

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Admilson Clayton Barbosa

CONTENÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS
RESULTANTES DE ACIDENTE AMBIENTAL NA
SERRA DA MANTIQUEIRA, SP

TAUBATÉ – SP

2009

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Admilson Clayton Barbosa

**CONTENÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS
RESULTANTES DE ACIDENTE AMBIENTAL NA
SERRA DA MANTIQUEIRA, SP**

Dissertação Apresentada para obtenção
do Título de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais
do Departamento de Ciências Agrárias da
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências
Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz

TAUBATÉ – SP

2009

ADMILSON CLAYTON BARBOSA

**CONTENÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS RESULTANTE DE ACIDENTE
AMBIENTAL NA SERRA DA MANTIQUEIRA, SP**

Dissertação Apresentada para obtenção
do Título de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais
do Departamento de Ciências Agrárias da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Ciências
Ambientais

Data: 31/março/2009.

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Jair Santoro Instituto de Geologia do Estado de São Paulo

Assinatura: _____

Prof. Dr. Getúlio Teixeira Batista Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Francisco Barbosa e Silvana do Prado
Barbosa, por todo esforço e carinho
com que me proporcionaram educação
e formação.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz.

Aos meus irmãos Anderson e Alexson pelo apoio, vocês são mais que irmãos são meus grandes amigos.

À EMAE, por ter acreditado na possibilidade de realização do Projeto e aceitado desafio para sua execução, e por todo suporte logístico e financeiro.

A todos os colaboradores que trabalharam nas condições mais adversas durante a implantação do Projeto, pois sem vocês nada disso teria sido possível de realizar.

À equipe técnica da EMAE que participou do projeto, em especial aos amigos do Departamento de Gestão Ambiental.

À Prof. Dra. Simey e Dr. Getúlio da Universidade de Taubaté pelas contribuições durante o período de revisão e na qualificação do trabalho.

Aos pesquisadores do Instituto de Geologia de São Paulo, Dr. Silvio Hiruma, Dra. May Modenesi, Dr. Jair Santoro e Dr. Teixeira pelas valiosas contribuições e o fornecimento de materiais sobre a região de Campos do Jordão.

Ao Prof. Dr. Walter Liese da Universidade de Hamburgo, pelo envio dos artigos sobre o bambu.

À Dra Ecila Villani pelas valiosas contribuições e revisão deste trabalho.

Ao meu grande amigo Eduardo Rocha, pela amizade e seus sábios conselhos, e claro pelas discussões dos grandes temas da vida.

À Elisabete Nunes, minha grande amiga sempre presente e dedicada.

À minha tia Terezinha, meu tio João e minha adorável prima Daluíá, sempre dispostos a ajudar e me acolher.

Aos amigos, Carlos G. do Nascimento, Wesley Bastos, Berta Villagra, Carol Coelho, Marina Moura, Ângela Peres, Adriana Bravin, pelas contribuições.

Aos meus colegas da turma XV, pelas boas risadas e amizade neste período de curso.

CONTENÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS RESULTANTE DE ACIDENTE AMBIENTAL NA SERRA DA MANTIQUEIRA, SP

Autor: Admilson Clayton Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido na escarpa sul da Serra da Mantiqueira, com o objetivo de reverter os danos ambientais causados pelo rompimento de uma adutora de água localizada a 1.700 m de altitude. Esse acidente resultou na formação de uma cicatriz na floresta da encosta, com supressão do solo e da vegetação. Para reverter os processos erosivos formados no local foi desenvolvida uma nova técnica utilizando quatro barreiras formadas por mudas de *Bambusa mutiplex* (Lour.), com o intuito de desviar as águas e favorecer a regeneração da vegetação. Para contenção de duas ravinas, denominadas de menor e maior, colmos de bambu (*Bambusa sp*) foram plantados em consórcio com *B. mutiplex*. O projeto foi monitorado por 18 meses e sua avaliação se fez por meio de observações de campo e preenchimento de ficha técnica. Posteriormente, os dados foram aplicados a uma adaptação da Matriz de Leopold composta por cinco aspectos monitorados: erosão, regeneração da vegetação, sucesso do plantio de bambu, conservação das estruturas e funcionalidade, nos quais se procurou avaliar a eficiência das intervenções com o bambu. O resultado da Matriz possibilitou classificar qualitativa e quantitativamente as intervenções, obtendo-se cinco níveis de classificação. As Barreiras I, II e IV foram classificadas como sendo de muita alta eficiência e, a Barreira III, como de alta eficiência. A contenção da ravina maior foi classificada como média eficiência e, da menor, como de muito alta eficiência.

Palavras chave: recuperação de encosta, ravina, bambu, *Bambusa mutiplex* (Lour.)

**CONTAINMENT OF EROSION PROCESSES RESULTING FROM
ENVIROMENTAL ACCIDENTS IN THE SERRA DA MANTIQUEIRA SP.**

Author: Admilson Clayton Barbosa

Advisor: Prof Dr. Hélio Nóbile Diniz

ABSTRACT

This work was carried out in southern escarpment of the Serra Mantiqueira, city of Pindamonhangaba within an area adjacent to the Plateau of Campos do Jordão, in São Paulo state, Brazil, and claimed as a result to reverse environmental damage caused by the rupture of an adductor of water located at 1700 m altitude. This accident resulted in the formation of a scar in the hillside forest, with its removal of soil and vegetation. To reverse the erosion processes created at the site a new technique was developed using four barriers formed by seedlings of *Bambusa mutiplex* (Lour.) in order to divert the waters and promote the regeneration of vegetation. For containment of two ravines, called lower and higher, stalks of bamboo (*Bambusa sp.*) were installed on the walls of the ravines with intercropped planting of seedlings *B. multiplex*. The project was monitored for 18 months and its evaluation was done through observations of field and fill in sheet. Subsequently, the data were applied to an adaptation of the Leopold Matrix composed of five monitored aspects: erosion, regeneration of vegetation, the success of bamboo plantation, preservation of the structures and functionality, which sought to evaluate the effectiveness of interventions with the bamboo. The result of the classification matrix enabled the qualitative and quantitative interventions, resulting in five levels of classification. The barriers I, II and IV were classified as being of very high efficiency, and the Barrier III as a high efficiency. The containment of the higher ravine was classified as medium average efficiency, the lower, as a very high efficiency.

Key words: recovery of hill, ravine, bamboo, *Bambusa multiplex* (Lour.)

FIGURAS

Figura 1 – Mapa litofaciológico da Bacia do Pico de Itapeva, com indicação da área do acidente. Adaptado de Teixeira (2000).....	19
Figura 2 – Vista geral da Serra da Mantiqueira, Planalto de Campos do Jordão.....	23
Figura 3 – Rizomas leptomorfo. Adaptado de Lopez, <i>apud</i> Nunes (2005).....	27
Figura 4 – Rizoma paquimorfo. Adaptado de Lopez, <i>apud</i> Nunes (2005).....	28
Figura 5 – Morfologia do colmo. Fonte: Pereira (2001).....	30
Figura 6 – Morfologia da Folha. Adaptado de Meredith (2001).....	31
Figura 7 – Sementes de quatro espécies diferentes de bambu. Fonte: Meredith (2001).....	33
Figura 8 – Suscetibilidade a erosão. Detalhe da região do Vale do Paraíba, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira – SP. Adaptado de SMA (2002).....	42
Figura 9 – Valoração das células, Matriz de Leopold.....	47
Figura 10 – Mapa de localização da área do rompimento da adutora, identificado pelo círculo vermelho.....	49
Figura 11 – Reservatório da Usina de Isabel no Planalto de Campos do Jordão.....	50
Figura 12 – Imagem de sobrevoo. O ponto A da foto indica a câmara de compensação e, o ponto B, local do rompimento da adutora. Fonte: EMAE (2004).....	52
Figura 13– Imagem A: vista geral da área após o acidente, destacando dois pontos ilustrados nas imagens B e C. Em amarelo, o ponto do rompimento da tubulação em detalhe na imagem B; em vermelho, destaque da região de dissipação de material, evidenciado na imagem C.....	53
Figura 14 – Delimitação dos trechos A, B e C. Fonte: EMAE (2004; 2005; 2007).....	59
Figura 15 – Carregamento de mulas até a área da barragem. Fonte: EMAE (2005).....	60
Figura 15 – Reafeiçoamento da crista da barragem. Fonte: EMAE (2005).....	
Figura 16 – Touceira de <i>B. multiplex</i> (Lour). Fonte: de Meredith (2001).....	64
Figura 17 – Esquema da posição das barreiras de bambu, em vermelho, para o desvio das águas pluviais.....	67
Figura 18 – Preparo do terreno e colocação do limitador de jardim em PVC reciclado	68
Figura 20 – Esquema ilustrativo dos colmos do bambu estrutural, fixado ao solo e preso pelos grampos de aço.....	69

Figura 21 – Perfuração do colmo (bambu estrutural). O espaço aberto servirá de passagem das mudas de <i>B. multiplex</i>	70
Figura 22 – Esquema ilustrativo da cerca de bambu encostada no talude e enterrada no solo.....	71
Figura 23 – Grampo de aço para fixação dos colmos.....	72
Figura 24 – Instalação da estrutura de contenção da ravina menor, figura 26 A – início dos trabalhos; figura 26 B- trabalho concluído	72
Figura 25 – Contenção da ravina maior com suporte de mourões de eucalipto.....	73
Figura 26 – Acompanhamento de campo: figura 28A, foto realizada no mês de março de 2007; figura 28B, foto realizada em julho de 2007; figura 28C, foto realizada em dezembro de 2008.....	93
Figura 27 – Acompanhamento de campo: figura 29A, imagem feita em dezembro de 2006; figura 27B, imagem de dezembro de 2007; figura 29C imagem feita em março e 2008.....	94
Figura 28 – Acompanhamento de campo: figura 28A, imagem feita em dezembro de 2006; figura 28B, imagem de dezembro de 2007; figura 28C imagem feita em março de 2008.....	95
Figura 29 – Acompanhamento de campo: figura 29A, montagem da contenção, imagem feita em dezembro de 2006; figura 29B, imagem de dezembro de 2007; figura 29C imagem feita em março de 2008	96
Figura 30 – Acompanhamento de campo: figura 30A, montagem da contenção, imagem feita em dezembro de 2006; figura 30B ,imagem de dezembro de 2007; figura 30C, imagem feita em março de 2008.....	97
Figura 31 – Acompanhamento de campo: figura 31A, montagem da contenção, imagem feita em dezembro de 2006; figura 31B, imagem de dezembro de 2007; figura 31C, imagem feita em março de 2008.....	98

TABELAS

Tabela 1 – Classificação de relevo em função da inclinação, segundo Ross (1994).....	44
Tabela 2 – Classe de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso concentrado das águas pluviais, segundo Ross (1994).....	44
Tabela 3 – Graus de proteção do solo em função da cobertura vegetal.....	45
Tabela 4 – Precipitação das estações meteorológicas da Usina Izabel, Pindamonhangaba e Horto Florestal, no trimestre maio, junho, julho de 2004. Dados expressos em mm. No quadrante vermelho estão os dias que antecederam o acidente.....	55
Tabela 5 – Graduação da magnitude para eficiência das intervenções.....	73
Tabela 6 – Aspecto – EROSÃO.. ..	81
Tabela 7 – Aspecto REGENRAÇÃO NATURAL DA VEGETAÇÃO.....	82
Tabela 8 – Aspecto SUCESSO DO PLANTIO DE BAMBU.....	83
Tabela 9 – Aspecto – CONSERVAÇÃO DA ESTRUTURA.....	84
Tabela 10 – Aspecto – FUNCIONALIDADE.....	85
Tabela 11 – Matriz de Leopold com indicação dos valores médios atribuídos a cada aspecto monitorado.....	88
Tabela 12 – Contenção de material nas barreiras de bambu. Medição em 21 de dezembro de 2008.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Geologia Geral do Vale do Paraíba.....	15
2.2 Geologia da região da Serra da Mantiqueira em Campos do Jordão.....	16
2.3 Geomorfologia da Região.....	17
2.4 Clima Regional.....	21
2.5 Vegetação.....	22
2.6 Bambu	25
2.6.1 Morfologia do Bambu	26
2.6.2 Utilização do Bambu no Brasil.....	33
2.7 Bioengenharia e o Uso de Espécies Vegetais.....	34
2.8 Processos Erosivos.....	36
2.8.1 Processos Erosivos em Vertentes e Encostas.....	37
2.8.2 Processos de Movimentação de Massa.....	40
2.9 Classes de Fragilidade Ambiental.....	43
2.0 Matriz de Leopold.....	45
3 MATERIAL E MÉTODO	48
3.1 Localização da Área Estudada.....	48
3.2 A Usina de Izabel e o Acidente que Motivou o Estudo.....	50
3.3 Descrição das Etapas de Recuperação da Área.....	58
3.3.1. Etapa I – Obras Emergenciais.....	59
3.3.2 Etapa II – Recuperação da Área da Cicatriz.....	60
3.3.2.1 Materiais empregados.....	61
3.4.2.2 Transporte do Material.....	61
3.3.2.3 Seleção das Áreas para Instalação das intervenções.....	62
3.4 A Escolha do Bambu.....	62
3.4.1 A Espécie <i>Bambusa multiplex</i> (Lour.).....	63
3.5 A Instalação das Barreiras.....	66
3.6 Contenção das Ravinas com Estrutura de Bambu e Plantio Consorciado de <i>B. multiplex</i>	68
3.7 Avaliação do Trabalho.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1 Interpretação da Matriz de Leopold.....	89
5 CONCLUSÃO	99
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1. INTRODUÇÃO

Os escorregamentos e os processos erosivos, por erosão laminar, surgimento de sulcos, ravinas, formação de boçoroca, são exemplos de degradação ambiental presentes em todos os continentes, porém são mais freqüentes e preocupantes nas regiões tropicais (LOZANO et. al, 2003).

As ocorrências desses processos envolvem vários fatores, tais como, a declividade, o relevo, o tipo de solo, a cobertura vegetal, o uso e a ocupação desordenada de morros e encostas (SALOMÃO e IWASA, 1995; IWASA e FRENDRICH, 1998; CRISTO, 2002; COUTO et al., 2005; AFONSO e MÁXIMO, 2006). Esses fatores podem ser considerados como indicadores da fragilidade ambiental de áreas isoladas ou até mesmo de regiões.

Em áreas de encostas e vertentes, os escorregamentos ocorrem com freqüência (TOMINAGA, 2000; CRISTO, 2002). No Brasil, em áreas com relevo mais acidentado e de altitude mais elevada como a Serra do Mar (ROSSI e QUEIROS NETO, 2004; COUTO et al., 2005; BASTOS NETO, 2007) e a Serra da Mantiqueira (MODENESI e HIRUMA 2004; BATISTA et al., 2006; DELGADO, 2007) é freqüente a ocorrência desses fenômenos, principalmente onde há ocupação humana desordenada.

Os efeitos causados pelos escorregamentos e deslizamentos ultrapassam a questão ambiental, e afetam diretamente a questão social, pelo transtorno que traz à população (perda de moradia, bens materiais e risco de morte). Os governos também são afetados, uma vez que precisam injetar recursos para minimizar o efeito desses desastres, amparando as vítimas com assistência médica, alimentação, moradia, entre outros subsídios.

Para reverter processos erosivos, seja uma ravina, boçoroca, ou áreas de escorregamento, há necessidade de alto aporte financeiro e boas práticas de engenharia, as quais envolvem altos custos que acabam inviabilizando sua aplicação. Por isso, novas técnicas precisam ser testadas e desenvolvidas na busca de soluções para tais problemas (AMADOR e VIANA, 1998; SUTILI, 2004; 2007).

Algumas técnicas alternativas para recuperação ambiental são consideradas de baixo custo, quando comparadas às técnicas convencionais de engenharia civil. Na maioria das vezes, essas técnicas desempenham, em termos ambientais, sua função ecológica, satisfatoriamente, como melhoria da drenagem, regeneração de espécies vegetais, suporte a fauna e ciclagem de nutrientes no solo.

Neste contexto, as técnicas de bioengenharia são uma aliada na recuperação de processos erosivos, porque utilizam materiais inertes, como madeira, metal, rocha, manta geotêxtil, fibras vegetais e sintéticas, consorciados com plantas vivas. Essas técnicas proporcionam ótimos resultados paisagísticos e ambientais, na maioria das vezes economicamente viáveis, dado o custo relativamente baixo, quando comparadas a outras técnicas (SUTILI, 2004; 2007; ANTONIS e MOLINARI, 2007).

Na Europa e na Ásia, a bioengenharia é uma prática comum que serve de exemplo para ser aplicada no Brasil, principalmente nas áreas de risco, como nas regiões de montanhas e serras.

Os municípios de Campos do Jordão e parte de Pindamonhangaba, na região da Serra da Mantiqueira, no Estado de São Paulo, apresentam características

suscetíveis à ocorrência de escorregamentos e deslizamentos com áreas vulneráveis a riscos ambientais (HIRUMA, 1999; MONDENESI e HIRUMA, 2004; BATISTA et al., 2006).

No município de Campos do Jordão, a expansão do crescimento urbano, avançando sobre as áreas de encostas e de alta declividade, geralmente ocupadas por habitantes de baixa renda e casas poucos estruturadas para estas áreas, além da significativa perda da cobertura vegetal, é responsável pelos graves problemas detectados (SILVA e DINIZ, 2004; BATISTA et al., 2006; DELGADO, 2007).

Problemas ambientais de origem acidental é uma realidade, trazendo impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. O rompimento da Barragem de Camará, no município de Alagoa Grande, no Estado da Paraíba, em 2004, é um exemplo recente. Nesse acidente, casas e plantações foram destruídas, pessoas e animais morreram, a vegetação ciliar, as margens dos rios e córregos foram destruídas pela força das águas (SILVA, et al., 2006). Outro acidente emblemático foi aquele causado pelo rompimento do reservatório de rejeito da Indústria Cataguases de Papel, em 2003, no Estado de Minas Gerais, que resultou na poluição do Rio Paraíba do Sul, atravessando parte do Estado do Rio de Janeiro e atingindo o mar. As conseqüências desse acidente foram morte da fauna, perda da vegetação ciliar em córregos e transtornos sociais causados pelo corte de abastecimento de água na região (GONÇALVES, et al., 2007).

O presente estudo relata um acidente ambiental ocorrido em 2004, na encosta sul da Serra da Mantiqueira, a partir do rompimento de uma adutora, dando origem a uma cicatriz na vegetação com processos erosivos. Na ocasião, houve perda do solo e supressão da vegetação em uma área aproximada de 900 metros quadrados.

O impacto causado por este sinistro foi similar a um processo erosivo natural, resultante do escoamento concentrado de água superficial, com a formação de erosão em sulcos, ravinas e boçoroca. Em situações como esta, os processos erosivos removem a camada do solo e as partículas de rochas, e as arrastam pela ação da energia gravitacional contida na água que desce a encosta (IPT, 1986 *apud* SALOMÃO e IWASA, 1995).

Com vistas à recuperação da área que sofreu degradação, foi desenvolvida e aplicada uma nova técnica. Assim, este trabalho tem como objetivo geral descrever a metodologia aplicada para contenção dos processos erosivos formados na cicatriz, e para a avaliação da metodologia foi aplicada a Matriz de Leopold, adaptada de

maneira a avaliar qualitativa e quantitativa, cinco aspectos ambientais (erosão, regeneração natural da vegetação, sucesso do plantio de mudas de *Bambusa multiplex* (Lour.), conservação das estruturas e a funcionalidade), monitorados durante 18 meses.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Geologia Geral do Vale do Paraíba

Na região do Vale do Paraíba a atuação de fatores internos da crosta produziu maior estruturação do relevo. Basculamentos tectônicos formaram os diferentes planaltos desnivelados entre si e escarpados na transição entre uns e outros (LEINZ e CARVALHO, 1957).

Ab'Saber (1966) divide o Vale do Paraíba em alto, médio e baixo. Segundo o autor, o Médio Vale do Paraíba é subdividido em:

- Médio Vale Superior, que é caracterizado pela presença de uma faixa sedimentar alongada que acompanha o rio Paraíba do Sul, com morros recortados moldurando a bacia hidrográfica, onde sobressaem alguns alinhamentos, como o da Serra do Quebra Cangalha.

- Médio Vale Inferior, que corresponde à zona de mares de morros.

A zona do Médio Vale do Paraíba corresponde ao “graben” do Paraíba, depressão tectônica de sedimentação terciária, com 200 km de comprimento, variando de 20 a 30 km de largura e, cuja cota não ultrapassa 650 m. Ela é composta por uma faixa de terras inundáveis, as várzeas, com solos agricultáveis e, ainda, áreas de mineração de areias que se caracterizam pelo predomínio da urbanização (AB'SÁBER, 1966).

Nesta zona ocorre o relevo da Serra da Mantiqueira estendendo-se, ao norte, o “front” escarpado e erodido do Planalto de Campos do Jordão, cujos fundos vales chegam a atingir desnível superior a 1000 m (AB'SÁBER e BERNARDES, 1958; AB'SÁBER, 1966).

Na parte de recuo do “front” apresentam-se relevos menos enérgicos, recobertos por extensa vegetação natural. No Planalto do Paraitinga, o relevo é marcado pela intensa convexidação das vertentes, constituindo-se o que se chama de

“Domínio dos Mares de Morros” (AB’SÁBER, 1966; AB’SÁBER, 2003). À medida que se aproxima do Planalto da Bocaina as altitudes se elevam, ultrapassando 1.000 m, com predomínio de pastagens. Essa zona, Planalto de Bocaina, apresenta-se como um bloco elevado a mais de 900 m, dispendo de campos elevados, recortados por grandes ravinamentos. Predominam matas e campos de altitude nessa área.

2.2 Geologia da região da Serra da Mantiqueira em Campos do Jordão

Segundo mapeamento realizado pelo IPT, (IPT, 1978 *apud.* MODENESI, 1980), predominam no Planalto de Campos do Jordão, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos, calcários estromatolíticos e ectinitos do Grupo Açungui (também conhecido como Complexo Embu) e rochas graníticas associadas, do Pré-Cambriano Superior. Os ectinitos são rochas metamórficas caracterizadas pela foliação fina e regular, com composição mineralógica idêntica, ou quase, à da rocha primitiva da qual se originou, e demonstram que, no processo metamórfico que ocorreu, a remobilização química foi pequena, ao contrário do que acontece com os migmatitos onde os minerais primitivos foram substituídos por feldspatos neocristalizados. Os calcários estromatolíticos são rochas de origem química, metamorfisadas, que formam estruturas laminadas construídas durante a deposição química por cianobactérias (início da vida vegetal), que formaram uma rede filamentosa, recoberta por bainhas mucilaginosas, responsável pela fixação do carbonato de cálcio do meio circundante, desenvolvendo uma estrutura laminar com a agregação de grãos detríticos, cimentados pelo carbonato de cálcio.

Na região também ocorrem migmatitos do Complexo Paraíba do Sul, datados como sendo do Pré-Cambriano Médio. Nos campos do Planalto de Campos do Jordão e no alto do vale do rio Sapucaí-Guaçu, predominam rochas gnaíssicas e migmatíticas heterogêneas, do grupo Açungui, e granitos associados. Ocorrem ainda xistos, quartzitos e metaconglomerados (MODENESI, 1980; 1983; MODENESI et al., 1997; TEIXEIRA, 2000; MODENESI e HIRUMA, 2004).

Considerando as rochas migmatíticas do grupo Açungui, com base nos estudos do IPT (realizados em 1978), Modenesi (1980) caracterizou mineralogicamente os migmatitos estromatíticos homogêneos e as rochas graníticas. Os migmatitos estromatíticos homogêneos possuem alternância de bandas de

neossoma e de paleossoma feldspático com teores variados de biotita. Os minerais essenciais são: quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita; os acessórios são: apatita, clorita, turmalina, granada, zircão, hornblenda, sillimanita, alanita e muscovita. Esses estromatitos apresentam caráter oftalmítico generalizado com porfiroblastos de feldspato, de seção lenticular, ovalada ou retangular, em número e tamanho variados (de milimétricos a decimétricos).

Segundo Modenesi (1980), os granitos constituem corpos intrusivos. Seus minerais essenciais são: quartzo, microclínio e plagioclásio; os acessórios são: biotita, muscovita, apatita, zircão, minerais opacos, titanita e alanita; e os secundários são: sericita, epídoto, clorita e carbonatos. Apresentam caráter porfiroblástico marcante, com ocorrência de cristais de microclínio e plagioclásio de dimensões e formas semelhantes às dos estromatitos homogêneos.

2.3 Geomorfologia da Região

As dinâmicas geomorfológicas se dão ao longo do tempo, ao tipo de alteração das formações e ao seu grau de intemperismo, que refletem as condições do meio (MODENESI, 1980; 1983; MODENESI et al., 1997; MODENESI, 2000; MODENESI-GATTIER e HIRUMA, 2000). Esses processos também são conhecidos como morfogênese ao qual é atribuído a esculturação das formas de relevo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O planalto de Campos do Jordão constitui a superfície da cimeira do Brasil Sudeste (AB'SÁBER e BERNARDES, 1958; HASUI et al. 1977). Parte desta região também encontra-se no município de Pindamonhangaba, próximo à represa da Usina de Izabel. Segundo Modenesi (1980; 1983; 1988), nessa região ocorreram variações no intemperismo das rochas que estão relacionadas à morfogênese.

Hasui et al. (1977) descrevem a região onde se localiza o Planalto de Campos do Jordão como sendo a porção oriental do Planalto Atlântico, que constitui a superfície cimeira do “teto” principal dos planaltos em blocos do Brasil Sudeste e dos falhamentos normais e de acavamento, guiados por antigas falhas transcorrentes (Pré-cambrianos/Cambro-Ordoviciano) e pelo traço das junções de foliações, tendo seus topos elevados a 1.950 - 1.952 m (Pico do Diamante e Morro de Itapeva), 2.029 - 2.050 m (Alto do Cerco e áreas próximas da borda do planalto, onde

podem ser reconhecidas indicações da “superfície dos Altos Campos” (MODENESI, 1980; 1983; 1988, MODENESI-GAUTTIERI, 2000).

Para o interior, fragmenta-se em serras não muito extensas e picos com altitudes de até 1.850 - 1.870 m (Pedra da Chita e Serra do Baú). Segundo Modenesi (1988), a altitude do planalto sofre decréscimo de 6 a 7 m/km de extensão na direção sudeste (2.050 m) e para norte e noroeste (1.850 m).

A superfície dos campos é resultado de reativações oligocênicas das grandes falhas transcorrentes, acentuada no Plioceno, e aplainadas pela “superfície do Japi”. O levantamento dessa superfície paleógena e seu retrabalhamento quaternário, sob o clima de altitude, originaram um sistema de paisagem anômalo nesta região tropical (MODENESI, 1980; 1983; 1988; MODENESI-GAUTTIERI, 2000), formando um planalto tectonicamente elevado, com rochas cristalinas de estruturas complexas, maturamente dissecado a partir da superfície de aplainamento que nivela seus cimos a cerca de 2.000 m de altitude (ALMEIDA, 1964 *apud* HIRUMA, 1999).

Para Ab’Saber (1966), esta região é dotada de marcante individualidade climática, com formações superficiais e vegetação típica, caracterizando-se por um enclave em altitude, sobre o domínio morfoclimático dos mares de morros.

O Planalto de Campos do Jordão compreende o trecho da Serra da Mantiqueira, entre os rios Sapucaí - Mirim e das Bicas, limitado pela escarpa da serra, a sudeste, e a noroeste, pelo alinhamento das serras de Água Limpa, de Pouso Frio e da Coimbra (MODENESI, 1980; 1983). A borda do Planalto corresponde à Falha de Jundiuvira (HASUI et al., 1978; MODENESI, 1980; 1983; HIRUMA, 1999; MODENESI – GAUTTIERI, 2000; TEIXEIRA, 2000;). Os limites da região de planalto compreendem uma compartimentação tectônica (HASUI et al., 1978; MODENESI, 1980; 1988; HIRUMA, 1999); limitado pela falha de Jundiuvira, cujo deslocamento horizontal, transcorrente, no sentido NE (FIGURA 01), ocorreu no Pré-Cambriano Superior e Paleozóico Inferior (em torno de 600 milhões de anos atrás) e que foi reativada por novos processos tectônicos durante o Oligoceno (Terciário Inferior, a cerca de 18 milhões de anos) agora como uma falha normal (gravitacional) ou, por vezes, de acavalamento, em ambos os casos com deslocamento vertical e que causou o surgimento da encosta sudeste da Serra da Mantiqueira.

A Falha de Buquira (com gênese semelhante à Falha de Jundiuvira) situa-se abaixo da escarpa da Serra da Mantiqueira e, muitas vezes, é o limite norte da Bacia Sedimentar de Taubaté (de idade Terciária).

O compartimento dos blocos da Serra da Mantiqueira se caracteriza pelo agrupamento de serras alongadas em direção principal SSW - NNE. Esses relevos apresentam invariavelmente uma dissimetria marcada, com a face exposta a sudoeste sempre mais íngreme e desnuda. Os basculamentos dos blocos tectônicos para noroeste constituem a tônica principal da morfologia (HIRUMA, 1999).

A evolução do quaternário sob climas de altitude deu origem ao sistema de paisagem atual, o geossistema dos altos campos (MODENESI, 1980; 1988; 2004), com a vegetação distribuída por um mosaico de mata e campo, sendo que os campos recobrem os topos dos interflúvios e o setor convexo das vertentes, a mata ocupa o setor retilíneo inferior das vertentes convexas, as vertentes retilíneas e os anfiteatros de erosão (HIRUMA, 1999).

Hiruma (1999) descreve a região do Planalto de Campos do Jordão como uma unidade de paisagem fisionomicamente heterogênea, porque apresenta, além do geossistema dos altos campos, o geossistema serrano, bem definido em áreas tropicais nas porções mais elevadas do planalto (paisagem típica dos topos das serra da Mantiqueira). Ambos geossistemas estão associados a variações litológicas e ao grau de dissecação do relevo (HIRUMA, 1999). Os altos campos formam o relevo típico acima da escarpa da Serra da Mantiqueira, enquanto que, abaixo desta, ocorrem os mares de morros descritos por Ab'Sáber (1966; 2003).

Segundo Modenesi (1980), a compartimentação geomorfológica e as características morfológicas das formações superficiais ocorrem em topo de interflúvio, vertentes convexas, vertentes retilíneas, anfiteatros de erosão e planícies fluviais. Nos topos dos morros no setor de encosta há mamelonização, já o setor inferior é geralmente retilíneo. Acima de 1.900 m, as áreas são mais preservadas de ações erosivas e a mamelonização atinge o setor inferior.

2.4 Clima Regional

Segundo Setzer (1946; 1966) e Nimer (1989), o clima dominante na Serra da Mantiqueira é o tropical, alternando períodos secos e úmidos, prevalecendo o tropical úmido. Nessas condições, o intemperismo químico predomina sobre o físico, produzindo mantos de alteração e formas generalizadamente convexas, sobre as quais se desenvolveram as florestas latifoliadas tropical úmida, a floresta subtropical e os campos de altitude, formando um mosaico típico de campos e matas. Estas formações se desenvolveram muito mais em função do clima e agem como elemento moderador da morfogênese, contribuindo na determinação do modelo atual (MODENESI, 1980; 1983; 1988).

As temperaturas médias são regularmente elevadas e suas variações são pequenas, permanecendo na faixa dos 22 °C (MERLIM, 2005), isso para uma área do Parque Estadual de Campos do Jordão, ao lado da área de estudo.

O clima da área em estudo, segundo a classificação de Köppen, é Cfb - clima subtropical de altitude, mesotérmico e úmido, sendo que ocasionalmente a temperatura fica abaixo de zero.

De acordo com Monteiro (1979), o Vale do Paraíba e a Serra da Mantiqueira têm função de uma barreira orográfica. Segundo Merlim (2005), no ano de 2000, a precipitação anual total chegou a 2.128 mm/ano, demonstrando o alto índice de precipitação em função dessa barreira.

A localização da Serra da Mantiqueira, entre as latitudes 21° e 24° S, proporciona a atuação de Massas Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc), Polar Atlântica (Pa) e Equatorial Continental (Ec), durante a maior parte do ano. Desta forma, o território Paulista encontra-se em faixa de transição entre as duas grandes regiões climáticas da porção oriental da América do Sul, a meridional sempre úmida, e a do Brasil central, que alterna períodos secos e úmidos (CONTI, 1975; MONTEIRO, 1979).

As barreiras representadas pelo relevo acidentado do Alto Vale do Paraíba (normalmente as Serras do Jambeiro e Quebra Cangalha, bem como o Maciço da Bocaina) e ainda pela Serra da Mantiqueira, além de atenuarem o avanço das correntes perturbadoras (que chegam já enfraquecidas, uma vez que as latitudes da região agem como limite zonal dos sistemas gerais de circulação), submetem a faixa

deprimida do Médio Vale (bacia sedimentar) a uma condição de abrigo, favorecendo elevada frequência de calmarias, o que poderá ocasionar problemas de poluição atmosférica, principalmente nos centros mais urbanizados, São José dos Campos, Taubaté e Jacareí.

2.5 Vegetação

A Mata Atlântica é uma formação vegetal situada ao longo de cadeias montanhosas paralelas ao Oceano Atlântico, desde o Estado do Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Sua área central estende-se pelas Serras do Mar e da Mantiqueira, na região sudeste do Brasil (VELOSO et al., 1991; LINO, 1992), cuja vegetação é rica em biodiversidade (LINO, 1992; CEMASI, 1998; BEIDER et al. 1999; CONTI, 2001; ROSSI e QUEIROZ NETTO, 2001; MERLIN, 2005; BASTOS NETO, 2007; DELGADO, 2007).

Este bioma abrange os mais variados tipos de vegetação, de modo que a Mata Atlântica pode ser designada como um conjunto de florestas atlânticas cujos maiores grupos são: floresta ombrófila densa, floresta estacional tropical e floresta ombrófila mista (mata de araucária). Há divergências quanto à nomenclatura e aos limites desses conjuntos florestais que se ampliam devido à existência de encaves de cerrado, campos e campos de altitude (VELOSO et al., 1991).

Uma característica das florestas tropicais de modo geral, é a diversidade de espécies encontradas no banco de sementes junto ao solo e na serapilheira (BAIDER, 1999), assim como na composição da vegetação (LINO, 1992, AB'SABER, 2003, GONÇALVES et al. 2003).

Na região sudeste ocorre à floresta ombrófila densa ou floresta pluvial tropical atlântica que exhibe uma alta diversidade florística e pode ser dividida em três tipos fisionômicos distintos: matas de altitude, matas de encosta e matas de planície litorânea.

A vegetação da Serra da Mantiqueira, entre os municípios de Pindamonhangaba e Campos do Jordão, é caracterizada, originalmente, como floresta pluvial tropical atlântica com encaves de matas de altitude no alto das escarpas. Ambas possuem alta diversidade florística e abrigam fauna rica e variada.

Segundo Hueck (1972), a vegetação da área estudada distribui-se aproximadamente entre os gradientes altitudinais que variam entre 600 e 1.931 m, contemplando as seguintes formações vegetais: campos de altitude, acima de 1.800 m; mata de neblina ou mata pluvial superior, de 1.400 a 1.800 m; mata pluvial inferior, de 600 a 1.400 m.



Figura 2. Vista geral da Serra da Mantiqueira, Planalto de Campos do Jordão

A Floresta Ombrófila Densa também apresenta diversas espécies de plantas ornamentais de diferentes portes e tamanhos. Entre as espécies herbáceas, são encontradas a açucena, *Hippeastrum reticulatum* L. e as helicônias, *Ctenanthe lanceolata* Petersen, bombanaça-da-terra, o caiapiá, *Dorstenia sp.*, orquídeas epífitas e terrestres também são encontradas, além de begônias, como *Begonia itatiaiensis* Brade (CEMASI, 1998).

A Floresta Ombrófila Densa Montana distribui-se nos fundos dos vales e encostas, onde encontram-se espécies arbóreas com altura que variam de 25 a 30 m. Segundo estudos sobre a biodiversidade da região (CEMASI, 1998.), pode-se encontrar as seguintes espécies: jequitibá *Cariniana estrellensis* (Raddi) O. Kuntze, ouriceiro, *Sloanea monosperma* Vell., canela-batalha, *Cryptocarya aschersoniana* Mez, jatobá *Hymenaea courbaril* L., e ingá-ferradura, *Inga sessilis* (Vell.) Mart., que formam o dossel da mata, além de espécies como as caducifólias *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns e a suinã, *Erythrina falcata* Benth. Nos sub-bosques são encontradas, o palmito, *Euterpe edulis* Mart., a pitaguará, *Metrodorea nigra* A. St.-Hil., a embira-branca, *Daphnopsis fasciculata* (Meisn.) Necvi. e a trepadeira lenhosa, *Marcgravia polyantha* Delpino. Além dos mencionados, também são

encontradas bromélias, cactos, orquídeas, pteridófitas (samambaias), entre outros grupos de plantas.

A Floresta Ombrófila Densa Montana de Altitude são formações que ocorrem em altitude superior a 1.800 m, onde ocorrem chuvas e nevoeiros constantes, a vegetação apresenta indivíduos arbóreos que alcançam, em média, 15 m de altura.

Na região destacam-se a erva-mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., a casca-de-anta, *Drymis regia* (Vand.) MUNG.; no estrato herbáceo de solo úmido destaca-se a anêmona-brasileira, *Anemona sellowii* Pritz., a epífita, *Sophronites coccinea* Rchb. e um cacto *Schlumbergera opuntioides* (Loefgren & Dusén) D.R.Hunt.

Nas altitudes acima de 1.500 m, a vegetação é composta, principalmente, por representantes arbustivos com cerca de 4 m de altura, sendo rara a presença de epífitas. Estão presentes espécies como a carne-de-vaca, *Roupala montana* Aubl., *Trembleya parvifolia* (Don.) Cong., a capororoca, *Maytenus sp.*, e a grama-miúda, *Weinmania humilis* Engler (CEMASI, 1998).

Em áreas com altitude superior a 1.800 m, na divisa entre Campos do Jordão e Pindamonhangaba, estão presentes os Campos de Altitude, formação que está adaptada às condições de clima e altitude, com típico mosaico de mata e campo (MODENESI, 1980; 1983; 1988), onde predominam herbáceas que cobrem planaltos ligeiramente ondulados. Entre essas ocorrem o timutu-campestre, *Polygala campestris* Gard., a violeta-do-brejo *Utricularia reniforme* A. St.-Hil., uma insetívora, e pequenos arbustos com altura entre 20 a 50 cm de altura, como o alecrim-do-campo *Baccharis microdonta* DC. e o lourero-de-jardim, *Leucothoe oleifolia* (Cham.) DC.

Nas áreas de vegetação secundária incluem ainda espécies exóticas como pinheiro *Pinus elliotii* Engel (slash pine), principalmente nas áreas de Campo Montano, o lírio-do-brejo, *Hedychium coronarium* J. König, nas áreas de mata ciliar no sopé da serra, a magnólia-amarela, *Michelia champaca* L. Em meio a diferentes estágios de sucessão encontram-se, ainda, plantas frutíferas como a laranjeira *Citrus cf. sinensis* Osebeck., o abacateito, *Persea americana* Mill., a amora-branca, *Morus alba* L., entre outras.

2.6 Bambu

Os bambus são angiospermas, monocotiledôneas, lenhosas, caracterizados pelo seu ciclo de vida, no qual há longos períodos exclusivamente vegetativos e eficiente sincronia na floração (GUILHERME e RESSEL, 2001; RAMANAYAKE, 2008). Os bambus pertencem à família botânica Poaceae, do grupo das gramíneas, e subfamília Bambusoideae, dividida em duas grandes tribos: 1) Olyrodea, bambu herbáceos, 2) Bambusoidae, bambus lenhosos (LONDOÑO, 2002; SANTOS-GONÇALVES, 2006; OLIVEIRA et al., 2006).

A família Poaceae é uma das famílias botânicas com maior potencial econômico (JOLY, 1993; PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002; FILGUEIRAS e SANTOS-GONÇALVES, 2006; SANTOS-GONÇALVES et al., 2006), sendo amplamente utilizada na construção civil, arquitetura, decoração e alimentação (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002; ALEMEIDA, 2004a, b).

A distribuição dos bambus ocorre naturalmente entre as latitudes 46° N e 47° S, desde os trópicos até as regiões temperadas (NUNES, 2005; ZANG e CLARK, 2000 *apud* SANTOS-GONÇALVES, 2006), exceto na Europa.

No mundo há mais de 1.100 espécies de bambu; nas Américas há cerca de 40 gêneros e 547 espécies (FREITAS et al., 2003). No Brasil há bambus exóticos e nativos, sendo que já foram identificados cerca de 34 gêneros, 232 espécies e, deste total, 204 são consideradas endêmicas (PEREIRA, 2001; SANTOS-GONÇALVES, et al., 2006).

Cada gênero das espécies de bambu possui peculiaridades quanto a sua biologia e ecologia. O gênero *Bambusa*, por exemplo, possui fácil adaptação a solos degradados e com baixa fertilidade, além do rápido crescimento e fácil adaptação (GRAÇA, 1988; PEREIRA, 2001).

Devido a escassez de estudos sobre biologia e ecologia das espécies de bambus, eles são muito criticados quando usados na recuperação de áreas degradadas, devido sua fácil adaptação e competição com outras espécies, como foi observado durante o levantamento bibliográfico.

Um estudo realizado por Sanqueta et al. (2005), em Floresta Ombrófila Mista Montana, no sul do Paraná, também denominada de Mata de Araucária, demonstra que a presença de taquara, uma espécie de bambu (Bambusoideae), não interfere na sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze., plantadas em

áreas com vegetação em estágio secundário de regeneração. Embora essa seja uma questão polêmica, considerando que Filgueiras (1988) descreve a influência negativa do bambu sobre o estabelecimento de indivíduos arbóreos e na sua sobrevivência, pode-se considerar a possibilidade de seu uso pontual na implantação de projetos de recuperação ambiental.

2.6.1 Morfologia do Bambu

Estruturalmente os bambus são compostos de rizomas subterrâneos, colmos, galhos e folhas. Os rizomas são tipos de caules, geralmente subterrâneos, horizontais, ricos em reservas, se distinguem das raízes pela presença de nós, gemas e escamas (FERRI, et al. 1981; NUNES, 2005). Essas estruturas são consideradas bem desenvolvidas por Oliveira et al. (2006) e Guilherme e Ressel (2001) as consideram plantas complexas devido suas características peculiares, e se diferenciam de acordo com sua forma, sendo classificados em rizomas do tipo leptomorfo, paquimorfo ou anfimorfo (McCLURE, 1966; 1973; *apud* LONDOÑO, 2002; BAMBUBRASILEIRO, 2007).

Os bambus de **rizomas leptomorfos** (FIGURA 3) estão distribuídos nas zonas temperadas do Planeta, e sua forma alastrante caracteriza o grupo (LONDOÑO, 2002; NUNES, 2005). Os colmos crescem a uma distância aproximada de 1,0 m entre eles, ocupando extensas áreas. Esse sistema de crescimento do rizoma é denominado de sistema monopodial (NUNES, 2005), onde o eixo principal do rizoma se desenvolve por atividade de uma única gema (FERRI et al., 1981). Possuem formas alongadas, delgadas e de formato cilíndrico, seus entrenós são longos, espaçados, de extremidade rígida, e disposição horizontal ao solo.

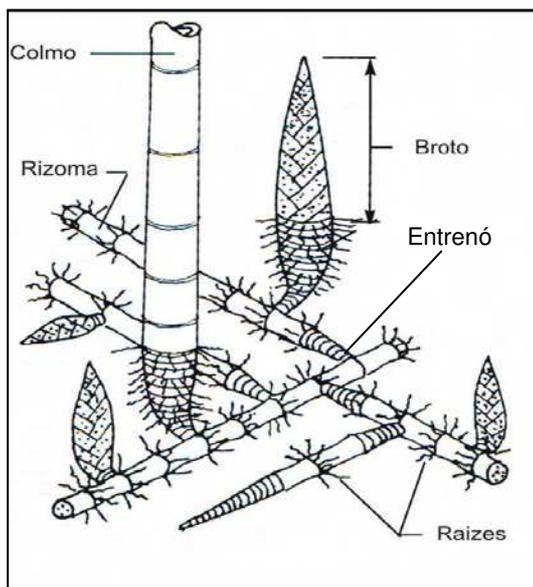


Figura 3. Rizomas leptomorfos. Adaptado de Lopez, *apud* Nunes (2005)

As raízes adventícias podem estar ou não presentes (LONDOÑO, 2002), seus colmos são mais espessos e, algumas vezes, dão origem a novos colmos (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002), crescem entre 1,0 e 6,0 m por ano, formando uma rede que chega a atingir entre 50 a 100.000 m lineares por hectare.

Bambus com rizomas leptomorfos apresentam ramos e folhas nas partes altas do colmo, mesmo antes que este atinja sua altura final. O período de brotação dos colmos ocorre no início da estação chuvosa (NUNES, 2005; BAMBU BRASILEIRO, 2007).

Exemplos de bambus com rizoma leptomorfo são as espécies do gênero *Phyllostachys*, conhecidos popularmente como vara-de-pesca ou bambu-chinês, que formam no solo uma rede tão densa e forte que nem a água da chuva consegue penetrar. Essa característica foi considerada por Londoño (2002) como ideal para conservação de solos declivosos e íngremes.

As espécies de bambu com **rizomas paquimorfos** (FIGURA 4) formam touceiras e são chamados também de entouceirantes ou torcentes (NUNES, 2005).

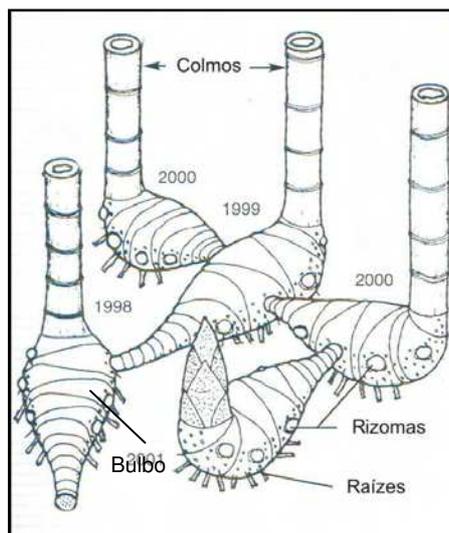


Figura 4. Rizoma paquimorfo. Adaptado de Lopez, *apud* Nunes (2005)

Segundo Pereira (2001), os colmos dos bambus entouceirantes desenvolvem muito próximo uns dos outros, formando as touceiras, popularmente chamadas de moitas. Essa forma de agrupamento dos rizomas recebe o nome de sistema simpodial, com várias gemas participando consecutivamente da formação de cada eixo, assim, cada gema passa a ter o comando do desenvolvimento, deixando ao lado a gema antecedente (FERRI et al., 1981).

O rizoma paquimorfo é encontrado nas espécies do gênero *Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*, muito comuns nas zonas tropicais (LONDOÑO, 2002).

Esse rizoma se caracteriza por apresentar bulbos e entrenós, compactos, curtos, espessos e sólidos. Os entrenós são assimétricos e há presença de raízes na parte inferior (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002). O crescimento se dá nas gemas laterais, onde se desenvolvem novos rizomas e novos colmos. A cada novo rizoma que nasce do seu ápice, volta-se para cima, dando origem a um novo colmo, de maneira sucessiva e de forma periférica, lateral e radialmente, agrupando em touceiras que chegam a conter entre 30 a 100 colmos (PEREIRA, 2001).

Espécies de bambu com rizomas paquimorfos formam no solo uma rede menos densa do que as espécies com rizomas leptomorfos. Porém, permitem maior percolação de água no solo, além de ajudar a controlar erosão, fixando se no solo em ravinas, margens de rios e beira de estradas (LONDOÑO, 2002).

As espécies com **rizomas anfimorfos** combinam os dois tipos de rizomas anteriores, paquimorfos e leptomorfos, em uma mesma planta, no mesmo sistema.

Uma espécie que apresenta este tipo de rizoma é a *Chusquea fendleri* Munro (BAMBU BRASILEIRO, 2007).

Os bambus do gênero *Chusquea* são comuns de regiões montanhosas, podendo ser visto na Colômbia (LONDOÑO, 2002), entre outras regiões na América Latina. No Brasil também é comumente encontrado nas regiões de serras e montanhas, como a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, em área de Floresta Ombrófila Densa e nos Escrubes.

Segundo Londoño (2002), devido à morfologia dos rizomas, os bambus são recursos ideais para conservação do solo, estabilização de encostas, proteção do solo contra ventos fortes e estabilização de escorregamentos, atuando bem nos primeiros 50 -100 cm do solo. Outro aspecto importante citado pela autora é a utilização dos rizomas na confecção de artesanatos em países da América Latina, como Colômbia e Equador, além da Ásia, onde os são utilizados para fazer esculturas, principalmente rizomas da espécie *Dendrocalamus hamiltoni* Nees & Arn. ex Munro, utilizados para imitar corno de rinoceronte, que são comercializadas por preços exorbitantes (LONDOÑO, 2002).

O **Colmo** é um tipo de caule aéreo, ereto e segmentado, emerge do rizoma e tem forma cilíndrica, dividida por nós transversais, contém no seu interior diafragmas que separam os entrenós ocos (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002; NUNES, 2005), também chamados de cavidade (FIGURA 5).

Os colmos originam-se de uma gema ativa do rizoma, dando sustentação para os ramos e folhas (MEREDITH, 2001). Liese (1998) menciona a capacidade dos colmos em realizar a fotossíntese, assim como as folhas, além de estruturar a parte aérea da planta, armazenar e conduzir a água, sais minerais, aminoácidos e sacarose.

O nó corresponde ao ponto de origem de folhas e ramos e é a parte mais resistente do colmo (JOLY, 1993; LONDOÑO, 2002; GHAVAMI e MARINHO, 2002). Nessa região há grande quantidade de fibras que proporcionam ao bambu resistência e flexibilidade (NUNES, 2005).

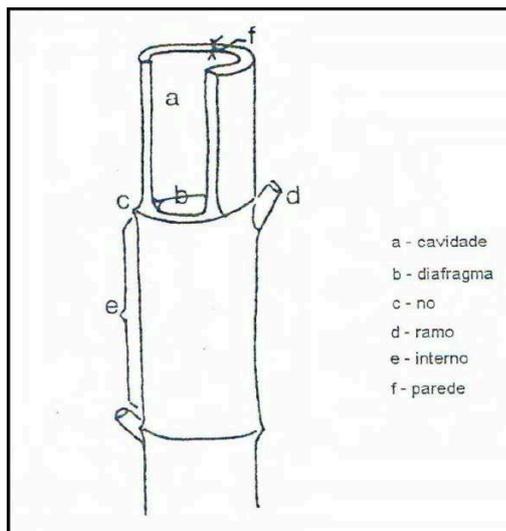


Figura 5. Morfologia do colmo. Fonte: Pereira (2001)

A altura, diâmetro e espessura do colmo são características variáveis entre as espécies de bambu, porém sua estrutura morfológica permanece a mesma. Um colmo pode variar de tamanho e diâmetro, podendo alcançar 40 m de altura e diâmetros de até 30 cm (PEREIRA, 2001; GHAVAMI e MARINHO, 2002).

Os colmos são utilizados na fabricação de móveis, artesanatos, pisos laminados, em peças decorativas, na arquitetura e na construção civil (GRAÇA, 1988; LIESE, 1998; PEREIRA, 2001; GHAVAMI e MARINHO, 2002; LONDOÑO, 2002; ALMEIDA, 2004a, b; NUNES, 2005; FILGUEIRAS e GONÇALVES, 2006; GONÇALVES et al., 2006).

As **folhas** nos bambus assim como todo o grupo das gramíneas (FIGURA 6), é constituída de bainha, lâmina e apêndices, aurículas e fímbrias (MEREDITH, 2001). A folha nasce em cada nó do colmo e tem como função proteger a gema que dá origem a ramos e folhagem (LONDOÑO, 2002). É um órgão vegetativo polimórfico e apresenta câmbio progressivo em tamanho, forma, consistência e vestido ao longo do colmo. A folhagem da porção do meio colmo é uma das características que auxilia na identificação da espécie de bambu (LONDOÑO, 2002).

As folhas caulinares podem ser persistentes na base e decíduas na porção superior, como a espécie *Guadua superba* Huber, constituída por duas partes: bainha e lâmina.

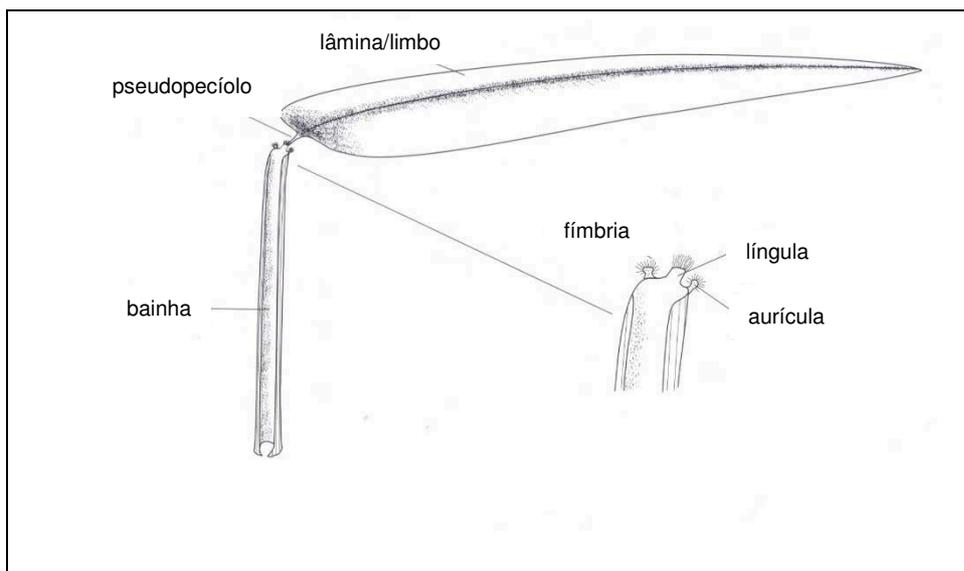


Figura 6. Morfologia da Folha. Adaptado de Meredith (2001)

Nas subfamílias de Bambusoideae, Arundinelleae e Cnetothecoideae existem pseudopecíolos, estrutura de união, orientação e desarticulação entre a bainha e a lâmina. Essas características não são facilmente visíveis, o pseudopecíolo é a base que conduz a lâmina e a liga ao seu invólucro, embora seja chamada de pecíolo, a maioria das gramíneas não tem pseudopecíolo (MEREDITH, 2001).

O **florescimento** dos bambus é um fenômeno muito peculiar e intrigante. De maneira geral, apresentam flores monocárpicas (GUILHERME e RESSEL, 2001; RAMANAYAKE, 2006), floração cíclica, simultânea e crescem vegetativamente por muitos anos (FILGUEIRAS, 1988; RAMANAYAKE, 2006).

Segundo McClure (1966; *apud* LONDOÑO, 2002), a inflorescência dos bambus forma-se em um eixo ou em um sistema de eixos, chamada de ramas associadas, do qual emerge um eixo comum chamado de raque primário. Tanto o raque primário quanto os demais eixos finalizam-se em uma espícula, também chamada de espiguetas, subentendida na base por um par de brácteas, as glumas (JOLY, 1993).

O ciclo de floração das espécies de bambu é muito oscilante, podendo variar entre 3 a 120 anos, dependendo da espécie (FILGUEIRAS, 1988; PEREIRA, 2001; GUILHERME e RESSEL, 2001; NUNES, 2005; RAMANAYAKE, 2006; ORTIZ e PICORNELL, 2008).

Filgueiras (1988), citando Kawamura (1927), destaca a espécie *Phyllostachys bambusoides* Siebold & Zucc., com floração cíclica de 120 anos. Esse registro é considerado muito preciso por ter sido feito por monges japoneses no século X.

O caráter monocárpico dos bambus é considerado uma característica genética, a floração é cíclica, gregária e simultânea, mesmo nas mudas que tenham sido transplantadas em outros lugares (FILGUEIRAS, 1988; RAMANAYAKE, 2006). Depois da floração a maioria das espécies morre (LONDOÑO, 2001; MEREDITH, 2001; RAMANAYAKE, 2006).

Segundo Ramanayake (2006), o fenômeno de florescimento é um enigma entre os bambus, A autora exemplifica uma espécie de bambu de clima temperado, *Fargesia murielae* (Gamble) T. P. Yi, originária da China, que foi introduzida na Europa e nos Estados Unidos no início dos anos de 1800. Esta espécie teve o florescimento durante a década de 1990, na mesma época e nas três regiões, Europa, Estados Unidos e China, mesmo em condições ambientais diferentes.

A espécie *Chusquea abietifolia* Griseb., natural da Jamaica, tem ciclo de vida de 32 anos, com registro de sementes coletadas nas montanhas da Jamaica. Após seu florescimento e sua morte, as sementes foram levadas e semeadas no Kew Garden, no Reino Unido, onde se desenvolveram bem. Depois de 32 anos, os bambus que nasceram na montanha e no Kew Garden, depois floresceram ao mesmo tempo. (RAMANAYAKE, 2006).

Outro exemplo de característica gregária da floração dos bambus ocorre com a espécie *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees, natural da Índia. Esta espécie possui ciclo de florescimento que difere de uma região para outra. No sul da Índia possui ciclo de 25 anos, no nordeste e na região central de 40 a 45 anos, e em Bangladesh, na Índia Ocidental seu ciclo é de 65 anos (RAMANAYAKE, 2006), fato este que pode indicar variações dentro da mesma espécie.

As flores possuem seis estames, ovário súpero tricarpelar e unilocular, contendo um único óvulo, geralmente adunado do lado adaxial do ovário. Em Bambuseae, o ovário possui três estigmas plumosos. O fruto é tipicamente cariopse (JOLY, 1993), isto é, um fruto seco indeiscente, com uma só semente (FIGURA 7), cujo tegumento está concrecido com o pericarpo em toda a sua extensão, comumente chamado de grão (FERRI et al. 1981).



Figura 7. Sementes de quatro espécies diferentes de bambu. Fonte: Meredith (2001)

2.6.2 Utilização do Bambu no Brasil

As espécies mais conhecidas de bambu no Brasil são de origem asiática, trazidas pelos primeiros colonizadores. Devido ao clima tropical brasileiro, essas espécies adequaram-se bem e se expandiram rapidamente pelo território brasileiro (GRAÇA, 1988).

O Brasil possui grande potencial para utilização e produção de bambu, (ALMEIDA, 2004; NUNES, 2005), porém, a espécie é muito pouco explorada e difícil de ser encontrada como mercadoria em lojas do ramo de material de construção civil, principalmente em pronto entrega. Na Colômbia, o governo ainda promove projetos no âmbito nacional para a utilização do bambu, assim como no Equador e na Costa Rica (LIESE, 2005).

Na região do Vale do Paraíba, fora dos centros urbanos é comum observar casas de taipa, com estruturas feitas de barro e taquara, como são conhecidos os bambus pelos moradores da região.

No Brasil, o Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes – DENIT já incorporou o bambu como uma alternativa de insumo em projetos de tratamento ambiental de taludes e encostas, por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos, como diques de bambus em forma de estaca cravada no terreno e amarradas entre si, com finalidade de receber solo e depois o plantio de gramíneas e leguminosas.

Em septos, os bambus são utilizados para obturação de pequenas erosões em ravinas e sulcos, como dispositivos de contenção superficial de taludes e encostas (DENIT, 2005; 2006).

Há exemplo de uso do bambu como experimento para contenção de boçoroca no Estado da Paraíba, onde mudas de bambu formam plantas para controle de ravinas e para disciplinar o escoamento das águas pluviais (VIANNA, et al., 2008).

Em agosto de 2008, o governo brasileiro, por meio do Ministério de Ciência e Tecnologia, sob a coordenação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, lançou o Edital MCT/CNPq/Ação Transversal I - N° 025/2008 com a intenção de fomentar pesquisas e atividades no âmbito das espécies de bambu e consolidar a Rede Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu – Redebambu/BR. (CNPq, 2008).

2.7 Bioengenharia e o Uso de Espécies Vegetais

A vegetação tem função primordial para a conservação dos solos e na restauração ambiental (GONÇALVES et al., 2003; REIS, 2003). De acordo com Ross (1994; 1996) e GONÇALVES et al. (2003), quanto mais preservada a cobertura da vegetação, maior o grau de proteção do solo. Desta forma, em uma floresta, as árvores amortecem a água das chuvas antes delas tocarem o solo, as gotas escorrem pelos troncos e chegam ao solo de forma mais serena, facilitando a infiltração de água no solo.

Os resíduos naturais produzidos pela floresta, depositados no solo na forma de serapilheira, além de participarem na ciclagem de nutrientes, também amortecem o impacto das gotas de chuva e reduz a velocidade de escoamento das águas, fator importante para não desencadear processos erosivos (GONÇALVES et al., 2003).

A utilização de espécies vegetais, vivas e mortas, na recuperação ambiental como forma de agregado ou matéria-prima é uma realidade cada vez mais presente. A bioengenharia de solos é um exemplo de uso de vegetação para recuperação de ambientes degradados. Ela consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos. Tais elementos podem ser a vegetação, conjugado a elementos inertes, como materiais sintéticos, rochas, concretos, ligas

metálicas, entre outros (DURLO e SUTILI, 2005; ANTONIS e MOLINARI, 2007; SUTILI, 2004; 2007).

No controle de processos erosivos, a bioengenharia faz uso de diversas plantas, em especial, as gramíneas, pela característica de seu sistema radicular e presença de estolhos e rizomas, além do seu desempenho fotossintético ser mais eficiente em diversas condições (REIS, 2003; PEREIRA, 2006).

Um exemplo da utilização de gramíneas pela bioengenharia acontece no Nepal, onde o uso desta técnica é freqüente (ACHARYA e FLORINET, 2006). Lá, uma das espécies usadas para essa finalidade é o capim-elefante, plantado nas montanhas com altitude superiores a 800 m e precipitação superior a 3.000 mm/ano, visando a estabilização de locais onde há desprendimento de terra. Nos pontos onde há manejo adequado, ele favorece o processo de recuperação e estabilização dos processos erosivos (STHAPIT e TENNYSON, 2007).

O bambu é outra espécie que foi largamente experimentada em todo o mundo. Seu colmo foi utilizado de diversas formas, desde estruturas de base estrutural no lugar de gabiões, como para drenagem, no controle de deslizamentos (ACHARYA e FLORINET, 2006) e controle de erosão em praias (DRAKE et. al, 2002).

Na província chinesa de Sichuan, a espécie de bambu *Phyllostachys nidularia* Munro é muito empregada no controle de deslizamentos (STOKES et al., 2007). Nas montanhas do Nepal o bambu também é utilizado para o controle de deslizamento em condições de precipitação elevada e topografia acidentada (HIGAKI et al., 2005; ACHARYA e FLORINET, 2006).

Estudos mostram que a utilização dos colmos de bambu, com plantio consorciado com outras espécies, pode ser uma alternativa mais barata de controle de deslizamentos e ecologicamente melhor (ACHARYA e FLORINET, 2006; SUTILI, 2007).

No Brasil temos exemplos bem sucedidos do uso da bioengenharia, como a aplicação de tela vegetal e tela biotêxtil para o tratamento de taludes (SILVA e DINIZ, 2004). Na região sul do país, a bioengenharia é aplicada para estabilização de taludes fluviais (SUTILI et al., 2004; DURLO e SUTILI, 2005; SUTILI, 2004; 2007).

Desta forma, os bambus se mostram um grupo botânico com potencial para aplicação em bioengenharia, uma ciência que com grande potencial ser aplicada no Brasil.

2.8 Processos Erosivos

A erosão do solo é um fenômeno natural, sendo considerado um dos mais estudados e pouco compreendido, principalmente no que se refere a sua previsão, tanto no tempo quanto no espaço (FERNANDES et al., 2001).

Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, devendo ser considerado também para as obras urbanas (ALMEIDA FILHO et al., 2004, FREITAS et al., 2005), e influenciado por vários fatores tais como: precipitação, solo, topografia, cobertura do solo, práticas de manejo e conservação do solo (ZIMMERER, 1993; SOUZA e SEIXAS, 2001; FERNANDES, 2006), drenagem e escoamento superficial (ALMEIDA FILHO et al., 2004; COUTO et al., 2005).

Segundo Tominaga (2000), a erosão é um termo que abrange ou inclui o destacamento e remoção de solo e rocha pela ação do escoamento da água, vento, ondas, fluxo de gelo e movimentos de massa. A autora descreve a erosão como uma função do potencial erosivo das chuvas (erosividade), do escoamento superficial, dos deslizamentos ou fluxos de massas terrosas, e a erodibilidade do solo. A compreensão desse fenômeno é importante ferramenta para recuperação ambiental de solos degradados.

O potencial do processo erosivo é denominado erosividade, e pode ser estimado em função das condições do solo e da cobertura vegetal. Como exemplo, tem-se o estabelecimento de uma escala numérica de valores de erosividade, que compara quantitativamente uma chuva intensa em relação a outra (TOMINAGA, 2000), possibilitando dimensionar o efeito da chuva sobre a formação da erosão.

A erodibilidade, compreendida como vulnerabilidade à erosão de um solo para uma determinada condição de chuva, também pode ser comparada em escala numérica. Os principais fatores da erodibilidade de um solo dependem das características do solo, sua composição química e física, manejo e tipo de cobertura vegetal (TOMINAGA, 2000).

A erosão afeta negativamente o meio ambiente, seja pelo transporte de sedimentos para os cursos d'água, resultando em assoreamento e piora na qualidade das águas, ou diretamente em determinados setores da economia, como a agricultura, com a remoção da camada fértil do solo, diminuindo sua produtividade e fertilidade (ALMEIDA FILHO, 2004; HIGAKI et al., 2005).

A declividade e o escoamento são dois fatores que merecem destaque na formação de processos erosivos, principalmente em regiões de serras e montanhas, uma vez que, em áreas tropicais, a precipitação é severa em determinados períodos do ano (LOZANO et al., 2005), o que torna o ambiente mais frágil e susceptível à erosão laminar, linear, ou processos erosivos que resultam em movimento de massa, como os deslizamentos (TOMINAGA, 2000; FERNANDES et al., 2001; CRISTO, 2002; ALMEIDA FILHO, 2004; COUTO et al., 2005; LOZANO et al., 2005).

Segundo Tominaga (2000), a erosão laminar é causada pelo fluxo superficial laminar ou em lençol e ocorre quando a superfície da vertente é plana ou sem saliências (lisa), formando um contínuo filme d'água. O fluxo laminar é usualmente muito raso em direção aos morros, mas à medida que o fluxo de água desce uma vertente, aumenta o potencial erosivo.

2.8.1 Processos Erosivos em Vertentes e Encostas

A erosão em vertentes e encostas são fenômenos preocupantes à medida que pode causar, além dos problemas ambientais, risco à vida e à segurança das pessoas.

A ocupação indiscriminada das áreas de encosta, principalmente as localizadas em perímetro urbano, por moradias, a maioria delas sem atender as regras para seu uso e ocupação, tem chamado a atenção das autoridades de muitos municípios. Neste sentido, há diversos exemplos de problemas decorrentes da ocupação de encostas no Brasil, ao longo de toda a costa brasileira, evidenciando o problema na Serra do Mar.

Na cidade do Rio de Janeiro (FERNANDES, 2001; COUTO et al., 2005; FERNANDES et al., 2006), no Balneário Camburiú (MORO e RODRIGUES, 2001), em Blumenau (MÁXIMO e AFONSO, 2006), em Cubatão (ROSSI e QUEIROZ NETO, 2001) e em outras regiões montanhosas como a Serra da Mantiqueira (MODENESI e HIRUMA, 2004; VIEIRA et al., 2005; BATISTA et al., 2006, DELGADO, 2007), são freqüentes os acidentes envolvendo pessoas vitimadas e trazendo à tona grandes transtornos ambientais e sociais.

O entendimento dos fatores que tornam esses ambientes frágeis e suscetíveis à ocorrência dos processos erosivos é ferramenta importante na gestão desses

espaços e na busca de soluções para os problemas originados (COELHO NETTO, et al., 2006).

De modo a facilitar o entendimento sobre a geomorfologia dos relevos, Ross (1994) descreveu uma classificação taxonômica para eles. No caso das vertentes, elas foram classificadas como pertencentes ao quinto táxon, dentro da classificação taxonômica dividida por seis táxons, aqui chamada de Classe.

Essa classificação está baseada em aspectos fisionômicos das formas de relevo de diferentes tamanhos, onde Ross (1992) considera que a fisionomia do relevo reflete a gênese e o tempo decorrido de seu desenvolvimento. Essa classificação se baseou nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura propostos por Guerasimov (1946) e Mescerjakov (1968), conforme descrição a seguir:

Primeira classe: está voltada para análise mais ampla da paisagem, uma forma maior do relevo, onde compreende as Bacias Sedimentares, sendo esta uma unidade morfoestrutural;

Segunda classe: enquadra-se dentro das unidades morfoesculturais, é gerada pela ação climática ao longo do tempo geológico, onde incluem os planaltos, serras e as depressões periféricas, como a bacia do Paraná (TOMINAGA, 2000), e chapadas de cimeira;

Terceira classe: nota-se a influência do clima atual, ele é definido como unidade dos padrões de formas semelhantes do relevo ou padrões de tipos de relevo, como por exemplo, uma seqüência de colinas, de morros e uma seqüência de formas tabulares;

Quarta classe: são as unidades menores do que o terceiro táxon, ou seja, as formas individualizadas na unidade padrão de formas semelhantes do relevo. Podem ser de agradação, como planícies fluviais ou marinhas, terraços fluviais ou marinhos, ou de denudação, como colinas, morros e cristas, composta por numerosas formas de relevo com morfologia e morfometria semelhantes entre si;

Quinta classe: compreende uma unidade dentro do quarto táxon; aqui se define os tipos de vertentes, ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo (ROSS, 1992). Segundo Tominaga (2000), as vertentes de cada tipologia de forma são geneticamente distintas, sendo que suas características geométricas, genéticas e dinâmicas diferentes para cada um dos setores dessa vertente;

Sexta classe: são as formas de relevo menores que se manifestam ao longo das vertentes por processos geomorfológicos atuais e, principalmente, por indução

antropogênica, sendo a vertente o resultado da morfogênese ou da morfodinâmica vida, presente, atual (ROSS, 1992). Dentro desta classe está a erosão por indução antropogênica, “*que degrada os solos, e ao mesmo tempo esculpe o relevo criando pequenas formas como sulcos, ravinas, boçoroca, cicatrizes de deslizamentos, que se desenvolvem ao longo das vertentes por ação das águas pluviais*” (ROSS, 1992).

Segundo Tominaga (2000), existem inúmeros trabalhos que organizam e classificam os processos de vertentes. A autora considera, segundo a abordagem da teoria de sistemas, a vertente como um sistema aberto que recebe energia, transformando o material rochoso em partículas transportáveis e transferindo esses materiais para fora do sistema. Selby (*apud* TOMINAGA, 2000) considera que a energia fornecida aos processos de vertente é proveniente de três fontes:

- ✓ Radiação solar, atuando no intemperismo das rochas;
- ✓ Gravidade, influenciada pela ação das águas e seu fluxo superficial e subsuperficial;
- ✓ Forças endogênicas são fornecidas principalmente pela atividade vulcânica e pelas forças liberadas em terremotos.

Essas formas de energia recebem, na maioria das vezes, a água como agente das transformações, favorecendo o intemperismo, pedogênese, erosão do solo, movimento de massa e deposição, com forte influência sobre o tipo de vegetação, do solo, da declividade da vertente, da superfície do relevo (TOMINAGA, 2000; CRISTO, 2002).

O fluxo de água sobre as vertentes pode remover solos de diferentes formas, segundo Tominaga (2000), seja na forma de erosão laminar, formação de sulcos, ravinas, ravinas, boçorocas e *piping*, onde:

- ✓ Erosão laminar ocorre predominantemente em terrenos ligeiramente acidentados, formando formas de filetes, conectando pequenas depressões cheias de água com outras;
- ✓ Formação de sulcos, se forma pelo escoamento laminar quando as águas desviam dos obstáculos formando pequenos canais ou sulcos, a concentração e a turbulência da água pode aumentar o tamanho do sulco e arrastar partículas maiores. Esse processo pode ser observado, durante os temporais, em vertentes cultivadas;
- ✓ Ravinas se formam quando há aprofundamento e alargamento de um sulco; assim, define-se ravina como sendo um canal de drenagem recentemente

formado que transmite o fluxo efêmero e que tem as margens íngremes, bem como escarpa ou talude da cabeceira vertical ou de alta declividade. Seu desenvolvimento é muito rápido. A causa mais comum de sua origem é o resultado de mudanças no ambiente, por falhamentos, queima de vegetação, pasto degradado, temporais de extrema intensidade, ou alguma outra forma de supressão ou quebra da vegetação, ela quase sempre começa a partir do incremento na quantidade de água do escoamento. Os principais processos que operam na formação de ravinas são: fluxo superficial, movimentos de massa costumeiramente podem ocorrer de maneira combinada.

- ✓ *Boçoroca* é a feição mais flagrante de erosão antrópica, podendo se formada através da evolução do processo erosivo, passando de erosão laminar para sulcos, que passa a ser ravina e que evolui, de modo a ficar mais profunda, ou se forma diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de águas pluviais (IPT, 1986 *apud* ALEMIDA FILHO et al., 2004). Segundo Pichler (1953 *apud*. ALEMIDA FILHO et al., 2004) boçoroca é uma palavra que deriva do tupi-guarani “*ibi-çoroc*”, e tem o significado de terra rasgada. Para Almeida Filho et al. (2004), elas são formadas pelo aprofundamento das ravinas e interceptação do lençol freático, onde se pode observar grande complexidade de processos do meio físico, devido à ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais.
- ✓ *Piping* são túneis subsuperficiais, possuem variações de diâmetros e comprimento, desde poucos centímetros a centenas de metros. Podem ser considerados processos físicos, com liquefação de areia, escorregamentos laterais e erosão superficial. Desta forma pode ser observado quando há presença de lençol freático, interceptado pela boçoroca e o aparecimento de surgências d’água (ALMEIDA FILHO et al., 2004).

2.8.2. Processos de Movimentação de Massa

Os movimentos de massa são diferentes de erosão laminar, da erosão em sulcos, das ravinas e boçoroca. De acordo com Crozir (1986 *apud* FERNANDES, et al., 2001), são movimentos gravitacionais, descendentes e para fora da encosta, de material sem ajuda da água corrente como um agente de transporte. Tal movimento

envolve solos e rochas. São, em sua maioria, envolvidos em movimentos e massa pela redução da resistência dos materiais de vertente e contribuem para o comportamento plástico e fluido dos solos (SELBY, 1982 *apud* TOMINAGA, 2000).

Segundo a proposta de Guidicini e Nieble (1984 *apud* TOMINAGA; *apud* FERNANDES et al., 2001), os movimentos de massa estão divididos em escoamentos (englobando rastejos e corridas), escorregamentos (translacionais e rotacionais), substâncias e movimentos complexos.

Na região de serras e montanhas próximas ao Vale do Paraíba, da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira (FIGURA 8), os movimentos de massa são processos que podem ocorrer naturalmente e também por indução (SMA, 2002).

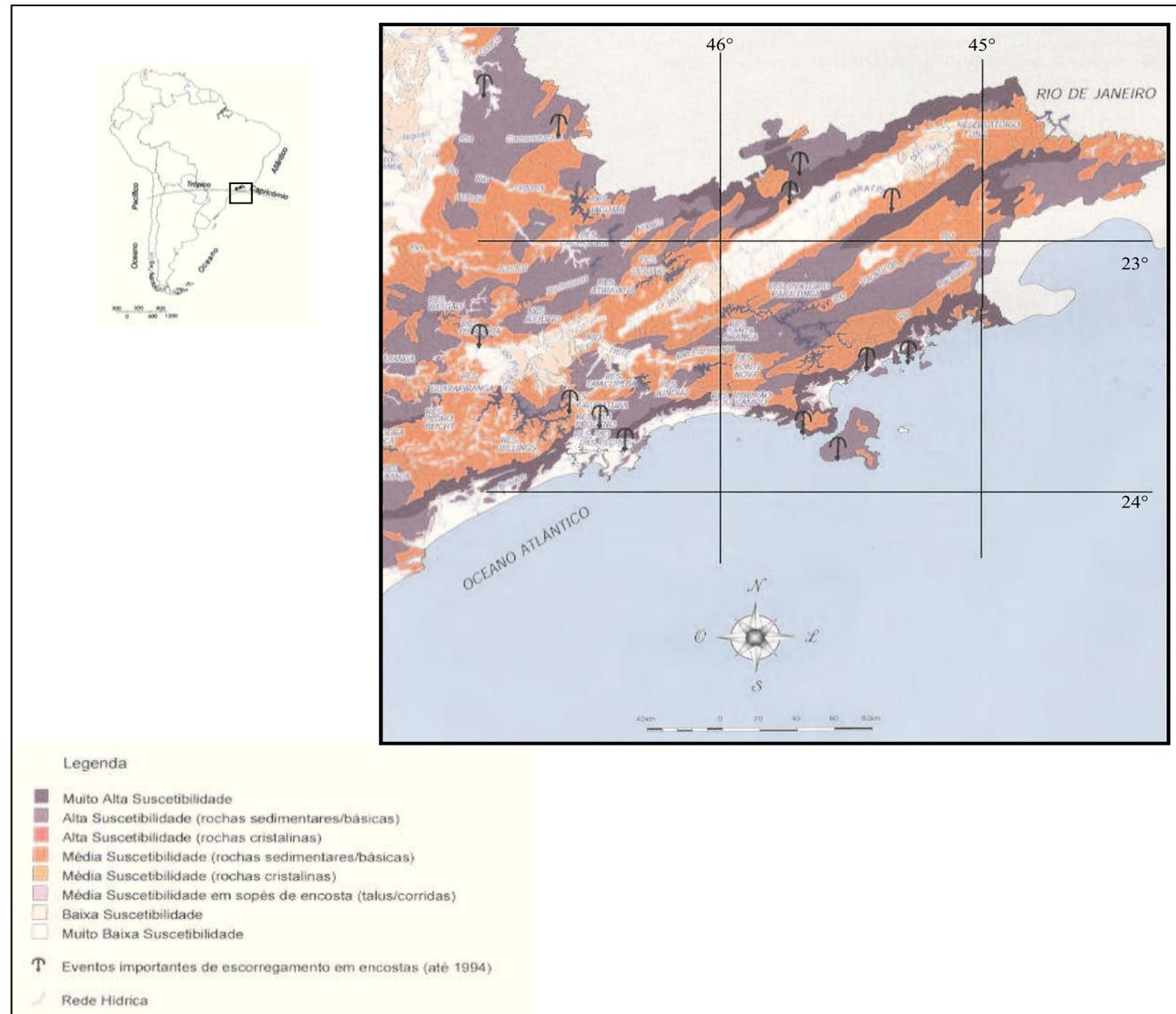


Figura 8. Suscetibilidade a erosão. Detalhe da região do Vale do Paraíba, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira – SP. Adaptado de SMA (2002)

2.9 Classes de Fragilidade Ambiental

Ross (1994, 1996) descreveu as classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, que podem ser agrupados de acordo com critérios pré-estabelecidos, como as classes de fragilidade em função dos tipos de solos, o grau de proteção em função do tipo de cobertura vegetal, etc. As classes de declividade também foram consideradas em função de uma categoria hierárquica. O autor coloca que, para a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais, há necessidade de estudos básicos sobre o relevo, o solo e subsolo, o uso da terra e o clima.

Muitos municípios e órgãos públicos utilizam dados de classes de fragilidade em forma de mapas para orientação e tomada de decisão para o planejamento territorial (SPÖRL, 2007). A metodologia proposta por Ross (1994; 1996), foi utilizada para elaboração de cartas de fragilidade do relevo. Tominaga (2000) usou essa metodologia como ferramenta para a análise da fragilidade em seu estudo sobre a morfodinâmica das vertentes da Serra do Juqueriquerê, em São Sebastião - SP, como indicativo da ação, em maior ou menor grau, dos processos erosivos, dos movimentos de massa e das inundações. Spörl (2001) também aplicou parte desta metodologia para análise da fragilidade ambiental Relevo-Solo, com aplicação de três modelos alternativos em três ribeirões distintos na região do litoral paulista.

Ross (1994) elaborou três tabelas com indicativos de fragilidade ambiental de relevo, as quais consideram as características visuais como ferramenta na avaliação da fragilidade do relevo.

A Tabela 1 serve para classificar a fragilidade ambiental em função da declividade do relevo. Ela apresenta uma graduação qualitativa que vai de muito fraco, para inclinações inferiores a 6%, até muito forte, para relevos com declividade superiores a 30%.

Tabela 1 – Classificação de relevo em função da inclinação, segundo Ross (1994)

Fragilidade do relevo	Inclinação do relevo
Muito fraca	Até 6%
Fraca	De 6 a 12%
Média	De 12 a 20%
Forte	De 20 a 30%
Muito forte	Acima de 30%

A Tabela 2 classifica as fragilidades do relevo em razão do tipo de solo, com a classificação organizada em cinco níveis, variando de muito baixa a muito forte. A classificação do solo proposta originalmente por Ross (1994), foi atualizada com a nova classificação pedológica publicada pelo IBGE (2007).

Tabela 2 – Classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso concentrado das águas pluviais, segundo Ross (1994)

Classes de fragilidade	Tipos de solo
Muito baixa	Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa.
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho textura média/argilosa
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo Vermelho, Nitossolo Bruno, Argissolo Vermelho-Amarelo textura média/ argiloso.
Forte	Argissolos Vermelho-Amarelos de textura média/arenosa, Cambissolos
Muito forte	Espodossolo, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico

A Tabela 3 contempla os graus de proteção do solo baseados no tipo de cobertura vegetal.

Tabela 3 – Graus de proteção do solo em função da cobertura vegetal

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
Muito alta	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso (Mata secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata homogenia de pinus densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens como baixo pisoteio, silvicultura de eucalipto com sub-bosques de nativas
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentes, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994; 1996)

2.10 Matriz de Leopold

Avaliar um projeto cujas características de concepção e aplicação não são comuns, ou se basear em métodos alternativos de recuperação ambiental, é uma tarefa complexa, uma vez que os parâmetros de avaliação não foram previamente determinados ou anteriormente descritos. Assim, para conseguir indicativos de pontos que possam ser benéficos ou não, a partir de uma intervenção antropogênica, a aplicação de técnicas de avaliação de impacto ambiental se mostram uma ferramenta muito viável (TOMMASI, 1999).

Tais técnicas variam de acordo com a disponibilidade de dados e da metodologia empregada. Com base nessa necessidade, os conhecimentos a cerca de matrizes de impacto ambiental vêm sendo buscados, com a finalidade de indicar o grau de interferência que uma ação exerce sobre o meio ambiente.

Neste contexto, a avaliação de impacto ambiental é uma ação amplamente executada, principalmente em razão de sua obrigatoriedade para avaliar empreendimentos que possam causar alterações ao meio ambiente, os quais, de

alguma forma, alteram suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, bem como as interferências sociais e na saúde da população (CONAMA 01/86).

Basicamente, a função de uma matriz de impacto consiste em cruzar ações propostas com fatores ambientais (TOMMASI, 1999; LOLLO e RÖHM, 2005). O resultado desse cruzamento recebe notas que representam a magnitude do impacto, isto é, a gravidade da alteração (DINIZ, 2004). Esse cruzamento bidimensional relaciona os fatores ambientais às ações, portanto, também pode receber o nome de Matriz de Interação (COSTA et al., 2005).

A magnitude do impacto representa a gravidade da alteração ambiental (DINIZ, 2004), que pode ser positiva ou negativa, sendo esta valoração relativamente objetiva e empírica, uma vez que se refere ao grau de alteração provocada pela ação sobre o fato ambiental (COSTA et al., 2005).

A Matriz de Leopold é um recurso metodológico bastante utilizado nos Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), difundida nacional e internacionalmente (TOMMASI, 1999; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005; LOLLO e RÖHM, 2005), pois permite de maneira prática, simples, flexível e ágil fazer o levantamento e a avaliação dos possíveis impactos. Ela também se mostra de fácil adaptação a diferentes realidades e aplicações, como se pode observar nos trabalhos de Diniz (2004), Lollo e Röhm (2005), Costa et al., (2005), entre outros.

Essa matriz foi proposta originalmente por Leopold et al., (1971) para o Serviço Geológico do Interior dos EUA, e foi projetada para avaliação de impactos associados a quase todos os tipos de implantação de projeto (TOMMASI, 1999; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005), e surgiu com vistas a suprir deficiências das listagens do tipo “check-lists” (COSTA et al., 2005).

A Matriz de Leopold é composta por um quadro de colunas e linhas, onde se busca assimilar todas as possíveis interações entre as ações e os fatores, para depois estabelecer uma escala graduada que varia de 1 a 10 (COSTA et al., 2005).

A estruturação da matriz (FIGURA 8) ocorre da seguinte maneira: nas colunas são anotadas todas as possíveis ações ligadas ao projeto, e nas linhas os possíveis impactos (DINIZ, 2004). Para cada ação identificada no projeto coloca-se um traço oblíquo no quadro, de modo que forme um espaço no canto superior esquerdo e outro no canto inferior direito.

Formada a intersecção entre as possíveis ações e possíveis impactos, são determinadas a magnitude, nota atribuída pelo avaliador para determinar a gravidade ou intensidade da ação, e a importância, valor de referência para o desejado de máxima eficiência ou impacto que a ação pode chegar, que poderão ser identificados como positivo ou negativo.

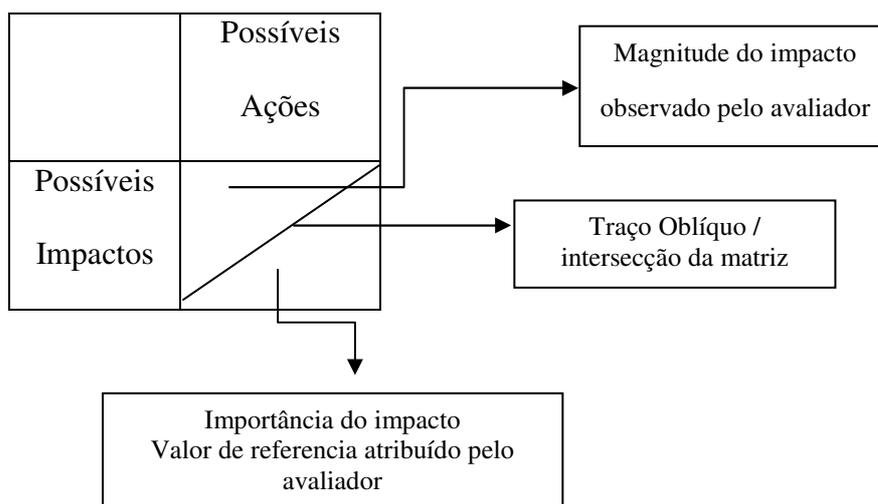


Figura 9. Valoração das células, Matriz de Leopold

A valoração da magnitude é relativamente objetiva ou empírica, pois se refere ao grau de alteração provocada pela ação sobre o fato ambiental. A pontuação da importância é subjetiva ou normativa, uma vez que envolve atribuição de peso relativo ao fator afetado no âmbito do projeto (COSTA et al., 2005), o que demonstra ser um ponto crítico na avaliação do projeto. A importância do impacto também é considerada, sendo um julgamento subjetivo (DINIZ, 2004).

Para avaliação da eficiência das contenções dos processos erosivos resultantes do acidente, ocorrido na Usina de Izabel, foram feitas adaptações na Matriz de Leopold, para obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos parâmetros avaliados durante o monitoramento. Foram também, desenvolvidas tabelas que classificavam de 1 a 10 os parâmetros utilizados na Matriz, isso para cada uma das intervenções, desta forma foi possível tornar os valores aplicados para determinar a magnitude do impacto menos subjetivo, e assim dar mais confiabilidade aos dados contidos na Matriz de Leopold.

3 MATERIAL E METODOS

3.1 Localização da Área Estudada

A área estudada é uma cicatriz formada a partir de um acidente na encosta Sul da Serra da Mantiqueira, localizada no Município de Pindamonhangaba, aproximadamente na coordenadas 22° 44'29. 49" S e 45° 26'50. 37" O. Localiza-se na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Grande, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI - 02, definida pela bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul; e tem como um de seus limites ao norte, a UGRHI 01, que contempla a Serra da Mantiqueira, na região de planalto.

O local pertence à Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A – EMAE, com sede em São Paulo, SP. Nesta área encontra-se, desde 1915, a Usina Hidrelétrica de Izabel (ELETROPAULO, 1986; EMAE, 2004).

O ponto onde localiza-se as atividades do presente trabalho é uma vertente da Serra, voltada para o bairro Ribeirão Grande, onde o relevo apresenta declividade superior a 35° (IPT, 1995), com altitude entre 1.600 e 1.750 m. A vegetação predominante é de Floresta Ombrófila Densa de Encosta, em estágio secundário avançado de regeneração.

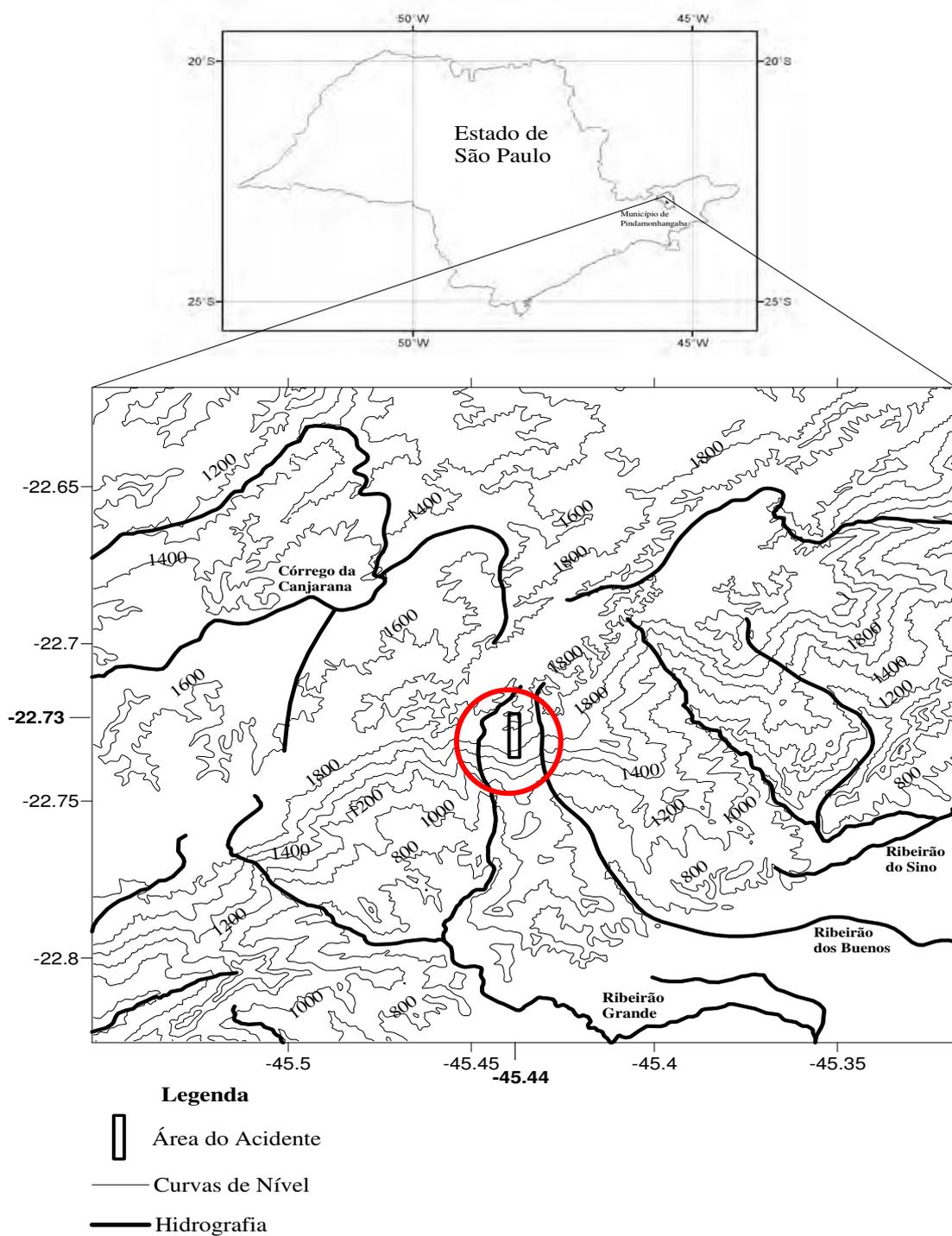


Figura 10. Mapa de localização da área do rompimento da adutora, identificado pelo círculo vermelho

3.2 A Usina de Izabel e o Acidente que Motivou o Estudo

A Usina de Izabel está localizada no município de Pindamonhangaba, entre o sopé da Serra da Mantiqueira, a cerca de 700 m de altitude, onde se encontra a casa de máquinas, e a região de escarpa da Serra, a cerca de 1.900 m de altitude, onde está o reservatório de água (FIGURA 11), nos limites do município de Campos do Jordão.



Figura 11. Reservatório da Usina de Izabel no planalto de Campos do Jordão

A Usina tem por objetivo o fornecimento de energia elétrica para as cidades de Taubaté, Tremembé e Lorena (ELETROPAULO, 1986). Em 1967, a Usina foi incorporada à São Paulo Light S/A Serviços e Eletricidade, empresa que deu origem à Eletropaulo Eletricidade de São Paulo, em 1981. Em 1998, a Usina passou a pertencer à Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A (EMAE, 2007).

É uma Usina com características muito especiais. Sua beleza arquitetônica lhe confere características de um museu a céu aberto. Além do desenvolvimento que proporcionou à região, destaca-se também quanto aos aspectos de engenharia, pois o desnível natural do reservatório até a turbina é de 998 m, e a queda da câmara de compensação até a turbina é de 931 m de desnível, proporcionado por uma tubulação forçada com comprimento de 2.412 m e seção circular de 0,5 m de diâmetro

(ELETROPAULO, 1986; EMAE, 2001). Esse desnível foi considerado o maior da América Latina a servir uma usina hidrelétrica (EMAE, 2001).

A Usina passou por diversas reformas (1929, 1979 e nos anos de 1980) e manutenção constante durante estes anos. Essas reformas ocorreram porque a tubulação sofria muitas avarias, em decorrência do fenômeno chamado golpe de aríete. Durante esse período, o projeto original não sofreu modificações (ELETROPAULO, 1986).

Na década de 1990 a Eletropaulo decidiu pelo fechamento da Usina, devido ao elevado custo de manutenção, dificuldade de comercialização da energia a partir da região de montanha, distante do centro de consumo da energia gerada, e redução da capacidade de armazenamento de água do reservatório que, ao longo dos anos, foi comprometido pelo assoreamento, tornando-a economicamente inviável (EMAE, 2001).

Em 2000, com o início da crise energética brasileira, a EMAE (herdeira da Light / Eletropaulo) sofreu pressões políticas para reativação da Usina, que poderia fornecer parte da energia consumida no município de Pindamonhangaba, nos horários de maior demanda. Desta forma, em 2001, foi iniciado o processo de licenciamento ambiental para realização de obras visando a manutenção e automação da Usina de Izabel. Desta vez o projeto original precisou sofrer alterações com vistas a melhorar a eficiência do sistema e mudança na posição de parte da tubulação original de aço. Um vazamento na tubulação, localizado entre a saída da câmara de compensação e o início da tomada d'água, tornou necessária a substituição da tubulação de aço por uma nova de fibra de vidro (EMAE, 2001).

Em 2002, as obras e os testes para início da operação foram concluídos, restando para operação apenas a ligação entre a Usina e a rede da concessionária de energia elétrica da região. Nesse momento constatou-se que a rede de energia da concessionária também precisava passar por manutenção e seria necessária a interligação da rede elétrica da Usina com a rede primária da concessionária (EMAE, 2005). Todavia, ao entrar em funcionamento, em 04 de julho de 2004, a tubulação substituída rompeu-se, frustrando o sucesso da reativação da Usina Izabel. O resultado do acidente foi um deslizamento acidental na encosta da Serra da Mantiqueira (FIGURA 12), o que demandou a apresentação de estudos para recuperação ambiental da área degradada junto ao IBAMA, DEPRN e Ministério Público do Estado de São Paulo.



Figura 12. Imagem de sobrevôo. O ponto A da foto indica a câmara de compensação e, o ponto B, local do rompimento da adutora. Fonte: EMAE (2004)

A secção da tubulação que rompeu está a 1.758 m de altitude no ponto situado após a câmara de compensação (EMAE, 2004; 2005; 2007). Essa câmara é uma estrutura física similar a uma piscina cuja função é regularizar a vazão da água que vem do reservatório antes que inicie sua descida pela adutora.

Segundo relatório apresentado pelo IPT (2005), o local do acidente já apresentava indícios de movimentação de solo desde 1999, como um possível indicativo das más condições da tubulação que estava soterrada. De posse dessa informação, técnicos da EMAE decidiram pela substituição da tubulação (EMAE, 2001).

A justificativa para substituição da tubulação originalmente de aço por outro material (fibra de vidro) baseou-se no fato de que a nova tubulação seria mais leve, o que facilitaria a logística de transporte, uma vez que o local é considerando de difícil acesso, tornando-a uma atividade complexa (EMAE, 2004; 2005).

A equipe de engenheiros que trabalhou no projeto de reativação da Usina também aprovou a especificação técnica do material, comumente usada no transporte de óleo em refinarias de petróleo. De acordo com as especificações técnicas, o novo material (fibra de vidro) apresentava todas as características desejadas: resistência, vantagem de ser mais leve e com melhor relação custo-benefício para realização da manutenção (EMAE, 2001). Todavia, mesmo após todas as considerações e análises, não considerou o fato de que o novo produto não poderia ser cortado para ajustes, o

que ocorreu, fazendo com que a tubulação sofresse pequenas escamações, por onde iniciou o vazamento de água até o total rompimento da adutora.

Os 380 mil litros de água que estavam armazenados na câmara de compensação vazaram sobre a encosta, desencadeando uma ação devastadora por onde passou (FIGURA 13).



Figura 13. Imagem A: vista geral da área após o acidente, destacando dois pontos ilustrados nas imagens B e C. Em amarelo, o ponto do rompimento da tubulação em detalhe na imagem B; em vermelho, destaque da região de dissipação de material, evidenciado na imagem C

O efeito do acidente pode ser observado à longa distância, porque a cicatriz formada na vegetação, localizada entre as altitudes de 1.600 - 1.700 m e está na face sul da Serra da Mantiqueira, voltada para o Vale do Paraíba.

A carga hidráulica exerceu uma força tão intensa, que foi capaz de arrastar todo o solo e a vegetação, incluindo árvores com DAP (diâmetro altura do peito) de 160 cm, estendendo-se por mais de 150 m a jusante da encosta causando um profundo impacto no meio ambiente.

A fisionomia do terreno, após o acidente, ficou semelhante às áreas que sofreram deslizamentos com chuvas, como ocorreu na cidade de Campos do Jordão, em 2000 (DELGADO, 2007), e nas regiões litorâneas de São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina, recentemente.

Na ocasião, antes da confirmação dos índices de precipitação e das análises dos materiais usados para a manutenção, algumas hipóteses foram levantadas pela equipe de engenharia responsável pela obra de manutenção para explicar o rompimento da nova adutora:

a) Inicialmente, supôs-se que, após um período de chuva, o terreno teria ficado saturado de água, mais pesado, exercendo força sobre a tubulação que estava soterrada, com isso, a tubulação rompeu e, conseqüentemente, a câmara de compensação esvaziou, causando a cicatriz na mata. Essa hipótese foi descartada após a verificação dos dados de precipitação dos dias que antecederam o acidente (TABELA 4);

b) A junção nas extremidades da tubulação poderia ter sido comprometida, por incompatibilidade de materiais, metal e fibra de vidro, ou ainda o fato de que a fibra de vidro poderia conter escamações e fissuras, iniciando o vazamento entre elas. Nesse caso, a pressão da água induziu o vazamento que, ao longo do tempo, foi agravando e solapando o terreno, forçando a nova tubulação até seu rompimento;

c) Ou, ainda, o somatório das hipóteses mencionadas acima.

Com a análise dos índices de chuva dos postos pluviométricos da Usina Izabel, Pindamonhangaba e Horto Florestal de Campos do Jordão (TABELA 4), verificou-se que, no período de duas semanas anterior à data da ruptura, não ocorreram chuvas no local.

Tabela 4. Precipitação das estações meteorológicas da Usina Izabel, Pindamonhangaba e Horto Florestal, no trimestre maio, junho, julho de 2004. Dados expressos em mm. No quadrante vermelho estão os dias que antecederam o acidente.

DIA	MAIO			JUNHO			JULHO		
	USINA	PINDA	HORTO	USINA	PINDA	HORTO	USINA	PINDA	HORTO
1	0,0	0,0	0,0	24,6	15,2	2,4	0,0	-	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,2	3,9	5,3	0,0	-	0,0
3	0,0	0,0	0,0	9,8	9,1	16,3	0,0	-	0,0
4	0,0	0,0	0,0	35,2	18,4	15,2	0,0	-	0,0
5	22,4	1,4	0,9	4,0	0,0	5,4	0,0	-	0,0
6	12,2	4,6	34,8	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
7	19,8	15,4	7,6	0,2	0,0	0,0	0,0	-	0,0
8	2,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	-	9,3
10	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,9	9,4	-	19,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	-	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	3,2	-	0,0
13	0,0	0,0	1,3	12,4	5,7	0,8	0,0	-	0,0
14	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
15	0,0	0,0	26,0	0,0	3,4	5,1	0,0	-	0,0
16	18,4	18,1	2,3	3,4	0,2	0,0	0,0	-	1,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	-	1,9
18	0,2	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	11,4	-	2,2
19	1,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	-	48,4
20	3,4	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	45,2	-	4,5
21	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	-	4,3
22	6,2	7,7	6,6	0,0	0,0	0,0	1,0	-	0,5
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	-	0,5
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
25	2,2	3,2	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
26	13,2	6,8	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
27	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0
30	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0
31	7,6	3,3	17,9	-	-	0,0	-	-	0,0
TOTAL	118,6	61,5	126,0	89,8	57,9	57,6	138,9	-	91,6

Fonte: IPT (2004)

A água que vazou da câmara de compensação formou um fluxo concentrado, os horizontes A e B do solo foram dispersos, blocos de rocha também foram arrastados com a vegetação à jusante, e todo o material transportado foi dissipado na mata, devido o fluxo de água perder sua força, reduzindo, de certa forma, o impacto no local. A dissipação foi favorecida porque a água encontrou um leito natural de drenagem, direcionando seu escoamento.

O solo predominante no local afetado pertence à classe dos Cambissolos, Cambissolo Húmico Distrófico latossólico, isto é, são solos constituídos por material que apresenta horizonte A ou hístico, com espessura < 40 cm, seguido de horizonte B incipiente, são solos bastante pobres em nutrientes e ácidos, com elevados teores de alumínio trocável (Al^{3+}). É comum horizonte Cr (saprolítico). Apresentam significativos teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, os quais podem constituir apreciável reserva de nutrientes para plantas (OLIVEIRA et al., 1999).

A carga hidráulica e o fluxo das águas formaram, no local, processos erosivos de diferentes ordens (FIGURA13), com presença de sulcos e ravinas. As ravinas mais profundas foram denominadas ravina maior e ravina menor. Ambas apresentam taludes lateral, sendo que a maior tem aproximadamente 3,0 m de altura e, a menor, 1,5 m de altura. Várias evidências de formação de novos processos erosivos ficaram aparentes, como filetes e sulcos de erosão.

Em decorrência do acidente, a EMAE, responsável pela área, apresentou uma proposta para recuperação da cicatriz, como desdobramento de uma ação dos órgãos responsáveis pela gestão e fiscalização do meio ambiente nesta região, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, por se tratar de uma Área de Proteção Ambiental Federal – APA (SÃO PAULO, 2000; 2002; 2006), e o Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais - DEPRN, como instituição estadual.

A primeira proposta encaminhada pela EMAE ao IBAMA e ao DEPRN previa obras emergenciais no ponto do rompimento da tubulação, mais não previa atividades para recuperação da cicatriz. A justificativa para a EMAE não apresentar uma proposta de recuperação da área baseou-se na riqueza de diversidade da matriz da vegetação do entorno do acidente e no seu estado de conservação. Assumiu-se que a própria diversidade e proximidade a uma matriz de floresta ombrófila seriam suficientes para a regeneração da vegetação e recuperação do dano ambiental.

Essa proposta foi recusada pelos órgãos ambientais e pelo Ministério Público do Estado de São Paulo, o que levou à elaboração de novas propostas de estudos para recuperação da área.

A busca de técnicas e métodos de recuperação de áreas degradadas, neste caso, mostrou-se deficiente, tanto na questão de um método que pudesse ser aplicado, quanto para contratação de uma empresa tecnicamente habilitada para realizar os trabalhos.

Essas dificuldades foram justificadas pelas características do local, destacando o difícil acesso à área da cicatriz, declividade do terreno, formação florestal do entorno, instabilidade climática, além do fato do evento ter ocorrido dentro de uma APA Federal (SÃO PAULO, 2000; 2002; 2006), o que torna mais rigorosa e criteriosa a escolha e aplicação de uma técnica de recuperação, isso porque pode haver novos riscos e impactos sobre esse ecossistema.

As propostas apresentadas à empresa responsável pelo acidente eram inviáveis devido ao alto custo apresentado para realização da recuperação ambiental, especialmente no tocante ao transporte de materiais, em sua maioria pesados e volumosos.

Dentre as propostas apresentadas, a utilização de biomantas com sementes de plantas herbáceas e gramíneas pareceu mais apropriada para a recuperação e estabilização dos processos erosivos. A finalidade dessa proposta era proporcionar a regeneração da vegetação a partir da germinação de sementes presentes nas biomantas, favorecendo, assim, a sucessão ecológica no local. Todavia, a proposta foi considerada economicamente inviável, cerca de U\$ 350.000,00 americanos (base monetária janeiro de 2005). Além disso, havia o aspecto ecológico, uma vez que a referida proposta apresentava alto risco de contaminação biológica da região, pois, para cada 1,0 m² de biomanta, usa-se cerca de 1,0 kg de sementes contendo uma mistura de 10 espécies exóticas de rápido crescimento.

Frente às dificuldades e riscos ao meio ambiente, surgiu a proposta apresentada neste trabalho. O conhecimento prévio da possibilidade de uso de bambu para contenção de processos erosivos, associada às técnicas de bioengenharia, se mostrou uma alternativa viável. Esta foi apresentada à EMAE que, após uma avaliação do custo-benefício, verificou a viabilidade econômica da proposta, aliada ao menor impacto ambiental se comparada às demais técnicas até então estudadas.

O aceite da proposta pela EMAE não foi suficiente para aplicação imediata da nova técnica, porque o projeto precisou ser submetido ao IBAMA e ao DEPRN, como

sendo a técnica a ser utilizada para recuperação da área degradada, com vistas a reparar o dano causado no local. Após avaliação do projeto, o IBAMA e o DEPRN deram parecer favorável à aplicação da técnica, iniciando-se, então, a procura por empresas que tivessem interesse em realizar os serviços e aplicar uma técnica desconhecida.

3.3 Descrição das Etapas de Recuperação da Área

Os trabalhos de recuperação da área foram realizados em duas etapas, sendo que uma delas, a Etapa I, contemplou obras consideradas como emergenciais, que não estavam inseridas no método aplicado para recuperação da área da cicatriz. As duas etapas foram executadas da seguinte forma:

Etapa I – foram realizadas obras de engenharia civil emergencial na crista do talude, com cobertura da área afetada com lona plástica e demolição da casa do operador em área subjacente à câmara de compensação; e

Etapa II – reinstalação da tubulação danificada e a recuperação ambiental da área afetada pelo acidente, descrita em detalhes neste trabalho.

Segundo relatórios da EMAE (2004, 2005, 2007), para efeito estratégico na execução dos trabalhos da Etapa II, a área foi dividida em três trechos, denominados A, B e C (FIGURA 14):

- ✓ *Trecho A* - localizado na altitude de 1.758 m, onde foi executada a Etapa I (obras emergências concluídas em março de 2005), e parte da 2ª etapa dos trabalhos, concluída em meados de 2006, quando ocorreu a remodelação da crista do talude e instalação e reforço da nova tubulação.
- ✓ *Trecho B* - é o local onde foi implantado o Projeto de Recuperação Ambiental, e corresponde à Etapa II dos trabalhos, realizados no período de dezembro de 2006 a março de 2007; compreende o setor entre as altitudes de 1.620 e 1.705 m, onde foram instaladas as quatro barreiras de bambu e a contenção da ravina maior, com a utilização de bambu, colmos e mudas.
- ✓ *Trecho C* - também atendido pela Etapa II. Neste trecho foi realizado o plantio de 100 espécimes nativas da região (não descrito neste trabalho), e onde está localizada a contenção da ravina menor, na altitude de 1.610 m, utilizando também bambu, colmos e mudas.

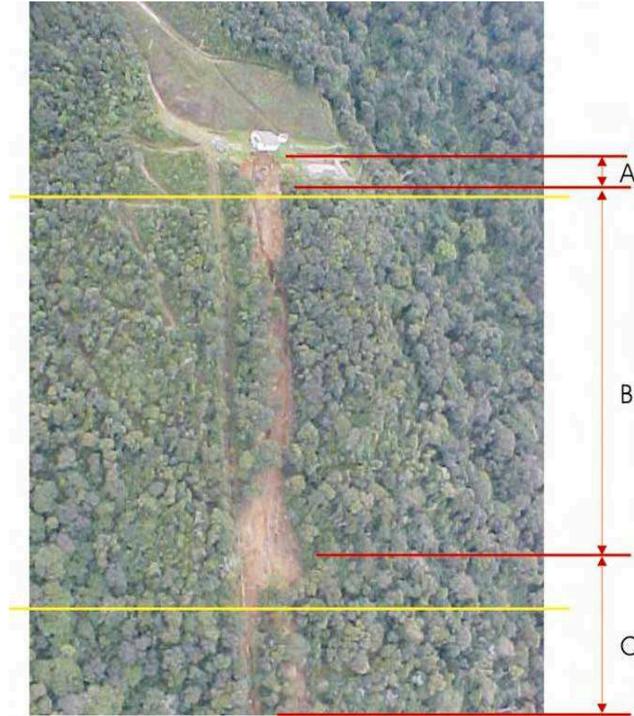


Figura 14. Delimitação dos trechos A, B e C.
Fonte: EMAE (2004; 2005; 2007)

3.3.1. Etapa I – Obras Emergenciais

As obras foram concentradas no ponto do rompimento da tubulação, no platô onde se encontrava a câmara de compensação. Nesse local foi feita uma contenção em rocha recoberta com bidim (manta geotéxtil de poliéster para facilitar a drenagem). A casa do operador foi demolida, ela se localizava ao lado da câmara de compensação, foi também necessário o retaludamento da crista do talude que erodiu. Essas obras tiveram como princípio norteador a prevenção do agravamento dos processos erosivos com novos escorregamentos e solapamento da crista do talude.

Como o local das obras é de difícil acesso (há trilhas na área), foi necessário que os materiais fossem transportados por mulas, por cerca de 2,0 km (FIGURA 15).



Figura 15. Carregamento de mulas até a área da barragem. Fonte: EMAE (2005)

Também foi necessária a reforma e ampliação do sistema de canaletas de drenagem superficial, na crista do talude e no platô. Essa decisão foi tomada com o intuito de evitar que novos episódios de deslizamento ocorressem, colocando em risco a vida dos operários e comprometendo as obras realizadas naquele momento. Todo o material de demolição foi reutilizado na construção de uma barreira de bidim, para reforço do talude (FIGURA16).



Figura 16. Reafeição da crista da barragem. Fonte: EMAE (2005)

3.3.2 Etapa II – Recuperação da Área da Cicatriz

A Etapa II compreende as atividades realizadas nos trechos B e C. Nessa Etapa foram instaladas as barreiras de bambu e as duas contenções das ravinas, como forma de contenção dos processos erosivos. Para avaliação da eficiência das barreiras instaladas

nesta Etapa, foi aplicada a Matriz de Leopold, conforme será apresentado nos Resultados e Discussões.

A seguir serão apresentados a descrição do método e os materiais utilizados que compõem esta nova técnica de recuperação.

3.3.2.1 Materiais Empregados

Os materiais utilizados para realização dos serviços foram:

- ✓ 750 mudas de *B. multiplex* em torrão (englobando as 50 mudas utilizadas no reforço da contenção de ravina maior);
- ✓ 60 metros de limitador de gramado/jardim em PVC reciclado, com altura de 21 cm;
- ✓ 20 metros de arame de aço galvanizado de 2,70 mm;
- ✓ 20 metros de fio de cobre encapado de 2,5 mm;
- ✓ 60 grampos de aço de 5,00 mm, para fixação dos limitadores de bambu e do bambu estrutural;
- ✓ 12 mourões de eucalipto de 3,0 m de comprimento e aproximadamente 15 cm de diâmetro (utilizados no reforço da contenção da ravina maior);
- ✓ 220 Colmos de bambu com diâmetro superior a 10 cm.

3.4.2.2 Transporte do Material

O transporte do material entre a área da Barragem, na altitude de 1.900 m, até o local do acidente, a aproximadamente 1.700 m de altitude, foi feito em trilha já existente, cujo percurso tem aproximadamente 2,2 km. Para o transporte do material mais pesado foram utilizadas quatro mulas, enquanto os materiais mais leves foram transportados em carrinhas manuais. Foram necessários cinco dias e oito colaboradores para concluir o transporte de todo material até os pontos onde foram instaladas as barreiras e as contenções de ravina.

3.3.2.3 Seleção das Áreas para Instalação das Intervenções

Depois do acidente foram realizadas cinco vistorias “*in locu*”, no intervalo de dois meses, por uma equipe multidisciplinar formada por um biólogo, dois engenheiros civil, um geólogo, um geógrafo, além do pessoal de apoio. Em duas dessas visitas estavam presentes peritos dos órgãos ambientais (IBAMA e DEPRN). Nessas ocasiões, todo trecho degradado foi percorrido, em princípio, para o reconhecimento do problema e depois como forma de monitoramento e percepção do grau de instabilidade do terreno, frente aos processos erosivos que poderiam ser desencadeados.

Durante as vistorias observou-se que alguns pontos do terreno apresentavam degraus naturais e pouco acentuados, capazes de sustentar barreiras e receber o plantio de bambu. Duas ravinas chamavam a atenção pelas características, pois apontavam risco de aumento no tamanho e agravando o problema. Dos degraus naturais, quatro foram selecionados para receber as intervenções, denominadas de barreiras de bambu, com o objetivo de desviar as águas pluviais da área da cicatriz para as regiões de mata, diminuindo o volume e força das águas sobre o terreno, favorecer a contenção de propágulos entre as mudas de bambu e no material retido por ela, e assim, frear os processos erosivos e estabilização da regeneração da vegetação na cicatriz.

Na ocasião, os pontos foram selecionados e marcados com piquetes de metal pintados na cor branca.

3.4 A Escolha do Bambu

O bambu é uma planta que apresenta características ideais para recuperação de ambientes degradados, pelo seu rápido crescimento, rusticidade e fácil adaptação a solos degradados (LONDOÑO, 2002) e, por esta razão, foi o grupo botânico selecionado para o trabalho de recuperação ambiental, a avaliação da sua eficiência, foi feita com base na aplicação da Matriz de Leopold.

As espécies utilizadas foram a *Bambusa sp.* (apenas os colmos), para fazer a estrutura de contenção das duas ravinas, consorciado com plantio de mudas da espécie *Bambusa mutiplex* Lour. A escolha da espécie *B. mutiplex* foi feita com base no conhecimento da morfologia, ecologia e disponibilidade de compra, e foi utilizada (em mudas) para formar as quatro barreiras na área da cicatriz.

Quanto aos aspectos da sua morfologia destacam-se o tipo de rizoma, paquimorfo, portanto, entouceirante, o que evitaria a colonização da planta sobre as áreas de floresta, e o seu porte, que não alcançaria altura superior a das árvores nativas encontradas em áreas do entorno do acidente (STAPLETON, 1994; CUSACK, 1999; MEREDITH, 2001; BAMBOO GARDEN, 2008). Com relação aos seus aspectos ecológicos, a forma entouceirante e a multiplicação principalmente por divisão dos rizomas, e o tempo de floração, que é superior a 20 anos (MEREDITH, 2001; BAMBOO GRADEN, 2008), são pontos positivos para sua utilização.

Outras características gerais do bambu que estimularam sua escolha para utilização no trabalho foram:

- ✓ Espécie de fácil adaptação em solos degradados com baixa fertilidade natural (LONDOÑO, 2002);
- ✓ Permite a recuperação do solo e propicia a contenção de processos erosivos (DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; GONÇALVES et al., 2003);
- ✓ Aumenta a umidade relativa do ar na região, dando suporte ao crescimento de espécies arbóreas nativas (BAMBOO GARDEN, 2008);
- ✓ Contribui ainda para a preservação dos recursos hídricos, tanto na prevenção de assoreamento dos cursos de água quanto dos aquíferos, por permitir um elevado coeficiente de infiltração das águas das chuvas (BAMBOO BRASILEIRO, 2007);
- ✓ Os bambus são espécies muito eficientes para ações de recomposição florestal, permitindo o seu cultivo de forma consorciada a estas ações, uma vez que o manejo e colheita seletiva das hastes permitem a manutenção e desenvolvimento das touceiras (MEREDITH, 2001; LONDONO, 2002; FILGUEIRAS e SANTOS-GONÇALVES, 2006);
- ✓ As touceiras podem servir de barreira para desviar a água para leitos de drenagem.

3.4.1 A Espécie *Bambusa multiplex* (Lour.)

A espécie escolhida para o experimento foi a *Bambusa multiplex* (Lour.). Segundo stapleton (1994), essa espécie possui diversas sinonímias botânicas, entre elas, *Arundo multiplex* Lour. (1790); *Ludolfia glaucescens* (Willd.) (1808), *Arundinaria*

glaudescens (Willd.) (1812), *Bambusa glaucescens* (Willd.) (1956); *Bambusa nana* Roxb. (1932).

Cusack (1999) descreveu oito variedades diferentes para a *Bambusa multiplex*, todas elas consideradas ornamentais.

De acordo com Stapleton (1994), a espécie possui representatividade nas seguintes localidades: Índia, no oeste de Bengala, Kalimpong, Pradhan; Nepal, em Katmandu, e cultivado no *Royal Botanic Gardens* na Inglaterra, Godawari; no Butão, próximos a coordenada 26°52' N e 89°23' E, e na China (CUSACK, 1999).

A *Bambusa multiplex* é uma espécie bem robusta e suporta baixas temperaturas (até -12 °C), mas não por períodos prolongados, e também são resistentes a fungos (MEREDITH, 2001). É uma espécie entouceirante, considerada de baixo/médio porte, com altura variando entre 4,0-6,0 m, de acordo com a variedade (FIGURA 17). O diâmetro do colmo também varia de 0,6 a 4 cm, em razão da variedade (HOLTTUM, 1956 *apud*. STAPLETON, 1994; CUSACK, 1999; MEREDITH, 2001).

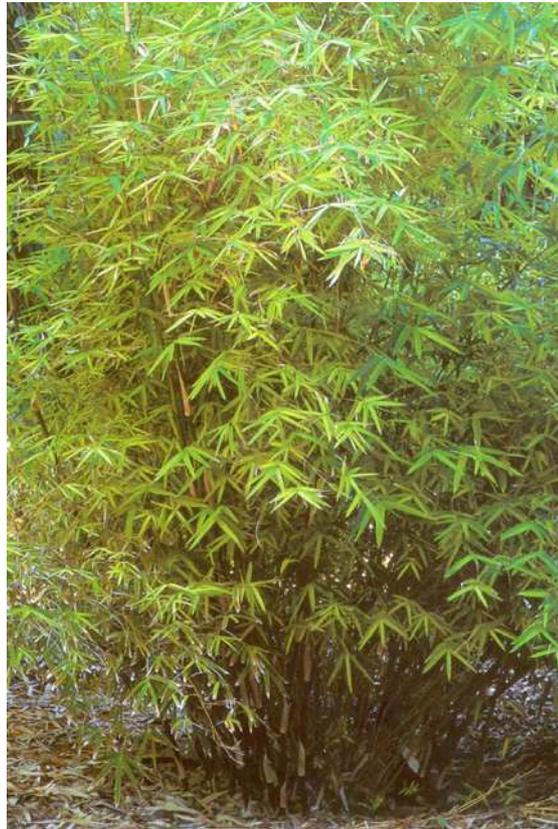


Figura 17. Touceira de *B. multiplex* (Lour).
Fonte: Meredith (2001).

É também conhecida popularmente por buloh-china, bambu-deusa-dourada, hedge-bamboo. Segundo o Dicionário Botânico Epithets, o termo *multiplex* significa muitas dobras (BAMBOO GARDEN, 2008).

A *B. multiplex* é considerada uma planta robusta. Suas flores são hermafroditas, possui dispersão anemocória e polinização anemófila. Prefere luz e solos bem drenados e úmidos. Não é exigente quanto à acidez do solo, se adaptando a solos ácidos, neutros e básicos (alcalino). A *B. multiplex* pode crescer a meia-sombra, como ocorre nas florestas, havendo relatos de que a espécie vive na floresta sem luz (CUSACK, 1999; BAMBOO GARDEN, 2008). Os colmos são divididos de maneira fácil e são bem flexíveis, e são usados como fonte de matéria-prima para tecelagem, dada a característica das fibras.

Segundo Stapleton (1994), o cultivo da *B. multiplex* pode ser em pleno sol ou meia sombra, necessita de abrigo contra os ventos e de abundante umidade e matéria orgânica no solo no período vegetativo.

A floração da espécie é cíclica, no período de floração a maior parte da energia se concentra na produção de sementes, conseqüentemente é comum a morte da planta após a floração. A brotação é geralmente próxima ou sobre a planta mãe. Depois da floração, a vegetação demora alguns anos para se restabelecer (BAMBOO GARDEN, 2008).

A propagação de *B. multiplex* é sementes, obtida a partir dos frutos maduros. Germinam melhor em composto úmido e em temperatura de aproximadamente 20 °C, em estufa. A germinação geralmente é rápida, por um período de três a seis meses. Deve-se manter a planta em local levemente sombreada, na estufa, até as mudas estarem suficientemente grandes para o plantio (BAMBOO GARDEN, 2008).

A brotação e o crescimento acontecem no começo da primavera. Para o preparo de mudas é necessária a divisão da moita em pelo menos três partes, com colmos contendo rizomas. As mudas devem ser transplantadas de modo a causar o mínimo de perturbações na raiz principal da planta (BAMBOO GARDEN, 2008).

Em estufas, eles crescem em vasos com areia e alta fertilidade, até que as folhagens sejam estabelecidas. O plantio em locais permanentes deve ser feito quando o sistema de rizomas estiver bem desenvolvido, o que pode demorar um ano ou mais (BAMBOO GARDEN, 2008).

3.5 A Instalação das Barreiras

As barreiras instaladas, em número de quatro, foram descritas e nomeadas na ordem decrescente, do sentido montante para jusante, estando a primeira barreira localizada a 1.668 m de altitude, a segunda, a 1.651 m, a terceira, a 1.640 m, e a quarta, a 1.626 m.

Cada barreira recebeu 130 mudas de *B. multiplex*, em uma área de aproximadamente 50 cm de largura e comprimento de 7,0 a 8,5 m (variação dependente da disponibilidade de espaço). O local do plantio foi delimitado com limitador de gramado e jardim de PVC reciclado, com altura de 21 cm.

Buscou-se manter as barreiras com uma angulação próxima de 30°, desta maneira esperava-se que a água fosse escoada para as áreas de drenagem e que ocorresse redução da velocidade de escoamento superficial.

O limitador de gramado tem a função de manter as mudas do bambu em um espaço confinado, limitando seu crescimento, assegurar que as águas das chuvas não carreguem as mudas antes de entrelaçamento dos rizomas e antes da sua formação e fixação no solo, evitando que haja dispersão da espécie, que é exótica, para outros pontos não os determinados no projeto.

A formação das barreiras objetivou:

- ✓ Desviar as águas pluviais;
- ✓ Criar condições favoráveis para o restabelecimento da cobertura vegetal, aproveitando o banco genético ali existente e que ficará retido nas barreiras;
- ✓ Promover a contenção de material solto e erodido;
- ✓ Evitar o agravamento do processo de erosão pela ação das águas; e
- ✓ Formar uma estrutura natural de escoamento e drenagem (FIGURA 18).

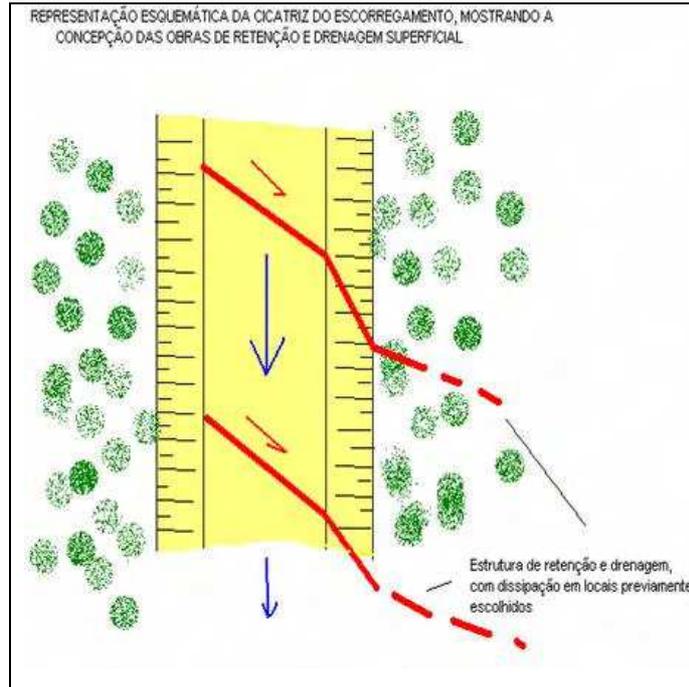


Figura 18. Esquema da posição das barreiras de bambu, em vermelho, para o desvio das águas pluviais.

O plantio das mudas de bambu foi feito para formar uma única touceira, de aproximadamente 50 cm de largura, posicionada diagonalmente ao centro do escorregamento. As mudas de *B. mutiplex* foram plantadas, uma ao lado da outra, em espaçamento de 10 cm, procurando preencher toda a área delimitada.

A superfície do terreno foi previamente limpa (FIGURA 19) e suas irregularidades acertadas com uma enxada, de modo que os limitadores fossem parcialmente enterrados e presos por ganchos de aço.

Não foi utilizado nenhum tipo de fertilizante ou agrotóxico no plantio ou no decorrer das vistorias periódicas das barreiras, que ocorreram de forma sistemática a cada mês.



Figura 19. Preparo do terreno e colocação do limitador de jardim em PVC reciclado

3.6 Contenção das Ravinas com Estrutura de Bambu e Plantio Consorciado de *B. multiplex*

Os trabalhos de contenção das ravinas, maior e menor, possuem algumas etapas semelhantes, ao procedimento de instalação das barreiras, como a preparação do terreno, transporte das mudas de *B. multiplex* e fixação com o grampo de aço. O que mais difere de fato são a perfuração e amarração dos colmos estruturais e a inserção das mudas entre os colmos.

A ravina grande localiza-se na altitude de 1.631 m, entre a terceira e quarta barreira de bambu. A ravina menor encontra-se na interseção dos Trechos B e C, na altitude de 1.612 m.

A preparação do terreno foi feita manualmente com enxada, removendo material solto que estava no local, isso para fazer o reafeiçoamento do talude e o preparo da base, onde foram colocados os colmos estruturais.

O transporte de todo material (colmos estruturais, mudas, grampos de aço, arame e ferramentas) foi manual até o local de sua instalação.

Os colmos de bambu utilizados para estrutura de contenção dos processos erosivos que formaram as ravinas foram previamente perfurados antes de serem transportados ao local de sua instalação (FIGURA 20).

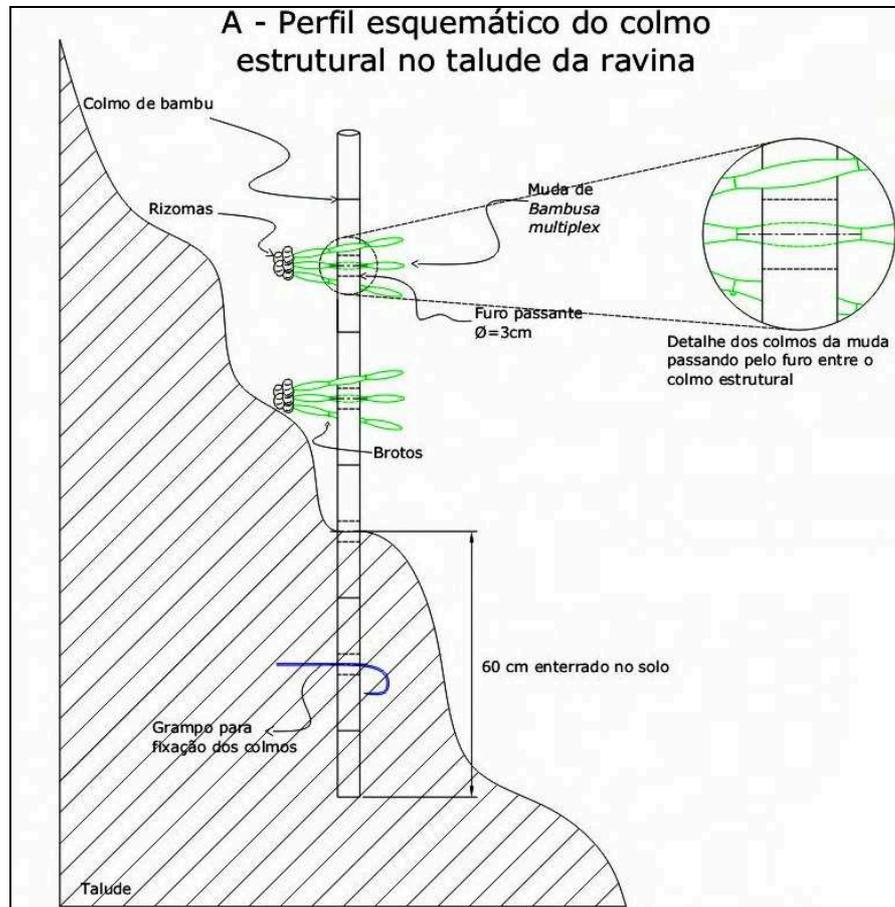


Figura 20. Esquema ilustrativo dos colmos do bambu estrutural, fixado ao solo e preso pelos grampos de aço

Os furos dos colmos são passantes, isto é, atravessam de um lado ao outro do colmo estrutural, com diâmetro de 30 mm (FIGURA 21), e foram feitos com uma furadeira elétrica (broca de aço de 8 mm e serra-copo de 30 mm), o espaçamento entre um furo e outro é de aproximadamente 30 cm, sendo que cada colmo possui cerca de seis furos. A finalidade dos furos é receber os colmos das mudas de *B. multiplex* que foram passados por entre eles e entre os colmos estruturais, de modo que os colmos com as folhas das mudas fiquem expostos ao sol e os rizomas voltados para o talude recebendo e retendo solo e material orgânico.



Figura 21. Perfuração do colmo (bambu estrutural). O espaço aberto servirá de passagem das mudas de *B. multiplex*

As estruturas de contenção das duas ravinas possuem formato de cerca de bambu (FIGURA 22). Esta estrutura em forma de “cerca” está paralela ao talude, com os colmos de bambu justapostos ao longo de uma curva de nível da ravina, de modo a formar uma barreira contínua a esta parede.

A contenção da ravina maior utilizou 280 mudas e 182 colmos e, a menor, 100 mudas e 38 colmos estruturais de diâmetro superior a 10 cm. Nas duas contenções, os colmos foram dispostos um paralelo ao outro, e as mudas dispostas de maneira aleatória, entre os colmos e os furos de cada um deles.

As contenções têm o objetivo de:

- ✓ Propiciar a estabilização da ravina;
- ✓ Dissipação das águas de pluviais;
- ✓ Proporcionar a regeneração da vegetação;
- ✓ Contenção de solo, propágulos e matéria orgânica.

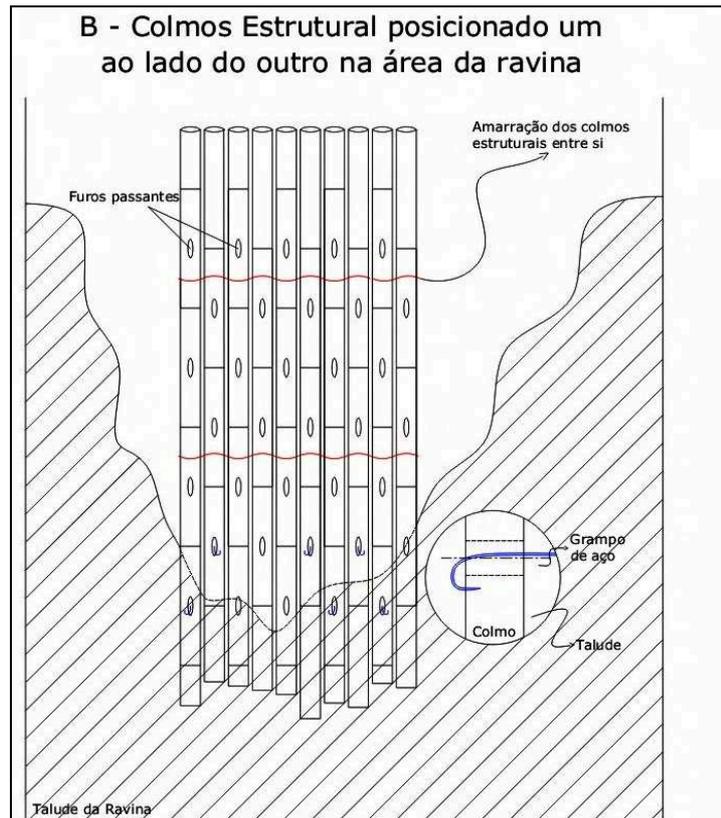


Figura 22. Esquema ilustrativo da cerca de bambu encostada no talude e enterrada no solo

Os colmos de 3,10 m foram enterrados no solo, na profundidade de 60 cm, e foram unidos entre si por meio de arame de aço galvanizado, como os utilizados na costura de gabiões, com diâmetro 2,70 mm, resistência média 450 MPa, sendo a galvanização reforçada segundo as Normas DIN-1548 e BBS 443/82, contendo mínimo de zinco de 240 g/m^2 a 260 g/m^2 (EMAE, 2004). A altura final da estrutura ficou em 2,50 m acima da superfície do solo.

A função dos colmos furados é a fixação das mudas, de modo que o crescimento dos rizomas forme entrelace de uma muda na outra e também na parede da ravina servindo de grampo natural para estrutura. A utilização dos grampos de aço permitiu que os colmos de bambu e as mudas ficassem presos ao terreno (FIGURA 23).



Figura 23. Grampo de aço para fixação dos colmos

O vão entre o talude e a barreira de colmos foi preenchido com solo, retirado das escavações feitas para ajustá-los ao terreno, e também foi utilizado solo e serapilheira que ficou no local após o nivelamento do terreno, contribuindo para a regeneração natural das ravinas e contenção de propágulos.



Figura 24. Instalação da estrutura de contenção da ravina menor, figura 24 A – início dos trabalhos; figura 24 B- trabalho concluído

A Ravina Maior, recebeu depois de 7 meses da sua instalação, reforços com mourões da eucalipto (FIGURA 25), com a finalidade de reter mais material e agüentar o impacto das águas pluviais. Na ocasião também se fez necessário o plantio de mais 50 mudas de *B. multiplex*.



Figura 25. Contenção da ravina maior com suporte de mourões de eucalipto

3.7 Avaliação do Trabalho

A avaliação do trabalho foi escolhida em função de sua praticidade e agilidade, portanto optou-se por uma seleção de cinco parâmetros avaliados por 18 meses a adaptação da Matriz de Leopold foi necessária, para que ela pudesse demonstrar dados qualitativos e qualitativos da eficiência das contenções de ravinas e das barreiras de bambu. Os parâmetros ambientais selecionados formam:

Erosão: observou-se o controle dos processos erosivos após a instalação das intervenções. Quanto maior o valor atribuído, na escala numérica, mais eficiente é a intervenção no controle desses processos;

Regeneração natural da vegetação: foi avaliada a ocorrência de espécies vegetais após as intervenções, como resposta do ambiente ao processo de regeneração. Sua valoração se deu em função dessa ocorrência;

Sucesso do plantio de bambu: esse aspecto foi avaliado considerando-se o índice de sobrevivência de mudas, sendo que, quanto maior o número de mudas vivas, maior é sua graduação numérica e, por consequência, aumento da sua graduação qualitativa;

Conservação estrutural: aspecto muito importante, porque está intrinsecamente ligado ao sucesso do trabalho. Todas as etapas do processo de recuperação da área devem ser executadas e acompanhadas com critério (seguindo normas estipuladas) até

que a vegetação consiga se estabelecer, ou seja, as mudas de bambu fixadas, pegadas e seus rizomas entrelaçando uns nos outros, a regeneração das espécies acontecendo e seu sucesso em resistir às intempéries do ambiente. O valor atribuído a esse parâmetro foi considerado a partir do seu aspecto desde a instalação, isto é, quanto mais conservado for seu estado, maior é sua graduação;

Funcionalidade: este aspecto foi avaliado de acordo com o desempenho das intervenções em proporcionar a recuperação ambiental do local, como desvio das águas pluviais, contenção de material, regeneração natural, entre outros. Quanto mais funcional é a intervenção, conforme era esperado, maior é o valor que ela receberá. Uma escala qualitativa, com atribuição de cores, foi elaborada de maneira a proporcionar maior visibilidade aos valores quantitativos obtidos com aplicação da ficha de avaliação.

Esses parâmetros compõem a linha que corresponde os possíveis impactos da aplicação das seis estruturas (barreiras de bambu e contenções das ravinas), na Matriz de Leopold. A graduação da magnitude das intervenções sobre os aspectos ambientais avaliados pode ser valorada de forma positiva ou negativa, de acordo com a eficiência de cada um delas. Esse valor é colocado no lado esquerdo da célula. Sua pontuação em escala numérica varia de 0 a 10, que corresponde a uma escala qualitativa, que varia de muito baixa a muito alta. Nessa escala, cada graduação possui uma cor diferente para facilitar a leitura da Matriz (TABELA 5).

A importância da intervenção corresponde aos valores numéricos posicionados do lado direito da célula, que corresponde à importância que o avaliador dará para o possível impacto, por exemplo, em uma escala de 1 a 10, considera-se o número 1 como sendo uma importância muito baixa e o número 10 como um grau muito alto de importância. Em termos práticos, funcionaria da seguinte maneira:

O avaliador atribuiu nota 10 para importância do controle de erosão, a partir da instalação de uma barreira física, em um determinado ponto de um terreno de relevo acidentado. Nesse caso, ele considera que a ação, colocação da barreira física, tenha importância muito alta, de tal modo que proporcione o controle erosivo no terreno em questão.

Tabela 5. Graduação da magnitude para eficiência das intervenções

Escala	Graduação				
Numérica	0 a 2	>2 até 4	>4 até 6	>6 até 8	>8 até 10
Qualitativa	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta

No que tange à avaliação do experimento, as células representadas pelas possíveis ações foram valoradas, de maneira a quantificar a eficiência das intervenções instaladas na área da cicatriz.

Já o quadrante da importância de cada intervenção, canto inferior direito da célula, estabelece o valor máximo desejado de eficiência que a ação efetuada (instalação na barreira) pode ter sobre o meio ambiente, isto é, o seu impacto na área da cicatriz. O valor é previamente estabelecido com base na escala de valoração da Matriz de Leopold, variando de 0 a 10.

Os impactos avaliados para cada barreira são descritos abaixo. A valoração de cada um desses impactos foi feita em função dos critérios pré-estabelecidos para cada impacto dentro de um aspecto.

Desta forma, considera-se que o aspecto pode ter a nota máxima - 10 positivo, em uma escala de 1 a 10, sendo que cada impacto identificado no aspecto avaliado receberá uma nota que, por sua vez, será subtraída do valor total do aspecto, antes de ser aplicado o valor na Matriz de Leopold.

Nos casos de valores negativos, para qualquer um dos aspectos avaliados, adotou-se como critério, considerá-los como tendo valor um, este qualitativamente destacado em vermelho.

Para acompanhamento em campo, utilizou-se uma caderneta que contemplava os aspectos ambientais e as principais interferências que estes poderiam sofrer. Nela, todas as observações foram anotadas.

Com o término do acompanhamento, foi elaborada uma ficha de avaliação, para cada aspecto, de forma a pontuar a eficiência de cada intervenção do bambu feita na área da cicatriz (quatro barreiras e duas contenções de ravina).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O relevo da região, “front” escarpado do Planalto de Campos do Jordão e seus fundos de vale, com desníveis superiores a 1.000 m (AB’SABER e BERNARDES, 1958; AB’SABER, 1966), foi obstáculo natural para execução deste projeto, o que limitou, inclusive, a escolha de outras técnicas de engenharia mais comumente aplicadas para recuperação de encostas, como o solo grampeado e o solocimento.

A região apresenta características geomorfológicas com variações no intemperismo das rochas, intrinsecamente ligadas à sua morfogênese (MODENESI, 1980; 1983; 1988). Hiruma (1999) a considera como uma paisagem fisionomicamente heterogênea, associada às variações litológicas.

Essas variações deram origens aos mosaicos de vegetação (MODENESI, 1980; 1988; 2004), compostos por uma diversidade de ecossistemas, com fisionomias da vegetação bem diferenciadas e próximas umas das outras, como por exemplo, as Florestas Ombrófila Densa, as Matas de Araucária, os encaves de Cerrado, os Campos, Campos de Altitude e as Matas de Encosta citados por Veloso et al. (1991).

Hueck (1972) descreveu a variação da formação da vegetação da área em estudo considerando o gradiente altitudinal. A mesma variação foi descrita por Bussmann (2003) em florestas das montanhas do Equador.

Segundo Conti (1975) e Monteiro (1979) a região da Serra da Mantiqueira forma uma barreira orográfica, desta forma, os índices pluviométricos chegam a ser mais elevados do que na Serra do Mar, como cita Merlin (2005) em seus experimentos com macrofauna edáfica no Parque Estadual de Campos do Jordão.

Considerando a alta precipitação da Serra da Mantiqueira (CONTI, 1975; MERLIN, 2005; SÃO PAULO, 2006; DELGADO, 2007), as mudas de bambu resistiram bem, podendo ser indicada como uma espécie vegetal interessante na contenção de processos erosivos em ambiente com precipitação elevada (CRISTO, 2002; HIGAKI et al., 2005; ACHARYA e FLORINET, 2006).

A variação na geologia, na geomorfologia, juntamente com a fisionomia da vegetação, limitou a aplicação de técnicas convencionais de recuperação de áreas degradadas como o plantio de mudas de árvores, tanto em relação aos aspectos ecológicos quanto aos aspectos comerciais (compra de mudas adequadas e contratação de pessoal qualificado para sua execução).

A escolha do bambu como forma de barreira natural, capaz de desviar as águas superficiais e diminuir sua força e velocidade, funcionou como um fator mecânico e vegetativo, disciplinando o escoamento das águas e proporcionando a estabilização dos processos erosivos, conforme os resultados apresentados na tabela 11. Essa técnica foi utilizada por Vianna (2008) e também se mostrou eficiente. O desvio das águas é um fator importante para contenção de processos erosivos (CRISTO, 2002; TREVISOL et al. 2002; GONÇALVES et al., 2003; ALMEIDA FILHO et al., 2004; COUTO et al., 2005). De acordo com Cristo (2002), essa técnica pode ser aplicada com sucesso tanto em regiões de planície como as de vertentes.

A morfologia do bambu, principalmente sua estrutura de rizomas, favoreceu sua fixação no solo, na área em estudo, que é degradado e com baixa fertilidade natural, como foi observado nas contenções das duas ravinas e nos locais onde foram implantadas as quatro barreiras de bambu. Diversos autores salientam a eficiência do bambu na contenção de processos erosivos (DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; HIGAKI et al., 2005; NUNES, 2005; ACHARYA e FLORINET, 2006; SUTILI, 2007; STOKES et al., 2007; STHAPIT e TENNYSON, 2007).

Os rizomas paquimorfos, como é o rizoma da espécie *Bambusa multiplex* (Lour.), possuem menor eficiência na contenção de processos erosivos do que as espécies de rizoma leptomorfo (DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; STOKES et al., 2007). Todavia, essa espécie foi escolhida justamente porque o rizoma paquimorfo é entouceirante, característica relevante para o presente trabalho (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002; NUNES, 2005). Durante os meses de acompanhamento, após a instalação das intervenções, observou-se que em nenhuma das áreas ocorreu colonização fora da área de plantio, que foi separada pelo limitador de PVC, assim como nas contenções de ravinas.

Outro fator considerado na escolha da espécie *Bambusa multiplex* (Lour.) foi o fato de o experimento ter sido realizado dentro de uma APA Federal, com restrições quanto à introdução de uma espécie com risco de contaminação biológica e exótica, ainda mais com característica alastrante, como aquelas espécies de bambu com rizomas

leptomorfos (PEREIRA, 2001. DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; NUNES, 2005; STOKES et al., 2007), razão pela qual sua utilização foi descartada na elaboração do projeto, considerada muito agressiva para aquele ambiente.

O fator mais preocupante em relação à utilização do bambu é sua forma de propagação reprodutiva, pois são espécies de floração cíclica, gregária e simultânea (FILGUEIRAS, 1988; PEREIRA, 2001; GUILHERME e RESSEL, 2001; MEREDITH, 2001; LONDOÑO, 2002; NUNES, 2005; RAMANAYAKE, 2006; ORTIZ e PICORNELL, 2008). Essa característica pode ser problemática, causando impacto negativo ao meio ambiente, considerando a matriz da vegetação do local, Floresta Ombrófila Densa de Encosta, um ambiente com estágio avançado de regeneração e a fácil adaptação das gramíneas (PEREIRA, 2006; STHAPIT e TENNYSON, 2007).

Ainda faltam estudos para se determinar a verdadeira influência dos bambus de pequeno e médio porte na estrutura das florestas tropicais (GUILHERME, 2000). Porém, algumas alternativas podem minimizar esse impacto, como a própria estrutura da espécie *B. multiplex*. Por ser uma espécie de porte baixo a médio (12 m), com o passar dos anos, a própria vegetação nativa que regenerar e crescer no local limitará o desenvolvimento dessa espécie de bambu por competição por luz.

Outro ponto a ser considerado é que, a proposta original do projeto entregue ao IBAMA, DEPRN e MP, propõe o corte do bambu após três anos da sua implantação. A execução dessa fase do projeto está a cargo da empresa gestora do local e motivadora do estudo – EMAE, que deve providenciar o manejo necessário para o controle do bambu.

O embasamento da bioengenharia para concepção do método de contenção de processos erosivos, aqui apresentado, pode ser considerado peça importante no âmbito geral da implantação, execução e funcionalidade do projeto, a exemplo de outros experimentos realizados fora do Brasil, onde as técnicas são aplicadas há mais tempo (SUTILI et al., 2004; DURLO e SUTILI, 2005; SUTILI, 2007).

A integração de elementos vivos, elementos inertes e sintéticos, pode diminuir custos e fomentar os processos ecológicos dentro de um projeto de recuperação de áreas degradadas (DURLO e SUTILI, 2005; ANTONIS e MOLINARI, 2007; SUTILI, 2004, 2007). Esse experimento conseguiu conciliar esses conceitos, mostrando-se economicamente viável, e, também, menos impactante quando comparado a outras técnicas.

A natureza dos processos erosivos pode ser a mais variada, dentre elas, se destaca a perda da cobertura vegetal (ALMEIDA FILHO et al, 2004; COUTO, 2005),

que aumenta a fragilidade ambiental do terreno à medida que as áreas de florestas vão perdendo sua cobertura original (ROSS, 1994; 1996; TOMINAGA, 2000; SPÖRL, 2001; 2007).

No caso da cicatriz onde foi realizado o estudo, a fragilidade ambiental foi aumentada consideravelmente se comparada à classificação de fragilidade proposta por Ross (1994; 1996). O relevo dessa vertente foi classificado como muito acentuado (IPT, 1995; 2004) e a falta da cobertura da vegetação, arrastada pela água após o acidente, condições que poderiam desencadear vários processos erosivos (ROSS, 1994; 1996; TOMINAGA, 2000; FERANDES et al., 2001; SOUZA e SEIXAS, 2001; SPÖRL, 2001; COELHO NETTO, 2006; SPÖRL, 2007), como ocorrido nas áreas costeiras do Sul do Brasil (MORO e RODRIGUES, 2001), entretanto, tais processos não foram observados no local durante os 18 meses de monitoramento do experimento.

Quanto à regeneração com espécies vegetais na área da cicatriz, esta dependerá do grau de intensidade do impacto que ela sofreu e a velocidade com que ocorrerá a regeneração. Segundo Baider et al. (1999), nas florestas tropicais, os tipos de perturbação estão relacionados com a velocidade que essa regeneração acontecerá, desta forma não se sabe o tempo exato para recuperação da área afetada pelo acidente.

A aplicação da Matriz de Leopold para avaliação do experimento não é o método mais eficaz para se medir a eficiência das seis intervenções instaladas para recuperação da área que foi degradada. Isso porque esse método de avaliação é mais comumente aplicado para a avaliação de impacto ambiental (TOMAMASI, 1999; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005; LOLLO e RÖHM, 2005). Entretanto, a escolha dessa matriz foi feita considerando sua fácil adaptação para avaliação de impactos ao meio ambiente e pela rapidez na obtenção de resultados (TOMMASI, 1999; DINIZ, 2004; COSTA et al.; 2005).

Os números que compõem a célula da magnitude dos impactos dentro da Matriz de Leopold, que representam a eficiência das seis intervenções, são considerados muito subjetivos e até empíricos, porque dependem da sensibilidade e percepção do avaliador quanto ao real impacto que esta ação exerce sobre o meio ambiente (TOMAMASI, 1999; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005; LOLLO e RÖHM, 2005).

Com vistas a diminuir a subjetividade atribuída aos valores que compõe as células da Matriz de Leopold, a aplicação de tabelas do tipo “check list”, serviram de subsídios para o preenchimento da Matriz, isso tornou os valores atribuídos para a avaliação menos subjetivos e mais consistentes.

Essas tabelas são graduadas e avaliam a eficiência de cada aspecto que compõe a Matriz, uma tabela foi desenvolvida para verificar o aspecto erosão (TABELA 6), outra para regeneração natural da vegetação (TABELA 7), para a eficiência do plantio de bambu (TABELA 8), para verificar a conservação de cada estrutura (TABELA 9) e outra que visa avaliar a funcionalidade das estruturas (TABELA 10).

A graduação delas varia de 1 a 10, onde, quanto maior é o valor atribuído maior é a eficiência da ação (intervenções dentro da área da cicatriz), sobre o aspecto avaliado. Desta forma a graduação numérica corresponde a uma descrição ou representação da real situação observada em campo, os métodos utilizados para se obter a nota atribuída pelo avaliador foi o de contagem ou visualização.

As descrições foram formuladas a partir de cenários que previam desde a total ineficiência, onde se atribui a nota um como, por exemplo, a ausência de processo de regeneração da vegetação com solo totalmente exposto, até o grau de total eficiência, com nota dez, onde a vegetação está em estágio avançado de regeneração com a presença de indivíduos arbóreos e estratificação de vegetação e serapilheira no solo, isto considerando o período condizente com o a data do acidente.

Assim, algumas das tabelas apresentam os possíveis cenários em que os aspectos ambientais monitorados responderam ao efeito das estruturas dentro da cicatriz, de modo a representar o sucesso ou fracasso da ação instalação das estruturas.

Tabela 6. Aspecto – EROSÃO

Parâmetro de Avaliação "Processos erosivos antes das estruturas"	Nota / Escala de Sucesso									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ravinamento maior que 60 cm e presença de outros processos erosivos (filetes e sulcos)	Ravinamento maior que 60 cm, ausência de outros processos erosivos	Ravinamento menor que 60 cm e presença de outros processos erosivos (filetes e sulcos)	Ravinamento menor que 60 cm, ausência de outros processos erosivos	Presença de filetes e de sulcos de erosão, distribuídos por toda área da cicatriz	Presença somente de sulcos de erosão	Presença de filetes de erosão na região central e laterais direita e esquerda da estrutura	Presença de filetes de erosão na região central e em uma das laterais da estrutura	Presença de filetes de erosão ou na região central ou em uma das laterais	Ausência de processos erosivos
Barreira I										
Barreira II										
Barreira III										
Barreira IV										
Ravina Maior										
Ravina Menor										

Tabela 7. Aspecto – REGENRAÇÃO NATURAL DA VEGETAÇÃO

Método de visualização

Parâmetro Avaliado	Nota	Estrutura avaliada					
		Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV	Ravina Maior	Ravina Menor
Ausência de regeneração	1						
Início de regeneração com plântulas	2						
Predomínio de espécies rasteiras (até 20 cm)	3						
Predomínio de espécies rasteiras com presença de herbáceas (até 50cm)	4						
Predomínio de espécies herbáceas	5						
Predomínio de espécies herbáceas com presença de arbustivas	6						
Predomínio de espécies arbustivas	7						
Predomínio de espécies arbustivas com presença de espécies arbóreas	8						
Predomínio de espécies arbóreas, verificando-se início de estágio sucessional	9						
Predomínio de espécies arbóreas em estágio primário de sucessão (espécies primárias e presença de sub-bosque, com presença de serapilheira)	10						

Tabela 8. Aspecto – SUCESSO DO PLANTIO DE BAMBU

Método de contagem

Barreiras

Parâmetro de avaliação	Escala de sucesso									
	0-13	14-26	27-39	40-52	53-65	66-78	79-91	92-104	105-117	118-130
Nº de mudas vivas										
Nota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Barreira I										
Barreira II										
Barreira III										
Barreira IV										

Ravinas

Parâmetro de avaliação	Escala de sucesso									
	Ravina Maior									
Nº de mudas vivas	0-13	14-26	27-39	40-52	53-65	66-78	79-91	92-104	105-117	118-130
Nota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Assinalar										
	Ravina Menor									
Nº de mudas vivas	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91 -100
Nota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Assinalar										

OBS.: A contagem das mudas foi feita no sétimo mês de acompanhamento de campo, portanto, não estão incluídas as mudas plantadas adicionalmente na contenção da Ravina Maior.

Tabela 9. Aspecto – CONSERVAÇÃO DA ESTRUTURA

Parâmetros Avaliados	Nota	Estrutura avaliada					
		Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV	Ravina Maior	Ravina Menor
A estrutura não se manteve no local	1						
A estrutura não se manteve fixada; Ocorreu deslocamento da estrutura em sua totalidade; Ocorreu apodrecimento dos colmos (mais que 50% do colmo); Ocorreu escape de mudas na região central e nas duas laterais (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas); Os material que compõem as estruturas foram carregados por enxurradas	2						
As estruturas se mantiveram parcialmente fixadas; Ocorreu apodrecimento dos colmos (acima de 50%) apenas na parte inferior da estrutura; Ocorreu escape de mudas na região central e nas duas laterais (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas)	3						
As estruturas se mantiveram fixadas com indícios de deterioração da estrutura e fragilidade dos componentes que a compõe (grampos/ amarração); Ocorreu apodrecimento dos colmos (menos que 50%); Ocorreu deslocamento de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas); Perda de mudas de maneira aleatória	4						
As estruturas se mantiveram fixadas com indícios de deterioração da estrutura e fragilidade dos componentes que a compõe (grampos/ amarração); Em alguns pontos ocorreu deslocamento parcial das estruturas com perda de função na parte afetada; Ocorreu apodrecimento dos colmos (menos que 50%); Ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas)	5						
As estruturas se mantiveram fixadas; Em alguns pontos ocorreu deslocamento parcial das estruturas com perda de função na parte afetada; Ocorreu apodrecimento dos colmos (menos que 50%); Ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas)	6						
As estruturas se mantiveram fixadas; Em alguns pontos ocorreu deslocamento parcial das estruturas sem perda de função; Ocorreu apodrecimento de alguns colmos de maneira aleatória, sem prejuízo de função; Não ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas)	7						
As estruturas se mantiveram fixadas; Em alguns pontos ocorreu deslocamento muito sutil da estrutura; Não ocorreu apodrecimento de colmos, Não ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas). Pequenos pontos de fragilidade da estrutura (fixação, apodrecimento)	8						
As estruturas se mantiveram fixadas; Não ocorreu deslocamento da estrutura; Não ocorreu apodrecimento de colmos; Não ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas). Há indícios de danos nas estruturas que poderão ser superados pela presença da regeneração da vegetação	9						
As estruturas se mantiveram fixadas; Não ocorreu deslocamento da estrutura; Não ocorreu apodrecimento de colmos, Não ocorreu escape de mudas (limitador - Barreiras / colmos - Ravinas) Não há nenhum indício que a estrutura seja ou foi afetada	10						

Tabela 10. Aspecto – FUNCIONALIDADE

Parâmetros Avaliados	Nota	Estrutura avaliada					
		Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV	Ravina Maior	Ravina Menor
A estrutura desempenha excelente função de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando totalmente as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão bem desenvolvidas, sem indícios de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais, incluindo a presença de primárias e secundárias; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre a estrutura; Não há indícios de processos erosivos nem antes nem depois das estruturas, O estado de conservação da estrutura é excelente	10						
A estrutura desempenha boa função de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão bem desenvolvidas, sem presença de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais incluindo a presença de primárias e secundárias; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de processos erosivos (filetes de erosão) antes ou depois das estruturas; O estado de conservação da estrutura é bom	9						
A estrutura desempenha boa função de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando parcialmente as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão bem desenvolvidas, sem presença de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de processos erosivos (filetes de erosão) antes ou depois das estruturas; O estado de conservação da estrutura é bom	8						
A estrutura desempenha função regular de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando parcialmente as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão bem desenvolvidas, sem presença de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre a estrutura; Há indícios de processos erosivos (filetes de erosão) antes ou depois da estrutura; O estado de conservação da estrutura é bom	7						
A estrutura desempenha função regular de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando parcialmente as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão bem desenvolvidas, com presença de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de processos erosivos (filetes de erosão) antes ou depois das estruturas; O estado de conservação das estruturas apresenta-se em bom estado.	6						
A estrutura desempenha função regular de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando parcialmente as águas da área da cicatriz; Reteve material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão desenvolvidas, com presença de falhas por morte; Verificou-se regeneração de espécies vegetais; Há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre a estrutura; Há indícios de processos erosivos (filetes de erosão) antes ou depois das estruturas; O estado de conservação da estrutura apresenta-se em estado regular, pois houve apodrecimento e deslocamento da estrutura.	5						

<p>A estrutura desempenha precária função de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando pouca água da área da cicatriz; Reteve pouco material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> estão desenvolvidas, porém em alguns pontos não estão saudáveis ou foram atacadas por pragas, com presença de falhas por morte; Verificou-se pouca regeneração de espécies vegetais, apenas de plantas herbáceas; Baixa incidência de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de processos erosivos (sulcos) antes ou depois da estrutura; O estado de conservação da estrutura é ruim, com deslocamento e apodrecimento.</p>	4						
<p>A estrutura desempenha precária função de drenagem e escoamento das águas pluviais, retirando pouca água da área da cicatriz; Reteve pouco material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> não estão desenvolvidas, sendo que, em alguns pontos, não estão saudáveis ou foram atacadas por pragas, com presença de falhas por morte, saída da estrutura; Verificou-se regeneração de espécies vegetais com presença de poucas plantas herbáceas; Quase não há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de processos erosivos (sulcos e formação de ravina) antes e depois da estrutura; O estado de conservação da estrutura é ruim, com apodrecimento.</p>	3						
<p>A estrutura desempenha péssima função de drenagem, pois se mantém parcialmente no local; Reteve pouco material (solo e propágulos); As mudas de <i>B. multiplex</i> não estão desenvolvidas, com presença de falhas por morte e deslocamento da estrutura; Verificou-se pouca regeneração de espécies vegetais com presença de poucas plantas herbáceas; Não há presença de outras espécies vegetais se desenvolvendo entre as estruturas; Há indícios de graves processos erosivos (ravinas, sulcos e filetes) antes e depois da estrutura; O estado de conservação da estrutura é péssimo.</p>	2						
<p>A estrutura não se manteve no local, portanto, sua funcionalidade não pode ser avaliada.</p>	1						

A partir do preenchimento das tabelas, os valores obtidos para cada uma das células que representa a magnitude da Matriz de Leopold, isto é, o lado esquerdo superior das células, que foi preenchido a partir de um critério preestabelecido, que não depende apenas da sensibilidade e experiência do avaliador.

Os relatos das observações de campo, feitas durante os 18 meses de acompanhamento que estavam em caderneta de campo, subsidiaram a formulação das tabelas (6, 7, 8, 9, e 10) e o preenchimento das mesmas em campo.

A seguir, será apresentada a Matriz de Leopold com todas as células completas e as adaptações feitas, para demonstrar qualitativa e quantitativamente a eficiência de cada uma das barreiras e das contenções de ravinas.

Tabela 11. Matriz de Leopold com indicação dos valores médios atribuídos a cada aspecto monitorado

Matriz de Leopold									
ASPECTOS MONITORADOS			AÇÕES: INTERVENÇÕES NA CICATRIZ						
			Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV	Ravina Maior	Ravina Menor	Média para o aspecto
Fatores Ambientais	Água	Erosão	9 10	9 10	9 10	9 10	5 10	8 10	8,2 10
		Vegetação	Regeneração natural da vegetação	8 10	8 10	7 10	7 10	5 10	9 10
	Sucesso do plantio de mudas de <i>B. multiplex</i>		9 10	9 10	6 10	8 10	3 10	9 10	7,2 10
Fatores Estruturais	Estado	Conservação das estruturas	9 10	9 10	8 10	9 10	5 10	8 10	8 10
		Funcionalidade	8 10	8 10	8 10	8 10	5 10	9 10	7,5 10

Legenda: Escala de Eficiência

- 0 a 2 = *Muito baixa* eficiência da ação de intervenção (barreira / ravina) para o controle do aspecto monitorado
- > 2 a 4 = *Baixa* eficiência da ação de intervenção (barreira / ravina) para o controle do aspecto monitorado
- >4 a 6 = *Média* eficiência da ação de intervenção (barreira / ravina) para o controle do aspecto monitorado
- >6 a 8 = *Alta* eficiência da ação de intervenção (barreira / ravina) para o controle do aspecto monitorado
- >8 a 10 = *Muito Alta* eficiência da ação de intervenção (barreira / ravina) para o controle do aspecto monitorado

4.1 Interpretação da Matriz de Leopold

As intervenções na cicatriz resultante do acidente na encosta em estudo, caracterizadas pela instalação de quatro barreiras de bambu e pela contenção de duas ravinas, monitoradas por 18 meses, promoveram a estabilização de processos erosivos ao longo da cicatriz.

Em termos gerais, a avaliação dos parâmetros ambientais na cicatriz indica que as ações de intervenção foram altamente eficientes, com valores entre 7,2 a 8,2 obtidos pela Matriz de Leopold (TABELA 11).

A contenção de materiais orgânicos e solo foram satisfatórios tanto nas barreiras como nas ravinas. Apenas na contenção da ravina maior houve necessidade de incremento nos materiais para suporte e fixação da estrutura, sete meses após sua instalação. Mourões de eucalipto foram ajustados à base da estrutura de colmo de bambu. Essa intervenção foi necessária devido a conformação da ravina que apresentava altura superior à estrutura instalada, não retendo material orgânico e solo.

As quatro barreiras instaladas tiveram desempenho similar nas ações de intervenção, com valores equivalendo à alta e/ou muito alta eficiência (TABELA 11). Nas barreiras, 87% das mudas de *B. multiplex* plantadas tiveram pegamento e desenvolvimento satisfatórios. Exceto a Barreira III, com apenas 57% das mudas pegadas.

O sistema de escoamento da água de chuva também funcionou satisfatoriamente, assim como a contenção de materiais. Em alguns pontos das barreiras, o material retido apresentava espessura de 48 cm. Nas barreiras I, II e IV foi possível medir a profundidade e o comprimento do sedimento nelas contido (TABELA 12). Cabe salientar que os valores apresentados são bem específicos, uma vez que dependem de algumas variáveis como inclinação do terreno, tipo de solo, cobertura vegetal, densidade e velocidade da água. Essas variáveis determinam como e quais materiais deslizam até as barreiras. Na barreira IV, a altura do sedimento retido foi de 120 cm; nas barreiras I e II, 24 e 18 cm, respectivamente.

Com relação às duas ravinas, em termos médios, sua classificação com relação à eficiência das ações seria de média a alta (TABELA 11). As ações de intervenção foram mais eficientes na ravina menor, para os cinco parâmetros avaliados. No entanto, na ravina maior, os resultados não corresponderam às expectativas, com valores indicando baixa e/ou, média eficiência das ações executadas, representadas na Matriz de Leopold pelos valores 3 a 5. Nessa ravina, as mudas de *B. multiplex*, cerca de 70% (91 mudas),

não conseguiram sobreviver após o plantio (medições feitas no sétimo mês). Possivelmente, a mudança no eixo de insolação sobre as mudas, reduzindo a incidência de luz solar e, com isso, limitando o processo fotossintético, o que inibiu o crescimento e desenvolvimento das mudas.

Outro ponto que deve ser considerado é o ângulo da parede da ravina, superior a 60°, e o fato da altura do talude ser superior à altura da estrutura. No local de instalação, a água da enxurrada ainda tem muita força, devido à inclinação do terreno, o que pode ter danificado as mudas, provocando perda de folhas, quebra de brotos e mesmo deslocamento dos rizomas.

Ao longo de toda a cicatriz, ocorreu regeneração com espécies nativas, até mesmo dentro das estruturas de contenção. A proximidade da mata nativa certamente favoreceu a colonização de espécies no local, daí a regeneração da vegetação ter ocorrido dentro do esperado.

Na área entre a quarta barreira e a contenção da ravina pequena observou-se expressiva população de *Croton urucurana* (sangra-d'água). Alguns exemplares estavam com aproximadamente 3,0 m de altura e 16 cm de DAP (Diâmetro na Altura do Peito).

A incidência de *Crocasmia crocosmiflora* (W.A. Nicholson) N.E.Br., conhecida popularmente como palma ou tritônia, foi observada por toda a extensão da cicatriz.

Segundo LORENZI e SOUZA (1999), a tritônia é uma espécie herbácea, bulbífera e desenvolve bem quando cultivada a pleno sol ou a meia-sombra. No Brasil é considerada subespontânea comumente encontrada nas regiões de altitude. Seu aparecimento próximo à Usina de Isabel ocorreu na década de 1970, quando funcionários da empresa Light iniciaram o plantio desta espécie ao longo da câmara de compensação e ao longo da tubulação que eleva a água da câmara de compensação até a casa das máquinas. O plantio foi efetuado como medida preventiva, procurando evitar processos erosivos.

Tabela 12. Contenção de material nas barreiras de bambu. Medição em 21 de dezembro de 2008

Parâmetros avaliados	Intervenções			
	Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV
Altura do sedimento retido (cm)	24	18	Sem medição	48
Distância do sedimento, com início no limitador de PVC (cm)	73	34	Sem medição	120

Como mencionado no item Material e Métodos, o processo de recuperação da área atingida pelo deslizamento teve o Ministério Público do Estado de São Paulo como responsável pela fiscalização do processo junto à EMAE, e o DEPRN - Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais do Estado de São Paulo, órgão fiscalizador representando o IBAMA. Decorrido o período de 18 meses, a área passou por nova vistoria técnica, efetuada pelo engenheiro ambiental Josué Meystre, CREA SP n.º 5.061.990.895, que emitiu Laudo de Vistoria, ETTA n.º 018/08 (DEPRN, 2008), descrevendo o estado em que se encontrava o local onde ocorreu o acidente:

“As barreiras de bambu estão com fisionomia satisfatória e desenvolvem sua função de estabilização de talude e contenção do escoamento superficial de águas pluviais por completo...”

“... a quantidade de barreiras de bambu mostrou ser suficiente já que o trecho “B” apresenta pouco solo exposto por erosão hídrica. O solo exposto por erosão hídrica será recuperado naturalmente com o alastramento da vegetação sucessora que se encontra ao seu redor, não havendo necessidade de novas intervenções”.

O referido laudo cita que não há alastramento de bambu e que a contenção da ravina maior, após a colocação de reforço da estrutura com mourões de eucalipto, apresenta-se com desempenho satisfatório de sua função.

O Ministério Público do Estado de São Paulo e o DEPRN consideram que os problemas decorrentes do acidente ambiental estão totalmente sanados, sendo que a estabilização do trecho A ocorreu plenamente e os trechos B e C estão recuperados na região da erosão, conforme descrito no Laudo acima comentado e referendado pelo Eng. Agrônomo supervisor do DEPRN da região onde ocorreu o acidente.

Atualmente o processo está arquivado. E todas as exigências de compensação e recuperação ambiental do local foram totalmente cumpridas.

Todo o processo de intervenção executado na cicatriz resultante do acidente foi registrado por meio de registro fotográfico. Desta forma, foi possível acompanhar a evolução da recuperação ambiental do local por meio de numa sequência cronológica, conforme demonstrado a seguir:

Barreira I

Figura 26. Acompanhamento de campo: figura 26A, foto realizada no mês de março de 2007; figura 26B, foto realizada em julho de 2007; figura 26C, foto realizada em dezembro de 2008

Barreira II

Figura 27. Acompanhamento de campo: figura 27A, imagem feita em dezembro de 2006; figura 27B, imagem de dezembro de 2007; figura 27C, imagem feita em março de 2008

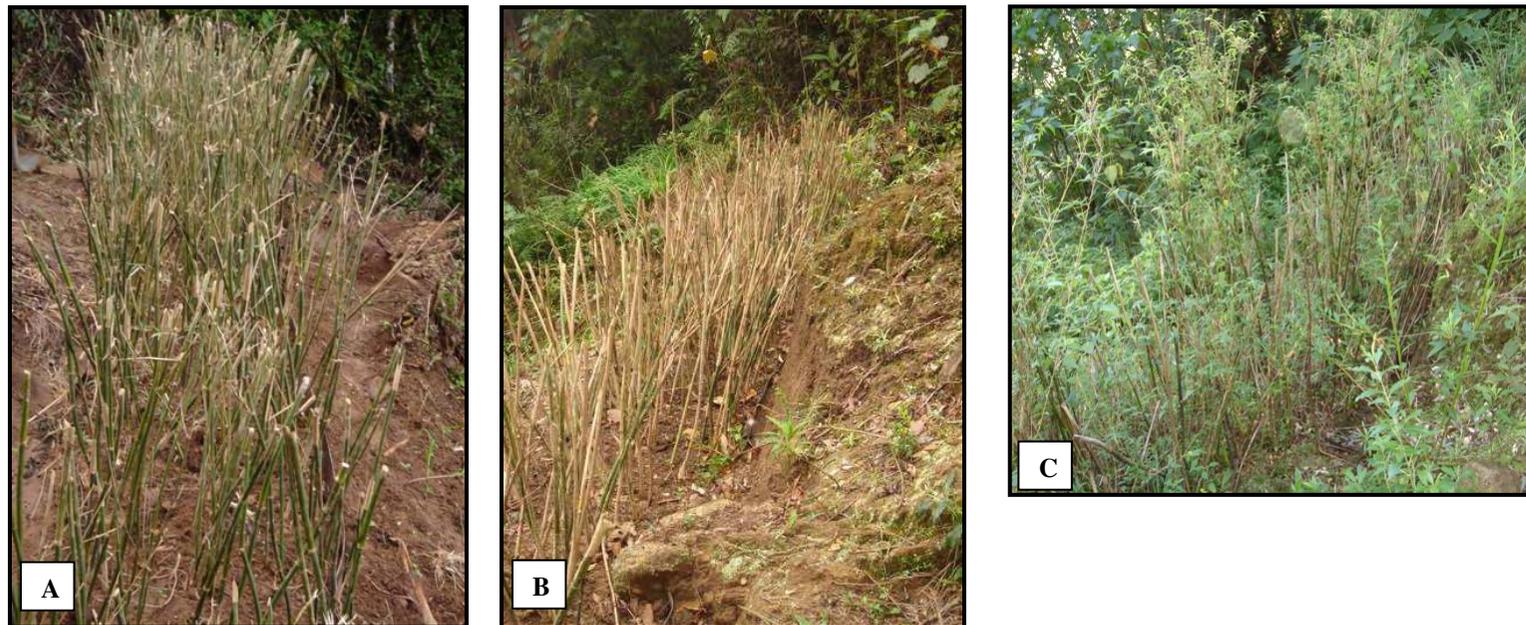
Barreira III

Figura 28. Acompanhamento de campo: figura 28A, imagem feita em dezembro de 2006; figura 28B, imagem de dezembro de 2007; figura 28C, imagem feita em março de 2008

Barreira IV

Figura 29. Acompanhamento de campo: figura 29A, imagem feita em dezembro de 2006; figura 29B, imagem de dezembro de 2007; figura 29C, imagem feita em março de 2008

Ravina Maior

Figura 30. Acompanhamento de campo: figura 30A, montagem da contenção, imagem feita em dezembro de 2006; figura 30B, imagem de dezembro de 2007; figura 30C, imagem feita em março de 2008

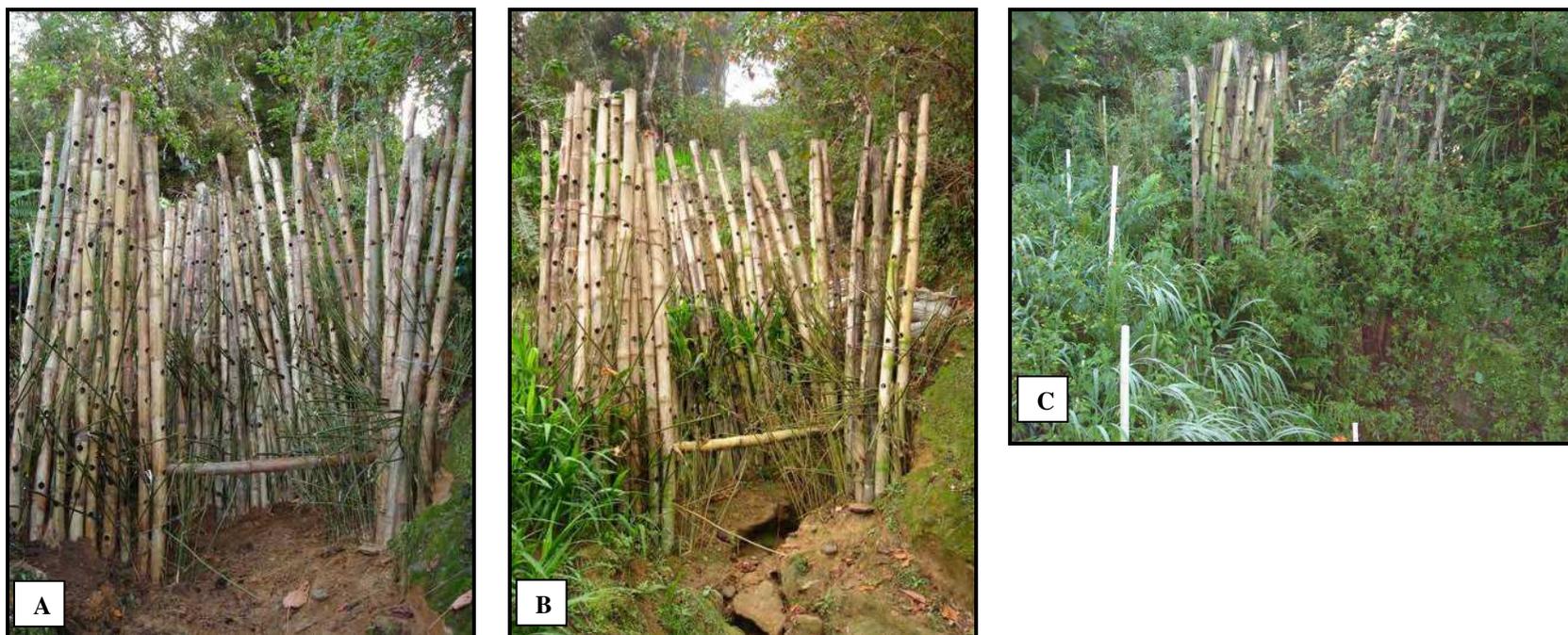
Ravina Menor

Figura 31. Acompanhamento de campo: figura 31A, montagem da contenção, imagem feita em dezembro de 2006; figura 31B, imagem de dezembro de 2007; figura 31C, imagem feita em março de 2008

5. CONCLUSÃO

1. As intervenções, barreiras e contenções de ravinas, efetuadas na área da cicatriz resultante do acidente ocorrido junto à Usina de Izabel promoveram a estabilização dos processos erosivos ao longo da cicatriz, e favoreceu a regeneração das espécies vegetais, cumprindo assim as exigências estabelecidas pelo Ministério Público do Estado de São Paulo e do Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais do Estado de São Paulo.

2. A escolha do bambu, *Bambusa multiplex* (Lour.), como forma de barreira natural, favoreceu o escoamento das águas superficiais e proporcionou estabilização dos processos erosivos, podendo este método ser considerado como adequado para o favorecimento de contenção de processos erosivos nas condições apresentadas pelo local, com processos erosivos de dimensões pequenas.

3. A aplicação da Matriz de Leopold adaptada para a avaliação dos parâmetros ambientais selecionados para o monitoramento do local mostrou-se satisfatória, indicando que o método aplicado foi eficiente.

4. As barreiras se mostram eficientes também para a retenção de propágulos, proporcionando a o desenvolvimento de mudas das espécies nativas entre e dentro das estruturas de contenção dos processos erosivos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SÁBER, A. N.; BERNARDES, N. Vale do Paraíba: Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. **Guia de Excursões 4**. Rio de Janeiro, 1958. p. 303.

AB’SÁBER, A. N. **O domínio morfoclimático dos “Mares de Morros” no Brasil**. São Paulo: USP/ IGEOG, 1966. (Geomorfologia, 2).

AB’SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 102 p. (Geomorfologia).

ACHARYA, M. S.; FLORINETH, F. Vegetated bamboo crib wall – A suitable alternative to stabilize road side in Nepal. **Geophysical Research Abstracts**, Gemany, v. 8, p.08239, 2006.

AFONSO, S.; MÁXIMO, A. C. Considerações sobre a leitura dos riscos de escorregamentos em Blumenau: o Morro Dona Edite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, n 7 ., 2006, Florianópolis. **Anais** . .Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ALMEIDA FILHO, G. S.; SANTORO, J.; GOMES, L. A. Estudo da dinâmica evolutiva da Boçoroca São Dimas no Município de São Pedro, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1. , 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 73-86. CD-ROM.

ALMEIDA, J. G. Projetando com bambus: consideração ao paradigmático e ao típico. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, v. 23, n. 80, p. 37-45, 2004.

_____. Caracterização geométrica de bambus para construção e manufatura de objetos: análise comparativa da *Guadua weberbaueri* e do *Phyllostachys bambusoides*. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, v. 23, n. 80, p. 51-65, 2004.

AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. **IPEF. ESALQ**, São Paulo, v.12, n. 32, p. 105 – 110, 1998. Série Técnica.

ANTONIS, L.; MOLINARI, V. M. **Ingegneria naturalistica**: nozioni e tecniche di Base. Manuale. Torino, Itália: Editora CSEA – Società Consortile per Azioni, 2007. p. 108.

BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. O Banco de sementes de um trecho de Floresta Atlântica Montana (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 52, n. 2, p. 319 – 328. 1999.

BAMBOO GARDEN. **Plante for future**. Disponível em:<
<http://www.bamboogarden.com/Bambusa%20multiplex%20'Alphonse%20Karr'.html>>. Acesso em: 01 maio 2008.

BAMBU Brasileiro. **InfoBambu**: plantio e morfologia. Disponível em: <
<http://www.bambubrasileiro.com/info/plantio/>>. Acesso em: jul. 2007.

BASTOS NETO, A. T. **Ocorrência de palmeiras no entorno de escorregamento no Parque Estadual da Serra do Mar “Núcleo Santa Virgínia – SP”**. 2007. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté. Taubaté, 2007.

BATISTA, G. T.; CATELANI, C. S.; DELGADO, I. C. M. S. O Avanço nas áreas de risco em Campos do Jordão: uma comparação entre os anos de 1986 a 2003. In: SIMPOSIO DE INTERNACIONAL EM PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA, 12., 2006, Cartagena de Índias, Colômbia. **Anais eletrônicos...**Colombia, 2006. Disponível em: < <http://www.agro.unitau.br>>. Acesso em: 21 jul. 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 001, de 23 de janeiro de 1986**. Trata da obrigatoriedade da elaboração do Estudo de Impacto Ambiental. Disponível em: <
www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema14/pdf/208195.pdf>. Acesso em: jul. 2008.

BUSSMANN, R. W. Los bosques montanos de la reserva biológica San Francisco (Zamora-Chinchiipe, Ecuador) – zonacion de vegetación y regeneracion natural. **Lyonia**, Honolulu, USA, v. 3, n. 1, p. 57–72, 2003. Disponível em: <
http://www.lyonia.org/archive_volume3-1.phf>. Acesso em: 12 dez. 2008.

CENTRO DE MONITORAMENTO DA SERRA DO ITAPETY – CEMASI. **Projeto Plano de Manejo da Fazenda São Sebastião do Ribeirão Grande, Pindamonhangaba – SP.** Mogi das Cruzes, 1998. 78p.

COELHO NETTO, A. L. et al. Reabilitação funcional de clareiras geradas por deslizamentos em encostas íngremes sob a Floresta Atlântica: uma abordagem geohidroecológica. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 57., 2006, Gramado. Os avanços da botânica no início do século XXI - morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Botânica do Brasil. 2006. p. 409-413. v. 57.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). Seleção pública de projetos de pesquisa e desenvolvimento em bambu para formação da Rede Nacional de Pesquisa do Bambu – Redebambu. Edital CT-**AGRONEGÓCIO**, n. 25, 2008. MCT/CNPq . Disponível em: < <http://www.cnpq.br/editais/ct/2008/025.htm>>. Acesso em: 1 set. 2008.

CONTI, J. B. **Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região Lesnordeste Paulista.** São Paulo: USP/ Instituto de Geografia, 1975. p. 85. (Série Teses e Monografias, 18).

CONTI, J. B. Resgatando a fisiologia da paisagem. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 14, p. 59-68, 2001.

COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. Uso das técnicas de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 28. 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < <http://reposcom.portcom.intercom.org.br/dspace/handle/1904/17899>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

COUTO, D. L.N., FREITAS, M. M. de, COUTINHO, B. H. FREITAS, L. E. de. Geometria de encostas e declividade como parâmetro para risco de deslizamentos. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis - SC.** 2002. 165f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

CUSACK, V. **Bamboo world - The growing and use of clumping bamboos.** Austrália: Kangaroo Press, 1999. p. 46

DELGADO, I. C. M. S. **Zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os casos de escorregamento em Campos do Jordão**: estudo de caso do verão de 2000. 2007. 44f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE PROTEÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS – DEPRN. **Laudo de vistoria – ETTA n.018/08**. Averiguada – EMAE, Usina Izabel, 2008. 8 p. Referência procedimento probatório n. 39/04 de 01 de abr.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DENIT. **Diretrizes básicas para atividade rodoviárias ambientais**: escopo básico: instruções de serviços. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 606 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DENIT. **Manual para atividades rodoviárias ambientais**. Rio de Janeiro, 2006. 850 p.

DINIZ, A. M. **Uma avaliação do impacto ambiental oriundo dos deslocamentos promovidos por programas de desfavelamento em áreas de preservação**. 2004. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

DRAKE, J.; JAYANETTI, D. L.; FOLLET, P. R. Control of beach erosion using bamboo. In: INTERNATIONAL BAMBOO CONGRESS, 5., 2002; INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, 6., 2002, São José, Costa Rica. **Anais...**São José, Costa Rica, 2002.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia**: manejo biotécnico de cursos de água. Porto Alegre: EST Edições, 2005. 189p.

ELETRICIDADE DE SÃO PAULO S/A – ELETROPAULO. A Restauração da Usina de Izabel. **Boletim Histórico**, São Paulo, n. 6, jun. 1986.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA – EMAE. **Obras civis da Usina de Izabel, condições específicas**. São Paulo: Departamento de Engenharia, 2001. 17 p.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA – EMAE. **Primeiro relatório de andamento das obras emergenciais – Usina Izabel**. São Paulo: Departamento de Engenharia, 2005. 7 p. Relatório.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA – EMAE. **Recuperação ambiental da Usina de Izabel: Referência: Processo DEPRN n.º. 88.149/04 – TCRA n. 082/05.** São Paulo: Departamento de Gestão Ambiente, 2007. 32 p. Relatório.

FERNANDES, M. C.; AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Domínios geo-hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: subsídios ao entendimento dos processos hidrológicos e erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, p. 122–148, 2006.

FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREEMBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação metodológica e aplicação de modelo de previsão de áreas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERRI, M. G.; MENEZES, N. L.; MONTEIRO, W. R. **Glossário ilustrado de botânica.** São Paulo: Nobel / Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo, 1981. p.160.

FILGUEIRAS, T. S. A floração de bambus e seu impacto ecológico. **Boletim Botânico do Herbarium Friburgense, Eugêniãna**, Nova Friburgo, RJ, n. 15, 1988, p. 1-8.

FILGUEIRAS, T. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P. Bambus nativos do Brasil: oportunidades e desafios para seu conhecimento. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO BAMBU, 2006, Brasília, DF. **Anais...Brasília, DF: UNB, 2006.** p. 33 – 42.

FREITAS, F. de O.; ZARUR, S. B. C.; SILVA, D. B. da; FONSECA, J. N. L. O bambu do Uruá. **Comunicado Técnico**, Brasília, DF, n. 97, 2003. 9 p. EMBRAPA.

GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. S. **Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural.** Colombo, PR: Embrapa 2002. 134 p.
GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades mecânicas dos colmos dos bambus das espécies: Mosó e *Guadua angustifolia*** para utilização na engenharia. Rio de Janeiro: PUCR, 2002. 90 p. Publicação RMNC-2 Bambu 02/2002.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; DUCATTI, F. Efeito da mata nativa ou reflorestamento sobre o solo. In: Kageyama, Paulo et al. (Orgs.). **Restauração ecológica de sistemas naturais.** Botucatu: FEPAF, 2003. 340p.

GONÇALVES, J. B.; ALMEIDA, J. R.; LINS, G. A. Uma análise crítica do acidente em Cataguases. (MG) (2003). **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 3. n. 3,

2007. Disponível em: < <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/viewissue.php>>. Acesso em: 19 out. 2008.

GRAÇA, V. L. **Bambu: técnicas de cultivo e suas aplicações**. São Paulo: Ícone, 1988. 44p.

GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 60–66, 2000.

GUILHERME, F. A.; RESSEL, K. Biologia floral de reprodução de *Meostachys roedeliana*. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2. p. 2005-2011. 2001.

HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; ALMEIDA, M. A.; SANTOS, M. C. S. R.; Compartimentação geomorfológica do Planalto Atlântico do leste paulista. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., 1977. **Atas...** São Paulo: SBG/SP, 1977. p. 153-169.

HIGAKI, D.; KARKI, K. K.; GAUTAM, C. S. Soil erosion control measure on degraded sloing lands in Midlands of Nepal. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, Ontario, Canada, v. 8, n. 3, p. 243–249, 2005.

HIRUMA, S. T. **Neotectônica no planalto de Campos do Jordão, SP**. 1999. 102f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono; Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1972. 466 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. 316 p. (Manual Técnico em Geociências, 4). Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/pedologia/manual_tecnico_pedologia.pdf >. Acesso em: 14 fev. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Inspeções visuais no maciço de terra da Barragem Izabel, 2ª Fase**. São Paulo: IPT, 1995. (Relatório Técnico, 33 475/95).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Análise dos possíveis mecanismos de ruptura do talude situado próximo ao**

tanque de compensação da UHE de Izabel. São Paulo: IPT, 2004. p. 15. (Relatório Preliminar).

IWASA, O. Y.; FRENDRICH, R. Controle de erosão urbana. In: OLIVEIRA, S. M. A.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998, p. 271–281.

JOLY, A. B. **Botânica:** introdução a taxonomia vegetal. 11. ed. São Paulo: Companhia Nacional, 1993. 699 p.

LEINZ, V.; CARVALHO, A. M. V. Contribuição à geologia da Bacia de São Paulo – SP. **Boletim da Faculdade de Filosofia e Letras da Universidade de São Paulo,** São Paulo, n. 15, p. 1-61, 1957.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms.** International Network for Bamboo and Rattan. China: Technical Report, 1998. 208p.

LIESE, W. *Guadua* en Colombia. **El Renuevo,** Bogotá, v. 2, n. 5, 2005.

LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO, 1992, Beijing, China. **Anais...**Beijing, China: Chinese Academy of Forestry, 1992. p. 7-11.

LINO, C. F. **Reserva da biosfera da Mata Atlântica:** plano de ação. Campinas: Universidade de Campinas, 1992. v.1. 101 p. Referências básicas. Consórcio da Mata Atlântica.

LOLLO, J. A.; ROÖHM, S. A. Proposta de matriz para levantamento e avaliação de impactos de vizinhança. **Holos Environment,** Rio Claro, v. 5, n. 2, p.160-183, 2005. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos/article/view/318/280>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

LONDOÑO, X. P. **Curso de cátedra maestría en construcción:** Módulo Guadua. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 60 p.

LORENZI, H.; MOREIRA SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil:** arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1999. 1918 p.

LOZANO, P.; BUSSAMANN, R. W.; KÜPPERS, M. Landslides as ecosystem disturbance – Their implications and importance in South Ecuador. **Lyonia,** Honolulu, USA, v. 8, p. 67–72, 2005. Disponível em: <<http://www.lyonia.org/downloadPDF.phf?pdfID=2.386.1>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

MÁXIMO, A. C.; AFONSO, S. Considerações sobre a leitura dos riscos de escorregamentos em Blumenau: Morro Dona Edite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, n 7 ., 2006, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: UFCS, 2006. p. 10.

MEREDITH, T. J. **Bamboo for gardens**. Portland, Cambridge: Timber Press. 2001.

MERLIN, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de Araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MODENESI, M. C. Intemperismo no Planalto de Campos do Jordão, São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo v. 10, n. 3, p. 213-225, 1980.

MODENESI, M. C. Weathering and morphogenesis in a Tropical Plateau. **Catena**, Braunschweig, Germany, v. 10, n. 3, p. 237-251, 1983.

MODENESI, M. C. Significado dos depósitos correlativos quaternários em Campos do Jordão – São Paulo: implicações Paleoclimáticas e Paleoecológicas. **Boletim do Instituto de Geologia**, São Paulo, n. 7, 1988. 155 p.

MODENESI – GATTIERI, M. C.; HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. **Morfotectônica dos Altos de Campos de São Francisco (Planalto de Campos do Jordão – SP)** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5., 1997, Penedo, RJ. **Atas...**Penedo, 1997. p. 77-79.

MODENESI–GATTIERI, M. C. Hillslope deposits and the quaternary evolution of the Altos Campos – Serra da Mantiqueira, from Campos do Jordão to the Itatiaia Massif. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 508-514, 2000.

MODENESI–GATTIERI, M. C.; HIRUMA, S. T. A Expansão urbana no Planalto de Campos do Jordão. Diagnóstico geomorfológico para fins de planejamento. **Revista do Instituto de Geológico**, São Paulo, v. 25, n.1/2, p. 1-28, 2004.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/Instituto de Geografia, 1976 (Série Climatologia, 28).

MORO, L. F. R.; RODRIGUES, R. M. O uso de produtos sub orbitais na caracterização do meio físico com ênfase as áreas de encosta susceptíveis a erosão: estudo de caso para a porção sudeste do município de Balneário Camburiú / SC. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p.639-647. Sessão Poster.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE/ Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

NUNES, A. R. S. **Construindo com a natureza, bambu**: uma alternativa para o eco desenvolvimento. 2005. 122f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2005.

OLIVEIRA, R. P.; LONGHI-WAGNER, H. M.; JARDIM, J. G. Diversidade e conservação dos bambus herbáceos (Poaceae: Bambusoideae: Olyrae) da Mata Atlântica, Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO BAMBU, 2006, Brasília, DF. **Anais ...** Brasília: UNB, 2006. p. 62-64.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. **Boletim Científico**, Campinas, n. 45, p. 20, 1999. Instituto Agrônomo de Capinas (IAC).

ORTIZ, D. G.; PICORNELL, J. A. R. Claves para las bambusáceas cultivadas como ornamentales y comercializadas en la Comunidad Valenciana. **Revista Baouteloua**, Valencia Espanha, v. 3, n. 4, p. 39-46, 2008. ISSN 1988-4257. Publicación de La Fundación Oroibérica sobre temas relacionados a flora ornamental. Valencia, España.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: FAPI, 2006. 151 p.

PEREIRA, M. A. **Bambu**: espécies, características e aplicação. Bauru: UNESP, 2001. 58 p.

RAMANAYAKE, S. M. S. D. Flowering in bamboo: an enigma! **Ceylon Science Journal / Biological Science**, Sri Lanka, v. 35, n. 2, p. 95-105, 2006. Disponível em: <<http://www.pdn.ac.lk/cjsbs/text/text35.2.9.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2008.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, Paulo et al. (Orgs.) **Restauração ecológica de sistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 340p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p.17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-75, 1994.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs/RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. de (Orgs). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-336.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Relações solo/paisagem em regiões tropicais úmidas: o exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 14, p. 11-23, 2001.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: IPT, 1995. cap. 3, p. 31-57.

SANQUETA, C. R.; CORTE, A. P. D.; VULCANIS, L.; BERNI, D. M. Sobrevivência de mudas de *Araucária angustifolia* perante o controle de Taquaras (Bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 127-135, jan./abr. 2005.

SANTOS-GONÇALVES, A. P.; OKANO, R. M. C; VIEIRA, M. F. Bambu (Bambusoideae: Poaceae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais: florística e morfologia. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO BAMBU, , 2006, Brasília. **Anais...**Brasília: UNB, 2006. p. 43-48.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado e do Meio Ambiente. **Atlas das unidades de conservação ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo: CEPLEA, 2000. 32 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado e do Meio Ambiente. **Planejamento Ambiental**. São Paulo: CEPLEA, 2002. 103 p. Atlas.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado e do Meio Ambiente. **Mantiqueira: o Castelo das Águas**. São Paulo: CEPLEA, 2006. 72 p.

SETZER, J. A Distribuição normal das chuvas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 3-70, 1946.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai / Centrais Elétricas de São Paulo, 1966. 186 p.

SILVA, A. G.; DINIZ, H. N. Deslizamentos e obras de contenção de encostas em Campos do Jordão-SP. **Téchne - Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 1, n. 83, p. 56-60, 2004.

SILVA, M. M. A.; MEDEIROS, M. J. L.; SILVA, P. K. da, SILVA, M. M. P. da. Impactos ambientais causados em decorrência do rompimento da Barragem Camará no Município de Alagoa Grande, PB. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 6, n. 1, p. 20-34, primeiro semestre 2006. Disponível em: <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/camara.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2008.

SOUZA, C. R.; SEIXAS, F. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 60, p. 45-51. 2001.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. 159f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 159 p.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental usando redes neurais artificiais**. 2007. 186f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STAPLETON, C. M. A. The bamboos of Nepal and Bhutan, Part 1: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Melocanna*, *Cephalostachyum*, *Teinostachyum*, and *Pseudostachyum* (Gramineae: Poaceae, Bambusoideae). **Edinburg Journal of Botany**, Cambridge, England, v. 51, p. 1-32, 1994.

STHAPIT, K. M.; TENNYSON, L. C. El control la erosion en Nepal mediante la bioingenieria. **Unasylya, Roma Italy**, n. 164, p. 1-8, 1991. Ordenación de cuencas hidrográficas. FAO. Disponível em: <www.fao.org/docrep/ul1510/ul1510s04.htm>. Acesso em: 30 jul. 2007.

STOKES, A.; LUCAS, A.; JOUNEAU, L. Plant biomechanical strategies in response to frequent disturbance: uprooting of *Phyllostachys nidularia* (Poaceae) growing on landslide-prone slopes in Sichuan, China. **American Journal of Botany**, St. Louis, USA, v. 7, n. 94, p. 1129 – 1136, 2007.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de cursos de água. **Ciência Florestal**, Rio Grande do Sul, v. 14, n. 1, p.13-20, 2004.

SUTILI, F. J. **Manejo biotécnico do Arroio Guarda-mor: principais processos e práticas.** 2004. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

SUTILI, F. J. **Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: espécies aptas e suas propriedades vegetativo- mecânica e emprego na prática.** 2007. 94f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal) - Universidade Rural de Viena, Departamento de Engenharia Civil e Perigos Naturais, Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, Viena, Áustria. 2007.

TEIXEIRA, A. L. **Análise das bacias da transição proterozóico-fanerozóico do Estado de São Paulo e adjacências.** 2000. 158f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

TOMINAGA, L. K. **Análise morfodinâmica das vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP.** 2000. 162f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 2000.

TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental.** São Paulo: CETESB / Terragraph Artes e Informática, 1993. 354p.

TREVISOL, R. G.; NEVES, L. G.; SILVA, R. T. da; VALCARCEL, R. Análise da colonização vegetal espontânea em ambientes modificados por medidas físicas na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p. 437-439.

VEIRA, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; MALTA, F. J. N. C. Proposta metodológica para identificação de áreas de risco de massa em áreas de ocupação urbana. estudo de caso: Campos do Jordão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, n 7, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3935-3942.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 409p.

VIANNA, P. C. G. et al. **Estabilização de Voçorocas – Subproduto ambiental do diagnóstico dos recursos hídricos: o caso do assentamento Dona Antonia, Conde – PB.** Paraíba: Departamento de Geociências / Universidade Federal da Paraíba. Grupo de Estudos e Pesquisa em Água e Território. Laboratório de Ensino e Pesquisa em Análise Espacial. Disponível em: <

<http://www.geociencias.ufpb.br/lepan/gepat/Publicacoes/PROPOSICOES%20DE%20USO%20DONA%20ANTONIA.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

ZIMMERER, K. S. Soil erosion and labor shortages in the Andes with special reference to Bolivia, 1953-91: implications for “Conservation With Development”. **World Development**, Quebec, Canada v. 21, p. 1659-1675, 1993.

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

B238c Barbosa, Admilson Clayton
 Contenção de processos erosivos resultantes de acidente
 ambiental na Serra da Mantiqueira, SP / Admilson Clayton
 Barbosa. - 2009.

 112f. : il.

 Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de
 Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2009.

 Orientação: Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz, Departamento de
 Agronomia.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Admilson Clayton Barbosa
Taubaté Abril de 2009.