

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Avaliação de Medidas Físicas para Recuperação de Área
de Empréstimo da Mata Atlântica: Diques**

Rodrigo Gaburro Trevisol

2002



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**AVALIAÇÃO DE MEDIDAS FÍSICAS PARA
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DE EMPRÉSTIMO DA MATA
ATLÂNTICA: DIQUES**

RODRIGO GABURRO TREVISOL

Sob a orientação do professor
Ricardo Valcarcel

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Magister Scientiae** em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ

Julho de 2002

634.98098153

T814a

T

Trevisol, Rodrigo Gaburro,

Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica : diques/ Rodrigo Gaburro Trevisol . 2003. –

86f. : il.

Orientador: Ricardo Valcarcel.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas.

Bibliografia: f. 46-50.

1. Reflorestamento – Mata Atlântica – Teses. 2. Erosão – Mata Atlântica – Teses. 3. Solos – Erosão – Mata Atlântica – Teses. 4. Diques(Engenharia) – Mata Atlântica – Teses. I. Valcarcel, Ricardo. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Florestas. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

RODRIGO GABURRO TREVISOL

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Magister Scientiae**, em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/07/2002

Ricardo Valcarcel (Dr.) UFRRJ
(orientador)

Adacto Benedicto Ottoni (Dr.) UERJ

Maria Hilde de Barros Goes (Dr.) UFRRJ

Dedicatória

*Aos meus pais MAURO e MARLENE,
a meus Avós JACINTO, MARIA,
ORLANDO e JULIA (in memoria), meus
eternos sentimentos de gratidão pelo que
sou.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente em cada dia de minha vida.

Aos meus pais Mauro Trevisol e Marlene Gaburro, pelo empenho que tiveram na criação de seus filhos, sempre com o objetivo maior de que construíssemos uma carreira honrável.

Aos meus irmãos Alessandro, a paz em pessoa, Gustavo, busca constante, e Juliana, serenidade.

Agradecimentos à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter-me acolhido como verdadeiro filho, à sua liberdade em escolher o melhor caminho, a realidade sem restrições, e o conhecimento que me facultou.

À Coordenação do curso de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais - MCAF, pela oportunidade de realizar esta dissertação.

A todos os amigos que estiveram presentes em minha passagem por esta Universidade, a convivência que tivemos juntos, o apoio, as críticas e conselhos, me permitindo desenvolver uma consciência original.

Em especial, à minha tia Mery Lúcia Trevisol Leal, por existir, e ser minha tia. Também faço parte desse pequeno exército de defensores da Natureza.

Ao Professor Dr. Ricardo Valcarcel, pela orientação desta dissertação.

Ao Professor Dr. Marcos Gervásio Pereira, DS/IA, pela valiosa colaboração na realização dos trabalhos no Laboratório de Análises Granulométricas do IA.

Aos Professores Dr. Alexandre Miguel do Nascimento e Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca, pelo auxílio nas análises estatísticas. Exemplos de profissionalismo.

À Sepetiba Engenharia e Comércio Lt^{da}, por ceder sua área a um apelo maior que é a pesquisa científica.

Agradecimentos ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, pela doação da imagem aérea (Escala 1:50.000) da área de estudo desta dissertação.

À Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, pelo consentido acesso aos dados de precipitação da série história da Estação Meteorológica de Coroa Grande, RJ.

A todos os amigos do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, LMBH/DCA/IF, entre eles: Gustavo Coelho, Leonardo Gradiski Neves, Carlos Augusto de Alencar Pinheiro, Otávio Marques, Ralph Trancoso e Miguel Rodrigues, sempre presentes para um apoio nos trabalhos e no dia-a-dia.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram a concluir este valioso projeto. Meu muito obrigado!

Biografia

RODRIGO GABURRO TREVISOL, filho de Mauro Fernando Trevisol e Maria Marlene Gaburro Trevisol, nasceu no dia 20 de Julho de 1976, na cidade de Linhares, ES. Em 1993, concluiu o curso Técnico em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Colatina (EAFCOL), ES. Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em setembro de 1999. Nos anos de 2000 e 2001 atuou como Consultor na área de Engenharia Florestal. Em março de 2001 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (Mestrado) oferecido pelo Instituto de Florestas da UFRRJ. Em maio de 2001 foi contratado pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro - PMRJ, Projeto Mutirão Reflorestamento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 APRESENTAÇÃO.....	2
2.2 DINAMISMO DE PROCESSOS EROSIVOS.....	4
2.3 OBRAS FÍSICAS.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	9
3.2 MEDIDAS FÍSICAS IMPLANTADAS.....	12
3.2.1 Dique.....	12
3.2.2 Praça de sedimentação.....	15
3.2.3 Espigões.....	15
3.2.4 Muros de desvio.....	15
3.2.5 Caixas terminais.....	16
3.2.6 Caixas de passagem.....	16
3.2.7 Caixas dissipadoras.....	16
3.2.8 Canaletas.....	16
3.2.9 Tubulações de PVC.....	17
3.2.10 Travessas.....	17
3.2.11 Defletores.....	17
3.2.12 Suportes de aqueduto.....	17
3.3 DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	17
3.4 BASE CARTOGRÁFICA.....	18
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS DIQUES.....	18
3.6 ÁREA DE INFLUÊNCIA DA ZONA DE SEDIMENTAÇÃO.....	20
3.7 GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS.....	20
3.8 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA.....	23
3.9 REDIRECIONAMENTO DO LEITO.....	23
3.10 PENDENTE DE COMPENSAÇÃO.....	25
3.11 PROPRIEDADES EMERGENTES.....	25
3.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 CARACTERÍSTICAS DOS DIQUES.....	28
4.2 ÁREA DE INFLUÊNCIA.....	29
4.3 CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO.....	29
4.4 ANÁLISE DOS SEDIMENTOS.....	34
4.5 UMIDADE DE SEDIMENTOS.....	42
4.6 REDIRECIONAMENTO DO LEITO.....	43
4.7 PROPRIEDADES EMERGENTES E COLONIZAÇÃO VEGETAL.....	44
5. CONCLUSÕES.....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXO 1 - FOTOGRAFIAS.....	52
ANEXO 2 - FÓRMULAS.....	56
ANEXO 3 - FIGURAS.....	58
ANEXO 4 – LEVANTAMENTO FLORÍSTICO.....	65
ANEXO 5 – GLOSSÁRIO.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização relativa da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Figura 2: Drenagens disciplinadas a partir de 1993.

Figura 3: Dique.

Figura 4: Perfil longitudinal do dique.

Figura 5: Redirecionamento do leito influenciado pelo Dique.

Figura 6: Microbacias da área de empréstimo

Figura 7: Série histórica das precipitações consistidas da Estação Meteorológica de Coroa Grande.

Figura 8: Classes texturais presentes em 7 diques utilizados para recuperação de área degradada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Figura 9: Curvas de frequência acumulada da distribuição granulométrica de sedimentos do Dique 3.

Figura 10: Curvas de frequência acumulada da distribuição granulométrica de sedimentos do Dique 4.

INDICE DE TABELAS

- Tabela 1: Análise química dos solos da região onde está inserida a área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.
- Tabela 2: Obras físicas do projeto de recuperação da área de empréstimo da Ilha da Madeira.
- Tabela 3: Características dos diques do projeto de recuperação da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.
- Tabela 4: Áreas de influência originadas a partir da construção dos diques no projeto de recuperação de áreas degradadas da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.
- Tabela 5: Chuvas registradas na Estação Meteorológica de Coroa Grande (1993 - 1998) (Continua).
- Tabela 6: Classes granulométricas dos sedimentos da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.
- Tabela 7: Quadro de Análise de variância para Calhaus em 7 diques, 2 distâncias e 2 profundidades, utilizando delineamento ensaio fatorial em blocos casualizados.
- Tabela 8: Quadro de Análise de variância para Areia em 7 diques, 2 distâncias e 2 profundidades, utilizando delineamento ensaio fatorial em blocos casualizados.
- Tabela 9: Resumo dos resultados de Análise de Variância para os diques (1 a 7) e as granulometrias Calhaus ($> 2,00\text{mm}$) e Areia ($0,1 < \varnothing < 0,25\text{mm}$).
- Tabela 10: Quadro de Análise de variância do teor de umidade entre os 7 diques e 2 profundidades utilizando delineamento ensaio fatorial em blocos casualizados.
- Tabela 11: Comparações entre médias de umidade (U%) pelo Teste de Tukey, para dique e profundidade.
- Tabela 12: Espécies de ocorrência espontânea na área de influência dos diques da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.
- Tabela 13: Espécies implantadas na área de influência dos diques da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

RESUMO

TREVISOL, Rodrigo Gaburro. **Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica: diques**. Seropédica: UFRRJ, 2002. 86p. (Dissertação - Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza).

Estudo realizado na área de empréstimo da Ilha da Madeira, município de Itaguaí, RJ, onde, de uma área de 10,81 hectares, foram extraídos 1.400.000 m³ de substrato para a construção do Porto de Sepetiba, entre os anos de 1978 - 1979. Em 1980, o local foi abandonado, até 1993. Neste período, os processos erosivos ocorreram livremente, sem qualquer tipo de medida conservacionista. O decapeamento médio do terreno foi de 13 metros, e o aprofundamento de incisões erosivas continuavam intensas em 1993. Em 1994, foram construídos 7 diques, como parte do conjunto de medidas físicas conservacionistas do projeto de recuperação de área degradada, objetivando reverter a tendência de degradação. Eles se assorearam em 9 meses, com 119 chuvas, das quais 2 intensas (83,90 e 158,40mm), totalizando 1.681,40mm durante o período. Os principais elementos de avaliação do funcionamento dos diques foram a superfície da microbacia (5,57 ha), o volume médio de obras construídas (27,67 m³), volume total de sedimentos retidos (1.137 m³), dispostos sobre 7 áreas, que totalizam 0,11 ha de superfície semiplana, com sedimentos, nutrientes e condições para abrigar 85 famílias botânicas, 122 espécies vegetais e colonização média de 3.391 indivíduos/ha. Foram coletadas amostras dos sedimentos depositados ao longo da área de sedimentação de cada dique, em profundidades e distâncias distintas, tendo em vista a busca de indicadores do geodinamismo dos processos erosivos. A granulometria predominante nos sedimentos é constituída de areia (90%), distribuída de forma irregular em relação à profundidade e à proximidade do vertedor, caracterizando propagação de sedimentos por ondas de deposição ou camadas. Quanto aos efeitos da sedimentação dos diques na retenção de umidade pelas partículas, foram encontrados 3 níveis de umidade estatisticamente diferentes entre si, e apenas 2 diques tiveram diferença de umidade entre 1/3 e 2/3 da profundidade de assoreamento, sendo que a maior umidade ficou confinada na parte superior, por apresentar maior quantidade de sedimentos finos.

Palavras-chave: Erosão, recuperação de áreas degradadas, medidas físicas.

Comitê: Ricardo Valcarcel - UFRRJ (orientador), Adacto Benedito Ottoni - UERJ, Maria Hilde Barros Goes - UFRRJ.

ABSTRACT

TREVISOL, Rodrigo Gaburro. **Avaluation of physical measurements to recover the Mata Atlântica Rent Area: dikes. Seropédica, 2002. 86p. (Dissertation – Master Degree in Environmental and Forest Sciences, Nature Preservation).**

This study was carried out in a Rent Area in Ilha da Madeira, Itaguaí Municipality, Rio de Janeiro, in an area of 10,81 hectares, at this site 1.400.000 m³ of substrate had been extracted from 1978 to 1979 for constructing Sepetiba Port. In 1980 the area had been abandoned until 1993, and the erosive processes runned freely without any conservation actions. The middle devastating for building Sepetiba Port was 13 meters depth and the erosion incisions had been still intense in 1993. Seven dikes were built on 12 physical measurements as complementar preservation effects to avoid degradation. They were blocked for the erosion sake during 9 months, with two hard rains (83,90 mm and 158,40 mm) and regular rains along the period. The principal components to evaluate the dikes work were: the microbasin collecting area (5,57 ha), the middle bulk of work using stones and mortar (27,67 m³), the total volume of kept sediments (1.137 m³), placed on 7 individual areas, totalizing 0,11 ha of semiplan area, on a total of sediments, nutrients and conditions to protect 85 botanical families, 122 vegetal species and a medium colonization of 3.391 individuals/ha. Sediment samples were collected along the sedimentation area among different depths and distances keeping on mind the search of geodynamics indicators of erosive process. Granulometric variations on the sediments have been found about the depth and between the dikes. Regarding the hidraulic torrential it has been observed that the predominant granulometry of the sediments contain 90% of sand, on an irregular shape in relation to the depth and the nearness spillway, characterizing a propagation of sediments by waves or layers deposition. As consequence of dikes sedimentation 3 levels of humidity, statistically different between them, have been reported and only two of them have been different in relation to the humidity ranging from 1/3 to 2/3 of the sedimentation depth, pointing to the greater humidity level on the upper layer because of the greatest amount of thin sediments.

Keywords: erosion, recovery of degravated areas, physical measurements.

Commitee: Ricardo Valcarcel - UFRRJ (adviser), Adacto Benedito Ottoni - UERJ, Maria Hilde Barros Goes - UFRRJ.

1. INTRODUÇÃO

Áreas de empréstimo são locais onde ocorreram intensas atividades degradadoras envolvendo a retirada de substrato, compactação do solo e grandes alterações da topografia local, gerando impactos ambientais que comprometem os processos ecológicos e hidrológicos, dificultando os ecossistemas a adquirirem resiliência (UFRRJ, 1993). Este fato é agravado pela baixa disponibilidade de nutrientes assimiláveis e incipiente retenção de umidade pelo substrato.

A área de empréstimo deste estudo totaliza 10,80 ha, de onde foram retirados 1.400.000 m³ de substrato para construção do Porto de Sepetiba, durante os anos de 1977 à 1979 (Anexo 1 - Fotografia 1). Em 1980, com a inauguração do Porto, as atividades construtivas foram interrompidas, assim como as de extração de substrato da área de empréstimo. No período de 1981 a 1993 não foram desenvolvidas atividades conservacionistas nessa área. As chuvas torrenciais, associadas à baixa taxa de infiltração dos solos, susceptibilidade aos agentes erosivos e ausência de resiliência, foram responsáveis por intensos processos erosivos, desconfigurando a morfologia do local (Anexo 1 - Fotografia 2; SILVA & VALCARCEL, 1996; VALCARCEL & SILVA, 2000).

Para reverter o geodinamismo dos processos erosivos, em 1993 foram implantadas medidas físicas e medidas biológicas e, a partir de 1995, as medidas físico-biológicas (VALCARCEL & D'ALTÉRIO, 1998). As medidas físicas objetivam reverter a tendência continuada de degradação do ecossistema, consistindo em estratégia emergencial de recuperação de áreas degradadas. Elas podem criar condições para que, a médio e longo prazo, o ambiente consiga resiliência (Anexo 1 - Fotografia 3). Elas atuam na captura, condução e disciplinamento dos fluxos superficiais, reduzindo a velocidade e o poder erosivo nos sulcos sobre terreno inconsistente, sem matéria orgânica, propriedades físicas e nutrientes disponíveis para o estabelecimento das plantas, tornando-os altamente susceptíveis aos processos erosivos, durante as enxurradas.

As medidas físicas, além de reduzirem o poder abrasivo das enxurradas, criam estruturas de acumulação de sedimentos e formação de “ilhas de resiliência” em pontos críticos na área degradada.

A definição da estratégia para recuperação de áreas degradadas, utilizando um caso real, com base científica pré-estabelecida, permite avaliação de sua eficiência conservacionista. Essa ação beneficia toda a sociedade, e o Poder Público em especial, pois cria paradigmas que podem interferir na adoção de políticas e de fiscalização ambiental na implantação de medidas conservacionistas em atividades degradadoras, tais como: mineração, urbanização, construção de estradas, hidrelétricas, entre outras.

A determinação da eficiência conservacionista, a partir de indicadores ambientais, como a área de influência, capacidade de armazenamento de sedimentos, umidade e pendente de compensação, elucidam aspectos do funcionamento das obras e auxiliam no dimensionamento de futuros projetos.

Esta dissertação tem como objetivo a caracterização dos aspectos construtivos: comprimento, largura, altura e profundidade dos diques, entre outros, e a avaliação de seu funcionamento como elemento do conjunto de medidas físicas para recuperação de áreas degradadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Apresentação

A interação entre os sistemas hidrológicos, geomorfológicos e biológicos determinam o dinamismo dos processos erosivos nos ecossistemas (KOBAYAMA *et al.*, 1998).

As variáveis ambientais, como vegetação, solo e precipitação, juntamente com as características morfológicas, como topografia, são importantes agentes na busca pelo equilíbrio ambiental. Nesse conjunto de fatores, é importante compreender cada processo e a inter-relação entre eles.

Áreas com avançado estado de desequilíbrio necessitam de medidas físicas para reverter a tendência de degradação e promover o estabelecimento da cobertura vegetal, permitindo, assim, a reconstrução do ecossistema. Essas medidas são representadas pela construção de obras longitudinais na encosta, obras transversais nas drenagens e estruturas de indução da sedimentação (VALCARCEL, 1991).

Poucos sítios degradados que foram abandonados recuperam sua vegetação rapidamente. Pode-se dizer que alguns, devido às condições impostas pela degradação ambiental nunca o fazem (GRIFFITH *et al.*, 1996). Exemplificando, podemos citar taludes não recuperados da antiga rodovia Rio – São Paulo, com mais de 50 anos de abandono, assim como as regiões próximas às barragens de Ponte Coberta e Ribeirão das Lajes, e sem indícios de recuperação (UFRRJ, 1986).

A recuperação de áreas de empréstimo e taludes representam situações específicas, demandando metodologias próprias. As maiores dificuldades no processo de recuperação destas áreas referem-se à falta de propriedades edáficas do substrato. Enquanto em áreas não degradadas o horizonte “A” caracteriza-se por ser friável e rico em matéria orgânica, em áreas de empréstimo, o substrato edáfico encontra-se exposto, com afloramentos de rochas e composição mineralógica não assimilável pelas plantas (UFRRJ, 1993).

A vegetação protege o solo em três níveis: copa (folhas e ramos), superfície (troncos e raízes afloradas) e interior (raízes). As plantas acrescentam matéria orgânica aos solos, tornando-os porosos e com melhor drenabilidade interna, retirando água em excesso, liberando-a para atmosfera (transpiração), promovendo o sombreamento, diminuindo a evaporação e a perda de matéria orgânica (FENDRICH *et al.*, 1991).

A matéria orgânica depositada pela vegetação é um agente eficaz na dissipação da energia cinética das gotas de chuva, com destaque para a cobertura próxima ao solo (LLANO, 1994). O dossel arbóreo superior a oito metros de altura permite às gotas recuperar parte de sua velocidade terminal de queda, e com ela a energia cinética.

A vegetação também contribui na intemperização das rochas, transformando-as em solo. Pode-se admitir que ela contribui na “construção” de solos de áreas degradadas (VALCARCEL & D’ALTÉRIO, 1998).

Entre os diversos efeitos da vegetação, na proteção contra os processos erosivos, destaca-se a manutenção da infiltração da água e travamento do solo pelas raízes (PEREIRA, 1994; SOUZA, 1996; SANTOS, 1998; GONÇALVES, 1998).

Um dos fatores mais importantes a serem considerados na análise hidrológica de uma bacia é a relação envolvendo solo e vegetação. O tipo de vegetação, densidade da

cobertura vegetal e seu estágio de crescimento desempenham papel fundamental nessa interação (ROJAS, 1980; LLANO, 1994).

LLANO (1994) destaca a importância dos espaços florestais que ocupam posições estratégicas nas bacias, por estarem situados, fundamentalmente, nas cabeceiras e zonas médias, onde as precipitações são maiores e o relevo acidentado. A existência de florestas nesses locais é de fundamental importância para o bom desempenho das funções hidrológicas do ecossistema, e pela busca do equilíbrio ambiental.

Nas Serras do Mar e Mantiqueira, em regiões de climas tropicais e subtropicais, observam-se pacotes profundos de regolito sobre relevo acidentado, onde o equilíbrio é garantido pela presença da cobertura vegetal. Essa estabilidade propicia o intemperismo profundo das rochas. As raízes da floresta estruturam o solo, conferindo resistência ao cisalhamento, especialmente em termos de resistência à tração, do mesmo modo como age a armadura metálica no concreto das obras geotécnicas (LOPES, 1996).

O sistema radicular confere resistência ao cisalhamento dos solos, mantendo relação diretamente proporcional ao aumento da densidade de raízes (PRANDINI, 1976 *apud* SANTOS, 1998).

A influência da cobertura vegetal sobre o solo se manifesta essencialmente através do efeito estruturador granulante do sistema radicular, da sua parte aérea, do efeito cimentante e estabilizador de substâncias orgânicas secretadas pelas raízes e sintetizadas pelos microorganismos do solo no processo de decomposição da matéria orgânica (FERNANDES & LEITE, 1985; FILHO & MUZILLI, 1996).

A água funciona como principal agente desestabilizador do equilíbrio entre as forças do ecossistema. Esse papel é perceptível nas montanhas e bacias torrenciais onde o equilíbrio homeostático é incipiente (VALCARCEL & D'ALTÉRIO, 1998).

A chuva é o fator climático mais ativo na degradação dos solos, com respostas diretas pela ação das variáveis intensidade, duração e frequência das precipitações (VILLELA, 1975; SARDINHA & MACEDO, 1981). Ela dá origem aos escoamentos superficiais e subsuperficiais, culminando com processos de erosão superficial, subsuperficial e deslizamento. Atua, por outro lado, no processo de construção dos solos (KOBAYAMA *et al.*, 1998).

O efeito do relevo sobre o hidrograma indica que quanto maior for a declividade média da unidade hidrológica, menor será o tempo de concentração das águas de escoamento, na rede de drenagem e afluentes para o curso principal (LLANO, 1994) (Anexo 2 – Fórmula 1).

A inclinação da encosta não é necessariamente indício de que o solo seja instável. Há que se examinar pelo menos o tipo de material que a compõe. Na Serra do Mar, as vertentes mais instáveis são de baixa inclinação (usualmente de 12° a 15°) e constituídas por depósitos de tálus. Encostas formadas por solos residuais e por rocha podem permanecer estáveis, mesmo na presença de declividades acentuadas (LOPES, 1996).

A relação entre declividade da encosta e a frequência de movimentos de massa foi estabelecida através de equação de Coulomb, que relaciona o aumento do ângulo da encosta com a redução do fator de segurança (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; GUERRA & CUNHA, 1998).

Segundo SWANK (1994) o escoamento superficial e a declividade possuem tendências estabelecidas, sendo os locais declivosos aqueles que apresentam menor profundidade do solo, capacidade de armazenamento e tempo de saturação, gerando escoamento superficial com maior frequência, mesmo com baixos índices pluviométricos.

SPOLIDORO (2000), estudando a distribuição das paisagens no Maciço Madureira – Mendanha, RJ, observou que a variável declividade não define tendências que pudessem justificar a presença de vegetação predominante, constituída por capinzais. De acordo com o autor, seria esperada frequência maior dessa unidade em relevos de maior declividade, pois a desidratação, ou tempo de retardo de emissão da água da chuva, seria maior, sugerindo que outros fatores também exercem influência na retenção de água pela encosta.

O solo tem várias definições, segundo os objetivos que se pretendem. Priorizam-se suas características geotécnicas quando interessa trabalhar com obras urbanas, industriais ou de infra-estrutura, e utilizam-se variáveis edafológicas quando a atividade é agrária ou de desenvolvimento regional (LLANO, 1994).

A distribuição da umidade no solo varia com a altitude e ao longo da catena, podendo causar o desenvolvimento diferenciado das plantas (GUERRA & CUNHA 1998). A espessura do regolito pode causar diferenças no comportamento hidrológico das encostas (ONDA, 1992; KOBAYAMA *et al.*, 1998).

A erodibilidade dos solos frente aos processos erosivos depende de fatores intrínsecos, dentre os quais: textura, estrutura, teor de umidade, permeabilidade e composição. Juntamente com variáveis como tipo e extensão da cobertura vegetal, e grau de declividade do terreno, refletem sua resistência aos processos erosivos (FENDRICH, 1991).

Terrenos caracterizados como subsolos, por possuírem baixa qualidade estrutural e química, muitas vezes sendo desprezíveis, dependem da intervenção humana para que adquiram resistência aos eventos erosivos e, assim, revertam a tendência de degradação.

2.2 Dinamismo de Processos Erosivos

O planejamento adequado das questões ambientais envolve a análise integrada dos recursos água, solo e vegetação, em bacias hidrográficas (LLANO, 1994). Esses recursos formam um sistema complexo, interdisciplinar, sintetizado hidro-geoecologicamente ao ciclo hidrológico, onde qualquer ação afeta o sistema e gera uma reação em resposta.

O Brasil, pela natureza de suas condições climáticas, combinadas com a disposição das cadeias montanhosas, quando submetidas a intensas ações antrópicas, está sujeito a fortes movimentos de massa, desde áreas urbanas até mesmo áreas rurais (GUERRA & CUNHA, 1998).

As voçorocas surgem, em sua maior parte, devido às drenagens de águas pluviais mal conduzidas e lançadas sobre o solo desprotegido. Voçorocas também são formadas nas pastagens ao longo de trilhas de gado, em declividades íngremes e em solos cultivados, juntamente com erosão laminar severa, onde se concentra a água do escoamento (DNOS, 1972).

LLANO (1994) classificou os escoamentos geradores de fluxos em escoamentos rápidos e lentos. Os primeiros fluem pela superfície do terreno, chegando em pouco tempo à seção de controle, causando fluxos torrenciais nas encostas. Os segundos fluem por canais subsuperficiais e subterrâneos, alimentando o lençol freático e o fluxo base, que escoam pela drenagem principal, no período entre tormentas.

O escoamento superficial depende de diversos fatores para sua ocorrência, podendo ser de natureza climática, relacionados à precipitação, ou de natureza fisiográfica, ligados a características físicas da bacia (VILLELA, 1975).

Em condições normais, as encostas apresentam-se subsaturadas de água, significando que os meso e microporos formam meniscos capilares e podem agregar água, aumentando a resistência do conjunto. Entretanto, quando ocorrem fortes chuvas, há uma saturação progressiva do solo até o regolito, aumentando sua densidade aparente e propiciando a ruptura dos meniscos capilares com pressão neutra, tornando-se positiva e reduzindo a resistência ao cisalhamento (LOPES, 1996).

Erosão é o processo de desgaste da superfície terrestre pelo qual as partículas de solo e rocha são carregadas pela água, vento ou geleiras sob a forma de arraste, rolamento ou mesmo suspensão na água ou ar (PEREIRA, 1994; SOUZA, 1996). Quando a erosão resulta apenas de eventos naturais, sem a influência do homem, ela é denominada erosão geológica ou natural. A erosão geológica é que molda a superfície terrestre e seu efeito carece de importância agrícola, pois é equilibrado pelo processo de gênese do solo.

A água que escoam superficialmente é o principal agente de transporte das partículas do solo e de outras substâncias. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da razão infiltração/precipitação, bem como da intensidade, duração, frequência e distribuição da chuva, posição do solo na paisagem, cobertura vegetal, declividade e do comprimento de rampa. Quanto maior o volume e a velocidade da enxurrada, maior será a capacidade para desprender e transportar sedimentos (SOUZA, 1996).

Três processos atuam na erosão do solo: desagregação, transporte e deposição de matéria orgânica e nutrientes do solo. A desagregação das partículas de solo pelo efeito integrado da energia de impacto das gotas d'água e da turbulência do escoamento superficial constitui o estágio inicial e mais importante do processo de erosão hídrica (BAHIA *et al.*, 1992).

Após o desaparecimento da vegetação das encostas, rompe-se o equilíbrio natural, e os agentes erosivos atuam livremente, arrastando, por vezes, vultosas quantidades de solo, das zonas altas para as baixas, provocando assoreamentos nos cursos de água e a inundação dos campos marginais (SARDINHA & MACEDO, 1981).

A erosão acelerada se estabelece quando os elementos naturais de equilíbrio são suprimidos, expondo o solo a agentes erosivos que intensificam o processo, constituindo um fenômeno de alto significado agrícola e ambiental. Do ponto de vista agrônomo, apenas a água e o vento são estudados como agentes de erosão do tipo acelerada, sendo que nas condições brasileiras a erosão hídrica é considerada mais grave que a eólica (BAHIA *et al.*, 1992; SOUZA, 1996).

As componentes que interferem na perda do solo incluem fatores como: porcentagens de areia, silte, argila, matéria orgânica, pH, estrutura, densidade aparente, superfície modificada do solo, magnitude das chuvas, concavidade ou convexidade da

encosta, espaço poroso ocupado pelo ar, efeito de solos residuais e interações entre as variáveis (WISCHMEIER & MENNERING, 1969; LIZASO, 1980).

Os condicionantes naturais podem, juntamente com o manejo inadequado, acelerar a degradação. Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, declividade das encostas são algumas das condições que podem acelerar os processos erosivos (GUERRA & CUNHA, 1994; GONÇALVES, 1998).

O solo seco, ao receber precipitação intensa, pode sofrer adensamento nos primeiros milímetros superficiais, impedindo a infiltração e aumentando o volume de ar no seu interior, o que dificulta o movimento vertical de água (ELLISON, 1944; STALLING, 1957; VALCARCEL, 1989).

O processo erosivo linear pode gerar movimentos diversos no solo, pois a erosão aprofunda o sulco, a ravina ascende a encosta, os taludes frontais laterais se tornam mais altos e instáveis, rompendo-se com facilidade. Do mesmo modo, a ruptura da encosta leva à concentração do fluxo, acentuação dos processos erosivos e movimentos coletivos de terra (LOPES, 1996).

Na região Norte do país, após transcorridos 20 anos de abandono de 511 ha de áreas de empréstimo, abertas para a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, PA, ainda observam-se processos erosivos acelerados (ELETRONORTE, 1998). Esse fato evidencia a necessidade da intervenção humana para estabilização do geodinamismo dos processos erosivos e a reversão da tendência de degradação do ecossistema.

A deposição ou assentamento dos sedimentos é a última fase do processo erosivo, ou seja, o fim do transporte. Isso se verifica quando o agente erosivo perde força, diminuindo a velocidade ou volume, ou então, porque encontra um obstáculo que o faça mudar de direção, dividindo o volume, reduzindo a velocidade ou forçando sua parada (FENDRICH *et al.*, 1991).

Quando o declive de um leito varia de tal modo que a corrente se apresenta sempre em estado de saturação, isto é, quando cada escavação é imediatamente compensada por um depósito, o transporte de sedimentos na calha encontra-se em fase de compensação (SARDINHA & MACEDO, 1981).

Ao tentar-se prevenir e/ou controlar processos de instabilidade de encostas, duas estratégias de trabalho podem ser utilizadas: criar estruturas de resistências que se oponham ao movimento desencadeado, ou adequar as resistências, compondo-os com a natureza e buscando utilizar suas próprias forças para o seu autocontrole (LOPES, 1996).

A primeira filosofia se utiliza de estruturas “artificiais” de contenção para estabilização das encostas, embora levem a um equilíbrio natural da encosta. A segunda ajusta forças ativas e resistentes, gerando um novo patamar de equilíbrio, que inclui medidas de drenagem, terraplanagem e de reflorestamento.

Segundo SARDINHA & MACEDO (1981), para impedir a erosão torrencial, é preciso estabilizar os sopés dos declives, encaminhar devidamente as águas e modificar a inclinação dos taludes de forma a diminuir os efeitos do regime torrencial. As medidas preconizadas são a construção de barragens nos leitos dos rios e o reafeiçoamento das margens, de modo que a declividade corrigida se aproxime da declividade natural. O disciplinamento da água a montante não deve prejudicar as áreas tratadas.

Para que projetos de reflorestamento sejam bem-sucedidos devem ter estratégias eficientes de controle da erosão, pois essas atividades são realizadas em períodos chuvosos, e o solo fica exposto (RODRIGUES & GANDOLFI, 1998). Estas medidas são necessárias, principalmente nos primeiros anos de plantio, sendo seu efeito minimizado com o crescimento da vegetação.

2.3 Obras Físicas

A redução de declives em um canal pode ser otimizada por meio de obras projetadas para dissipar energia da água. A declividade entre duas estruturas deve ser fixada para que mantenha as velocidades e não cause sedimentação nem erosão em trechos da calha (FENDRICH *et al.*, 1991)

Obras de controle reduzem as causas que provocam a erosão, estabilizando o fundo do leito e das margens, corrigem o fluxo de água e eliminam os trechos irregulares. Elas podem transformar trechos transportadores de partículas erodidas, em sedimentadores, modificando as condições de fluxo existente (DNOS, 1972).

No setor de mineração, há uma ampla variedade de procedimentos geotécnicos envolvendo terraplanagem, sistemas de drenagem e retenção de sedimentos, barragens, diques de bacias de deposição de rejeitos, contenção de taludes de cortes e corpos de bota-fora (IBM, 1992; BITAR, 1997; TEIXEIRA, 2000).

Estruturas de queda dispostas ao longo do canal podem estabilizar o perfil, passando de íngreme para uma série de trechos com declividades suaves (FENDRICH *et al.*, 1991). Com esses procedimentos, reduzem-se os processos erosivos no leito e nas margens, diminuindo a escavação e a sedimentação no fundo do leito (LLANO, 1994).

Nas bacias instáveis, a tensão de tração das águas supera a capacidade de resistência da calha, ocorrendo o aprofundamento progressivo dos leitos, transporte massivo de materiais em forma de escoamentos, erosões de margens e desestabilização das adjacências. As obras que oferecem solução simples e efetiva são as estruturas transversais ao eixo da torrente: diques (LLANO, 1994).

O aterramento provocado pela retenção dos sedimentos se produz com uma declividade menor que a do talvegue, uma seção transversal ampla, condições estas que definem um menor poder de erosão das águas e formam um perfil de compensação na calha, estabelecendo a pendente de compensação (LLANO, 1994).

À medida que avançam os trabalhos de reflorestamento da bacia e as obras de correção no leito, a granulometria e o aporte de materiais serão menores, influenciando na pendente de compensação (LLANO, 1994).

A correção de uma torrente não se limita à simples modificação do seu perfil longitudinal, mas requer um conjunto de medidas susceptíveis de consolidarem os terrenos, de forma a impedir ou atenuar toda a atividade erosiva, superficial ou profunda (SARDINHA & MACEDO, 1981).

A manutenção do sistema hidráulico nos processos erosivos acelerados é tão importante quanto a da voçoroca na bacia de drenagem. Ela chega a dispensar a implantação de obras ou substitui grandes obras por pequenas medidas de engenharia, quando feitas adequadamente, impedindo o seu colapso (FENDRICH *et al.*, 1991).

A diminuição do declive longitudinal e o aumento da rugosidade e resistência do perímetro molhado são medidas recomendadas para reduzir a socavação do leito (SARDINHA & MACEDO, 1981).

Os princípios que estabelecem o desenho e uso de obras destinadas à correção e à estabilização de bacias estão dirigidos à regulação e controle total ou parcial dos efeitos que a dinâmica dos fluxos produzem nos processos de erosão, transporte e sedimentação dos materiais, em ecossistemas com ténue equilíbrio ambiental (LLANO, 1994).

Projetos de correção de torrentes devem definir primeiramente os trechos a serem corrigidos e a seqüência mais conveniente da execução das obras, ou seja, a necessidade de serem executadas simultaneamente em todos os trechos, ou se há prioridade relativa a certos trechos (SARDINHA & MACEDO, 1981).

O dimensionamento dos diques depende da vazão máxima na seção considerada, pois, com o uso dela, será feito o cálculo do vertedor e do perfil de compensação (SARDINHA & MACEDO, 1981).

Se a vazão máxima não é bem determinada, conseqüentemente o vertedor não será corretamente dimensionado; pode ocorrer o transbordamento através de toda a crista do dique, o que causará erosões no corpo da obra, fundações e ombreiras laterais, pondo-se em perigo a sua segurança (SARDINHA & MACEDO, 1981).

Um projeto de recuperação ambiental contempla o desenho de canais com dissipadores de energia na sua extremidade, visando a reduzir a velocidade de escoamento, e não provocar escavações à jusante, o que poderia causar o colapso do canal e de todo o sistema de controle de erosão (FENDRICH *et al.*, 1991).

A maioria das medidas físicas tem como objetivo reduzir os efeitos dos processos erosivos em curto prazo, viabilizando, assim, a implantação das medidas biológicas satisfatoriamente, adequando a área degradada a uma nova realidade, onde os efeitos dos processos erosivos sejam estabilizados de forma definitiva (ANDRADE, 2000).

As obras físicas permitem que a médio e longo prazo haja integração com os efeitos conservacionistas da vegetação, reduzindo o escoamento superficial, a erosão, promovendo a estabilização das vertentes e, por fim, a obtenção do equilíbrio ambiental (ANDRADE, 2000).

Segundo SARDINHA & MACEDO (1981), essas obras constituem um meio rápido, e, muitas vezes, provisório, de impedir a degradação dos solos, enquanto a vegetação adquire condições de sustentar o ecossistema de forma definitiva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região denominada Costa Verde, distrito de Ilha da Madeira, no município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro. Está posicionada na latitude 23° 55' 07" - 23° 55' 57" Sul, e longitude 43° 49' 13" - 43° 50' 35" Oeste. (Figura 1).

A região pertence ao domínio ecológico da Mata Atlântica, predominando manguezais junto ao contato com a Baía de Sepetiba e Mata Atlântica nos contrafortes da Serra do Mar.



Figura 1. Localização relativa da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

O clima da região "Aw" (tropical chuvoso com inverno seco) segundo KOPPEN (1938), também pode ser Quente, Superúmido, tipo Equatorial Sem Seca, segundo GAUSSEN (1955). Ele encontra-se em transição entre equatorial "Ec" e tropical quente "Tp", segundo PAPADAKIS (1966).

A temperatura máxima média anual correspondente ao mês de fevereiro é de 25,7°C e a mínima média anual correspondente ao mês de julho, de 19,6°C, no período de 41 anos de registro e processamento (FIDERJ, 1978).

A umidade relativa média anual é de 75%, a insolação total média anual, de 2.162,7 horas e a nebulosidade mensal varia de 4,3 a 7,1 horas, numa escala que varia de 0 a 10. Dados da Estação de Ecologia Agrícola, Itaguaí, RJ (MATTOS *et al.*, 1989).

As principais classes de solos encontrados na região da área de empréstimo são os Argissolos Vermelho-Amarelo distrófico nas vertentes, Gleissolos nas baixadas úmidas. Ambas as categorias são caracterizadas pela baixa fertilidade natural (UFRRJ, 1993 - Tabela 1) e por serem altamente susceptíveis aos processos erosivos, quando mal manejados (PRADO, 2001).

Tabela 1. Análise química dos substratos da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Setor	meq/100 ml TFSA					pH	%	ppm	
	Na	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H + Al	Al ⁺⁺⁺		C	P	K
1	0,04	0,7	0,4	0,8	0,5	5,3	0,3	10	>156
2	0,04	0,5	1,0	0,8	1,0	5,5	0,2	6	>156
3	0,04	0,9	1,3	0,8	1,0	5,3	0,8	4	>156
4	0,04	0,8	1,2	0,5	0,7	5,4	0,6	2	>156
5	0,04	0,7	1,4	0,5	0,6	5,5	0,4	3	>156

Nota: Na – sódio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; H – hidrogênio; Al – alumínio; pH – potencial de hidrogênio; C – carbono; P – fósforo; K – potássio, TFSA – terra fina seca ao ar. Fonte UFRRJ (1993).

Os setores foram caracterizados em função do estado de degradação do substrato, nível de atuação dos processos erosivos, relevo, posição relativa da catena, profundidade do afloramento rochoso e vocação para produção, transporte ou deposição de sedimentos.

Setor 1 – Relevo acidentado, declividade superior a 100% e localiza-se no terço superior da área. Apresenta vocação para emissão de sedimentos, predominando erosão laminar.

Setor 2 – Relevo suave, declividade inferior a 20%, situa-se na parte intermediária da encosta. Essa área se originou a partir dos pátios de manobras e caminhos. Apresenta vocação para alternância temporal entre deposição/retirada de sedimentos e erosão em sulcos nos locais onde haja concentração de água.

Setor 3 – Voçorocas em diferentes fases de evolução e intensidade dos processos erosivos.

Setor 4 – Drenagens, onde os processos de socavação do fundo do leito e solapamento das margens determinaram o dinamismo dos processos erosivos.

Setor 5 – Áreas aluviais, onde predominam os processos de deposição dos sedimentos de maior granulometria (areias) por longo período de tempo e deposição temporal dos sedimentos finos (argilas).

Os setores apresentam em comum a baixa fertilidade, pH e ausência de propriedades físicas. O setor 4 representa o local onde foram realizados os estudos deste trabalho.

A Mata Atlântica é uma floresta umbrófila, localizada sobre cadeia montanhosa, situada próximo ao Oceano Atlântico, desde o Rio Grande do Sul até o Nordeste. Embora represente o maior e o mais diversificado ecossistema florestal remanescente no sudeste do Brasil, ainda é pouco conhecida sob o ponto de vista florístico (RIZZINI, 1979; LEITÃO FILHO, 1993).

Na Mata Atlântica, nascem diversos rios que abastecem as cidades e metrópoles brasileiras. Sua extensão levou à formação de diferentes ambientes, que incluem florestas de planície e de altitude, matas costeiras e de brejos interioranos do Nordeste e campos de altitude. Essa grande diversificação ambiental proporcionou à Mata Atlântica uma enorme diversidade biológica.

A flora da Mata Atlântica é composta pelo estrato arbóreo de exemplares de jacarandá (*Machaerium* sp.), araribá (*Enterolobium* sp.), ipês (*Tecoma* sp.), sapucaia

(*Lecythis* sp.), grapiapunha (*Apuleia leiocarpa*), pequiá-marfim (*Aspidosperma sessiliflorum*), cedros (*Cedrela* sp.), louro (*Nectandra* sp.), cajarana (*Spondias* sp.), canelas (*Ocotea* sp.), jataí (*Hymenaea* sp.), massaranduba (*Manilkara* sp.) e braúna (*Melanoxylon barauna*), entre outras. O estrato arbustivo é caracterizado pelas palmeiras dos gêneros *Euterpe*, *Geonoma*, *Astrocaryum*. Entre as herbáceas destacam-se: Pteridophytas e espécies das famílias Amarilidaceae, Rubiaceae, Marantaceae, Melastomataceae e Musaceae. Nas partes mais úmidas da mata, aparecem inúmeras espécies de musgos e filicíneas. Devido à competição pela luz, nas camadas inferiores, existe grande quantidade de lianas e epífitas, como as orquídeas e bromélias (MIZUGUCHI *et al.*, 1982; ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1991).

A área de estudo pertence ao domínio ecológico da Mata Atlântica, encontra-se entre duas importantes formações ecológicas: Manguezal e Floresta Secundária em estado inicial de sucessão, com abundante presença de cipós. A vegetação original foi intensamente utilizada no passado para a produção de lenha, madeira, embarcações e construção civil, sendo que a área serviu, posteriormente, para plantações de cana e pastagens.

Segundo VALCARCEL & D'ALTÉRIO (1998), a colonização vegetal espontânea na área de estudo foi incipiente nos 13 anos em que esteve abandonada. Foram encontrados nos 10,81ha de área de empréstimo, com presença incipiente de material edáfico, apenas espécies arbustivas e herbáceas: 4 exemplares de borrachudo (*Machaerium calubriana*), alguns exemplares de alecrim-do-campo (*Baccharis dracunculifolia*) e manchas localizadas de capim napiê (*Pennisetum purpureum*), capim colônio (*Panicum maximum*), tiririca (*Cyperus* sp.), carqueja (*Baccharis* sp.) e bananeiras (*Musa* sp.) colonizando fundos de drenagens com pequena declividade.

Os principais fatores ambientais, limitantes para a colonização vegetal espontânea da área de estudo, foram os solos secos e duros, sem capacidade de retenção de água, e a abundante presença de formigas (SANTOS & VALCARCEL, 1997). Os mesmos autores observaram elevada oscilação térmica diária, fator este que também cria dificuldades para o estabelecimento da vegetação.

O morrote onde está inserida a área de estudo tem, na cota, 225 metros, o seu ponto mais alto. Possuem características morfológicas regulares, e sua declividade média é de 30%.

O local acha-se inserido geologicamente na Faixa de Dobramentos Remobilizados do Atlântico (RADAMBRASIL, 1983), que se destaca no relevo, na forma de serras e colinas, ocupando aproximadamente 50% do município (GÓES 1994). São constituídos por rochas de idade pré-cambriana e litologias variadas, predominando os granitos nas áreas de altitude e no local de estudo.

Os substratos retirados entre os anos de 1979 a 1980 desconfiguraram o relevo original, passando este a ter padrão topográfico indefinido. Os solos apresentam-se inconsistentes, quando úmidos, e rígidos e duros, quando secos. Existem, atualmente, 5.542 m² de afloramento rochoso na área de empréstimo (UFRRJ, 1993).

As paisagens naturais da Ilha da Madeira modificaram-se em função das pressões dos ciclos econômicos, principalmente até o início do século, quando a região experimentou crescimento econômico significativo. A partir de então, com o esgotamento dos solos e a perda da importância agrícola da região, essas áreas foram abandonadas, o que permitiu o surgimento de propriedades emergentes, facilitadoras do recobrimento espontâneo de algumas áreas.

O município de Itaguaí teve um crescimento no seu Produto Interno Bruto (PIB) de 116% no período de 1980-1990, decorrente de indústrias extrativistas, produtos alimentares, químicos e de equipamentos (MULTISERVICE, 1990).

3.2 Medidas Físicas Implantadas

As obras físicas implantadas, em 1994, no projeto de recuperação de áreas degradadas da Ilha da Madeira (Tabela 2), foram caracterizadas, e seus efeitos na estabilização dos processos erosivos, benefícios individuais e de conjunto, descritas sem detalhamento, pois não é o escopo da dissertação. As medidas físicas foram projetadas prioritariamente para a calha, e as medidas físico-biológicas e biológicas implantadas nas encostas (Figura 2; UFRRJ, 1993).

Tabela 2. Obras físicas implantadas pelo projeto de recuperação de área de empréstimo da Ilha da Madeira.

Obra	Unid.	Quant.	Dimensão média	Localização
Dique	m ³	07	27,7	Terço médio/inferior
Praça de sedimentação	m ²	01	1.800,0	Terço inferior
Espigão	m ³	02	2,0	Terço médio
Muro	m	02	92,0	Terço superior
Caixa Terminal	m ³	05	1,5	Terço superior
Caixa de passagem	m ³	09	1,0	Terço superior
Caixa dissipadora	m ³	01	1,0	Terço superior
Canaleta	m	04	110,0	Terço superior
Tubulação PVC(Ø 0,30m)	m	01	50,0	Terço superior
Travessa	m	08	2,0	Terço superior
Defletor	m	05	0,4	Terço superior
Suporte de Aqueduto	m ³	03	4,0	Terço superior

Nota: Conjunto de medidas emergenciais que visam reverter a tendência continuada de degradação do ecossistema e promover sua recuperação ambiental. Fonte: UFRRJ (1993).

3.2.1 Dique

A terminologia técnica florestal diferencia o vocábulo “dique” de “açude” ou “pequena represa”, pois essas estruturas transversais não são dimensionadas para o represamento de fluxos líquidos, mas objetivam dar resposta a problemas associados ao equilíbrio das encostas, leitos de drenagens instáveis e taludes erosivos, retendo o material sólido, laminando fluxos hídricos e promovendo a recarga de aquíferos. Todos esses fenômenos caracterizam e dão personalidade aos espaços vocacionais florestais dentro de bacias hidrográficas (LLANO, 1994).

O dique é uma obra de gravidade, disposta transversalmente ao escoamento d'água na encosta (drenagem), tendo como objetivos reduzir a energia da água drenante e sua capacidade erosiva, redirecionar o escoamento direto na calha, reter sedimentos, e estabilizar as margens (Anexo 1 - Fotografia 4; UFRRJ, 1993).

ALTURA (m)

Escala (1:1250)

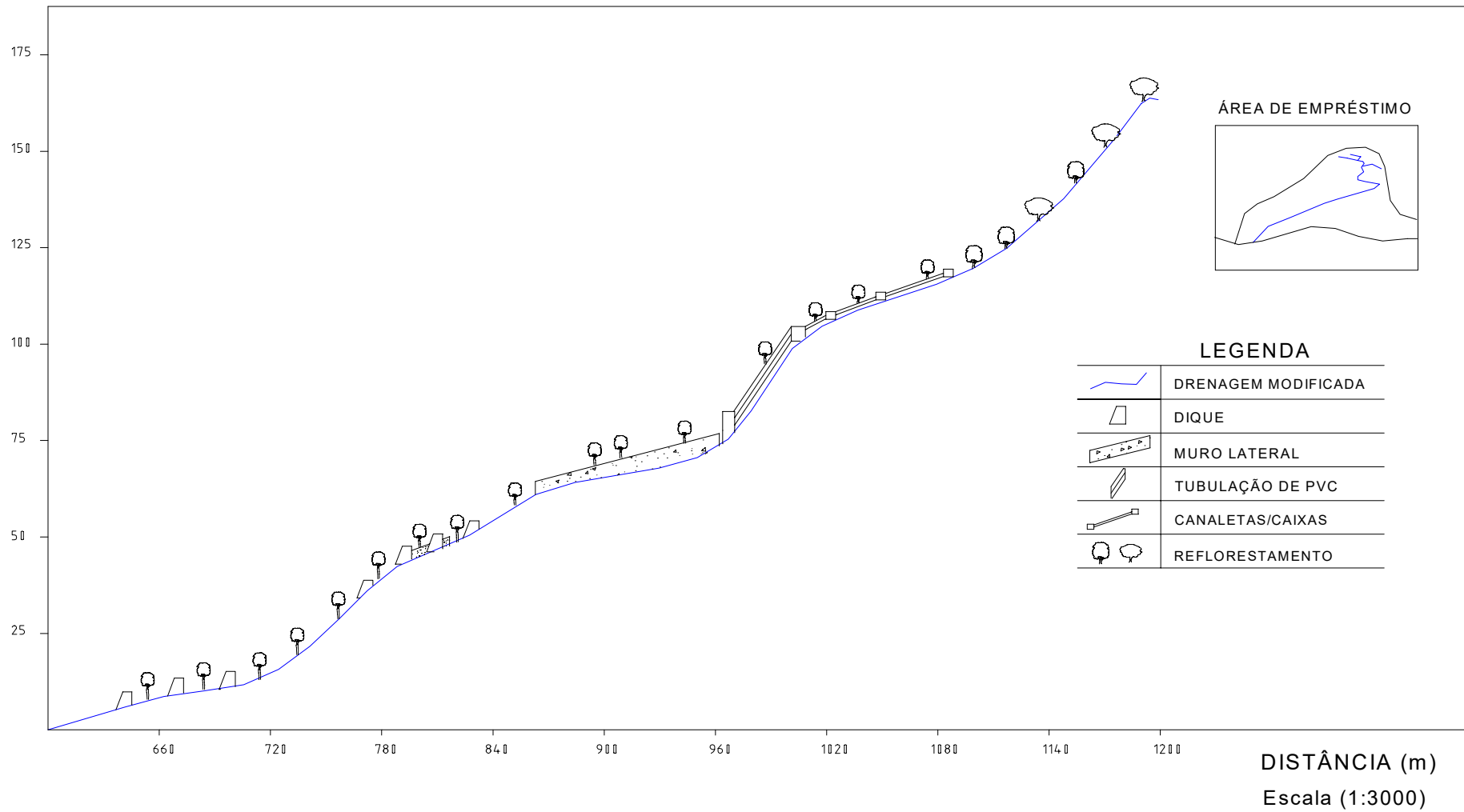


Figura 02 - Drenagens redirecionadas a partir de 1993 (Fonte: UFRRJ, 1993).

A construção de diques com menor distância entre si é recomendável para regiões críticas, sem capacidade de resiliência, pois o aterramento do talvegue, propiciado pela pendente de compensação, garante o equilíbrio do leito frente ao fluxo torrencial (LLANO, 1994).

Essas obras estão localizadas no fundo de vales, sulcos ou caminhos produzidos pela água de escoamento superficial, atuando como dissipador de energia, induzindo a infiltração da água no terreno e redirecionando o sentido do fluxo hídrico.

A elevação do leito a montante do dique dá origem a um novo perfil da calha, mais elevado e assentado sobre os sedimentos retidos, com seções amplas que possibilitam a circulação de fluxos por canais de base larga, diminuindo o raio hidráulico e ajustando a calha ao volume de água correspondente (LLANO, 1994).

A altura do dique é imposta pelos objetivos da obra, nos processos de recuperação de áreas degradadas e critérios ecológico-econômicos. Quando o objetivo é a retenção de sedimentos, a altura é observada entre as forças de deslizamento e o peso da obra (gravidade) em local de estreitamento da água. Se o objetivo é a consolidação de vertentes, a altura da obra é obtida de forma que a cota de aterramento seja correspondente à estabilização dos processos de erosão remontante.

Os diques são estruturas transversais ao curso de água sustentada pelo seu peso, principal elemento de estabilidade geotécnica. Na escolha dos materiais, devem ser consideradas as condições de segurança e custos (SARDINHA & MACEDO, 1981).

No que refere à ordem de construção dos diques, eles podem ser construídos de montante para jusante, de jusante para montante ou por trechos (SARDINHA & MACEDO, 1981). A primeira forma de construção permite determinar experimentalmente os locais de aterramento e alocação das novas obras, reduzindo os erros na determinação indireta do perfil.

Os drenos no corpo do dique possibilitam a descarga parcial da água e sedimentos menores, durante o processo de enchimento, garantindo segurança suplementar para a obra, razão pela qual, nos cálculos de estabilidade, não se considera a subpressão exercida pelas águas subsuperficiais (SARDINHA & MACEDO, 1981; LOPES, 1996).

Após assoreado, o dique não acumula umidade excessiva à montante, pois prejudicaria o estabelecimento da colonização vegetal espontânea, além de aumentar a pressão sobre o corpo da obra.

O cálculo da descarga líquida drenante foi feito pelo Método Racional (Anexo 2 - Fórmula 2), por meio do qual se obteve a altura de precipitação para a chuva de projeto. Não se deve levar em conta o amortecimento de descarga nos reservatórios formados pelos diques, porque os mesmos podem ficar assoreados rapidamente (DNOS, 1972).

A declividade do talvegue a jusante do vertedor deve ser estável, para prevenir o seu solapamento. A estabilidade do canal drenante na encosta deve ser determinada ajustando-se a velocidade do fluxo à resistência do solo e da vegetação (DNOS, 1972).

O vertedor do dique é composto por três elementos construtivos: tomada de água, condução e estruturas terminais. Nos vertedores de queda livre, não existe a condução, fato que pode causar problemas, caso a natureza do revestimento não seja compatível com o volume de água, podendo rebaixar o leito do canal e comprometer a estabilidade da obra (FENDRICH *et al.*, 1991).

3.2.2 Praça de sedimentação

É uma obra transversal à drenagem, disposta no início da planície de inundação, próxima ao exutório da bacia hidrográfica do projeto de recuperação de áreas degradadas. Possui 1.800 m² e 1,5m de profundidade. Foi construída com trator de esteira Caterpillar D4, com 12h/máquina. O material escavado foi amontoado de tal forma que se constituísse em divisor topográfico (Anexo 1 - Fotografia 5). A obra foi desenhada para permitir a remoção mecanizada dos sedimentos nos períodos de estiagem (UFRRJ, 1993).

Essa obra objetiva acumular os sólidos erodidos das encostas e não retidos pelos diques a montante, reduzindo a degradação específica da área degradada.

3.2.3 Espigões

São obras laterais que desviam o fluxo sobre as margens instáveis, além de quebrar a energia da água (Anexo 1 - Fotografia 6). Eles formam trapézios irregulares, cuja base menor se encontra no interior da calha, para prevenção contra cheias. A seção de controle permite vazão cujo tempo de recorrência é de 10 anos (UFRRJ, 1993).

Os espigões são empregados, quando se deseja proteger as margens de um rio e não é possível fazer trabalhos de retificação. Sua função é criar um distúrbio local no regime hidráulico do rio, de forma que não se modifique a distribuição natural de velocidades e não se produza erosão (LLANO, 1994). Atua no controle horizontal de fluxos hídricos, diminuindo a tensão de tração da água no contato com as margens, mediante o estabelecimento de zonas de sedimentação. A redução da seção transversal do leito causa o aumento do raio hidráulico das descargas, desviando a água e provocando a erosão para o centro do leito.

A zona de proteção estimada para a redução dos efeitos hidráulicos do espigão em rios nas várzeas é de cinco vezes a sua distância, da extremidade da obra à margem do canal. Caso esta condição não seja verificada na prática, recomenda-se a construção de baterias de espigões sucessivos (SARDINHA & MACEDO, 1981).

No projeto cuja drenagem é intermitente, eles foram construídos sobre rocha sã, e a área de escape é a metade do seu tamanho.

3.2.4 Muros de desvio

São estruturas rígidas, dispostas longitudinalmente na rede de drenagem. Têm como objetivo conduzir e redirecionar o fluxo d'água, proteger a parte baixa do talude contra a ação escavadora das margens e sustentar parte da encosta contra o risco de escorregamento. Evitam a erosão das margens e a ocorrência de inundações, não sendo capazes de absorver deformações (Anexo 1 - Fotografia 7, UFRRJ, 1993).

Segundo o DNOS (1972), essa obra aumenta a concentração de água, embora haja sua condução para locais protegidos. Ela é indicada para cabeceiras das voçorocas. O muro lateral pode ser construído sobre diferentes substratos e tem restrição quanto ao gradiente mínimo de declividade, pois não deve haver aumento de velocidade da água.

3.2.5 Caixas terminais

São estruturas colocadas no início/término das canaletas, com objetivos de captar, tranquilizar, separar os sólidos e permitir à vazão deslocar-se em fluxo laminar.

Foram construídas 3 caixas terminais de coleta de 1 m³ e uma de distribuição final, com 4 m³ e 2 compartimentos, um de separação de sólido e líquidos e outro de evacuação de líquido, através de 3 tubos de PVC de 0,30m (Anexo 1 – Fotografia 8).

3.2.6 Caixas de passagem

Obras com princípios hidráulicos similares ao das Caixas Terminais, porém com dimensões padronizadas em 1m³. Elas promovem a deposição dos sedimentos devido à redução da velocidade do fluxo. São instaladas nos pontos de angulações das canaletas, formando estirões (UFRRJ, 1993). Atualmente, estas obras estão sendo utilizadas como seção de controle para avaliação da degradação específica, em 14 microbacias na área de empréstimo (PINHEIRO, 2002). Esses estudos objetivam elucidar os benefícios diretos proporcionados pelas obras físicas como medidas conservacionistas (SILVA & VALCARCEL, 2001).

Essas obras são construídas com tijolo estrutural (Anexo 1. Fotografia 9), apresentam vertedores de entrada e saída no mesmo sentido e nível. Possuem vertedor ladrão para facilitar a evacuação das enxurradas na drenagem original.

3.2.7 Caixas dissipadoras

São obras de concreto armado, construídas para receber o impacto da água transportada pelos 3 tubos de 0,30m de diâmetro, com desnível de 50m e de uma superfície de captação de 1,08ha. Elas amortecem o fluxo e liberam a água sobre maciço rochoso (UFRRJ, 1993 - Anexo 1 - Fotografia 10).

O ponto de lançamento dos canais necessita de dissipadores de energia que possibilitem reduzir a velocidade de saída, garantindo a estabilidade do corpo receptor como da própria obra (FENDRICH *et al.*, 1991). A caixa dissipadora está localizada sobre rocha e exerce a função de quebrar energia, receber o volume de água e conduzi-lo até o muro.

3.2.8 Canaletas

São obras físicas transversais ao sentido da drenagem nas encostas, constituídas por manilhas do tipo “meia-calha” (Ø 0,60m - Anexo 1 – Fotografia 11), que captam e conduzem o escoamento superficial nos 1,08ha de área situada no terço superior do projeto (UFRRJ, 1993). Elas reduzem o contato da água com o terreno local, além de diminuir a seção da rampa de escoamento na encosta em até 3 seções (SILVA & VALCARCEL, 1996).

As canaletas de encosta são coletoras artificiais, construídas de modo a recolherem as águas de superfície, redirecioná-las e transportá-las por um percurso longo e suave, tendo como ponto de descarga final o leito estável (SARDINHA & MACEDO, 1981; DNOS, 1972; BITAR, 1997).

3.2.9 Tubulações de PVC

Objetivam conduzir águas pluviais sobre regiões críticas sem contato direto, conduzindo-as aos pontos de deságüe (caixa dissipadora) sem impactos de arraste e desagregação de materiais.

Na área de empréstimo, constituem um conjunto de 3 tubos de PVC, com 0,30m de diâmetro cada um, que conduzem por 60m o volume de água captado nos 1,08ha do trecho a montante, com desnível de 50m (UFRRJ, 1993 - Anexo 1 - Fotografia 12).

3.2.10 Travessas

São obras físicas transversais ao sentido do escoamento, localizadas nos terços médio e superior das encostas; trabalham totalmente afogadas e têm por objetivo evitar o solapamento da calha e das margens (UFRRJ, 1993). Elas foram construídas com tijolo estrutural e estão dispostas de forma seqüencial, perpendicular ao sentido do fluxo (Anexo 1 - Fotografia 13).

3.2.11 Defletores

São pequenas obras de 0,60m dispostas de forma diagonal ao sentido do escoamento, com objetivo de direcionar os fluxos em rampas íngremes e proteger o muro do fluxo torrencial (UFRRJ, 1993).

Estão localizadas na base do muro lateral e na parte próxima às caixas de dissipação, formando um ângulo de 30°.

3.2.12 Suportes de aqueduto

São obras de alvenaria que sustentam os tubos de PVC. Elas foram construídas sobre substrato inconsistente, que, eventualmente, recebem volumes de água expressivos, podendo comprometer o projeto.

Elas apresentam base em pilotis, formato losangular, com ângulo agudo voltado para a direção do fluxo da enxurrada, oferecendo segurança ao aqueduto. A torre de elevação do aqueduto é também na forma losangular, abrindo-se na extremidade superior para abrigar os tubos que estão dispostos paralelamente (UFRRJ, 1993).

3.3 Dados Pluviométricos

A precipitação diária é regularmente coletada no local, desde 1994, com auxílio de pluviômetro de chapa galvanizada (diâmetro de 40 centímetros), acoplado a mangueira plástica de ½ polegada e depósito de plástico (20 litros).

As alturas de lâmina de chuva precipitada diariamente foram convertidas através da relação de áreas (área do pluviômetro/m²) para litro/m². Os dados foram relacionados com os da estação de Coroa Grande/ANEEL.

3.4 Base Cartográfica

As unidades hidrológicas, cujos diques constituem seção de controle, foram levantadas topograficamente com auxílio de Teodolito e Nível ZAISS, utilizando o método de levantamento por irradiação (RAMOS, 1973), onde os vértices da área e as obras físicas conformaram a linha poligonal que delimita o perímetro de cada sub-bacia. As informações foram plotadas em cartografia na escala 1:1.000 e geo-referenciadas com auxílio de GPS XL 45 (GARMIN INTERNATIONAL, 1994).

Utilizou-se base plani-altimétrica do relevo original, antes da formação da área de empréstimo, cuja escala de 1:2000 (FUNDREN, 1987) permitiu estabelecer a profundidade média do decapeamento.

3.5 Caracterização dos Diques

Diques são obras transversais ao sentido do escoamento da água, disposta dentro da calha das drenagens intermitentes da área de empréstimo. Essas obras foram construídas com argamassa e pedra, em 1994, dimensionadas para conduzir vazão de projeto de 10 anos, utilizando o escoamento calculado pelo Método Racional.

Essas obras sustentam-se por gravidade e carecem de fixação lateral, motivos pelos quais precisam ser dimensionadas de tal forma que não haja vertidos laterais e nem fuga sob o manto de subsolo saprofizado e/ou drenagem entulhada.

Elas apresentam vertedores trapezoidais encaixados (Figura 3), com vertedor interno dimensionado para conduzir vazão com 10 anos de tempo de recorrência. Os vertedores externos têm tamanho variável, dependendo da forma do relevo. Eles têm função precípua de concentrar o eventual vertido para o eixo da calha, caso haja chuva que exceda a capacidade de escoamento do vertedor menor.

O “comprimento do dique” (C) é a distância entre extremidades laterais, considerando as partes enchanfradas nas paredes laterais das drenagens. A tomada de água do vertedor encaixado foi definida como “acesso da soleira”(L1) e “saída da soleira” (L2). A “base do dique”(B) é a parte situada sobre o terreno original, dentro das drenagens. Ela foi medida com abertura de tradagem na parte de acumulação de sedimentos e através dos croquis de construção das obras. A cresta do dique (b) (Anexo 2 - Fórmula 3) é a parte superior da obra. A “altura do dique”(H) registra a distância vertical desde o piso até a cresta. A “altura do vertedor”(h) (Anexo 2 - Fórmula 4) foi determinada a partir da soleira, cuja relação vertical/horizontal das paredes foi de 4/1. A “profundidade do dique”(h1) é a parte enterrada da obra. Os “diâmetros dos drenos”(Ø) situados no interior do dique foram constantes (0,10m), variando o número de drenos de 1 à 3.

ALTURA (m)

Escala (1:1250)

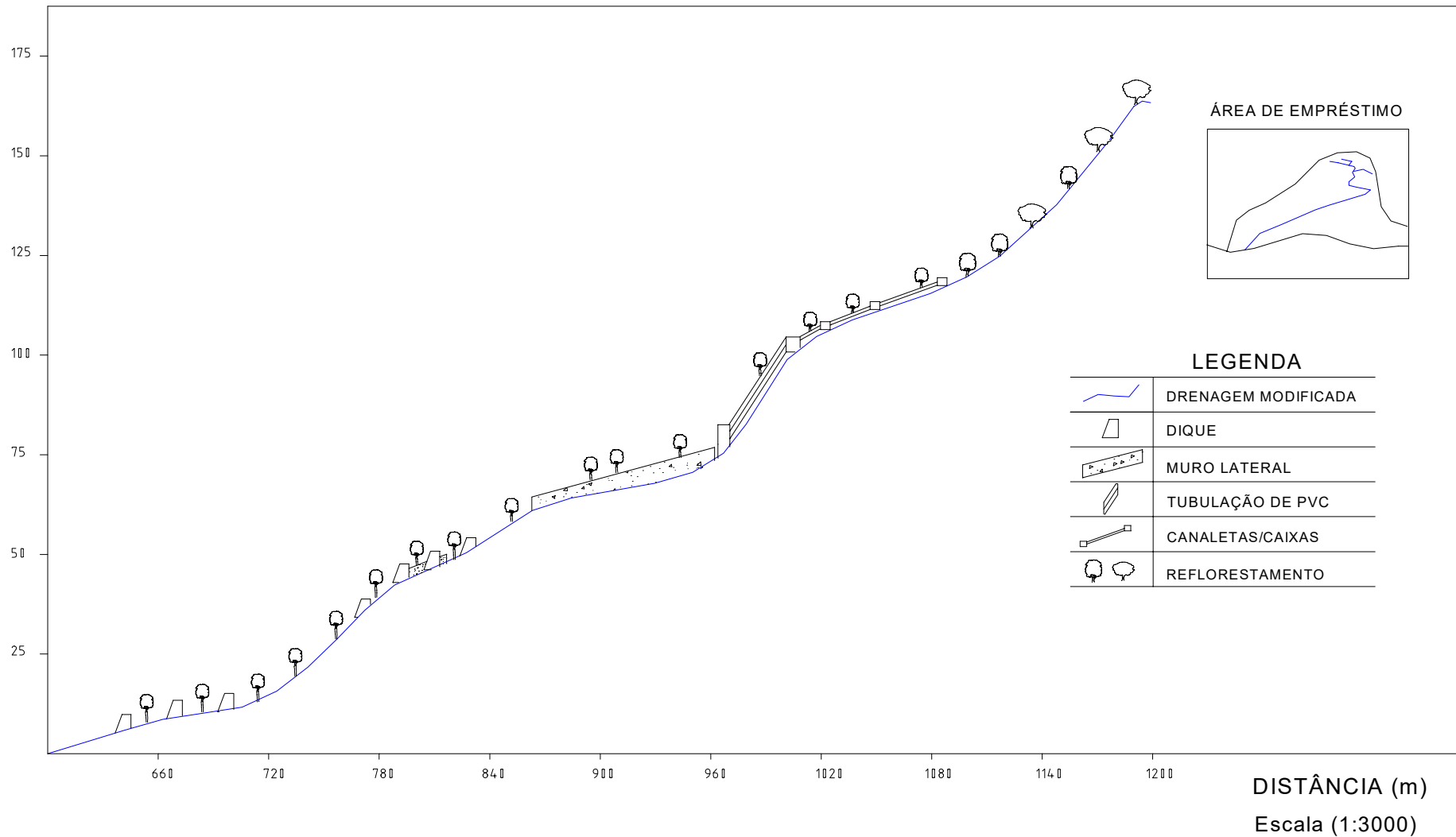


Figura 02 - Drenagens redirecionadas a partir de 1993 (Fonte: UFRRJ, 1993).

3.6 Área de Influência da Zona de Sedimentação

É a região de acumulação de sedimentos situada imediatamente a montante da seção de controle do dique (vertedor). Nela, percebem-se os efeitos da erosão na calha, solapamento ou fixação das margens, sedimentação, correção da drenagem na calha, retenção de umidade e estabelecimento de espécies espontâneas decorrente de oferta extra de atributos ambientais. Ela foi determinada até onde havia sinais de pendente de compensação (Figura 4).

O limite da área de influência foi definido como sendo o local dentro da atual calha que apresenta tendência de deposição de sedimentos induzida pela implantação dos diques. Utilizou-se o contato com o substrato autóctone como limite transversal (“Largura”). A “Distância” foi medida entre o ponto de contato do talvegue com o ângulo da pendente de compensação.

A “área” foi obtida a partir da decomposição das figuras geométricas dentro da linha poligonal fechada entre a largura e distância.

A cubagem envolveu a medição da profundidade em pontos equidistantes, 2m entre si, no centro da área com deposição de sedimentos. O volume de sedimentos foi cubado a partir da decomposição de figuras geométricas regulares.

As datas de construção e de enchimento dos diques foram registradas a partir das informações da planilha de campo do projeto e monitoramento fotográfico da sequência da implantação dessas obras pelo Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas.

3.7 Granulometria de Sedimentos

As amostras foram obtidas com trado de caneca a cada 2m a montante do dique, a 1/3 e 2/3 da profundidade de aterramento, com 3 repetições. Elas foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório do Depto de Solos/UFRRJ, para Análise Granulométrica. As amostras foram secas ao ar, dispersas com NaOH (1mol/l) e agitadas em baixa rotação por 16h (REZENDE, 1979). A argila foi determinada pelo Método da Pipeta (EMBRAPA/SNLCS, 1979). As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação (\varnothing 0,2 e 0,053mm). O silte foi obtido por diferença. Na Tabela 3 é apresentada a classificação dos sedimentos.

Tabela 3. Classes granulométricas (mm) dos sedimentos retidos nos diques de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

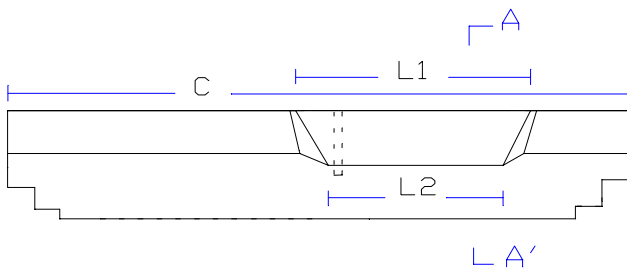
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
	AREIA					SILTE	ARGILA
CASCALHO	Muito grossa	Grossa	Média	Fina	Muito fina		
> 2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,05–0,002	< 0,002

Nota: G – Classes granulométricas.

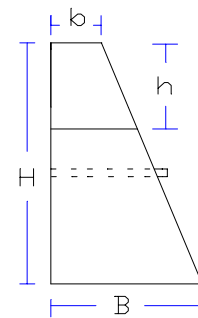
LEGENDA

C	Comprimento do dique (m)
L1	Acesso da soleira (m)
L2	Saída da soleira (m)
B	Largura da base (m)
b	Largura da cresta (m)
H	Altura do dique (m)
h	Altura do vertedor (m)
h1	Profundidade do dique (m)
\emptyset	Diâmetro do dreno (m)

Vista superior



Corte AA'



Vista de frente

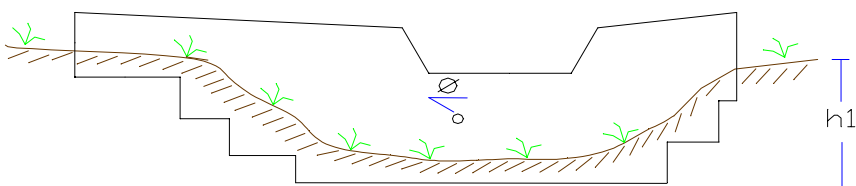
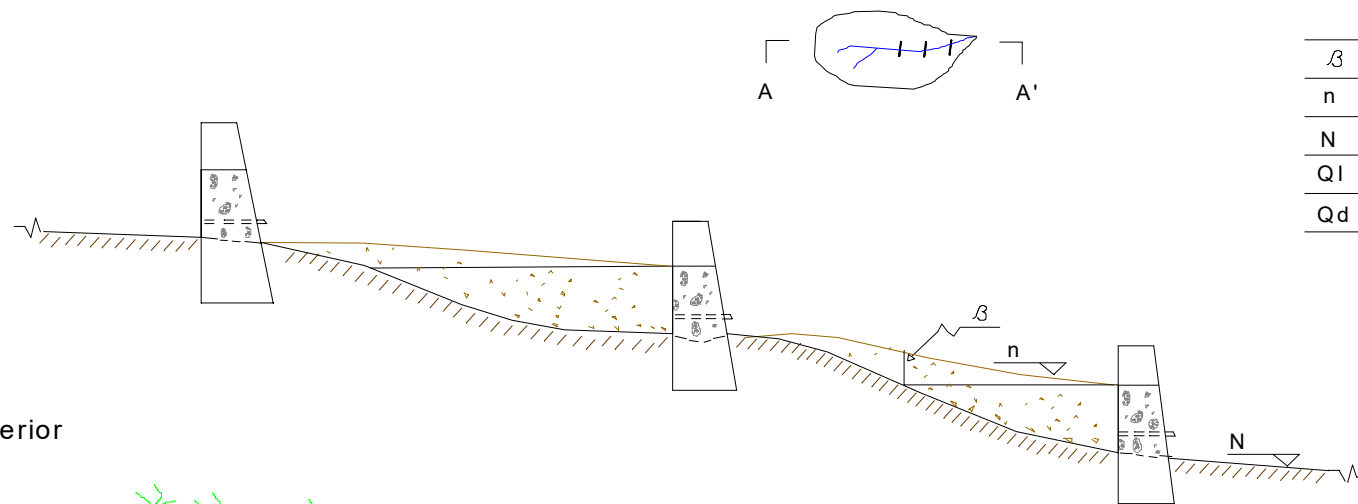


Figura 03 - Dique

Corte AA'



LEGENDA

β	Pendente de compensação
n	Nível dos sedimentos depositados
N	Nível do leito original
QI	Fluxo original
Qd	Fluxo corrigido

Vista superior

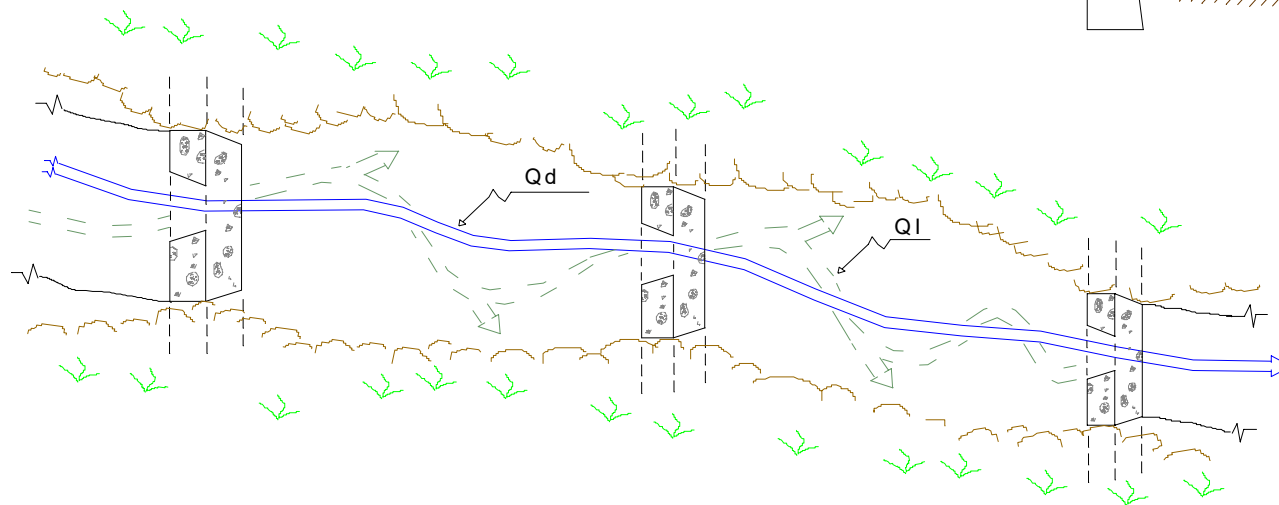


Figura 04 - Perfil longitudinal do Dique

Os materiais empregados foram: amostra de TFSA; solução de NaOH 1N; balança (0,01g); balança analítica (0,001g); agitador mecânico e manual; proveta de 1 (um) litro; termômetro e pipeta de 10 ml; cadinho, placa de pétri e pisset; peneira de malha 0,053 mm; estufa e dissecador. As percentagens de argila, areia e silte foram retiradas indiretamente pelas equações abaixo:

a) $Argila (\%) = 1000 \times (\textit{peso da argila} - 0,004)$

b) $Areia (\%) = 10 \times \textit{peso de areia}$

c) $Silte (\%) = 100 - (\% \textit{areia} + \% \textit{argila})$

3.8 Armazenamento de Água

A análise do teor de umidade tem por objetivo determinar a capacidade de retenção de água dos sedimentos depositados em camadas distintas, compará-los entre diques e relacioná-los à quantidade precipitada nas últimas chuvas. Os teores de umidade encontrados referem-se às chuvas ocorridas 3 dias anteriores às medições. Foram utilizadas amostras coletadas a 1/3 e 2/3 de profundidade da área de deposição de sedimentos.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacradas e transportadas em recipiente isotérmico até o laboratório do Departamento de Solos / UFRRJ. Subamostras (10g) foram separadas aleatoriamente para a determinação da umidade gravimétrica (Ug) em estufa. Para a determinação do peso úmido (PU) utilizou-se balança eletrônica digital (0,01g) e secagem em estufa durante 24h ($t = 103 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ - EMBRAPA/SNLCS, 1979). Posteriormente, as amostras foram retiradas da estufa e acondicionadas em dissecador e efetuadas as pesagens para a obtenção da umidade gravimétrica (Ug %; Anexo 2 - Fórmula 5).

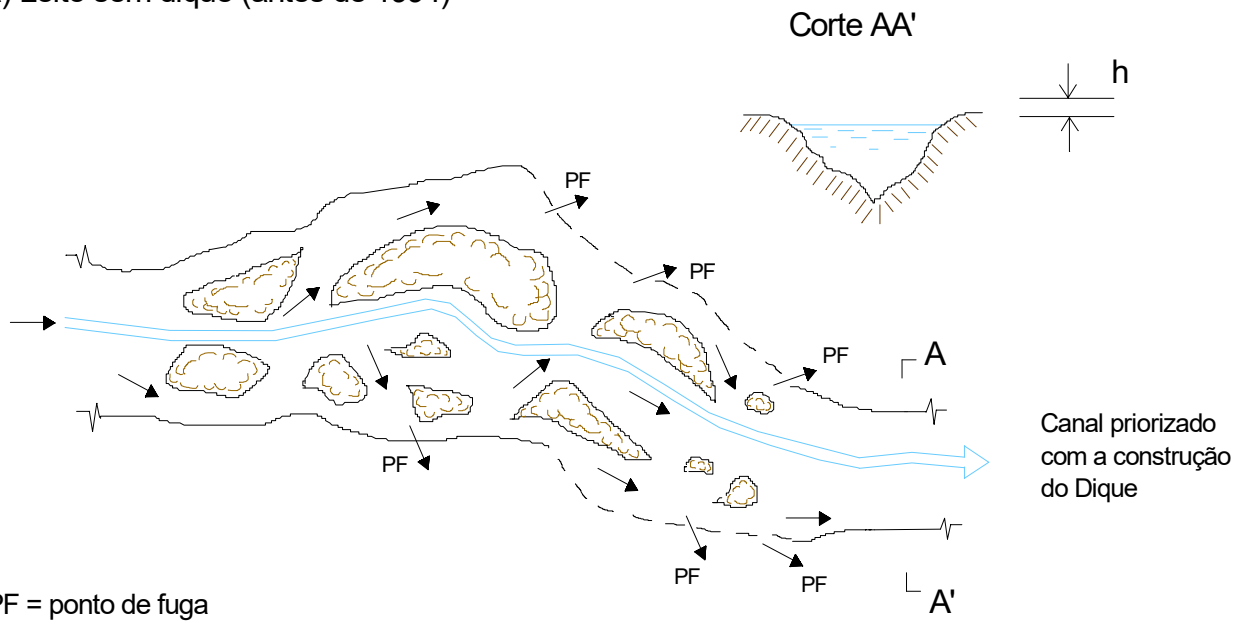
3.9 Redirecionamento do Leito

Os processos erosivos que existiam na área de empréstimo não possuíam padrão definido, coexistindo processos erosivos laminares, em voçorocas e ravinas. Foram avaliadas manifestações de processos erosivos, de forma qualitativa, em diferentes pontos de fuga, no período de implantação do projeto e levantamento de informações que caracterizassem estabilização ambiental pós implantação (Figura 5). Para isso, foram utilizadas fotografias que registraram a história de implantação das obras físicas.

A capacidade dessas obras de direcionar o sentido dos fluxos hídricos foi determinada a partir do levantamento dos antigos leitos drenantes, fixação do leito atual e determinação de eventuais pontos de fugas.

A propensão ao surgimento de pontos de fuga foi observada após chuvas superiores a 20 mm, cujas vazões calculadas (Anexo 2 – Fórmula 6) excederiam a capacidade de condução das calhas e permitiriam o surgimento dos seguintes indícios: ruptura de paredes, ausência abrupta de colonização de fungos, matiz do substrato, deslocamento de pedras e cicatrizes recentes.

a) Leito sem dique (antes de 1994)



PF = ponto de fuga

h = desnível de transbordamento

b) Leito com dique (depois de 1994)

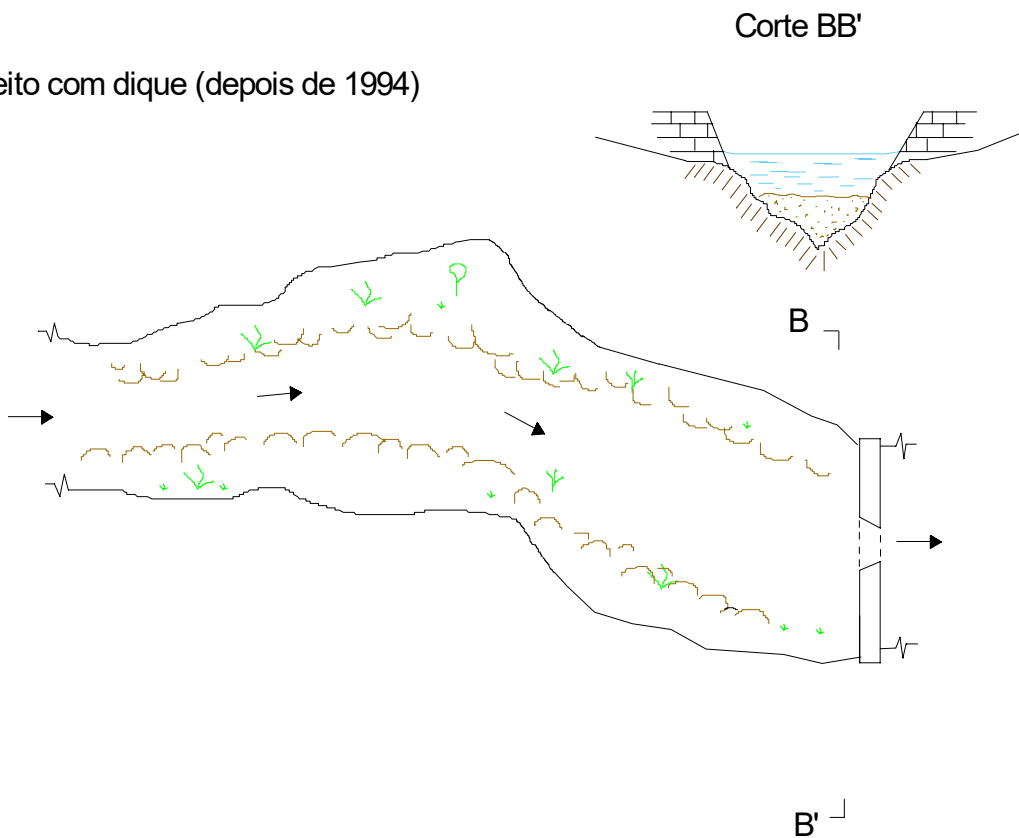


Figura 05 - Redirecionamento do leito influenciado pelo dique

3.10 Pendente de Compensação

A Pendente de Compensação representa a deposição de sedimentos a montante dos diques. Ela define um novo padrão de equilíbrio entre a capacidade da água de arrastar sedimentos e a resistência do leito, em função da nova declividade, a não permitir o arraste de sedimentos.

A declividade estabelecida pela Pendente de Compensação foi determinada com auxílio de nível de mangueira, ao longo do perfil longitudinal da área de sedimentação (Figura 4). Utilizou-se como critério prático a profundidade de assoreamento de 5 m a montante, sobre o substrato autóctone do leito original (Anexo 2 - Fórmula 7).

3.11 Propriedades Emergentes

O conjunto de benefícios ambientais proporcionados pela construção dos diques, quando analisados conjuntamente, podem oferecer condições ambientais diferenciadas, facilitadoras dos processos construtivos dos ecossistemas, também conhecidos como propriedades emergentes (ODUM, 1983).

Utilizou-se o aparecimento espontâneo de plantas como parâmetro bio-indicador da eficácia conservacionista das medidas físicas de mitigação dos impactos ambientais e do processo de recuperação ambiental da área degradada.

Para sua avaliação, foi analisado o comportamento da vegetação espontânea, seguindo metodologia própria (VALCARCEL & SILVA, 2000).

A avaliação silvicultural das espécies introduzidas na área de influência consistiu na caracterização da vegetação quanto ao tipo de espécie, família, dap, altura, diâmetro de copa e volume estimado de madeira.

3.12 Análise Estatística

Os sete diques onde foram coletados os sedimentos representam um tratamento, assim como as distâncias (múltiplo de dois metros) do vertedor e duas profundidades. Os dados obtidos pelos levantamentos foram previamente testados quanto à sua Normalidade pelo Teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV, nível de significância = 5%, $d = 0,1081$.

O delineamento experimental testado pela Análise de Variância – ANOVA, foi o ensaio fatorial em Blocos Casualizados, com 52 combinações de tratamentos: 7 diques (jusante para montante), 2 profundidades (1/3 e 2/3) e 5 distâncias (excluídos diques: 2, 5 e 7, com 2 distâncias), dados não pareados para avaliar tendências e diferenças entre tratamentos.

Outra Análise de Variância foi feita considerando os diques separadamente e suas variações granulométricas entre Distâncias e Profundidades. Essas análises, assim adotadas, possibilitaram o contraste de médias entre as fontes de variação.

O Teste Tukey de médias com 5% de significância foi utilizado para definir diferenças entre tratamentos.

Utilizou-se regressão linear simples para relacionar umidade (variável dependente) às variáveis independentes: diques, área de influência, declividade do talvegue, pendente de compensação e distância de sedimentação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sete diques estão distribuídos no terço inferior e médio da área de empréstimo, localizados entre as cotas 5,0 e 45,30m; o aclave é da ordem de 180,0 m, alcançando o topo do morrote (Figura 6). A microbacia onde estão inseridas as obras possuem 5,57 ha, dos 10,81 ha da área de empréstimo.

Excluindo a praça de sedimentação e toda a área de captação, os diques 2, 3, 4, 5, 6 e 7 conduzem água captada por 3,05 ha, conforme o relevo que os caracterizam como uma microbacia torrencial.

Existem diferentes declividades e processos hidráulicos envolvidos em cada dique, onde predominam a erosão na calha e nas margens. Apenas o dique 1 encontra-se na zona de alternância de deposição/erosão dos sedimentos transportados em cada evento individual. Chuvas fracas depositam sedimento, e, fortes, transportam para a praça de sedimentação.

A individualização dos efeitos conservacionistas dos diques sobre a drenagem é difícil de ser avaliada comparativamente com situações similares envolvendo a presença e ausência das obras, já que a repetição de ambientes iguais é improvável de se encontrar.

A avaliação temporal foi adotada, envolvendo o registro das atividades antes da implantação do projeto, onde predominavam rede de drenagem difusa, disposta anarquicamente sobre um substrato rígido, quando seco, e friável, quando úmido (UFRRJ, 1993), passando para ambiente hidrologicamente ordenado, com medidas nas calhas e encostas. Os efeitos que foram recolhidos são os registrados na calha.

Os controles estruturais do subsolo, originados a partir de incrustações de material geológico resistente, propiciavam o redirecionamento da rede de drenagem, muitas vezes intercruzando calhas em tormentas distintas. Essa situação perdurou entre os anos de 1980-1993, desorganizando as tentativas de reação espontânea do ecossistema, observada, no campo, pela interrupção abrupta da colonização de vegetais inferiores.

Os sulcos solapavam a encosta, promoviam a queda de torrões de mais de 1m³ de volume (UFRRJ, 1993), que, rapidamente, se fragmentavam em material de granulometria carreável pelas enxurradas.

A partir de 1993/1994, os fluxos divergentes foram concentrados em uma única drenagem. Essa nova situação, caso não houvesse a construção dos diques, seria suficiente para provocar impacto ambiental de magnitude incomensurável.

Contrapondo os efeitos gerados pela concentração de água, existem os resultados das medidas biológicas, onde tratamentos envolvendo combinações diferentes de espécies florestais criaram propriedades emergentes similares a ecossistemas perturbados, onde ainda há solo, traços de matéria orgânica e espécies rústicas que desempenham funções no ecossistema. Apenas um dos tratamentos estudados registrou a colonização vegetal espontânea de 37 espécies diferentes, em 5 anos (NEVES & VALCARCEL, 2001).

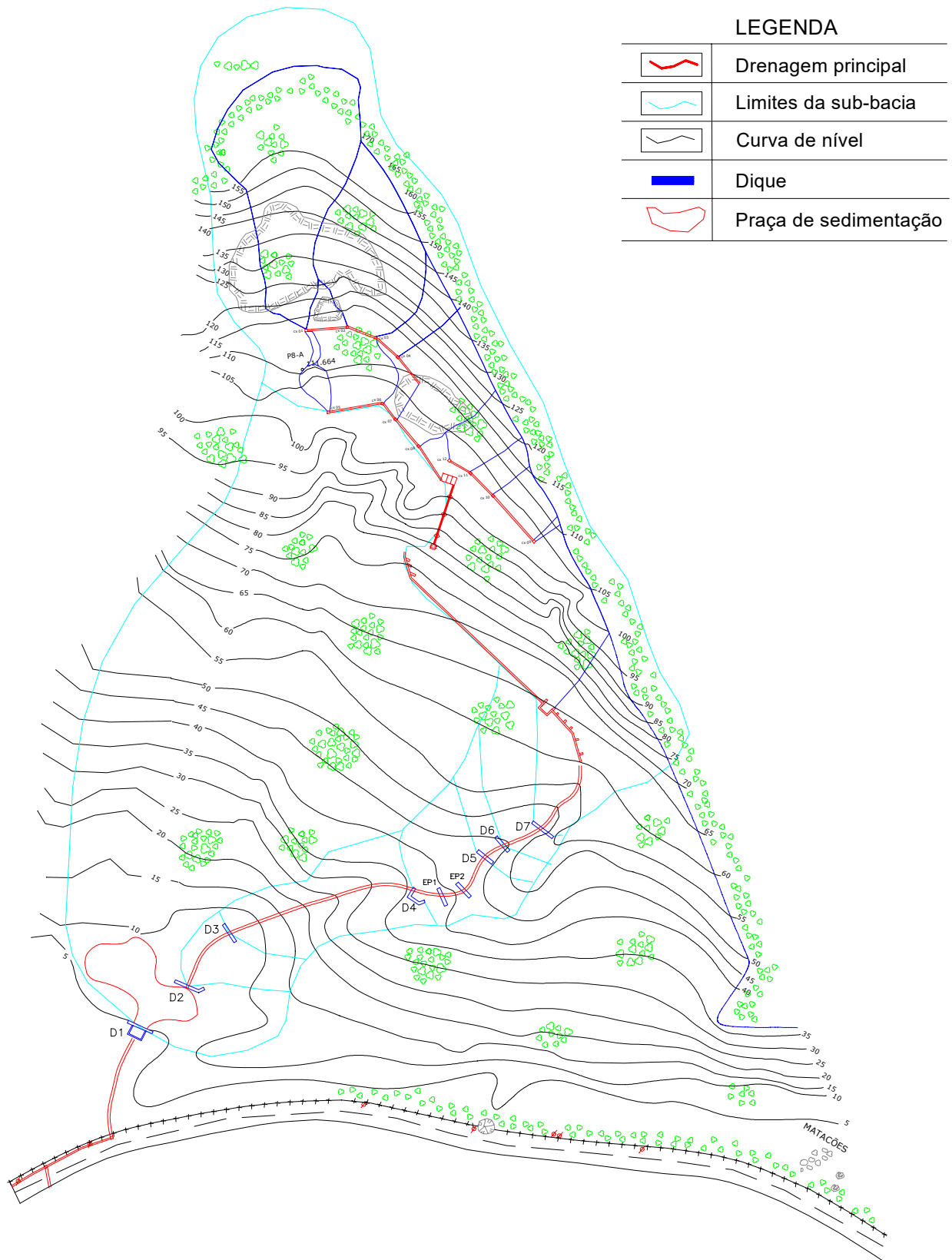


Figura 06 - Microbacias da Área de Empréstimo

As medidas biológicas começaram a ser implantadas no final de 1994 e início de 1995. Elas, provavelmente, não apresentaram respostas hidrológicas, como aumento da infiltração e retenção de água, até 1996, pois a incipiente cobertura vegetal não cobria o subsolo, nem modificou significativamente suas propriedades físico-hidrológicas.

A área de empréstimo, embora tivesse 13 anos para apresentar resiliência (1980-1993), continuou com tendência de degradação (UFRRJ, 1993). Os efeitos “constitutivos” proporcionados pelas medidas biológicas sobre o subsolo, entre os anos 1994 e 1995, foram incipientes, sendo os “destrutivos”, como os processos erosivos, nas encostas e calhas das drenagens, decorrentes da concentração de água, minimizados com a implantação das medidas físicas.

A partir de 1996, a vegetação começou a crescer, incorporando matéria-orgânica, emitindo raízes que penetravam superficialmente no substrato, aumentando a infiltração, havendo interceptação pela copa, perda por transpiração, modificação do regime hídrico da região. As evidências mais concretas percebidas no campo foram: surgimento de duas nascentes perenes e turgência permanente das folhas de espécies florestais e estabelecimento de sucessão vegetal (VALCARCEL - comunicação pessoal).

Os 7 diques foram as obras físicas que suportaram as cheias, conduziram e reorientaram os fluxos para fora da microbacia.

4.1 Características dos Diques

As áreas de captação dos diques envolvem contribuição direta e indireta. A primeira advém da sub-bacia próxima ao dique e produz sedimentos grosseiros. A segunda se constitui pela área a montante excluindo a direta. Os sedimentos são finos. Apenas o dique 1 (Anexo 1 – Fotografia 14) é diferente dos demais, por estar localizado em ponto de fechamento da praça de sedimentação, ter arquitetura distinta (Anexo 3 - Figuras 1 à 7) e envolve volume construído superior ao dobro da segunda maior obra (Tabela 4).

Tabela 4. Características dos diques do projeto de recuperação da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí-RJ.

Nº Dique	Área (ha)		Alt. m.s.n.m	H (m)	B (m)	C (m)	b (m)	h (m)	L1 (m)	L2 (m)	Ø (m)	Vol. (m³)
	Direta	Indireta										
1	1,08	4,04	5,00	3,50	1,20	16,90	1,20	0,85	6,25	4,84	0,00	71,00
2	0,10	3,94	5,40	3,14	1,18	14,20	0,40	1,00	2,25	1,45	0,30	35,00
3	1,40	2,54	5,90	3,54	1,38	7,00	0,50	0,92	1,80	1,55	0,30	23,00
4	0,14	2,40	35,80	2,42	1,05	4,70	0,45	0,53	1,80	1,50	0,30	8,50
5	0,05	2,35	43,90	3,13	1,18	7,00	0,40	0,63	2,08	1,42	0,30	17,00
6	0,13	2,22	44,80	3,19	1,20	7,70	0,40	0,82	1,75	1,50	0,10	19,60
7	2,22	---	45,30	3,40	1,20	4,80	0,35	0,94	1,51	1,14	0,30	12,60
Total	5,57											

Nota: Alt - altitude; H - altura do dique; B - largura da base do dique; C - comprimento do dique; b - largura da cresta do dique; h - altura do vertedor; L1 - largura do acesso da soleira; L2 - largura de saída da soleira; Ø - diâmetro do dreno; Vol - volume da obra.

4.2 Área de Influência

Os diques acumularam 1.137,0 m³ de sedimentos em 1.100,0 m² de área de empréstimo. Nesses locais persistiam, antes de 1993, intensos processos erosivos com aprofundamento de leitos e movimento de massa, desconfigurando a topografia local e contribuindo para o agravamento da situação, caracterizando um processo de tendência de degradação por efeito inercial.

A partir da implantação das primeiras 5 medidas físicas, em 9 meses, houve o ajuste a um novo patamar de equilíbrio (Tabela 5), criando redução da declividade, perda da capacidade de arraste e formação de 1.099,90 m² de áreas suaves dentro das calhas, aptas a sofrerem colonização espontânea e se tornarem “ilha de resiliência” dentro dessa área degradada.

Tabela 5. Áreas de influência originadas a partir da construção dos diques do projeto de recuperação de áreas degradadas da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ

N ^o Dique	Datas (mês/ano)		Dist. (m)	Decl (%)		Largura (m)	Área (m ²)	Prof (m)	Volume (m ³)
	Constr	Assor.		σ	Talvegue				
1	02/1998	03/1998	25,50	8,70	21,00	11,00	280,50	1,20	337,00
2	06/1993	03/1994	37,10	11,49	15,00	10,00	371,00	0,98	364,00
3	07/1993	03/1994	25,60	21,03	30,00	8,00	204,80	0,93	190,00
4	08/1993	03/1994	8,30	10,06	25,00	5,00	41,50	0,63	26,10
5	08/1993	03/1994	5,70	8,77	28,00	8,00	46,50	1,20	55,80
6	08/1993	03/1994	14,20	6,83	39,00	8,00	113,60	0,96	109,00
7	03/1998	10/1998	4,20	10,95	26,00	10,00	42,00	1,31	55,00
							1.099,90		1.137,00

Nota: Dist – Distância entre diques; σ - pente de compensação, Talvegue - declividade do talvegue; Área – área de influência de cada obra; Largura, Profundidade e Volume – características construtivas das obras.

4.3 Condições de Funcionamento

As obras foram projetadas tomando-se em consideração os intensos processos erosivos que interromperam o trânsito de veículos pela rodovia que liga Itaguaí à Vila de pescadores da Ilha da Madeira (UFRRJ, 1993). O dinamismo dos processos erosivos durante os anos 1980-1993 não permitiu a reconstrução dos ecossistemas degradados, removendo, além dos 13 metros extraídos para a construção do Porto, mais 14 metros das drenagens alteradas a partir de 1980.

As chuvas, classificadas em função do volume e distribuição, são os principais agentes modificadores do tênue equilíbrio ambiental desses ecossistemas em formação. Elas foram caracterizadas a partir da estação meteorológica de Coroa Grande (ANEEL 2001), distante 3,5 km da área, a qual apresentou consistência dos dados com a pequena série histórica gerada no projeto. A região em que se localiza tem orografia e exposição similares à área de estudo e também encontra-se sob domínio ecológico da Mata Atlântica.

As chuvas registradas entre 1989 e 2000 foram plotadas em histograma (Figura 7) e registradas, as mais significativas, para as condições de funcionamento dos diques: uma antes da construção dos diques (janeiro/1993) e outras depois da construção.

Tomando-se em consideração as datas de construção e assoreamento dos diques, as chuvas que tiveram importância no assoreamento foram: a) 53,7 mm, em junho de 1993; b) 83,9 mm, em dezembro de 1993 e c) 158,4 mm, em março de 1994 (Tabela 6).

Os diques 2, 3, 4, 5, e 6 foram assoreados, paulatinamente, com as chuvas de 1993 e complementados com a chuva de março de 1994. A primeira chuva coincidiu com a construção dos diques, período em que a obra ainda não estava em operação, deixando apenas prejuízos para os construtores.

Os sedimentos retidos nos diques refletem o comportamento das chuvas, onde eventos de baixa capacidade de arraste tendem a movimentar e depositar material de granulometria menos grosseira; chuvas intensas transportam e depositam material de granulometria grosseira.

A posição da área onde há processos erosivos nas encostas tem grande importância na intensidade do processo erosivo e alterações das propriedades do solo e das paisagens. Locais da encosta com perdas por erosão produzem sedimentos que são depositados nas planícies, formando solos com diferentes características (BOEHM & ANDERSON, 1997; MENEZES, 1999).

Vários foram os autores que tentaram equacionar fisicamente os processos de transporte e retirada de sedimentos de calhas de microbacias torrenciais, sendo esses processos não totalmente elucidados (CEMAGREF, 1987) através de modelos determinísticos, onde as relações causa/efeito possam ser fisicamente conhecidas e teorizáveis.

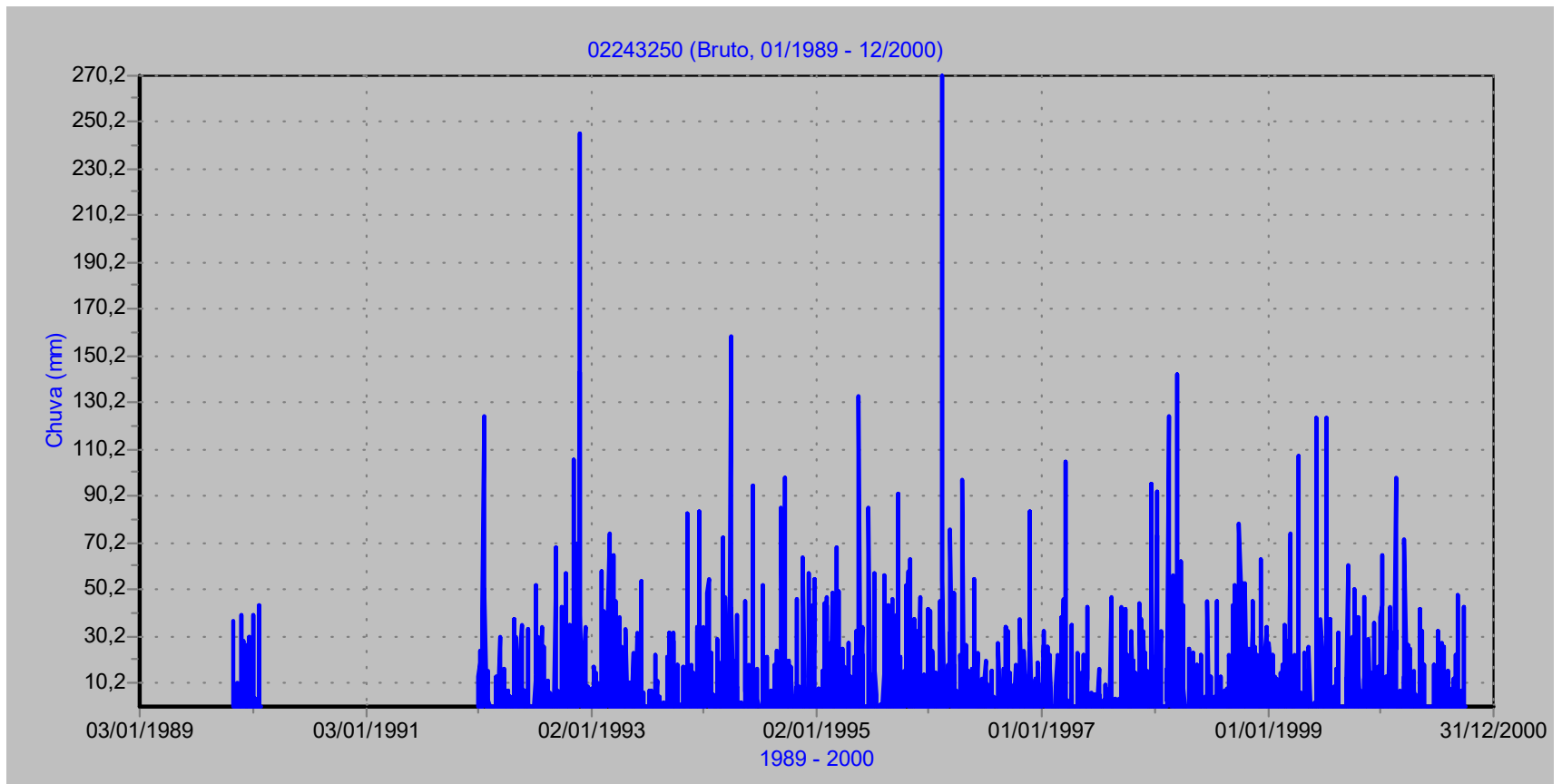


Figura 7. Série histórica das precipitações consistidas da Estação Meteorológica de Coroa Grande. Fonte: ANEEL (2001)

Tabela 6. Chuvas registradas na Estação Meteorológica de Coroa Grande (1993 - 1998) (Continua).

Data	Máxima mm	Mensal mm	Eventos Dias	Chuva antecedente (dias)		
				02 mm	04 mm	06 mm
Ano de 1993						
Jan/93	106,4	166,3	11	15,0	15,0	16,2
Fev/93	73,8	358,7	16	54,0	79,9	91,9
Mar/93	64,8	276,8	16	9,5	12,1	12,1
Abr/93	33,4	105,7	8	0,0	0,0	0,0
Mai/93	31,8	85,4	8	0,0	0,0	0,0
Jun/93	53,7	161,6	10	15,1	15,1	38,1
Jul/93	22,5	63,1	6	0,0	0,0	0,0
Ago/93	10,9	25,0	6	0,0	0,0	41,0
Set/93	31,9	169,3	14	28,0	29,0	29,0
Out/93	18,3	87,4	11	0,0	7,5	7,5
Nov/93	34,8	138,5	10	22,1	22,1	22,1
Dez/93	83,9	292,7	18	15,2	15,2	44,5
Ano de 1994						
Jan/94	23,9	144,7	15	5,6	22,7	45,4
Fev/94	28,7	68,4	4	21,2	21,2	21,2
Mar/94	158,4	490,0	19	2,2	14,2	38,2
Abr/94	41,7	202,3	14	39,0	39,0	64,0
Mai/94	45,1	147,5	9	44,5	44,5	44,5
Jun/94	94,7	168,9	5	0,0	8,9	8,9
Jul/94	52,3	98,2	3	0,0	0,0	0,0
Ago/94	24,1	75,8	8	13,0	13,0	13,0
Set/94	58,2	117,1	9	27,2	27,2	28,0
Out/94	46,4	173,2	9	52,0	55,5	55,5
Nov/94	64,1	170,4	13	58,0	58,0	58,0
Dez/94	56,7	226,4	9	1,5	1,5	1,5
Ano de 1995						
Jan/95	46,5	174,9	12	8,0	53,0	53,0
Fev/95	48,2	318,7	16	1,2	7,2	37,7
Mar/95	68,2	234,4	12	0,0	4,5	4,5
Abr/95	27,4	99,0	10	7,4	7,4	7,4
Mai/95	132,9	306,4	13	0,0	0,0	0,0
Jun/95	85,3	118,5	4	18,0	18,0	18,0
Jul/95	57,2	79,9	4	0,0	0,0	0,0
Ago/95	56,4	114,4	9	14,0	14,0	14,0
Set/95	91,3	275,7	12	12,0	13,2	20,5
Out/95	63,2	358,3	18	0,0	0,0	34,0
Nov/95	73,1	275,7	17	12,5	13,4	13,4
Dez/95	42,1	175,2	13	66,0	67,6	67,6

Tabela 5. Continuação.

Data Mês/ano	Máxima mm	Mensal mm	Eventos Dias	Chuva antecedente (dias)		
				02 mm	04 mm	06 mm
Ano de 1996						
Jan/96	41,2	182,7	15	15,0	62,0	128,0
Fev/96	270,2	440,4	15	4,4	5,4	20,6
Mar/96	76,1	293,7	21	35,6	55,5	63,5
Abr/96	96,8	168,4	7	2,3	2,3	26,8
Mai/96	54,3	107,4	8	0,0	0,0	0,0
Jun/96	23,1	72,7	6	0,0	0,0	0,0
Jul/96	15,3	40,9	7	0,0	0,0	5,8
Ago/96	27,2	64,0	5	0,0	0,0	0,0
Set/96	34,2	152,9	11	34,0	35,2	35,2
Out/96	37,8	102,2	11	0,0	0,0	0,0
Nov/96	83,4	257,9	12	4,5	31,5	35,5
Dez/96	18,5	94,2	12	2,9	14,9	14,9
Ano de 1997						
Jan/97	32,1	234,7	18	47,0	47,0	50,0
Fev/97	22,5	49,1	3	8,0	8,0	8,0
Mar/97	104,5	248,3	11	12,0	12,0	26,1
Abr/97	34,8	122,7	7	0,0	4,7	7,7
Mai/97	42,3	116,7	11	26,0	29,2	29,2
Jun/97	6,3	30,8	7	5,2	5,2	11,2
Jul/97	16,6	36,9	5	3,0	3,0	3,0
Ago/97	46,7	64,7	6	0,3	12,5	12,5
Set/97	42,3	157,8	9	0,0	32,0	47,0
Out/97	32,3	153,8	13	18,0	18,0	18,0
Nov/97	44,7	242,4	18	0,0	0,0	0,2
Dez/97	95,1	182,7	11	0,0	0,0	0,0
Ano de 1998						
Jan/98	92,4	290,9	10	45,0	46,3	119,3
Fev/98	124,2	397,2	15	11,1	36,6	56,6
Mar/98	142,3	310,9	9	0,0	0,0	0,0
Abr/98	43,7	103,7	8	0,0	0,0	0,0
Mai/98	22,7	123,5	10	0,0	0,0	14,0
Jun/98	14,2	69,9	9	12,0	12,0	12,0
Jul/98	45,2	61,6	3	0,0	0,0	4,0
Ago/98	22,3	62,2	8	2,0	2,0	2,0
Set/98	52,4	300,0	10	0,0	0,0	53,3
Out/98	78,4	320,2	19	12,0	52,0	52,0
Nov/98	45,3	262,5	16	55,4	62,6	62,6
Dez/98	63,4	275,5	13	15,0	15,0	15,0

Nota: Máxima - máxima diária; Mensal - total precipitado no mês; Eventos - número de dias com chuvas no mês; Chuvas antecedentes: 02 - dias anteriores acumulados ; 04 - dias anteriores acumulados; 06 - dias anteriores acumulados.

4.4 Análise dos Sedimentos

Os 1.137 m³ de sedimentos retidos nas zonas de influência dos setes diques (Tabela 4) apresentam em comum a incipiente porcentagem de argila e silte, bem como a grande porcentagem da fração grosseira (Figura 8).

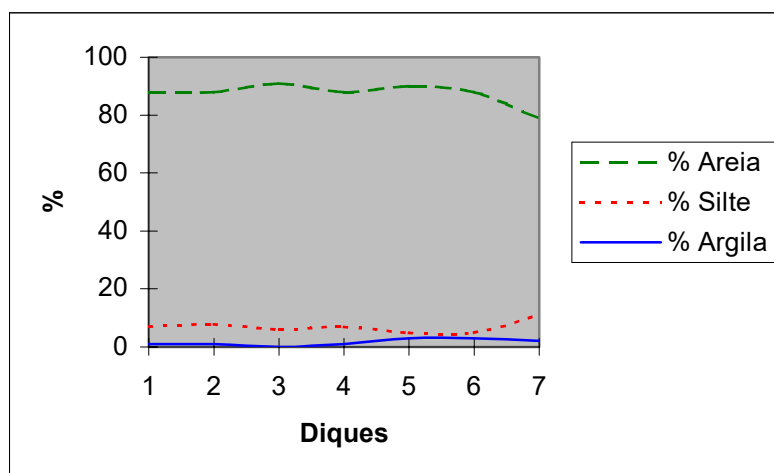


Figura 8. Classes texturais presentes em 7 diques utilizados para recuperação de área degradada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Áreas de empréstimo são pontos críticos de bacias hidrográficas e que produzem quantidades de sedimentos superiores a fontes difusas, contribuindo para a deterioração da qualidade dos corpos d'água (VALCARCEL, 1989; CARVALHO, 1994). A textura média das encostas contém 30% de areia (UFRRJ, 1993). Os sedimentos retidos na calha, no processo de enchimento dos diques, apresentam valor médio de 90% de areia.

Com base nas comparações entre o substrato original (1993) e os sedimentos retidos nos diques (1994), estima-se perda superior a 735,0 ton/ha.ano⁻¹ de substrato (degradação específica), durante o período de 1993 a 2000. Esses dados representam o dinamismo dos processos erosivos que ocorreram na área, reforçando a necessidade de se tratarem prioritariamente pontos críticos dentro de bacias hidrográficas.

Em todos os diques a composição granulométrica foi de 90% de areia. O dique 7 foi o que menos apresentou areia e alcançou a cifra de 80%. Os processos que envolvem transporte e deposição de sedimentos dependem de fatores exógenos ao meio, como tipo de chuvas, e fatores endógenos, onde a complexidade dos processos erosivos tenta ser entendida e modelada há várias décadas, tanto para o solo propriamente dito (WISCHMEIER & MENNERING, 1969; SWANK, 1994), quanto para áreas degradadas (CEMAGREF, 1987; VALCARCEL, 1989).

O tipo de regime hídrico condiciona a granulometria e peso específico dos sólidos transportados na calha, interferindo na saturação da descarga sólida (CARVALHO, 1994). VALCARCEL (1989) dividiu os fatores que controlam o transporte e depósitos de sedimentos em dois grupos: os que dependem das propriedades dos sedimentos (peso específico, granulometria, velocidades de sedimentação, tamanho e forma) e os que dependem da capacidade de transporte do fluxo (traçado, forma da seção do fundo, raio hidráulico, rugosidade, velocidade, turbulência e movimentos secundários).

Sedimentos grosseiros são movimentados por rolamento, arrastamento e saltação ao longo da porção basal móvel do leito, enquanto sedimentos finos fluem em suspensão na solução aquosa (VALCARCEL, 1989; RODRIGUES & LEITÃO FILHO, 2000). À medida que o curso d'água se desenvolve para jusante, mais material fino é produzido, sendo que parte dele vai sendo depositado nas margens em forma de lama (FENDRICH *et al.*, 1991; CARVALHO, 1994).

Em áreas degradadas, as experiências são empíricas (VALCARCEL, 1989), pois a instrumentalização de áreas experimentais é cara e laboriosa, nem sempre dispondo-se de meios acadêmicos para teorizações precisas. Modelos hidráulicos dimensionados para canais pouco ou nada servem para áreas degradadas, a começar pela própria gênese das cheias: intensas, abruptas e em um lapso de tempo muito pequeno.

No presente caso, os diques diferenciam-se por possuírem características distintas, como declividade, áreas de captação direta e posição na encosta. A série histórica das chuvas foram as mesmas para os Diques 2, 3, 4, 5 e 6, ao passo que, os Diques 1 e 7, foram de outro período.

O primeiro conjunto de diques implantados (Diques 2, 3, 4, 5 e 6) possui área de captação direta e indireta, características construtivas (Tabela 3) e áreas de influência diferentes (Tabela 4). Apesar dessas evidências, observou-se manutenção da tendência média da classificação dos sedimentos depositados, quanto às classes de areia, silte e argila (Figura 8).

Uma provável justificativa é que se trata de dados médios dessas classes e, nesse caso, o efeito decorrente da similaridade do substrato pode estar impedindo o detalhamento mais preciso desses resultados, não permitindo evidenciar os efeitos das variáveis locais na deposição e classificação dos sedimentos.

A calha de uma drenagem é dinâmica; quando encontra controle estrutural, reduz a velocidade de transporte da água e inicia o processo de precipitação dos sedimentos grosseiros (AGUIRRE, 1975).

Esse processo de perda de material sólido do fluxo hídrico diminui a densidade do mesmo, aumentando sua velocidade de arraste, o que poderá ocasionar novo ciclo de erosão a jusante.

As áreas de captação direta contribuem com sedimentos grosseiros, pois ainda apresentam agregação do substrato original. Ao serem transportados, irão desmembrando-se em partículas menores, até o seu grau máximo, de acordo com a natureza do substrato. Dependendo da fase em que se encontrar, a presença de um dique e seus efeitos sobre o espraiamento, redução da velocidade e concentração do vertedor, provocará a formação de um novo depósito (SARDINHA & MACEDO, 1981), com classificação granulométrica seletiva dentro do dique e em todo o fluxo de água.

Para CUNHA & GUERRA (1996), as mudanças que se realizam no sistema fluvial de rios transportadores de carga grosseira podem ser verificadas através da análise do tamanho e da forma das partículas da carga de fundo.

Essas considerações são compartilhadas por CARVALHO (1994), segundo o qual, muitos problemas derivados da erosão e sedimentação são resolvidos pelo conhecimento da granulometria do material transportado, utilizando-se, para isso, curvas granulométricas do sedimento em suspensão e do material do leito de alguns pontos.

Com o conhecimento das características sedimentológicas das drenagens, é possível estimar a evolução da produção de sedimentos e o respectivo grau de estabilidade das encostas.

Os resultados de sedimentologia registrados no gráfico de tendência geral (Figura 8) não evidenciaram diferenças entre os diques de 1 a 7. Por esse motivo, as análises granulométricas foram realizadas por classes de sedimento.

Foram encontradas diferenças significativas para granulometria, entre profundidade e distâncias superiores a 4 metros. Os diques 2, 5 e 7 não apresentaram diferenças significativas.

Os valores encontrados de silte e argila foram incipientes, evidenciando que esses materiais foram perdidos imediatamente após o impacto gerado, sendo continuamente transportados ao longo do tempo, sem sedimentação, nas áreas de influência direta dos diques.

As partículas do solo não são igualmente deslocadas pelas águas da chuva, durante o processo erosivo. As mais finas, quando vencida a força que as une, são facilmente transportadas, e as maiores resistem à remoção, tendendo a se acumular na superfície (REZENDE, 1979; MENEZES, 1999).

À medida que os sedimentos depositados foram detalhados em classes granulométricas específicas, observou-se que os mesmos possuem comportamentos distintos no geodinamismo de processos erosivos, mecanismos que são influenciados pelo diâmetro de partículas.

Para a realização dos testes estatísticos, optou-se pelo uso de 2 classes granulométricas representativas dos sedimentos grosseiros e finos. As classes granulométricas selecionadas foram: calhaus ($> 2,00\text{mm}$) e areia ($0,1 < \varnothing < 0,25\text{mm}$), frações grosseira e fina, respectivamente. A fração areia fina representa aquela de maior ocorrência entre diferentes tipos de areia; a fração calhaus é representativa da sedimentação das granulometrias grosseiras.

As quantidades de Calhaus presente nos 7 diques foram estatisticamente diferentes entre si, assim como sua ocorrência a 1/3 e 2/3 de profundidade, na zona de influência, indicando variabilidade na distribuição dos sedimentos, nas áreas de contribuição direta (Tabela 7). Esse efeito evidencia que o dinamismo dos processos erosivos é variável no tempo e espaço, dentro do período de enchimento dos diques.

Utilizando-se apenas 2 distâncias de afastamento dos diques, 2,0 e 4,0 metros, não foi possível observar diferença estatisticamente significativa na concentração de Calhaus (Tabela 7), pois eles são rolados lentamente e gradualmente, ao longo de toda a zona de influência dos diques.

Tabela 7. Quadro de Análise de variância para calhaus em 7 diques, 2 distâncias e 2 profundidades, utilizando delineamento ensaio fatorial em blocos casualizados.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	gl	Quadrado médio	F calculado	F tabelado
Diques (A)	1.401,84	6	233,63	8,98*	0,0000
Distâncias (B)	4,21	1	4,21	0,16	0,6888
Profundidades (C)	368,85	1	368,85	14,17*	0,0004
Interação (AxB)	1.883,17	6	313,86	12,06*	0,0000
Interação (AxC)	1.370,09	6	228,34	8,77*	0,0000
Interação (BxC)	6,43	1	6,43	0,25	0,6210
Interação (ABC)	747,42	6	124,55	4,79*	0,0005
Resíduo	1.457,42	56	26,02		
Total	7.239,34	83			

Nota: * Existe diferença estatística entre médias, a 5% de significância.

A análise de variância da fração areia fina apresentou diferença estatística entre os 7 diques, 2 profundidades e duas distâncias (Tabela 8), evidenciando a influência do fluxo em movimentar partículas menos pesadas.

Tabela 8. Quadro de análise de variância para areia em 7 diques, 2 distâncias e 2 profundidades, utilizando delineamento ensaio fatorial em blocos casualizados.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	gl	Quadrado médio	F calculado	F tabelado
Diques (A)	987,52	6	164,58	4,77*	0,0005
Distâncias (B)	118,51	1	118,51	3,43	0,0692
Profundidades(C)	284,49	1	284,49	8,24*	0,0054
Interação (AxB)	284,52	6	47,42	1,37	0,2412
Interação (AxC)	1720,74	6	286,78	8,31*	0,0000
Interação (BxC)	0,84	1	0,85	0,05	0,8759
Interação (ABC)	763,89	6	127,31	3,69*	0,0037
Resíduo	1.457,42	56	34,52		
Total	7.239,34	83			

Nota: * Existe diferença estatística entre médias, a 5% de significância.

As análises envolvendo todos os diques, profundidades e 2 distâncias não foram aprofundadas por limitação do delineamento estatístico, que não comportava dados não pareados.

O comportamento dos sedimentos em cada dique, envolvendo os efeitos da sedimentação no leito, distância e profundidade, foram realizados especificamente para cada dique. Considerando os diques independentes, constataram-se diferenças entre as quantidades de calhaus e areia, tanto em profundidade quanto em distância de afastamento (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados de análises granulométricas das variáveis Distância e Profundidade para os diques.

Dique	Calhaus (> 2,00mm)		Areia (0,1 < Ø < 0,25mm)	
	Distância	Profundidade	Distância	Profundidade
1	S	S	S	S
2	NS	NS	NS	NS
3	S	S	S	NS
4	S	S	S	S
5	NS	NS	NS	NS
6	S	S	S	S
7	NS	NS	NS	NS

Nota: S - Diferença estatisticamente significativa; NS – Diferença não significativa.

Os diques 1, 3, 4 e 6 apresentam diferença estatística entre distâncias e profundidades, evidenciando que havia um dinamismo dos processos erosivos que representava respostas sedimentológicas diferentes para o mesmo padrão de precipitação/tempo. As partículas maiores concentram-se na profundidade 2/3, e as menores, a 1/3 de profundidade. Esses resultados mostram padrões de sedimentação que refletem a natureza da granulometria dos substratos nas áreas diretas, características das obras e das zonas de sedimentação (Figura 9).

Os diques 2, 5 e 7 não apresentaram diferenças significativas para granulometria de sedimentos nas variáveis estudadas. Possuem apenas 2 distâncias de sedimentação registradas (4m). Não existem indícios de processos erosivos ativos na área de influência dos diques, sendo os sedimentos advindos da área de captação direta e indireta.

Quando se comparam esses resultados à distância longitudinal da área de sedimentação dos diques, é observada forte correlação. Uma das prováveis hipóteses é a de que os pontos extremos da área de sedimentação estão sujeitos a movimentos constantes de partículas, provocados pelas “cabeças d’água”. Os diques 2, 5 e 7, por possuírem curta distância de sedimentação, são submetidos a maiores esforços físicos na retenção dos fluxos torrenciais.

A variação do diâmetro dos sedimentos retidos nas áreas de influência dos diques 3 e 4, relacionada a 1/3 e 2/3 da profundidade e as 5 distâncias de sedimentação do vertedor (Figuras 9 e 10), permite realizar avaliação qualitativa da forma como ocorre o assoreamento durante o período de 9 meses (07/1993 – 03/1994 – Tabela 4), quando ocorreram 117 chuvas, precipitaram 1.681,40 mm e foram registradas 4 chuvas máximas (Tabela 5), das quais duas foram intensas, com 83,9 e 158,4 mm.

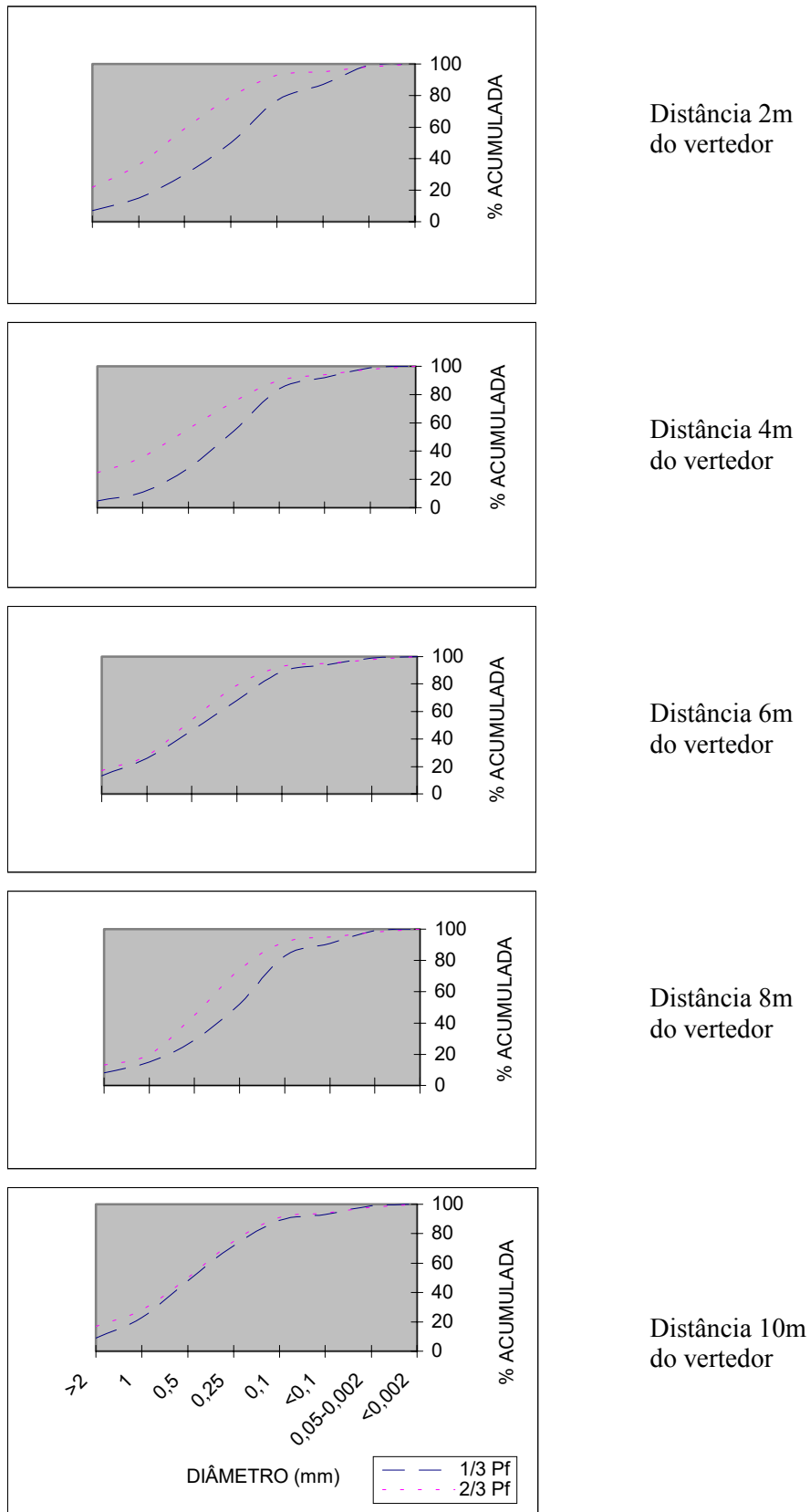


Figura 9. Distribuição granulométrica de sedimentos do Dique 3.

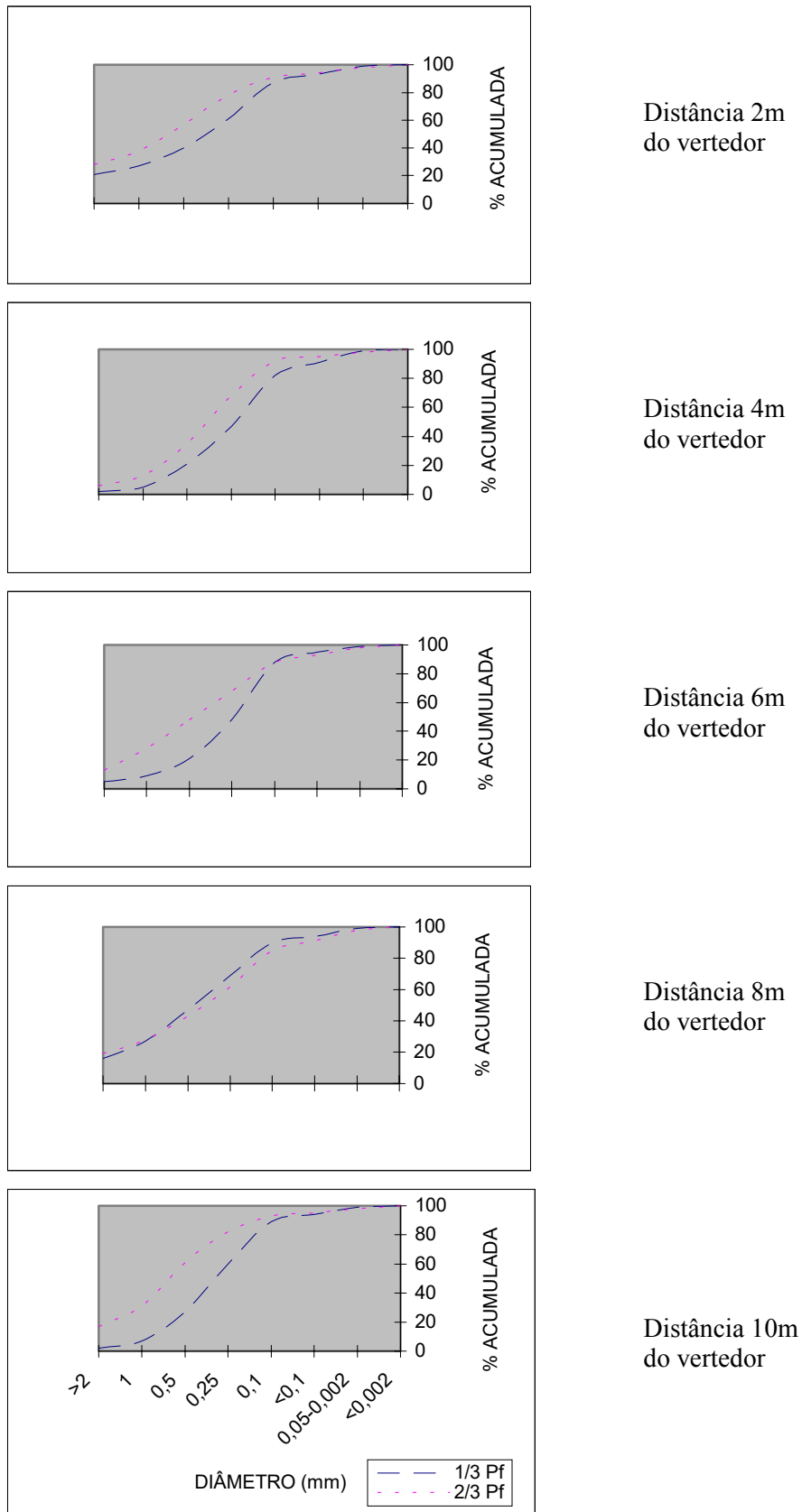


Figura 10. Distribuição granulométrica de sedimentos do Dique 4.

O movimento de sedimentos em áreas de empréstimo depende de um conjunto de fatores diferentes dos processos erosivos em solos, pois a natureza do material é diferente. No caso dos diques 3 e 4, as chuvas são conhecidas e os sedimentos provêm de origens presumíveis: grosseiros (área de captação direta) e finos (áreas de captação indireta). A propagação das ondas de sedimentos foram conduzidas pelas mesmas enxurradas, e os sedimentos não retidos no dique 4 passam para o dique 3. Em ambos os casos a perda de sedimentos não sofreu influência das medidas biológicas implantadas nas encostas.

A 2m de distância e profundidade de 2/3, foram registrados 15% de calhaus, a 4m: 14%; a 6m: 35%; a 8m: 5%; e a 10m: 8%. Estes dados evidenciam o papel do dique no início do estancamento do arraste de sedimentos grosseiros por rolamento e saltação em microbacias torrenciais sem resiliência.

A 1/3 da profundidade, quando o dique já se apresentava parcialmente assoreado, as mesmas ondas de propagação de sedimentos continuaram a existir, afetando em menor intensidade, onde, nos primeiros 2m verificaram-se 19% de calhaus, a 4m: 27%; a 6m: 36%; a 8m: 14% e a 10m: 9% de calhaus, na amostra de sedimentos. Estes resultados evidenciam o funcionamento dos diques na retenção de sedimentos a montante (Dique 4), construindo uma pente de compensação em camadas de sedimentos e reduzindo as descargas sólidas das ondas de arraste.

A interatividade do movimento de sedimentos na calha evidencia faixas de variação na profundidade, e granulometria do sedimento, nas mesmas distâncias do dique, nos dique 4 e 3. Como o dique 4 recebe primeiro a enxurrada, ele acumulou sedimentos grosseiros na profundidade 2/3 e começou a criar condição de equilíbrio da calha. Com esta nova condição adquirida, os sedimentos finos foram preenchendo os espaços da área de influência.

Os diques 2 e 3 apresentaram mais partículas grosseiras (> 2,0mm) afastadas do vertedor, indicando estabilização do dinamismo dos processos erosivos. Esse resultado é justificado pela menor pente de compensação do leito, a montante, maior volume e peso dos sólidos em suspensão por volume similar de água, além da maior seção transversal, nas proximidades do dique. Todos esses fatores contribuem para reduzir a energia cinética e aumentar as deposições dos sedimentos finos nas proximidades do dique, enquanto os grosseiros são depositados mais afastados.

Essa menor disponibilidade de sedimentos grosseiros, a menor capacidade de transporte, raio hidráulico e menor pente, contribuíram para a menor retenção de sedimentos grosseiros no dique.

Segundo VALCARCEL (1989), ao longo do perfil longitudinal do leito, observa-se seleção gradativa de sedimentos, devido à redução das forças de arraste pelas menores pendentes. Os sedimentos grosseiros e mais pesados se fixam próximos a seu lugar de origem, enquanto os finos se distribuem nas seções terminais e fora da bacia.

O dique 7 apresentou menor quantidade de sedimentos grosseiros, evidenciando que as medidas biológicas promovem respostas perceptíveis na calha. Ele, por sua vez, desempenha a função de principal moderador do fluxo erosivo que atinge o leito, possui 2,9 ha de área de captação, constituindo a primeira barreira física imposta ao escoamento superficial.

4.5 Umidade de Sedimentos

Os teores de umidade indicam a capacidade dos diques de armazenar água na calha. Ela depende da natureza e rearranjo dos sedimentos na calha, sob efeito dos diques, pois, caso não tivessem sido construídos, o material não estaria depositado, não haveria infiltração, e o processo erosivo seguiria seu curso normal, escavando o fundo, solapando as margens e destruindo as encostas.

Os resultados mostram que a variação dos teores de umidades nos diques, em diferentes profundidades, foram estatisticamente diferentes entre si (Tabela 10), sendo a menor retenção média 7,1% (Diques 3 e 6) e a maior 18,6 (Dique 7). Os diques 2 e 5 tiveram 10,4%, e os diques 1, 4 e 5, o equivalente a 14,7% de umidade retida.

As maiores taxas de umidade encontradas estão distribuídas entre os diques localizados no terço médio da encosta, provavelmente por ser esta região que recebe primeiro a água precipitada na bacia, coletada pelas calhas de drenagem. Essa área é considerada vulnerável ao dinamismo dos processos erosivos.

Tabela 10. Quadro de análise de variância para umidade, entre diques e profundidades, utilizando delineamento fatorial em blocos casualizados.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	gl	Quadrado médio	F calculado	F tabelado
Diques (A)	265,61	6	9,92	26,76*	0,0000
Profundidades (B)	213,76	1	9,92	21,54*	0,0000
Interação (AB)	65,26	6	9,92	6,57*	0,0000

Nota: * Existe diferença estatística entre médias, a 5% de significância.

A complexidade dos processos de sedimentação nos diques reflete-se no armazenamento de umidade em profundidades diferentes, onde a parte rasa da cunha de sedimentação (1/3 da profundidade total) retém 13,8% de umidade, enquanto a profunda (2/3 de profundidade total), 10,6%. Esses dados são estatisticamente diferentes para os 7 diques, evidenciando a influência dos diques nos processos de sedimentação, acomodando os sedimentos grosseiros, no início do processo, e os finos, no final do enchimento, e no armazenamento de umidade.

Os resultados encontrados mostram que os sedimentos finos, depositados na camada superficial, possuem maior capacidade de retenção de umidade. Esse aspecto indica melhorias nas condições edáficas, com o surgimento de propriedades emergentes, na busca pelo equilíbrio ambiental.

A Tabela 11 apresenta o teste de médias para o teor de umidade, entre profundidades 1/3 e 2/3, para os 7 diques. Este ensaio estatístico considera os teores de umidade por dique, sem distinção entre distâncias.

Tabela 11. Quadro comparativo da umidade média (%) pelo teste de Tukey.

Profundidade	Dique						
	1	2	3	4	5	6	7
1/3	a20,5 A	b7,3 BC	b6,7 C	a20,2 A	b13,5 B	b7,2 C	a21,0 A
2/3	b10,3 A	b9,3 BC	b7,2 C	b12,0 A	b11,5 A	b7,5 BC	a16,2 A

Nota: Letras maiúsculas distintas mostram diferenças significativas entre diques, e letras minúsculas, entre profundidades, a 5% de significância.

Os efeitos dos diques sobre a umidade permitem a formação de 3 grupos estatisticamente distintos: 1, 4, 7; 2, 5 e 2, 3, 6. Apenas nos dique 1 e 4 houve diferenças de umidade entre profundidades distintas.

Essa aparente contradição no armazenamento de umidade é expressão da natureza dos sedimentos retidos a montante dos diques, onde os sedimentos finos são um dos responsáveis pelo armazenamento, uma vez que a água gravitacional circulante tende a ser drenada através dos diques e/ou evaporar do micro-ecossistema que se forma. Outra justificativa provável é a baixa intensidade (Anexo 2 – Fórmula 8) e quantidade de chuva, 3 dias antes da coleta de informações (10 l/ m²).

A análise de regressão (Modelo Linear Simples) entre Umidade (variável dependente) e Diques, Área de influência, Declividade do talvegue, Pendente de compensação e Distância (variáveis independentes) apresentaram baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,1580$), não podendo o comportamento da variável dependente ser explicado pelas variáveis independentes.

4.6 Redirecionamento do Leito

O sentido dos fluxos hídricos foi determinado a partir do levantamento dos leitos drenantes caracterizados por pontos de fuga e suas respectivas cotas de transbordamento (Figura 5). Não houve fuga de água da área de influência, pois a altura da soleira foi dimensionada para induzir a passagem do fluxo pelo vertedor do dique.

O dique 2 apresenta 5 pontos de fuga com altura de 0,30m sobre a soleira. Nesse dique, o projeto contempla um sistema de represamento de cheias, redefinindo o sentido do fluxo principal. Como as atuais margens do canal principal estão perfeitamente definidas, sem a ação de processos erosivos, a vegetação ciliar consolidou a zona de contato com os fluxos abruptos e não se registrou qualquer indício de retirada de musgos, pedras e material do leito.

Os demais diques encontram-se em zonas de drenagem encaixada, não havendo indícios de extravasamento lateral.

O dique 1 foi instalado sobre laterais terraplanadas, além de estar em local abrigado das correntes pelos efeitos da praça de sedimentação.

Os eventuais pontos de fuga foram substituídos por áreas de deposição de sedimentos e zona de interfluxo, às margens dos diques transversais. Dessa forma diminuem-se os riscos de erosão e promovem-se condições facilitadoras para a colonização vegetal.

A calha de drenagem marcada pela perda de solos e aprofundamento paulatino do leito originou trechos sedimentados e com processos erosivos estabilizados.

4.7 Propriedades Emergentes e Colonização Vegetal

Os benefícios ambientais proporcionados pela construção dos diques estão condicionados pelos seguintes fatores: a) extinção dos processos erosivos na calha e encostas; b) fixação do atual leito de drenagem; c) acúmulo seletivo de 1.137,0 m³ de sedimentos; d) área de influência com 1.100,0 m², onde plantas podem obter água e nutrientes e se estabelecer.

Os diques foram responsáveis pela reversão da tendência de degradação para recuperação; construídos como primeira medida, os seus resultados foram emergenciais.

A partir da configuração do novo quadro ambiental, o ecossistema passa a contar com condições ambientais diferenciadas, onde se encontram sedimentos de rocha semi-intemperizados, sem impedimento físico para emissão de raízes, umidade superior a 7,1%, em períodos de estiagens e maior frequência de água ao conduzir as chuvas.

As propriedades emergentes foram observadas pela capacidade de resistência ambiental a eventuais desequilíbrios no ecossistema, como o ataque de pragas, doenças, estiagens prolongadas e a presença de fogo.

A colonização espontânea da área de influência (Tabela 12 e Anexo 4-Quadro 1) expressa os benefícios ambientais indiretos dos diques como elementos formadores de “ilhas de resiliência” dentro de áreas degradadas. As espécies implantadas apresentaram rendimento silvicultural similar ao de áreas com solos (Tabela 13 e Anexo 4-Quadro 2), indicando a qualidade ambiental desses ambientes (Anexo 1 – Fotografia 15).

Tabela 12. Espécies espontâneas na área de influência dos diques da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Dique	Famílias	Espécies	Indivíduos	Ind/ha	Espécies herbáceas (n ^o)	Espécies arbustivas (n ^o)	Espécies arbóreas (n ^o)
1	13	26	314	2.798	15	3	8
2	13	18	168	1.132	11	4	3
3	16	21	73	891	11	4	6
4	11	14	88	5.301	8	2	4
5	13	20	149	8.011	12	3	5
6	9	11	98	2.157	8	1	2
7	10	12	58	3.452	10	-	2

Nota: N^o ind/ha - N^o de indivíduos por hectare: estimativa feita a partir do N^o de indivíduos por dique (N^o ind/dique) e a área de influência de cada dique.

Tabela 13. Espécies implantadas na área de influência dos diques da área de empréstimo da Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Dique	Famílias	Espécies	Cap (cm)	Dap (cm)	Altura (m)	Ø copa (m)	Volume (m ³)
1	1	2	42,5	13,6	6,4	29,5	0,37
2	1	4	41,5	13,9	7,1	15,5	0,54
3	1	3	37,4	12,3	12,3	11,5	0,90
4	2	5	26,7	8,6	8,2	7,7	0,31
5	1	3	20,6	6,6	5,8	12,0	0,02
6	1	4	30,6	9,7	8,7	12,5	0,90
7	1	2	15,6	5,0	5,0	12,5	0,04

Nota: Cap – Circunferência à altura do peito; Dap – diâmetro à altura do peito; Ø diâmetro.

A variação de ambientes encontrados, caracterizando a zona de influência de cada dique, é importante na análise integrada com os resultados encontrados para a vegetação, seja ela espontânea ou implantada.

O dique 1 é diferente dos demais, por possuir área a pleno sol e úmida; os diques 2, 3, 4 e 5 apresentam pouca exposição ao sol e umidade; o dique 6 é sombreado e úmido, enquanto o dique 7 é sombreado e muito úmido.

O maior número de espécies na área de influência do dique 1 deve-se à presença de água, à grande exposição solar na praça de sedimentação e disponibilidade de nutrientes. Os diques 2, 3, 4 e 5, por possuírem condições ambientais parecidas, assim como a similaridade das condições do substrato, apresentaram número de espécies similares.

Os diques 6 e 7, por apresentarem condições de pouca luminosidade, apesar de boa oferta de umidade, possuem menor diversidade de espécies, quando comparadas com os demais diques.

Existe uma série de variáveis ambientais que podem interferir na resposta apresentada pela vegetação colonizadora das áreas de influência dos diques; entre elas, podemos destacar a área de captação, declividade do leito original, pendente de compensação, posição relativa da catena, qualidade do substrato retido, umidade e luminosidade.

5. CONCLUSÕES

Os diques são obras físicas que, instaladas sobre subsolo exposto e com intenso dinamismo dos processos erosivos, mesmo após transcorridos 13 anos de total abandono, mostram-se eficientes quanto a seus resultados: estabilizaram os processos erosivos na calha, transformaram a tendência de escavação ao longo da encosta em tendência de sedimentação, em 1.100 m² de área, acumulando 1.137 m³ de sedimentos, transportados, em 5,57 ha da microbacia. Eles permitiram o redirecionamento dos fluxos, estabilização do leito e margens, e propiciaram a formação de ilhas de resiliência, onde o estabelecimento vegetal espontâneo (85 famílias / 6 anos) tornou-se possível, facilitando a acumulação de água e abrigando fauna dispersora de sementes.

A gradação observada na sedimentação, onde partículas grosseiras prevalecem no fundo e finas em superfície, indica que, logo após a execução das obras físicas, o geodinamismo dos processos erosivos era intenso, transportando partículas de maiores diâmetros (calhaus e cascalho), enquanto nas camadas de deposição superficial, a energia foi reduzida, a ponto de cessar o processo erosivo na calha. Os nove meses transcorridos para a total sedimentação dos diques foram determinantes na estratificação dos sedimentos.

Os sedimentos transportados e trabalhados pelas drenagens apresentaram características físicas similares em todos os diques, indicando homogeneidade do substrato. No entanto, as concentrações de sedimentos por classes granulométricas e sua localização nas cunhas de sedimentação foram diferentes. Isso sugere que as variáveis hidráulicas dos locais onde estão posicionados os diques, bem como, a proximidade dos pontos de emissão (área direta) podem interferir na forma como se rearranjam os sedimentos.

Sedimentos finos, depositados por chuvas fracas, quando submetidos a precipitações intensas, não são totalmente carregados para fora da área de sedimentação do dique, fato que é constatado pela diferença significativa da granulometria de sedimentos entre profundidades nos diques.

Os diques tiveram rearranjo na deposição dos sedimentos, que variaram em função da qualidade das chuvas, fontes de produção. Eles se assorearam em 9 meses (1993/1994). Nos anos subseqüentes, os processos erosivos foram estabilizados, as encostas pararam de sofrer solapamento das suas bases, e os locais desencadeadores de movimentos de massa se transformaram em “ilhas de resiliência”, abrigando 85 famílias de espécies vegetais, em 6 anos, 122 espécies e colonização média de 3.391 indivíduos/ha. Todas essas evidências indicam a oferta de propriedades emergentes criadas e disponibilizadas ao ecossistema, contribuindo para o potencial de recuperação da área de empréstimo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J. P. **Iniciacion del movimiento de una partícula prismática en un flujo turbulento de rugosidad pronunciada**. Ed. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 1975. 74p.

ANDRADE, L. B. O Uso da fauna edáfica como bio-indicadora de modificações ambientais em Áreas Degradadas. 2000. 48 f. Monografia (Ciências Biológicas) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

ANEEL. **Informações sobre dados pluviométricos do Brasil**. 2001. <<http://www.aneel.gov.br>.

BAHIA, V. G. et al. **Fundamentos de erosão do solo**: tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle. Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992. Informe Agropecuário.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo. 1997. 183f. Tese (Doutor em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo.

BOEHM, M.M.; D.W. ANDERSON. A. **Landscape-scale study of soil quality in three prairie farming systems**. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1147-1159, 1997.

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

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia**: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 348p.

CEMAGREF. **Bassins versants expérimentaux de Draix**: compte rendu de recherche n. 1 en érosion et hydraulique torrentielle. Grenoble. França. 1987. Relatório Técnico.

DNOS. **Estudo para o controle da erosão no noroeste do Estado do Pará**. Curitiba: Departamento Nacional de Obras e Saneamento. 1972. 42p. Relatório Final.

ELETRONORTE. **Programa de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, PA**. ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A/ Consórcio Engevix – Themag. 1998. 151p. Relatório Técnico.

ELLISON, W. D. Studies of raindrop erosion. **Agriculture Engineering**. v.25, n.4, p. 131. 1994. 136p.

EMBRAPA/SNLCS. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1979. 52p.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Tombamento da Serra do Mar/Mata Atlântica**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente-RJ. 1991. 37p. Relatório final.

FENDRICH, R. et al. **Tópicos de hidrologia em obras hidráulicas de combate a erosão urbana**. In: **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 3 ed. São Paulo: IBRASA, 1991. 442p. p.121-181.

FERNANDES M. B.; LEITE, J. A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um latossolo amarelo em Manaus-AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 20:1323-1331, 1985.

FIDERJ. **Indicadores Climatológicos**. Rio de Janeiro: Série Sipe, 1978. 156p.

FILHO, C. C.; MUZILLI, O. **Manejo Integrado de Solos em Microbacias Hidrográficas**. Londrina: Editora IAPAR, 1996. 313p.

FUNDREN. Mapa Base na escala 1: 2.000. Áreas de Interesse Especial na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Base LAF-FUNDREN. SPE. Folha 01/02, 1987.

GARMIN INTERNATIONAL. 9875 Widmer Road, Lenexa, KS 66215, USA, 1994.

GAUSSEN. H. Expression des milieux par des formules écologiques. **Coloquio Internacional**. CNRS, 1955. p.257-269.

GÓES, M. H. B. Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí, RJ. 1994. 524f. Tese (Doutor em Ciências) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Rio Claro.

GONÇALVES, L. F. H. Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis – RJ. 1998. 169f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Recuperação de áreas degradadas usando vegetação nativa. **Saneamento Ambiental**. 7 (37) p. 28-37. 1996.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 458p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 372p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Edgard Bl, cher, 2TM ed., 1984. 194p.

KOBIYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E. M. (Coord.) **I Fórum Geo-Bio-Hidrologia**. 1998. Curitiba. Estudo em vertentes e microbacias hidrográficas. Anais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. 237p.

KOPPEN. W. **Das geographische system der klimate**. Handbuch der Klimatologie. Berlin: Bortraeger, 1938.

IBM. **Mineração e meio ambiente**. Instituto Brasileiro de Mineração. Comissão Técnica de Meio Ambiente, Brasília. 1992. 126p.

LEITÃO FILHO, H. F. (org) **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Campinas: Editora UNESP / Editora UNICAMP, 1993. 184p.

LIZASO, J. O. Erosion laminar bajo de diferentes coberturas y pendientes en un Palehumlt de las cuencas altas del Programa Guanare-Masparro. 1980. 149f. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidad de Los Andes. Merida.

LLANO, F. L. C. del. **Restauracion hidrológico forestal de cuencas y control de la erosion**. Madrid: Editora Mundi-Prensa, 1994. 902p.

LOPES, J. A. U. Estimativa de Estabilidade de Encostas Naturais e Procedimentos Preventivos / Corretivos da Engenharia Civil. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**. III Curso de Atualização. UFPR. Curitiba: p.59-81. 1996.

MATTOS, C. C. L. V.; SILVA, M. R.; NOGUEIRA, I. B.; BATISTA, I. M. Caracterização Climática da Área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Itaguaí: **Arquivos UFRRJ**. p 53-63. 1989.

MENEZES, C. E. G. Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral, RJ. 1999. 203f. Dissertação (Magister Scientiae) Ciências Ambientais e Florestais – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

MIZUGUCHI, Y., ALMEIDA, DE J. R.; PEREIRA, L. A. **Introdução à ecologia**. São Paulo: Editora Moderna, 1982. 215p.

MULTISERVICE. **Relatório de Impacto Ambiental do Polo Petroquímico do Rio de Janeiro**. v.13, Rio de Janeiro: 1990.

NEVES, L. G.; VALCARCEL, R. Regeneração induzida em áreas de empréstimo na Ilha da Madeira, RJ. In: **Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**, XI Resumos expandido... Seropédica: UFRRJ, 2001. 569p. p161-162. (28-30/11/00). 2001 (www.ufrj.br/posgrad/pibic).

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S.A., 1983. 434p.

ONDA, Y. **Influence of water storage capacity in the regolith zone on hydrologica characteristics, slope processes, and slope form**. Z. Geomorph. N. F. v.36, p. 165-178. 1992.

PAPADAKIS, J. **Climates of the world end their agricultural potentialites**. Buenos Aires: 1960.

PEREIRA, V. P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: UEP-FCAV, 1994. 50p.

PINHEIRO, C. A de A. Dinamismo dos processos erosivos em áreas de empréstimo sob diferentes estratégias biológicas de reabilitação, Ilha da Madeira-Itaguaí, RJ. 2002. 44f. Monografia. (Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

PRADO, H. **Solos do Brasil**: gênese, morfologia, classificação e levantamento. 2 ed. Piracicaba: USP, 2001. 220p.

RADAMBRASIL. FOLHAS SF. 23/24. Rio de Janeiro / Vitória: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso potencial da Terra. 1983. 780p.

RAMOS, O. **Manual de topografia básica**. Seropédica: UFRRJ, 1973. 216p.

REZENDE, J. O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo Aluvial (estudo de caso). 1979. 112f. Tese. Universidade de São Paulo. Piracicaba

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitossociologia do Brasil**. v.2. São Paulo: Ed. HUCITEC/ Ed. USP, 1979. 374p.

RODRIGUES, R. R. ; GANDOLFI, S. Restauração de Florestas Tropicais, subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. *In*: DIAS, L. E.; MELLO, J.W. V. **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa: SOBRADE, 1998.

RODRIGUES, R. R. B.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

ROJAS, R. M. **Hidrologia de tierras agrícolas**. Merida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Águas y Tierras (CIDIAT), 1980. 110p.

SANTOS, C. J. F. Técnicas de plantio para proteção e estabilização de taludes. 1998. 115f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

SANTOS, M. C.; VALCARCEL, R. Uso de cinturão vegetal como estratégia de obstrução visual de áreas degradadas. *In*: **III Simp. Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**. Resumos... Ouro Preto: SOBRADE, p. 494-500. 1997.

SARDINHA, A. M.; MACEDO, F. W.de **Hidráulica Florestal**. Vila Real: IUTAD, 1981. 378p.

SILVA, I. L.; VALCARCEL, R. Aferição hidrológica de desenho de obras físicas em áreas de empréstimo. *In*: **VI Bienal de Pesq. da UFRRJ**. Resumos. Itaguaí: UFRRJ, 1996. 418p.

SILVA, R. T. da; VALCARCEL, R. Uso de medidas físicas na recuperação de áreas de empréstimo da Mata Atlântica. *In*: **Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**. XI Resumos. Itaguaí: UFRRJ, 2001. 569p p161-162. (28-30/11/00). ISSN 1518-5680 (www.ufrj.br/posgrad/pibic)

SOUZA, E. R. Alterações físico-químicas no deflúvio de três Sub-bacias hidrográficas de decorrentes da atividade agrícola. Londrina, 1996. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

SPOLIDORO, M. L. C. V. Fatores ambientais que afetam a distribuição e frequência de capinzais na serra de Madureira – Mendanha, RJ. 2000. 59f. Monografia (Especialização em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

STALLING, J. H. **Soil conservator**. Englewood Cliffs, New Jersey. 1957.

SWANK, W. T. **Forest Hidrology and Ecology at Coweeta: ecological studies**. Georgia: 1994.

TEIXEIRA, I. J. L. Critérios ambientais visando o estabelecimento de medidas compensatórias para o setor de mineração de brita no município do Rio de Janeiro. 2000. 79f. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

UFRRJ. **Diagnóstico conservacionista do sistema Light-Cedae**. Itaguaí: UFRRJ, 279p.+ mapas. 1986. Relatório Final.

UFRRJ. **Plano de recuperação de áreas de empréstimo da Serviços de Engenharia Rodoférrea S. A.** Itaguaí: 1993. 64p. Relatório Final.

VALCARCEL, R. Estudios de los procesos erosivos en una microcuenca en la zona central de Espana-Puebla de Valles. 1989. 284f. Tese (Doutor in Ingenieria de Montes) – Universidade Politécnica de Madrid. Madrid.

VALCARCEL, R. Problemas de recuperação de áreas degradadas nos Alpes Italianos e Franceses. *In: Workshop Sobre Recuperação de Áreas Degradadas*. Anais... Itaguaí. UFRRJ, p. 17-27. 1991.

VALCARCEL, R.; D'ALTÉRIO, C. F. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas, avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. **Floresta & Ambiente**. Seropédica, v.5. p.68 – 88, 1998.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. S. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas, proposta metodológica. **Floresta & Ambiente**. Seropédica, 27(1/2) 101-114. UFPr. 2000.

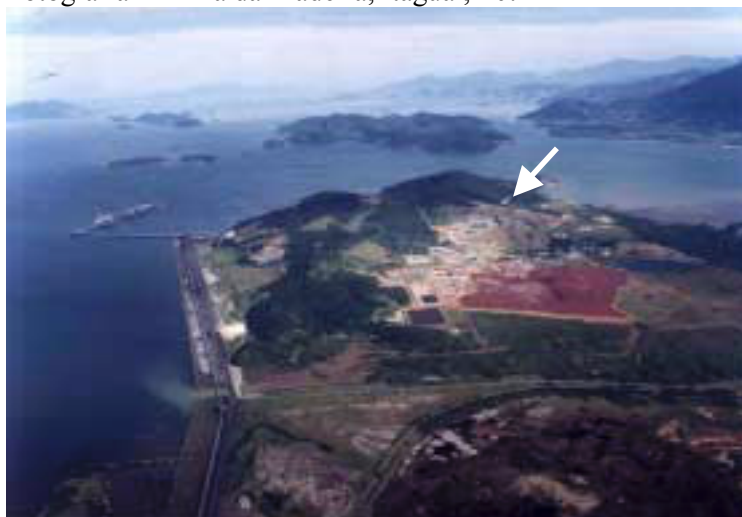
VILLELA, S. M. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WISCHMEIER, W.; J. MANNERING. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**. 33 (1): 131-137. 1969.

ANEXOS

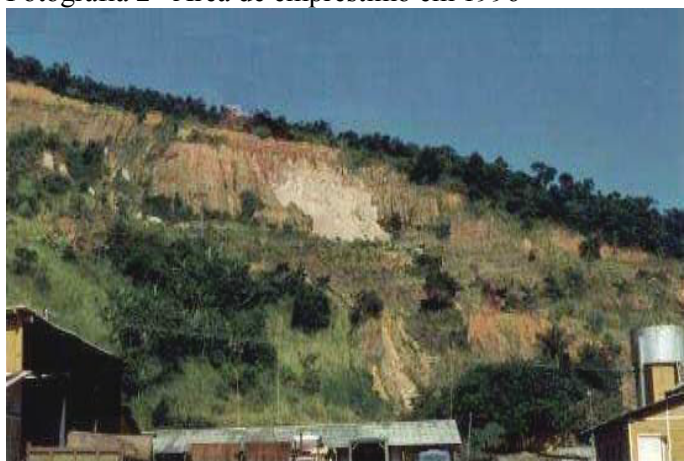
Anexo 1 - Fotografias

Fotografia 1 – Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.



Nota: Área de empréstimo (indicada) que abrange desde a base até o topo do morrote. A região adjacente ao Porto de Sepetiba recebeu o aterro para construção do retroporto. Fotografia cedida por M. H. GÓES, 1995.

Fotografia 2 – Área de empréstimo em 1996



Nota: Dois anos após implantação das medidas físicas e um ano das medidas biológicas. Indícios da estabilização do dinamismo dos processos erosivos. (LMBH nº 130696-21).

Fotografia 3 – Área de empréstimo em 2000



Nota: Consolidação das medidas físicas e biológicas. Observa-se a recuperação ambiental em grande parte da área. LMBH nº (111000-29)

Fotografia 4 - Dique transversal



Nota: Obra de gravidade disposta transversalmente no curso d'água. Reduz a energia da água, diminui sua capacidade de erosão, redireciona o fluxo erosivo retendo sedimentos, e estabiliza as margens (LMBH nº 111020-20).

Fotografia 5 – Praça de sedimentação



Nota: É uma obra transversal, disposta no início da planície de inundação, no exutório da bacia hidrográfica. Objetiva reter sólidos, liberando apenas vazão líquida e material em suspensão (LMBH nº 111000-26).

Fotografia 6 – Espigão



Nota: Obras que evitam o choque do fluxo sobre margens, redirecionam o sentido do escoamento e quebram a sua energia, protegendo contra a erosão lateral (LMBH nº 111000-21).

Fotografia 7 – Muro de desvio



Nota: São estruturas longitudinais, rígidas, indeformáveis, que desviam o fluxo d'água (LMBH nº 111000-03).

Fotografia 8 – Caixa Terminal



Nota: Estruturas que captam e redirecionam os fluxos oriundos das bacias de drenagem. (LMBH nº 111000-08).

Fotografia 9 – Caixa de passagem



Nota: Caixas de 1m³ que promovem a deposição de sedimentos e permitem as angulações das calhas coletoras (LMBH nº 111000-06).

Fotografia 10 – Caixa dissipadora



Nota: São obras de concreto armado que reduzem a energia da água conduzida pelos canos de PVC (LMBH nº 111000-04).

Fotografia 11 – Canaleta



Nota: São obras destinadas a captar e conduzir a água das encostas (LMBH nº 111000-10).

Fotografia 12 – Tubulação PVC



Nota: Conduzir águas pluviais sobre regiões críticas, sem contato direto, minimizando o arraste e desagregação. (LMBH nº 020994-16).

Fotografia 13 - Travessa



Nota: Obras transversais ao sentido do escoamento, afogadas, cujo objetivo é evitar o solapamento da calha (LMBH nº 020994-14).

Fotografia 14 – Dique de fechamento



Nota: Dimensionado para resistir a grande pressão exercida pelo fluxo no terço final da drenagem (LMBH nº 111000-27)

Fotografia 15 - Regeneração natural



Nota: Os sedimentos depositados a montante dos diques criam condições favoráveis para o surgimento de propriedades emergentes, facilitando assim a recuperação da área. (LMBH nº 111000-19).

Anexo 2 - Fórmulas

$$t_c = 57 \left[L^3 / (h_0 - h_1) \right]_{0,381} \dots\dots\dots(1)$$

Onde,
T_c = tempo de concentração (segundo)
L = comprimento da área de influência (m)
h₀ = propriedades da bacia de drenagem
h₁ = propriedades da bacia de drenagem

$$Q = C.I.T / 3,6 \dots\dots\dots(2)$$

Onde,
Q = vazão de projeto (m³/s)
C = coeficiente de impermeabilização da bacia (valores tabelados)
I = intensidade de precipitação (mm/h)
T = tempo de recorrência em anos

$$b = 0,4.H \dots\dots\dots(3)$$

Onde,
b = cresta do dique (m)
H = altura do dique (m)

$$h = [Q / 1,705.L]^{2/3} \dots\dots\dots(4)$$

Onde,
H = altura do vertedor (m)
L = comprimento médio da cubeta (L1 + L2/2) (m)
Q = vazão de projeto (m³ / s)

$$UG\% = \frac{Pu - Ps}{Ps} * 100 \dots\dots\dots(5)$$

Onde,
UG = umidade gravimétrica (%)
Pu = massa úmida (g)
Ps = massa seca (g)

$$Q = i / n \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

Onde,

Q = vazão calculada (m³/s)

i = declividade (m/m)

A = seção transversal (m²)

n = coeficiente de rugosidade da parede

R = raio hidráulico

$$i = \frac{h_o - h_i}{d} \dots\dots\dots(7)$$

Onde,

i = declividade (%)

h_o = cota inicial do trecho (m)

h_i = cota final do trecho (m)

d = distância (m)

$$I = (711,3 \cdot T^{0,187}) / (t_c + 14) \dots\dots\dots(8)$$

Onde,

I = intensidade de precipitação (mm/h)

T = tempo de recorrência (anos)

t_c = tempo de concentração (segundo)

Anexo 3 - Figuras

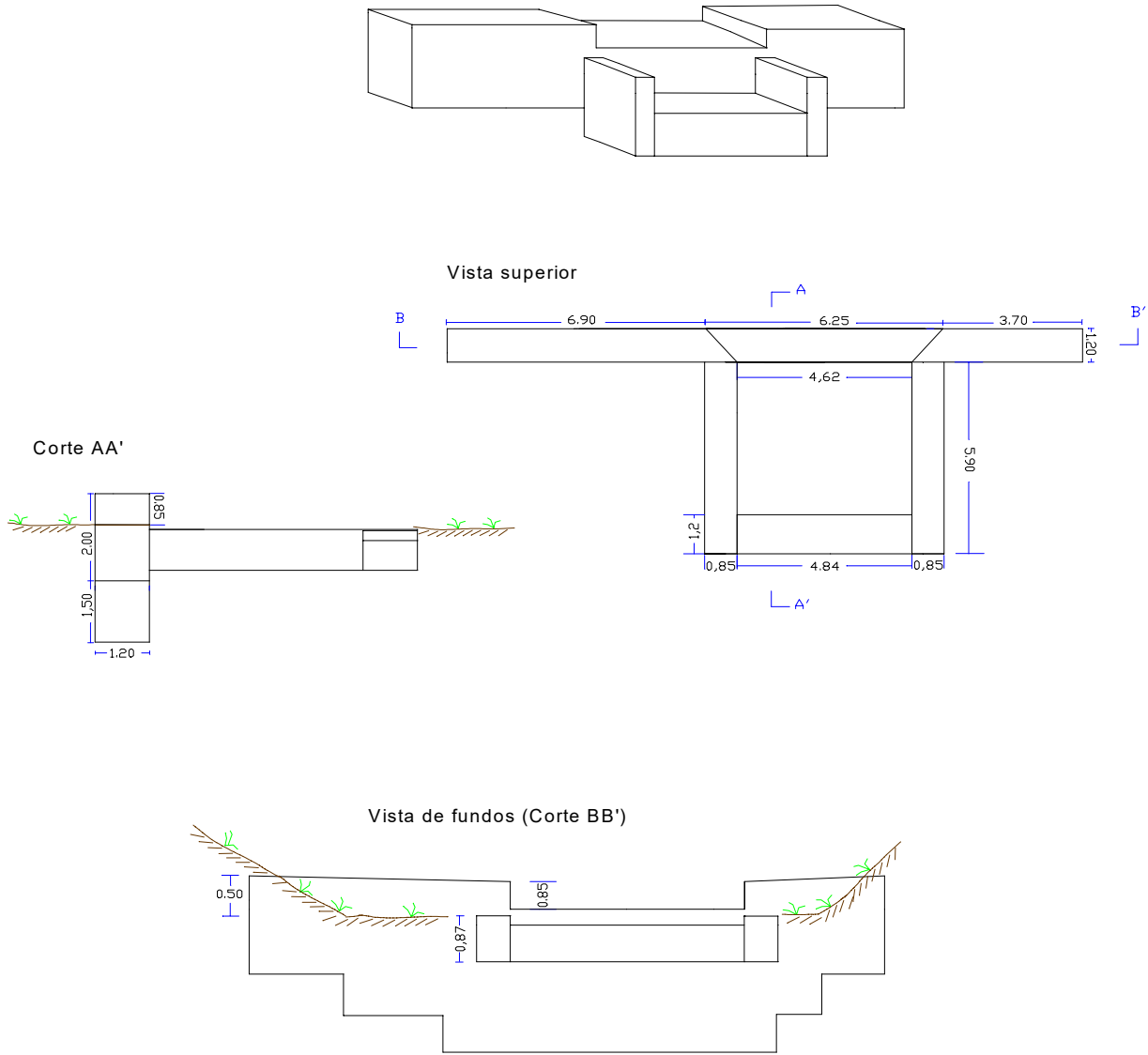
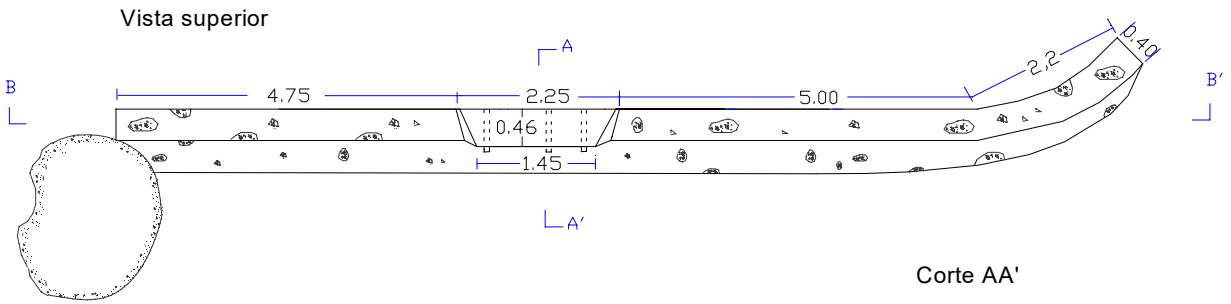
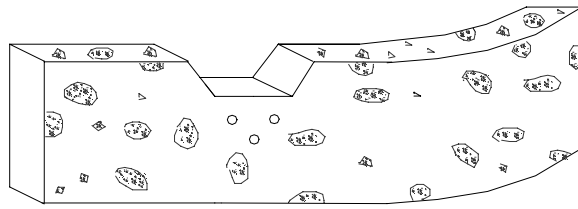
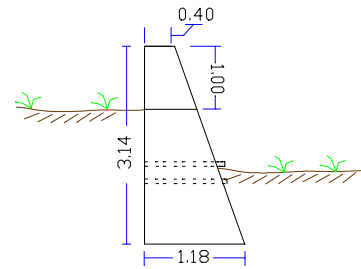


Figura 01 - DIQUE 01



Corte AA'



Vista de fondos (Corte BB')

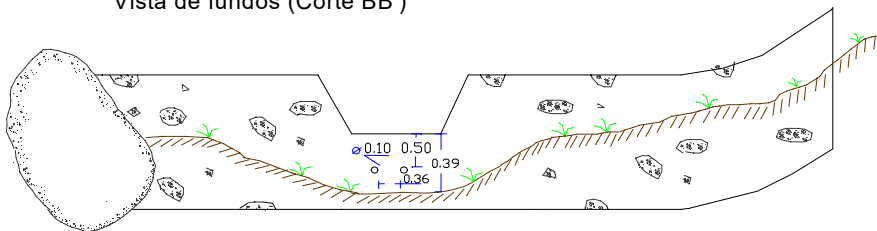
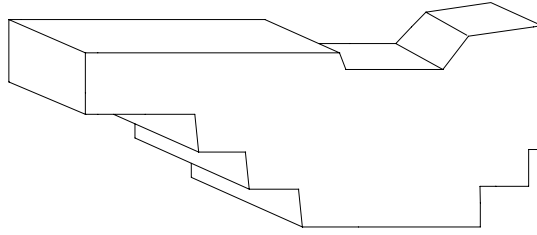
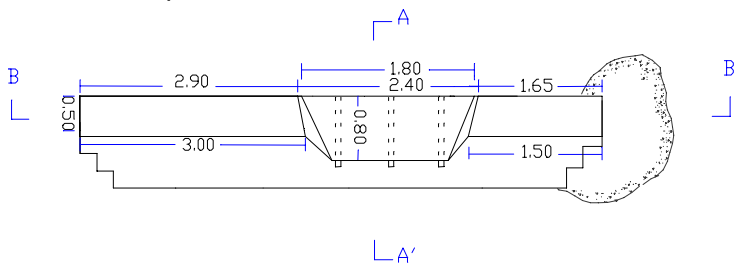


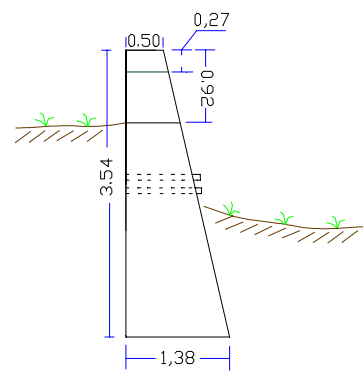
Figura 02 - DIQUE 02



Vista superior



Corte AA'



Vista de fondos (Corte BB')

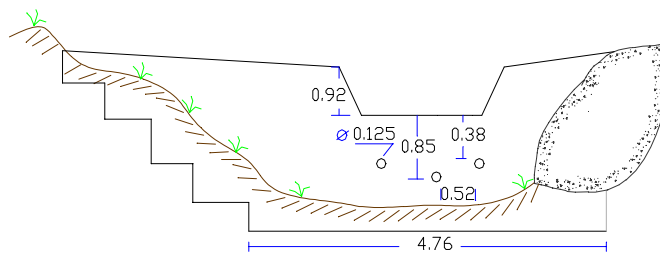
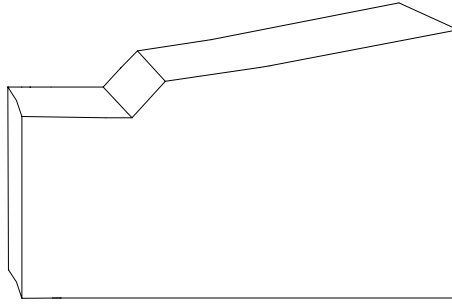
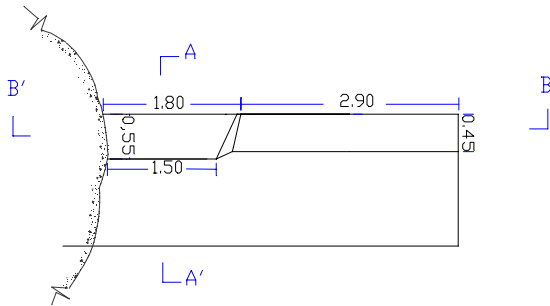


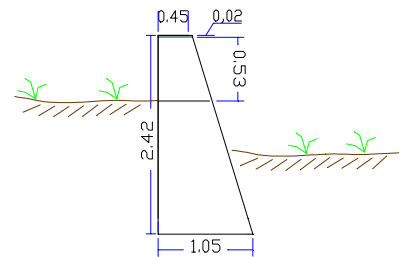
Figura 03 - DIQUE 03



Vista superior



Corte AA'



Vista de fondos (Corte BB')

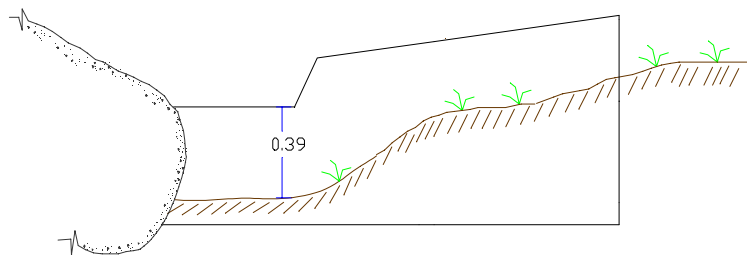
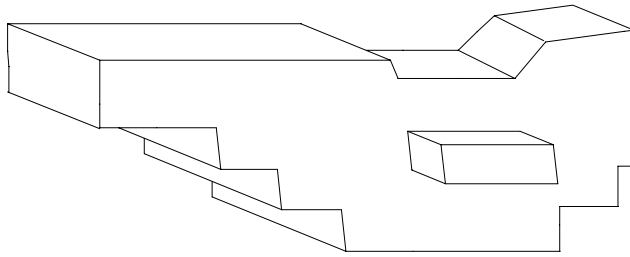
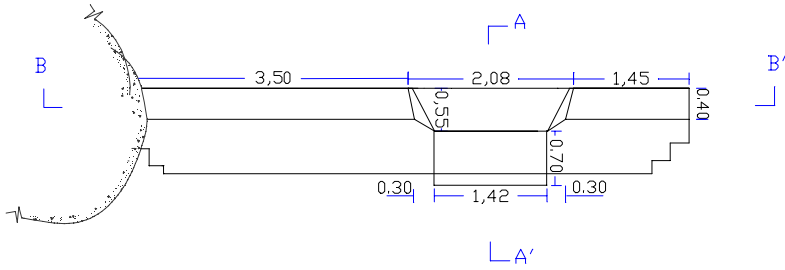


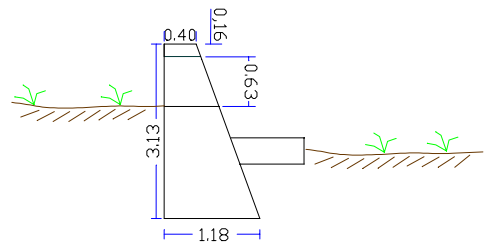
Figura 04 - DIQUE 04



Vista superior



Corte AA'



Vista de fundos (Corte BB')

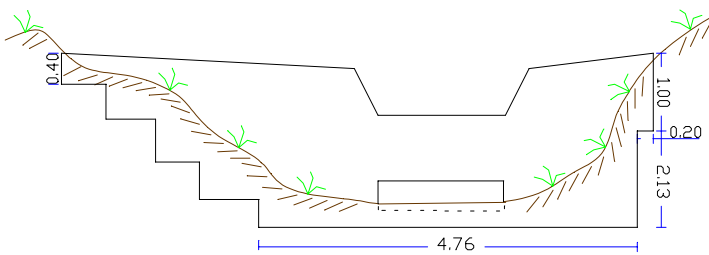
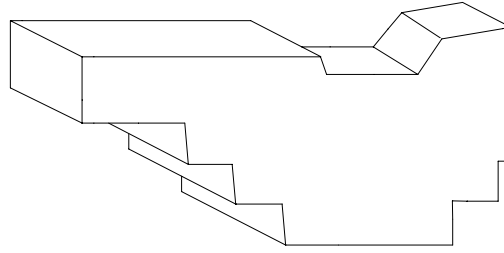
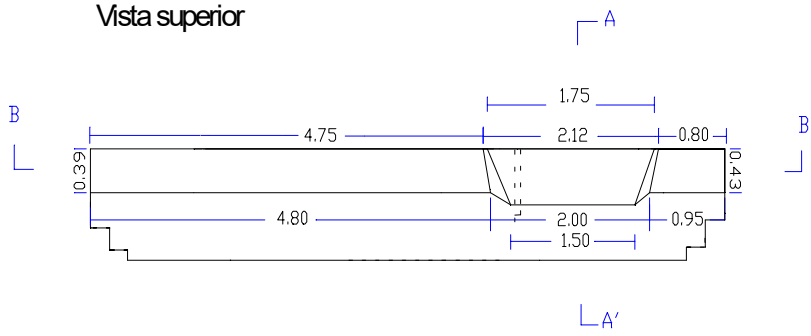


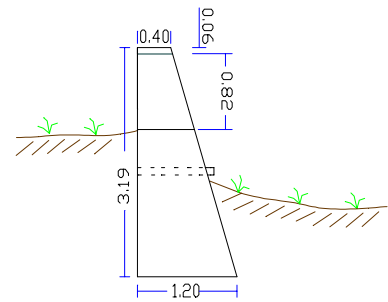
Figura 05 - DIQUE 05



Vista superior



Corte AA'



Vista de fundos (Corte BB')

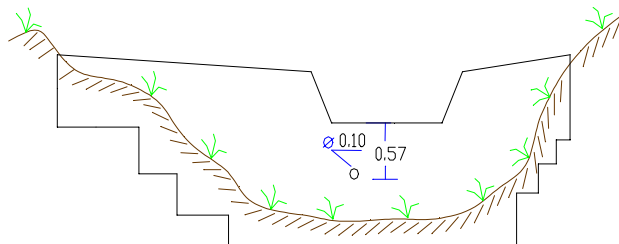
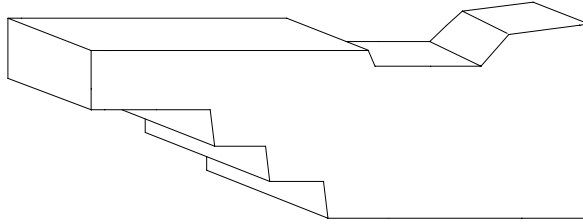
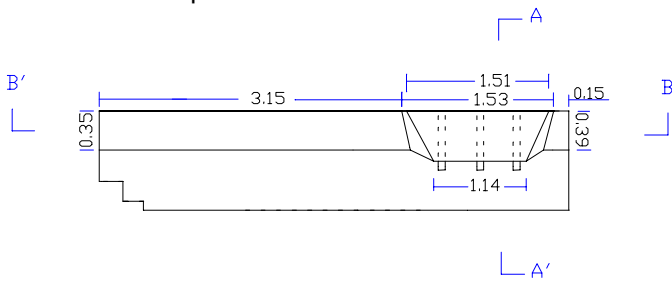


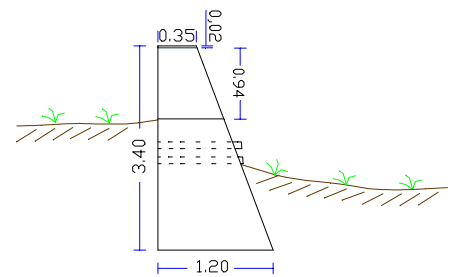
Figura 06 - DIQUE 06



Vista superior



Corte AA'



Vista de fondos (Corte BB')

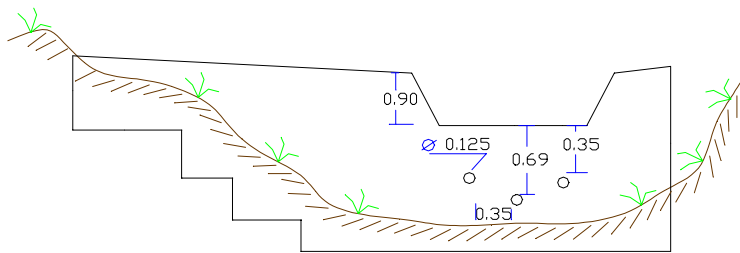


Figura 07 - DIQUE 7

Anexo 4 – Levantamento Florístico

Quadro 1. Espécies espontâneas da área de influência dos diques – Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Dique	Família/ Nome científico		Nome vulgar	N ⁰ ind/ Dique	Porte	Ambiente		
1	Anacardiaceae <i>Mangifera indica</i>		Manga	1	Arbórea	Pleno sol & Úmido		
	Asteraceae <i>Eupatorium squalidum</i> <i>Orthopappus angustifolius</i> <i>Piptocarpus sp</i>		Eupatório Lingua-de-vaca Vassoura preta	6 10 10	Arbustiva Herbácea Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>		Embaúba	30	Arbórea	Pleno sol & Úmido		
	Combretaceae <i>Terminalia catapa</i>		Castanheira	1	Arbórea	Pleno sol & Úmido		
	Cucurbitaceae <i>Momordica charantia</i> L		Melão-de-São c.	2	Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Gramineae <i>Panicum maximum</i> <i>Pennisetum purpureum</i> <i>Andropogon bigornis</i>		Capim colônia Capim elefante Rabo de burro	60 35 20	Herbácea Herbácea Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Leguminosae <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Piptadenia gonoacantha</i> <i>Mucuna urens</i> <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> <i>Crotalaria lanceolata</i> <i>Acacia holosericea</i> A. Cunn. <i>Clitoria fairchildiana</i> <i>Mimosa pudica</i>		Leucena Pau jacaré Mucuna preta Sabiá Gizo-de-cascavel Acacia Sombreiro Dormideira	8 1 7 13 10 2 10 6	Arbórea Arbórea Herbácea Arbustiva Herbácea Arbórea Arbórea Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Meliaceae <i>Melia azedarach</i> L.		Pára-raio	1	Arbórea	Pleno sol & Úmido		
	Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>		Jaborandi-do-mato	7	Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Pteridaceae <i>Pteridium aquilinum</i> L.		Samambaia	2	Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Solanaceae <i>Solanus atropurpureum</i> <i>Solanus sp.</i>		Arrebenta boi Batata doce	1 5	Herbácea Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Rubiaceae <i>Borrea verticulata</i> <i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.		Borélia Erva quente	30 20	Herbácea Herbácea	Pleno sol & Úmido		
	Ulmaceae <i>Trema micrantha</i>		Crindiúva	14	Arbustiva	Pleno sol & Úmido		
	Geral	N ⁰ Famílias 13	N ⁰ Espécies 26	N ⁰ ind./dique 314	N ⁰ ind./ha 2.798	N ⁰ Esp. Herbáceas 15	N ⁰ Esp. Arbustivas 3	N ⁰ Esp. Arbóreas 8
	2	Asclepiadaceae <i>Oxypetalum wightianum</i>		Cipó-de-leite	6	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
		Asteraceae <i>Orthopappus angustifolius</i>		Lingua-de-vaca	3	Herbácea	Pouco sol & Úmido	

	Bignoniaceae <i>Phitecoctenium echinatum</i>	Pente-de-macaco	1	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>	Samambaia	20	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>	Embaúba	4	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Gramineae <i>Pennisetum purpureum</i> <i>Panicum maximum</i>	Capim elefante Capim colôniao	40 45	Herbácea Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Leguminosae <i>Machaerium aculeatum</i> <i>Mucuna urens</i> <i>Mimosa sp</i> <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> <i>Leucaena leucocephala</i>	Borrachudo Mucuna preta Aranha gato Sabiá Leucena	2 5 1 5 2	Arbustiva Herbácea Herbácea Arbustiva Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Licopodiaceae <i>Lycopodium cernum</i>	Erva-de-enxofre	10	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Melastomataceae <i>Leandra australis</i>	Pixirica	6	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Meliaceae <i>Guarea guidonea</i>	Carrapeta	2	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Myrtaceae <i>Psidium guajava</i>	Goiaba	1	Arbustiva	Pouco sol & Úmido		
	Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>	Jaborandi-do-mato	12	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Ulmaceae <i>Trema micrantha</i>	Crindiúva	3	Arbustiva	Pouco sol & Úmido		
Geral	N ⁰ Famílias 13	N ⁰ Espécies 18	N ⁰ ind./dique 168	N ⁰ ind./ha 1.132	N ⁰ Esp. Herbáceas 11	N ⁰ Esp. Arbustivas 4	N ⁰ Esp. Arbóreas 3
3	Asclepiadaceae <i>Oxypetalum wightianum</i>	Cipó-de-leite	1	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Asteraceae <i>Achyrocline satureoides</i> <i>Orthopappus angustifolius</i> <i>Vernonia scorpioides</i>	Macela Lingua-de-vaca Erva-de-prea	1 1 1	Herbácea Herbácea Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>	Samambaia	10	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>	Embaúba	3	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Combretaceae <i>Terminalia catapa</i>	Castanheira	1	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Euphorbiaceae <i>Croton floribundos</i>	Sangra d'água	1	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
	Gramineae <i>Panicum maximum</i>	Capim colôniao	20	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
	Leguminosae <i>Piptadenia gonoacantha</i> <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Machaerium aculeatum</i> <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Pau jacaré Leucena Borrachudo Sabiá	1 1 2 2	Arbórea Arbórea Arbustiva Arbustiva	Pouco sol & Úmido		
	Melastomataceae <i>Leandra australis</i>	Pixirica	8	Herbácea	Pouco sol & Úmido		

	Meliaceae <i>Guarea guidonea</i>		Carrapeta	5	Arbórea	Pouco sol & Úmido	
	Orchidaceae <i>Planus grandifolius</i>		Orquídea-da-terra	6	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>		Jaborandi-do-mato	2	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Polypodiaceae <i>Stenochloena temifolia</i>		Samambaia trepadeira	1	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Pteridaceae <i>Pteridium aquilinum L.</i>		Samambaia	4	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Tiliaceae <i>Leuhea atropurpureum</i>		Açoita-cavalo	1	Arbustiva	Pouco sol & Úmido	
	Ulmaceae <i>Trema micrantha</i>		Crindiúva	1	Arbustiva	Pouco sol & Úmido	
Geral	N ⁰ Famílias 16	N ⁰ Espécies 21	N ⁰ ind./dique 73	N ⁰ ind./ha 891	N ⁰ Esp. Herbáceas 11	N ⁰ Esp. Arbustivas 4	N ⁰ Esp. Arbóreas 6
4	Anacardiaceae <i>Mangifera indica</i>		Manga	3	Arbórea	Pouco sol & Úmido	
	Asteraceae <i>Vernonia scorpioides</i>		Erva-de-preá	4	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>		Samambaia	8	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>		Embaúba	1	Arbórea	Pouco sol & Úmido	
	Flacourtiaceae <i>Caeria sylvestris</i>		Pau lagarto	2	Arbustiva	Pouco sol & Úmido	
	Gramineae <i>Imperata brasiliensis</i>		Sapê	3	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	<i>Cynodon dactylon (L.) Pers.</i>		Grama seda	6	Herbácea		
	<i>Panicum maximum</i>		Capim colônia	21	Herbácea		
	Leguminosae <i>Machaerium aculeatum</i>		Borrachudo	4	Arbustiva	Pouco sol & Úmido	
	<i>Acacia auriculiforme</i>		Acacia	26	Arbórea		
Melastomataceae <i>Leandra australis</i>		Pixirica	3	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
Meliaceae <i>Guarea guidonea</i>		Carrapeta	2	Arbórea	Pouco sol & Úmido		
Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>		Jaborandi-do-mato	1	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
Pteridaceae <i>Adiantum trapeziforme L.</i>		Avenca	4	Herbácea	Pouco sol & Úmido		
Geral	N ⁰ Famílias 11	N ⁰ Espécies 14	N ⁰ ind./dique 88	N ⁰ ind./ha 5.301	N ⁰ Esp. Herbáceas 8	N ⁰ Esp. Arbustivas 2	N ⁰ Esp. Arbóreas 4
5	Asclepiadaceae <i>Oxypetalum wightianum</i>		Cipó-de-leite	5	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	Asteraceae <i>Achyrocline satureoides</i>		Macela	5	Herbácea	Pouco sol & Úmido	
	<i>Orthopappus angustifolius</i>		Lingua-de-vaca	1	Herbácea		
	<i>Vernonia scorpioides</i>		Erva-de-prea	20	Herbácea		
<i>Baccharis dracunculifolia</i>		Alecrim-do-campo	9	Arbustiva			
Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>		Samambaia	10	Herbácea	Pouco sol & Úmido		

	Gleicheniaceae <i>Dicranopteris pectinata</i> (Wild) Und.			Samambaia	20	Herbácea	Pouco sol & Úmido
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>			Embaúba	2	Arbórea	Pouco sol & Úmido
	Combretaceae <i>Terminalia catapa</i>			Castanheira	1	Arbórea	Pouco sol & Úmido
	Gramineae <i>Panicum maximum</i> <i>Imperata brasiliensis</i>			Capim colônia Sapê	16 30	Herbácea Herbácea	Pouco sol & Úmido
	Leguminosae <i>Crotalaria lanceolata</i> <i>Acacia auriculiforme</i> <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Acacia mangium</i>			Gizo-de-cascavel Acacia Leucena Acacia	4 3 1 1	Herbácea Arbórea Arbórea Arbórea	Pouco sol & Úmido
	Licopodiaceae <i>Lycopodium cernum</i>			Erva-de-enxofre	15	Herbácea	Pouco sol & Úmido
	Melastomataceae <i>Leandra australis</i>			Pixirica	1	Herbácea	Pouco sol & Úmido
	Myrtaceae <i>Psidium guajava</i>			Goiaba	1	Arbustiva	Pouco sol & Úmido
	Rubiaceae <i>Borrea verticulata</i>			Borelia	2	Herbácea	Pouco sol & Úmido
	Tiliaceae <i>Leuhea atropurpureum</i>			Açoita cavalo	2	Arbustiva	Pouco sol & Úmido
Geral	N ⁰ Famílias 13	N ⁰ Espécies 20	N ⁰ ind./dique 149	N ⁰ ind./ha 8.011	N ⁰ Esp. Herbáceas 12	N ⁰ Esp. Arbustivas 3	N ⁰ Esp. Arbóreas 5
6	Asteraceae <i>Vernonia Escorpioides</i>			Erva de preá	15	Herbácea	Sombreado & Úmido
	Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>			Samambaia	10	Herbácea	Sombreado & Úmido
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>			Embaúba	3	Arbórea	Sombreado & Úmido
	Gleicheniaceae <i>Dicranopteris pectinata</i> (Wild) Und.			Samambaia	30	Herbácea	Sombreado & Úmido
	Gramineae <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Panicum maximum</i>			Grama-seda Capim colônia	10 9	Herbácea Herbácea	Sombreado & Úmido
	Leguminosae <i>Machaerium aculeatum</i>			Borrachudo	1	Arbustiva	Sombreado & Úmido
	Licopodiaceae <i>Lycopodium cernum</i>			Erva-de-enxofre	8	Herbácea	Sombreado & Úmido
	Melastomataceae <i>Tribolchina granulosa</i> <i>Leandra australis</i>			Quaresmeira Pixirica	5 4	Arbórea Herbácea	Sombreado & Úmido
	Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>			Jaborandi-do-mato	3	Herbácea	Sombreado & Úmido
Geral	N ⁰ Famílias 9	N ⁰ Espécies 11	N ⁰ ind./dique 98	N ⁰ ind./ha 2.157	N ⁰ Esp. Herbáceas 8	N ⁰ Esp. Arbustivas 1	N ⁰ Esp. Arbóreas 2
7	Asteraceae <i>Vernonia escorpioides</i>			Erva-de-prea	2	Herbácea	Sombreado & Muito úmido

	Blechnaceae <i>Blechnum palypodioides</i>		Samambaia	5	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Cecropiaceae <i>Cecrópia sp.</i>		Embaúba	1	Arbórea	Sombreado & Muito úmido	
	Dryopteridaceae <i>Rumohra adiantiformis</i> (F.) Ching		Samambaia	1	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Gleicheniaceae <i>Dicranopteris pectinata</i> (Wild.)Und.		Samambaia	20	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Gramineae <i>Imperata brasiliensis</i> <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.		Sapê Grama-seda	2 4	Herbácea Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Lycopodiaceae <i>Lycopodium cernum</i>		Erva-de-enxofre	5	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Melastomataceae <i>Tribolchina granulosa</i> <i>Leandra australis</i>		Quaresmeira Pixirica	5 6	Arbórea Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Piperaceae <i>Piper solmsianum</i>		Jaborandi-do-mato	3	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
	Rubiaceae <i>Borreia verticulata</i>		Borélia	4	Herbácea	Sombreado & Muito úmido	
Geral	N ⁰ Famílias 10	N ⁰ Espécies 12	N ⁰ ind./dique 58	N ⁰ ind./ha 3.452	N ⁰ Esp. Herbáceas 10	N ⁰ Esp. Arbustivas -	N ⁰ Esp. Arbóreas 2

Quadro 2 - Espécies introduzidas na área de influência dos diques – Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.

Dique	Família/ Nome científico	Nome vulgar	Cap (cm)	Dap (cm)	Altura (m)	Ø copa (m)	Volume (m ³)
1	Leguminosae						
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sabiá	38	12,1	6,7	10	0,31
	<i>Clitoria fairchildiana</i>	Sombreiro	47	15,0	6,0	49	0,42
Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 2	Cap médio 42,5	Dap médio 13,6	Altura média 6,4	Ø copa médio 29,5	Volume médio (m ³) 0,37
	2	Leguminosae					
<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	24	7,6	5,5	7,5	0,10
<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	29	9,2	6	6	0,16
<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	6	1,9	2,5	0,25	0,16
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	43	13,7	7	16	0,41
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	40	12,7	6,2	8	0,31
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	10	3,2	6	1,5	0,02
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	45	14,3	7,8	15	0,50
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	62	19,7	8	10	1,00
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	72	22,9	9	10	1,50
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	74	23,6	9,2	15	1,60
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	63	20,0	8,5	20	1,00
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	70	22,3	9,3	25	1,45
<i>Acacia mangium</i>		Acácia	33	10,5	7	20	0,24
<i>Leucaena leucocephala</i>		Leucena	20	6,4	6	1	0,08
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	25	8,0	7	2	0,14	
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	13	4,1	4,5	1	0,02	
Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 4	Cap médio 41,5	Dap médio 13,9	Altura média 7,1	Ø copa médio 15,5	Volume médio (m ³) 0,54
	3	Leguminosae					
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	65	21,0	22	16	3,00
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	75	23,8	21	25	3,70
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	63	20,0	23	16	2,90
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	50	16,0	18	12	1,45
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	13	4,1	5,5	1	0,03
<i>Acácia mangium</i>		Acácia	68,5	21,8	18	20	2,70
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	30	9,6	7	14	0,20
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	16	5,1	5,5	6	0,06
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	13	4,1	8	2,25	0,04
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	23	4,3	7,5	3,75	0,04
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	26	8,3	7,5	9	0,16
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	26	8,3	8,7	12	0,19
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	24	7,6	7,5	16	0,14
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	24	7,6	8,2	10,5	0,16
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	16	5,1	6	3	0,05
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	36	11,5	8,4	16	0,37
<i>Leucaena leucocephala</i>		Leucena	30	9,6	7	1,5	0,20

Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 3	Cap médio 37,4	Dap médio 12,3	Altura média 12,3	Ø copa médio 11,5	Volume médio (m ³) 0,9	
4	Leguminosae							
	<i>Acácia mangium</i>		Acácia	48,5	15,4	11	9	0,87
	<i>Acácia mangium</i>		Acácia	41,5	13,2	11	16	0,63
	<i>Acácia auriculiforme</i>		Acácia	23,5	7,5	8	3,4	0,15
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	21	6,7	6,5	10	0,10
	<i>Albizia lebbach</i>		Albizia	18	5,7	7	4	0,07
Meliaceae								
<i>Melia azedarach L.</i>		Para raio	9	2,9	6	4	0,02	
Geral	N ⁰ Famílias 2	N ⁰ Espécies 5	Cap médio 26,75	Dap médio 8,6	Altura média 8,25	Ø copa médio 7,7	Volume médio (m ³) 0,31	
5	Leguminosae							
	<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	19	6,0	6,5	18	0,08
	<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	26,5	8,4	6	12,25	0,14
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	9	2,9	3,5	1,5	0,02
	<i>Leucaena leucocephala</i>		Leucena	28	8,9	7	16	0,18
Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 3	Cap médio 20,6	Dap médio 6,6	Altura média 5,8	Ø copa médio 12,0	Volume médio (m ³) 0,02	
6	Leguminosae							
	<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	8	2,5	4	0,25	0,01
	<i>Acacia mangium</i>		Acácia	74	23,6	15	25	2,80
	<i>Acacia auriculiforme</i>		Acácia	40	12,7	12	9	0,60
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	22	7,0	7	16	0,10
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	19	6,0	7	16	0,80
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	20,5	6,5	7	9	0,10	
Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 4	Cap médio 30,6	Dap médio 9,7	Altura média 8,7	Ø copa médio 12,5	Volume médio (m ³) 0,9	
7	Leguminosae							
	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>		Sabiá	18,5	5,9	5	16	0,06
<i>Clitoria fairchildiana</i>		Sombreiro	13	4,1	5	9	0,03	
Geral	N ⁰ Famílias 1	N ⁰ Espécies 2	Cap médio 15,6	Dap médio 5,0	Altura média 5,0	Ø copa médio 12,5	Volume médio (m ³) 0,04	

Anexo 5 – Glossário

1. AUTO-SUSTENTABILIDADE

Capacidade de um ecossistema se manter e/ou perpetuar-se, independentemente da adição de inputs externos, como nutrientes, excetuando-se os inputs de energia e nutrientes naturais, como a luz solar, nutrientes da água da chuva ou conseqüentes da intemperização do solo

2. ÁREA DE CAPTAÇÃO

Porção da bacia que margeia a rede de drenagem onde é produzida a água dos escoamentos superficial e subsuperficial, originadas de chuvas, em bacias hidrográficas. Essa área variável de influência é dinâmica e tende a se expandir com a continuidade das chuvas, atingindo toda a rede de drenagem.

3. ÁREA DE INFLUÊNCIA

Porção do leito da drenagem posicionado imediatamente a montante dos diques que sofrem a influência direta dos sedimentos nele depositados pelo fluxo torrencial.

4. CABEÇA D'ÁGUA

Parte inicial do fluxo hídrico com grande poder de arraste de material sólido, formado a partir de precipitações intensas quando concentradas num canal de drenagem.

5. DEGRADAÇÃO ESPECÍFICA

Quantidade de sedimentos efetivamente transportados da unidade hidrológica em um determinado tempo.

6. ECOSSISTEMA

Sistema aberto que inclui, em uma determinada área, todos os fatores físicos e biológicos (elementos bióticos e abióticos) do ambiente e suas interações, o que resulta em uma diversidade biótica com estrutura trófica claramente definida, com troca de energia e matéria.

7. ECOSSISTEMA DEGRADADO

Ecossistema que sofreu distúrbios e teve praticamente eliminados os seus meios de regeneração espontâneos, ou seja sua capacidade de resiliência. Caso se deseje reverter a tendência de degradação, faz-se necessário concorrer com intervenções antrópicas.

8. ECOSSISTEMA PERTURBADO

Ecossistema que sofreu distúrbios em intensidades inferiores, resguardando atributos ambientais que ainda permitem uma incipiente resiliência através dos meios de regeneração biótica.

9. ELASTICIDADE AMBIENTAL

Capacidade do ecossistema de assimilar um determinado impacto ambiental e, depois de um determinado tempo, reagir com tendência de recuperação, pois ainda há resiliência.

10. EROSÃO

Processo de desprendimento e arraste do solo causado pela água ou vento. Intervém no fenômeno um objeto passivo, que é o solo, localizado sobre condições determinadas de declividade, e os agentes ativos: água e vento. Um agente intermediário regula as relações da erosão com o meio: vegetação.

11. EROSÃO EM SULCOS

Erosão linear sobre micro/macro-drenagens da encosta onde ocorre concentração de escoamento de água.

12. EROSÃO EM VOÇOROCAS

Erosão em sulcos com grandes dimensões. Constituem canais profundos, com paredes declivosas, e apresentam avanços remontantes (de baixo para cima).

13. EROSÃO HÍDRICA

Desprendimento e transporte de solo pelas gotas de chuva.

14. EROSÃO LAMINAR

Remoção de elementos finos, dispostos ou não em camada de solo sobre superfície. É a forma menos perceptível de erosão, por isso, a mais perigosa.

15. FRAGILIDADE

Susceptibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. São estágios particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação. Por exemplo, são ambientalmente frágeis os lagos, as lagoas, as encostas de forte declividade, as restingas e os manguezais.

16. GEODINAMISMO

Mecanismo dinâmico que promove o movimento de partículas de solos nas encostas. A intensidade desses processos tem origem na combinação dos fatores físico-biológicos do solo, declividade, vegetação, sendo regularizados pela intensidade e duração das precipitações.

17. HOMEOSTASE

A manutenção de um meio fisiológico interno relativamente estável em um organismo, ou um estado de equilíbrio em uma população ou ecossistema. Geralmente, envolve mecanismos de retroalimentação. O ecossistema possui mais de um estado de equilíbrio que voltam frequentemente a um estado diferente depois de uma perturbação.

18. ILHAS DE RESILIÊNCIA

Trechos de uma área degradada com oferta de atributos ambientais diferenciada, propiciando ao local melhor resiliência. Acredita-se que os efeitos dos diques possam criar estas condições.

19. INDICADORES AMBIENTAIS

São índices que permitem monitorar padrões de sustentabilidade em ecossistemas, podendo ser elementos dos meios: solo, flora, fauna, energia, água e respostas aos diferentes níveis de manejo.

20. INTEMPERISMO

Conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que atuam sobre as rochas e minerais, expostos na interface litosfera-atmosfera, desintegrando-os e decompondo-os.

21. MEDIDAS BIOLÓGICAS

Usam a cobertura vegetal como forma de viabilizar a reconstrução dos processos ambientais em áreas degradadas. Elas apresentam resultados a médio e longo prazo.

22. MEDIDAS FÍSICAS

Conjunto de obras que têm como objetivo reduzir os efeitos dos processos erosivos em curto prazo e em regiões específicas. Elas possibilitam a introdução de medidas biológicas, que garantem a recuperação a médio/longo prazo.

23. MEDIDAS FÍSICO-BIOLÓGICAS

Consistem em medidas biológicas com reforço construtivo, confeccionadas com material degradável. Oferecem a estabilidade necessária ao estabelecimento da vegetação, a partir do que deixam de existir ou perdem a sua função.

24. PENDENTE DE COMPENSAÇÃO

Declividade da calha da drenagem sobre o talvegue que alcança o equilíbrio entre a escavação e o aterramento gerados na calha pelo fluxo hídrico.

25. PROPRIEDADES EMERGENTES

Mecanismo capaz de potencializar a oferta de fatores ambientais e, com isso, viabilizam a colonização de espécies com demanda de fatores ecológicos não diretamente disponíveis na região, aumentando, assim, a capacidade de resistir à ação dos agentes modificadores do ambiente.

26. REABILITAÇÃO

Procedimento que permite a recuperação de forma e função dos ecossistemas degradados, sem, contudo, restaurá-los aos níveis originais.

27. RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

Procedimento idêntico ao anterior, porém, que objetiva reconstruir ou reorganizar o ecossistema degradado a níveis mais próximos do original. Este conceito é similar ao de Restauração, embora, na sociedade e meios acadêmicos, se confundam, sendo chamados todos de Recuperação.

28. RESISTÊNCIA AMBIENTAL

Capacidade de um ecossistema manter suas características variáveis dependentes constantes, como produção bruta líquida, estrutura, biodiversidade, frente às alterações nas condições ambientais.

29. RESTAURAÇÃO

Refere-se ao conjunto de tratamentos que visam a recuperar a forma original do ecossistema, ou seja, a sua estrutura original, dinâmica e interações biológicas. Promove o retorno ao estado original, antes da degradação.

30. RESTAURAÇÃO “Sensu Lato”

É normalmente aplicada em ecossistemas submetidos a uma perturbação não muito intensa, possibilitando a preservação da capacidade de recuperar-se frente aos efeitos negativos resultantes de sua degradação (resiliência).

31. RESTAURAÇÃO “Sensu Stricto”

Significa um retorno completo do ecossistema degradado às condições ambientais originais ou pré-existentes, englobando os aspectos bióticos e abióticos, como a composição florística e faunística, os parâmetros comunitários (riqueza, estabilidade, equabilidade).