**. Wilson Teixeira. 1ª ed; Rio de Janeiro: Oficina de Textos. 2001.

PEREIRA, M. V. **Análise climática da base de exploração geólogo Pedro de Moura – Urucu (Coari-AM) e Hidrelétrica de Balbina (Presidente Figueiredo-AM) Marcela Vieira Pereira**. 2006.327f. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade Federal do Amazonas, 2003.

PINTO, J. F.; STEFFENS, J.L.; OLIVEIRA, F.H. **Análise Físico-Ambiental Urbana da Microbacia do Rio Itacorubi, Florianópolis – SC, visando o uso de Software SIG**. Anais XIII. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3011-3018.

PLENNING-ROUSELL, E. e BURGESS, J. 1997. "River landscapes: changing the concrete overcoat?" In **Landscape Research Journal**, Vol.22, N^o1, pp. 5-11.

PROVIDELO, L. A . ; NETO, R. M. **Proposta de Recuperação para área de extração de argila abandonada na área de Tambaú (SP)**. XI. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2005.São Paulo: USP.

RANGEL.C.M.; NETO, J. A . B. **Processos sedimentares na Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ**. XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo: USP. 2005.

RENNÓ, C. D. SOARES, V.J. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**. Cap. 2. Modelagem Hidrológica. Disponível em Meio Digital.Site: www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap.2.modelos hidrológicos pdf. Acesso. Abril de 2003.

RENNÓ, C. D. SOARES, V.J. **Discretização Espacial das Bacias Hidrográficas**. In: Simpósio Brasileiro de Semsoriamento Remoto. INPE. Foz do Iguaçu. Abril.2001.10. Anais.485-492.

RICHARDS, K. **Rivers: Forms and Process in alluvial channel**. Published in Great Britain at the University Press, Cambridge (1982).

RICHTER, G ; NEGEDANK, K.K. W. **Soil erosion proecesses and their measurement in the German area of the Moselle River**. Earth Surface Processes; 2, 261-278. 1977.

RIBEIRO, S.C; GUERRA. A . J. T. **Susceptibilidade aos processos erosivos superficiais com base na dinâmica geomorfológica na microbacia do rio Granjeiro – Crato (CE)**. XI Simpósio de Goegrafia Física Aplicada. USP. 2005.

ROCHA, J. S. **Erosão hídrica na Bacia do Rio Guadiana e o assoreamento da albufeira de Alqueva**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memória 540: 1-25.1980.Portugal.

ROCHA, J.S.M. da. **Manual de Projetos ambientais**. Santa Maria: Editora Imprensa Universitária. 1997. 533p.

_____. **Educação Ambiental Técnica para os Ensinos Fundamental, Médio e Superior**. Santa Maria: Editora Imprensa Universitária. 2000. 516p.

ROCHA, I. P. **Controle da Erosão Marginal no Baixo São Francisco: Uso da Bioengenharia de solos associada à recuperação da vegetação ciliar**. Monografia 55p. São Cristóvão (SE): Universidade Federal do Sergipe, 2006.

ROCHA, G.L.; ROBAINA, L.E. ; GUARESHI, V.D. **Descrição do relevo na Bacia Hidrográfica do Arroio Nova Esperança do Sul – RS** . XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. USP. São Paulo,2005.

ROSA, R. **O uso do Sistema de Informações Geográficas para estimativas de perdas de solo por erosão laminar**. In: Anais do VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada. Geografia Física Urbana. Geoprocessamento e Ensino. Vol.2; Goiânia, 1995.

RODRIGUES, J.E. **Estudo de Fenômenos Erosivos Acelerados: Boçorocas**. 1982. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP, São Carlos.

ROUSSIE, S. M. **Designig a Scenario based Landscape Modeling tool for soil and water conservation**. Thesis – Department of Geography State University of New York at Bufalo, 2006.

SLATERRY, M. C.; BRIAN, R. B. **Hydraulic conditions for rill incision under simulated rainfall: a laboratory experiment**. Earth Surface Processes and Landforms, 17. 127-146. 1992.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. Cap. 7. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.1999. 229-265p.

SALGADO, A . R.; VALADÃO, R.C. NEEF, H. **Zoneamento ambiental e plano de manejo da bacia do Ribeirão Bonito – Caeté (MG)**. X Simpósio de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro.2003.

SAUNDERS, C. A. B. **Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ, visando à renaturalização do Canal Aldeia Velha**. Niterói, Dissertação de Mestrado, 2003.

SALVADOR, Aparecida, R. F. MIRANDA, Jussara, de S. **Recuperação de Áreas degradadas**. Disponível em www.sobrade.com.br/textos/trabalhos/recuperacao_de_areas_degradadas.htm. Acesso em: 22/12/2006.

SANTOS, D.; CARDOSO,H.;MACIEL,F.;CANAVELLO,M.;CUNHA,P.;GUSMAN JUNIOR, U. **Projeto de Gerenciamento Integrado Das Atividades Desenvolvidas Em Terra Na Bacia Do São Francisco**. Ana/Gef/Pnuma/Oea Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco -PBHSF (2004-2013). Superintendência de Conservação de Água e Solo. Abril, 2004.

SANTOS, J.O . S. **Considerações sobre a bacia cenozóica Solimões**. Anais. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. Porto Alegre.1974. Bol., p.3-11.

SANTOS, F. A ; MAFRA, N.M. C.; MADARI, B.E. **Identificação de Mudanças nas características e propriedades de um solo sob cobertura vegetal distinta na Microbacia da Estrangina – Petrópolis (RJ)**. X. Simpósio de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro, 2003.

SANTOS, S. H. ; GARCIA, G.J. **Desenvolvimento Integrado E Gestão Para A Bacia Hidrográfica Do Rio Corumbataí**. Estudos Geográficos, Rio Claro. 4(1): 89-106 Junho - 2006 (ISSN 1678—698X) - www.rc.unesp.

SANTOS, J. M; CERQUEIRA, E. C. **Levantamento geomorfológico e mapeamento digital para a elaboração de diagnóstico ambiental da APA Bacia do Cobre/ São Bartolomeu**. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. UERJ. Rio de Janeiro. 2003.

SANTOS, R. R.M. et al. **Associação entre espacialização das voçorocas e a ocupação urbana desordenada: estudo de caso em São Luis do Maranhão**. XI Simpósio de Geografia Física Aplicada. USP. 2005.

SETZER,J. 1942. O estado atual dos solos no Município de Campinas. **Rev.Bras.Geografia**. Rio de Janeiro, 1942.4: 39-63.

SILVA, L. C. N ; JUNIOR DALL'ORTO, C.V. **Recuperação de Área Degradada na Serra dos Carajás – Parauapebas – PA**. Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. 219-227. ANAIS. UFPR 1992.

SILVA, M. F. LISBOA, P.L.B.LISBOA, R.C.L. **Nomes vulgares de plantas amazônicas**. Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Manaus (AM). 1977.

SILVA, Pedro, R. VIEIRA, Lucio, S. SANTOS, Paulo, T. C. **Aspectos fisiográficos e caracterização das bacias dos rios Capiim e Guamá**. B. FCAP. Belém (25): 61-89.Jan/Jun.1996.

SILVA, S. A Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: Guerra, A . J. T. Soares, A . S. Botelho, R. G.M. (orgs). **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,1999, cap.3.p.101-124.

SILVA, T.M.; MELLO, C.L. MOURA, J.R.S. **Compartimentação Morfoestrutural da Região do Médio Vale do Paraíba do Sul e áreas serranas adjacentes.** In: Simpósio de Geologia do Sudeste. V3. Rio de Janeiro.1993. Anais UERJ p. 103-107.

SILVA, J.R.B; RIBEIRO, S.L. **Estudo de Boçorocas e Métodos Expeditos Aplicados.** Palestra proferida em Seminário da disciplina “Caracterização de Propriedades Geotécnicas de solos e rochas através de Métodos Expeditos.” Curso de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas Área de Concentração – Geociências e Meio Ambiente Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro. 2001.

SILVEIRA, A . L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: **Hidrologia Ciência e Aplicação. Org, TUCCI, C, E. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal de Porto Alegre.** 1993.

SOARES, L. C. - Hidrografia. Geografia do Brasil, V. I, Região Norte. Rio de Janeiro. IBGE.1977.

SORENSEN, W.J.; MONTOYA, L. J. **Implicações econômicas da erosão e das práticas conservacionistas do Estado do Paraná.** Londrina: IAPAR/GTZ.p.143. 1984
SOIL CONSERVATION SERVICE . **Procedures for determining rates of landscape drainage, land depreciation, and volumes of sediment, procedy by gully erosin.** Local Engineering Division, 1996. (Techincal Release, 32. Geology).

SOUZA, M.J.N.; OLIVEIRA,V.P.V.;NASCIMENTO, F.R.; SANTOS,J.O. **Compartimentação Geoambiental e Ecodinâmica da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Acaraú.** XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Departamento de Geografia. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2005.

SOUZA, E.D; CARNEIRO, M. A.C. ; PAULINO, H.B. **Atributos físicos de um neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.11, p.1135-1139, nov. 2005.

SUAREZ, J. **O gás de Urucu.** Palestra proferida em Novembro de 2004. Universidade Federal do Amazonas. Convênio UFAM. PETROBRAS.

SOUZA, G et al. **Avaliação do papel da urbanização e da precipitação na formação de enchentes no Município de São Gonçalo (RJ).** XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. USP. 2005.

SIMON, A. L. H; NOAL,R. E. **A Relevância do Diagnóstico Sócio-ambiental nas Ações de Planejamento Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais:** Uma discussão sobre sua aplicação na Microbacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara – Município de Pelotas (RS). Laboratório de Cartografia e Estudos Ambientais (LACEA). V Simpósio Nacional de Geomorfologia I/ Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. UFSM –RS. Agosto de 2004.

TAIOLI; F. Recursos Energéticos. In: **Decifrando a Terra.** Organizado por Wilson Teixeira et al. Editora: Oficina de Textos.USP. São Paulo, 2001.p. 472-516.

TÁPIA, B. T. ; SOUZA, B.S.P. **O uso da terra nas vertentes marginais do lago da UHE de Ita no Município de Marcelino Ramos - RS e seus reflexos na qualidade da água. X. Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada.** Vol 1. Goiânia. Universidade Federal de Goiás, p. 332-340. 2003.

TAVARES, R. Erosividade Temporo-espacial da chuva na bacia do rio Quilombo-SP. In: VI **Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada.** Vol.I. Goiânia,1995.p.332-340.

Técnicas de Bioengenharia – Meio Digital. www.bioengenhariadesolos.com.br. - ingenieurbiologie – soil.bioengineering.génie bilogique.01/03/07. Data de acesso: 25.05.07.

TUCCI,C,E,M. Hidrologia: **Ciência e Aplicação.** Cap.1.Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.1993.

TSUKAMOTO,Y. **Hydrogeomorphological characteristics of a zero order basin.** A collection of reprints. Tokyo. Department of Foresy Univerity of Agriculture and tecnology. 1987.

TRUSH, W. J.;McBAIN S. M.:LEOPOLD L. B.:. Attributes of an alluvial river and their relation to water policy and manegement. *Proc Natl Acad Sci*, v. 97, n.22,p.11858-11863, oct. 2000.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.28, n.4,p.585-596, 2004.

VERISSIMO, E. W. ; VACARCEL,R. **Recuperação de áreas degradadas por mineração de manganês no Morro do Urucum- MS.** Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Paraná: Anais1992.

VIEIRA, V.T ; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: Guerra, A . J. T. ; Cunha, S. B. (orgs) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.cap.3.p.111-142.

VIEIRA, A . F. G.; AGUIAR, O. F.E.; ALBUQUERQUE, A.R.C. **Caracterização dos Aspectos Físicos da Estrada do Porto Evandro (4 km) e Voçoroca do Porto Hélio.** Relatório Final. Manaus: Departamento de Geografia/PETROBRAS.Novembro/2004.

VILELA, S. M e MATOS, A . **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.245p.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. (orgs). **Geomorfologia:** Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p.339-413.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses:** A guide to conservation planning. Washington, USDA, 58p. (Agricultural Handbook, 537), 1978.

WISCHMEIER,W.H.; SMITH,D.D. **Rainfall energy and relation to soil loss.** Trans.Am. Geophys. Union,39.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. **A rainfall erosion index for a universal equation.** Proc. Soil.Sci.Am. 33.131-137, 1959.

YOUNG,R. WIERSMA,J.T. **The role of rainfall impact in soil detachment and transport.** Water Resources Research n 9.1073.1629-1639.