



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ  
Departamento de Engenharia Civil**

**BIOENGENHARIA NO CONTROLE DE PROCESSOS  
EROSIVOS DE ÁREAS DE HIDRELÉTRICAS – O CASO  
DA PCH COSTA RICA (MS)**

**Aluízio de França Pereira Neto**

**Guaratinguetá  
2012**

**ALUÍZIO DE FRANÇA PEREIRA NETO**

**BIOENGENHARIA NO CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS DE  
ÁREAS DE HIDRELÉTRICAS – O CASO DA PCH COSTA RICA (MS)**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá  
2012

P414b

Pereira Neto, Aluizio de França

Bioengenharia no controle de processos erosivos de áreas de hidrelétricas – o caso da PCH Costa Rica (MS) / Aluizio de França Pereira Neto – Guaratinguetá : [s.n], 2012.

98 f. : il.

Bibliografia : f. 90-98

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina de Barros Trannin

1. Solos – erosão 2. Abastecimento de água 3. Meio Ambiente I. Título

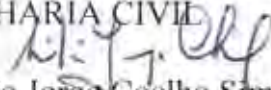
CDU 624.131.6

**BIOENGENHARIA NO CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS DE  
ÁREAS DE HIDRELÉTRICAS – O CASO DA PCH COSTA RICA (MS)**


ALUÍZIO DE FRANÇA PEREIRA NETO

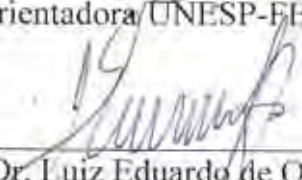
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL**

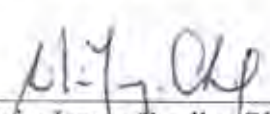
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

  
Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin  
Orientadora/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira  
UNESP/FEG

  
Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões  
UNESP/FEG

Novembro de 2012

## **DADOS CURRICULARES**

### **ALUÍZIO DE FRANÇA PEREIRA NETO**

NASCIMENTO	16.08.1987 – São José dos Campos/SP
FILIAÇÃO	Aluízio Antônio de França Pereira Débora Regina Alegre de França Pereira
2010/2013	Curso de Graduação em Engenharia Civil Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista
2005/2010	Curso de Graduação em Engenharia Hídrica Universidade Federal de Itajubá Campus de Itajubá

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Aluízio Antônio de França Pereira e Débora Regina Alegre de França Pereira, ao meu irmão, Fernando Antônio de França Pereira e em especial à minha tia, Maria Aparecida de França Pereira Castelo Branco, pela presença, carinho, apoio, confiança e amor.

À Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, que considero minha segunda casa, assim como a Universidade Federal de Itajubá.

À Profa. Isabel Trannin pela orientação, apoio, participação e conhecimentos transmitidos, que muito contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

Ao Prof. Silvio J. C. Simões, pelo grande ensinamento que tive em minha vida: “Administrar o tempo é um dos maiores desafios da nossa vida profissional”.

Ao doutorando Celso de Souza Catelani pelo aprendizado e colaboração no trabalho, assim como aos colegas David Drezza Neto e ao William Ribeiro Martins.

Aos meus amigos e colegas de classe que muito contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

E a todos os professores que passaram pela minha vida.

PEREIRA NETO, A. F. **Bioengenharia no controle de processos erosivos de áreas de hidrelétricas – O caso da PCH Costa Rica (MS)**. 2012. 98 f. Monografia (Graduando em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

## RESUMO

O crescente aumento da demanda de energia elétrica no Brasil tem estimulado a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em diversas regiões do país. No entanto, o assoreamento dos reservatórios é um dos principais problemas enfrentados pelas usinas hidrelétricas e PCHs. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a fenomenologia e propor a aplicação de técnicas de bioengenharia adequadas ao controle de processos erosivos intensos da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, que causam o assoreamento do reservatório da PCH Costa Rica, localizada no município de Costa Rica (MS). Para identificar a fenomenologia da principal voçoroca desta bacia, foi realizado um diagnóstico das condições do meio físico da região (clima, geologia, pedologia, hidrologia e uso do solo). Também foram realizados levantamentos topográficos para o detalhamento das feições geométricas da voçoroca, utilizando a Estação Total da marca Ruide, série RTS 860R e o GPS geodésico da marca Ashtech, sendo os dados obtidos, empregados na elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da voçoroca. Com base nesse diagnóstico foi feito o cadastro da voçoroca, com a identificação dos diferentes tipos de erosão presentes. Devido ao avançado estágio erosivo que se encontra a voçoroca estudada, a utilização de técnicas de bioengenharia pode ser a melhor solução, considerando que as técnicas de engenharia tradicional se utilizam de materiais pesados, como concreto, ferro e máquinas de grande porte, que além de causar maior impacto aos aspectos naturais e estéticos do ambiente, requerem um elevado investimento de capital. Este estudo constitui uma importante contribuição ao conhecimento dos processos erosivos e da reabilitação de áreas degradadas com a aplicação de técnicas de bioengenharia, não só para a bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, mas também para outras bacias que apresentem situações semelhantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão do solo. Bacia hidrográfica. Recursos hídricos. Assoreamento. Hidrelétricas. Meio ambiente.

PEREIRA NETO, A. F. **Bioengineering in control of the erosive process in the areas of hydroelectric power – the case SCHP Costa Rica (MS)**. 2012. 98 f. Monograph (Civil Engineering Graduate) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

### **ABSTRACT**

The crescent increasing demand of the electric power in Brazil has stimulated the implantation of Small Central Hydroelectric Power (SCHP) in several regions of the country. However, the silting up of the reservoirs is one of the main problems faced by hydroelectric power plants and SCHP. In this context, this research aimed evaluate the phenomenology and propose the enforcement of appropriate bioengineering techniques to control the intense erosive process of the hydrographical basin of the “Alto Rio Sucuriú,” that cause silting up of the reservoirs of the SCHP Costa Rica, located in the municipal district of Costa Rica (MS). In order to identify the phenomenology of the main falling in of this basin, a diagnosis of the conditions of the physical environment of the region (climate, geology, pedology, hydrology, and use of the ground) was realized. A surveying was also realized to specify the geometric feature of the falling in using the Total Station of the Ruide brand, series RTS 860R and the geodetic GPS of the Ashtech brand and the data obtained was used on the preparation of the Digital Elevation Model (DEM) of the falling in. Based on this diagnosis an official register of the falling in was done with identification of the different types of present erosion. Due to the advanced erosive stage of the falling in researched, the use of bioengineering techniques could be the best solution considering that the traditional engineering techniques make use of heavy material like concrete, iron and large machines that besides causing higher impact to the natural and esthetic aspects of the environment also require a higher investment of capital. This research establish a great cooperation to the knowledge of the erosive process and of the rehabilitation of the degraded areas with application of bioengineering techniques not only hydrographical basin of “Alto Rio Sucuriú” but also to other basins that show similar situation.

**KEYWORDS:** Soil Erosion. Hydrographical Basin. Water resources. Silting up. Small Central Hydroelectric Power. Environment.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrativo de uma Pequena Central Hidrelétrica.....	20
Figura 2 – Representação esquemática da queda de blocos (Fonte: Oliveira e Brito, 1998).....	25
Figura 3 – Representação esquemática do processo de tombamento (Oliveira e Brito, 1998).....	25
Figura 4 – Esquema ilustrativo da ocorrência de escorregamentos translacionais no solo ( Infanti Jr. E Fornasari Filho, 1998). ....	26
Figura 5 – Esquema ilustrativo da ocorrência de escorregamentos rotacionais no solo (Infanti Jr. E Fornasari Filho, 1998). ....	27
Figura 6 – Variação na magnitude das forças de coesão e adesão em função dos diferentes níveis de umidade e textura dos solos (COUTO et al., 2010). ....	32
Figura 7 – Bobinas de biomantas (Fonte: Couto et al., 2010).....	38
Figura 8 – Número de grampos utilizados para a fixação de biomantas (Fonte: Pereira, 2008 citado por Couto et al., 2010).....	39
Figura 9 – Instalação de biomanta em talude de corte (Fonte: Couto et al., 2010). ....	39
Figura 10 – Aspecto visual do talude onde foi aplicada biomanta (Fonte: Couto et al., 2010). ....	39
Figura 11 – Bermalonga fabricada industrialmente com fibras vegetais, prensadas e envolvidas por uma rede resistente de polipropileno. ....	41
Figura 12 – Disposição de bermalongas perpendicularmente ao sentido do escoamento superficial (Fonte: Couto et al., 2010).....	42
Figura 13 – Utilização de bermalongas associada ao plantio de capim Vertiver SP .....	42
Figura 14 – Vista em planta e corte da construção de paliçada de madeira (Fonte: Pereira, 1998 citado por Couto et al., 2010).....	43
Figura 15 – Vista em corte do preenchimento de concavidades erosivas (Fonte: Pereira, 1995 citado por Couto et al., 2010).....	44

Figura 16 – Processo construtivo do solo envelopado (Fonte: Aloísio, 1998 citado por Couto et al., 2010). .....	45
Figura 17 – Solo envelopado com estacas vivas e madeira (Fonte: Couto et al., 2010). .....	45
Figura 18 – Processo construtivo do solo grampeado (Fonte: Pereira, 2007 citado por Couto et al., 2010). .....	47
Figura 19 - Revitalização do solo utilizando madeira e estacas vivas – Santa Luzia-MG, Rio das Velhas (Fonte: Couto et al, 2010). .....	48
Figura 20 – Demonstração da aplicação de hidrossemeadura (Fonte: Couto et al., 2010). .....	49
Figura 21 – Formação de sulcos erosivos (Fonte: Couto et al., 2010). .....	50
Figura 22 – Muro de contenção a gravidade em gabiões. ....	51
Figura 23 – Sistema de drenagem subsuperficial. ....	53
Figura 24 – Canaleta revestida com biomanta antierosiva (COUTO et al, 2010). .....	54
Figura 26 – Escada hidráulica. ....	55
Figura 25 – Canaleta construída com geogrelha e concreto (COUTO et al, 2010). .....	55
Figura 27 – Bacia do Alto Sucuriú e suas divisões: Alto Rio Sucuriú (Fonte: FERREIRA, 2011). .....	57
Figura 28 – Geologia da Bacia do Alto Sucuriú, MS (Fonte: FERREIRA, 2011). .....	57
Figura 29 – Formações Geológicas da Bacia do Alto Sucuriú.....	58
Figura 30 – Pedologia do município de Costa Rica .....	59
Figura 31 – Draga instalada no canal de adução da PCH Costa Rica. ....	60
Figura 32 – Sedimentos retirados do canal de adução, parte do reservatório da PCH Costa Rica. ....	60
Figura 33 – Principal voçoroca localizada à montante do reservatório da PCH de Costa Rica (MS). .....	61
Figura 34 – Evidência de processos erosivos recentes na principal voçoroca da bacia contribuinte da PCH Costa Rica (MS). .....	62

Figura 35 – Geomorfologia da região da voçoroca de Costa Rica, caracterizada por extensas planícies. ....	68
Figura 36 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, predominante no município de Costa Rica. ....	69
Figura 37 – Exposição do freático, que forma um fluxo superficial perene. ....	70
Figura 38 – Vegetação de Cerrado a jusante e pastagem e monocultivo de soja a montante. ....	71
Figura 39 – Leito da voçoroca com espécies adaptadas e predomínio de Pteridófitas. ....	71
Figura 40 – Erosão em sulcos identificada na principal voçoroca de Costa Rica (MS). ....	72
Figura 41 – Ocorrência de ravinas na principal voçoroca de Costa Rica (MS). ..	72
Figura 42 – Ocorrência de movimentos de massa, com deslizamento e carreamento de vegetação da borda da voçoroca, com fluxo superficial perene oriundo do afloramento do freático na encosta. ....	73
Figura 43 – Erosão em pedestal no interior da voçoroca de Costa Rica (MS). ...	74
Figura 44 – Erosão em pináculo no interior da voçoroca de Costa Rica. ....	74
Figura 45 – Imagem Landsat TM5 de 2005, destacando em vermelho, as áreas de solo exposto em tons de vermelho e roxo e áreas cobertas por algum tipo de vegetação em tonalidades de verde na região de Costa Rica, na bacia do Alto Sucuriú, MS (TRANNIN et al., 2012). ....	75
Figura 46 – Distribuição dos pontos levantados na voçoroca de Costa Rica. ....	75
Figura 47 – Taludes de encosta na cabeceira da voçoroca. ....	77
Figura 48 – Muro de gravidade flexível em gabião. ....	77
Figura 49 – Sistema de drenos profundos ....	78
Figura 50 – Solo Grampeado em talude de encosta. ....	80
Figura 51 - Aplicação de biomanta na superfície do talude de encosta. ....	81
Figura 52 – Solo envelopado. ....	83
Figura 53 – Ocorrência de fluxo superficial perene no interior da voçoroca. ....	84
Figura 54 – Utilização de bermalongas como retentores de sedimentos. ....	85

Figura 55 – Vista em planta e corte da construção de paliçada de madeira (Fonte: Pereira, 1998 citado por Couto et al., 2010).....	86
Figura 56 – Esquema do sistema de drenagem proposto para a voçoroca de Costa Rica.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos envolvendo movimentos de massa, conforme Augusto Filho (1992).....	24
Tabela 2 – Tipos e características dos grampos (Fonte: Couto et al, 2010).....	38
Tabela 3 – Ficha de cadastro da principal voçoroca identificada na bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica, no município de Costa Rica (MS). .....	65

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS .....	18
OBJETIVO GERAL .....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3. REFERENCIAL TEORICO.....	19
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHs) .....	19
PROCESSOS EROSIVOS .....	21
MOVIMENTOS DE MASSA .....	24
FATORES QUE INFLUENCIAM A ERODIBILIDADE DO SOLO .....	27
Mineralogia .....	28
Micromorfologia .....	29
Cor.....	29
Estrutura .....	30
Textura .....	30
Consistência .....	31
Densidade de partículas.....	32
Química.....	32
Atributos biológicos .....	33
CICLO HIDROSEDIMENTOLÓGICO E ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS .....	33
TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA APLICADAS AO CONTROLE DE VOÇOROCAS .....	35
Geossintéticos .....	36
Retentores de sedimentos.....	40
Bermalongas.....	41
Paliçadas de madeira .....	42
Preenchimentos de concavidades erosivas.....	44
Solo envelopado.....	44
Solo grampeado.....	46

Estacas vivas .....	47
Hidrossemeadura.....	48
ESTRUTURAS CONVENCIONAIS DE CONTENÇÃO À GRAVIDADE.....	50
Gabião .....	51
DRENAGEM DOS TALUDES .....	52
Drenagem subterrânea.....	52
Drenagem superficial .....	53
Canaletas.....	53
Escada hidráulica.....	55
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	56
PCH COSTA RICA.....	60
DIAGNÓSTICO DA PRINCIPAL VOÇOROCA DE COSTA RICA.....	61
METODOLOGIA PARA CADASTRAMENTO DA PRINCIPAL VOÇOROCA DE COSTA RICA .....	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
CADASTRO DA VOÇOROCA DE COSTA RICA.....	65
Geologia .....	67
Geomorfologia .....	68
Pedologia.....	68
Rede de drenagem.....	69
Vegetação.....	70
Tipos de erosão presentes na voçoroca .....	72
DADOS TOPOGRÁFICOS.....	74
TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA APLICÁVEIS AO CONTROLE DOS PROCESSOS EROSIVOS PRESENTES NA VOÇOROCA.....	76
Taludes de encosta da voçoroca.....	76
Trecho de cabeceira da voçoroca .....	76
Trecho médio da voçoroca .....	79
Trecho baixo da voçoroca (exutório) .....	82

Interior da voçoroca .....	84
SISTEMA DE DRENAGEM NO ENTORNO E NO INTERIOR DA VOÇOROCA .....	86
6. CONCLUSÕES .....	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90



## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento dos países e para a qualidade de vida da sua população. Quanto mais desenvolvido é um país, mais dependente se torna da produção de energia elétrica.

Nas décadas passadas o setor elétrico priorizava aproveitamentos hidrelétricos com grandes reservatórios, devido à vantagem da economia de escala. No entanto, devido os elevados custos desses empreendimentos, nos dias atuais muitas empresas procuram construir usinas com pequenos reservatórios, que são formados por barragens de porte reduzido e que geralmente são construídos no alto curso dos rios, onde se verificam fortes eventos de precipitação, maiores declividades dos terrenos e conseqüentemente maiores descargas sólidas devido às erosões na área de drenagem. Logo, pode-se dizer que o comportamento sedimentológico de um pequeno reservatório (com menor capacidade e onde se verificam maiores velocidades) difere de um grande reservatório, com velocidades de correntes mais reduzidas (CARVALHO et al., 2000b).

Nesse contexto, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), usinas com potência instalada superior a 1MW e inferior ou igual a 30MW, são empreendimentos que, em geral, procuram atender demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão, tendo papel cada vez mais relevante na promoção do desenvolvimento da geração de energia no país. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possui um potencial inventariado de 9.800MW em pequenos aproveitamentos hidrelétricos, sendo que até dezembro de 2006 apenas 1.600MW estavam em operação (BERMANN, 2008).

O processo de assoreamento atinge todos os reservatórios formados em decorrência da construção de barragens. O sedimento pode se acumular no compartimento do volume útil do reservatório, o que compromete seu funcionamento, altera a vazão regularizada, reduz a capacidade de produção de energia e de outros usos consultivos e não consultivos da água, implicando em

perdas financeiras para o empreendimento ou no compartimento do volume morto, o que não diminui o volume útil, mas reduz sua vida útil.

O acúmulo de sedimentos no reservatório, além de ser responsável pela redução da receita em decorrência da perda de produção de energia elétrica, também pode agregar custos adicionais ao empreendimento, já que interfere nos custos de manutenção devido ao desgaste das turbinas (abrasão física causada por areias e abrasão química causada pela má qualidade da água) e nos custos de procedimentos de dragagem nas proximidades da tomada d'água (MAIA, 2006).

As mudanças antrópicas realizadas na cobertura vegetal e nas formas de uso do solo das bacias hidrográficas influenciam diretamente os regimes hidrológicos, hidráulicos, sedimentológico e de qualidade da água. Assim, estudos sobre os fatores que integram o processo de erosão do solo e a quantificação das perdas de solo são de grande importância para a avaliação de medidas que visem à racionalização do uso dos recursos hídricos, no sentido de evitar os efeitos negativos oriundos da produção, transporte e deposição de sedimentos (PAIVA, 2001).

No caso da PCH Costa Rica, localizada no município Costa Rica – MS é importante avaliar as contribuições dos processos erosivos provenientes da erosão laminar, gerados pela exposição de solos, e aqueles gerados pelas voçorocas na geração de sedimentos para o reservatório. Assim, a compreensão da fenomenologia dos processos erosivos é fundamental para a quantificação de sedimentos e proposição de medidas para controle e remediação de voçorocas.

Como alternativa de proteção/contenção de encostas, a Bioengenharia se apresenta como uma associação de alternativas envolvendo estruturas biodegradáveis como fibras vegetais, estacas vivas, madeira e estruturas rígidas como pedras, concreto, ferro entre outros. Trata-se de uma tecnologia moderna, que envolve grande utilização de produtos de origem vegetal (abundante em países tropicais), com o objetivo de recuperar e controlar processos erosivos em estágios avançados como aqueles verificados na bacia de contribuição do reservatório da PCH Costa Rica. Comparativamente aos métodos tradicionais de

engenharia, este permite minimizar o uso de equipamentos pesados, mão de obra e materiais de preço elevados (PEREIRA, 2001).

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Este estudo teve como objetivo avaliar os dados obtidos pelos pesquisadores da FUNDUNESP para identificar a fenomenologia e propor técnicas de bioengenharia adequadas ao controle de processos erosivos intensos da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, que causam o assoreamento do reservatório da PCH Costa Rica, localizada no município de Costa Rica - MS.

### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar as condições do meio físico (clima, geologia, pedologia, hidrologia) da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica para identificar a fenomenologia dos processos erosivos intensos, que causam o assoreamento dos cursos d'água e do reservatório da PCH Costa Rica, afetando seu desempenho na produção de energia elétrica.
  
- Propor técnicas de bioengenharia que se adequem às condições do meio físico e que possam controlar a principal voçoroca da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte do reservatório da PCH Costa Rica.

### 3. REFERENCIAL TEORICO

#### Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

Com o crescente desenvolvimento do país, o consumo de energia tem aumentado, criando a necessidade de investimentos em produção energética. O Brasil é um país com grande potencial hidroelétrico, sendo um dos países mais ricos em recursos hídricos do mundo. Com o intuito de aumentar a oferta de energia, sem perder de vista a qualidade da produção, investimentos em geração de energia limpa têm sido realizados e pequenas centrais hidrelétricas têm sido implantadas em todas as regiões do país.

De acordo com a Resolução nº 394 de 04/12/1998 da Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL, pequena central hidrelétrica (PCH) é toda usina hidrelétrica de pequeno porte, com capacidade instalada superior a 1 MW e inferior a 30 MW e cuja área do reservatório seja inferior a 3 km<sup>2</sup>. A Figura 1 ilustra o funcionamento de uma PCH típica. Normalmente uma PCH opera a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade.

Em outras situações, as vazões são maiores que a capacidade demandada pelas máquinas, permitindo a passagem da água pelo vertedouro. Por esse motivo, o custo da energia elétrica produzida pelas PCHs é maior que o de uma usina hidrelétrica de grande porte (UHE-Usina Hidrelétrica de Energia), onde o reservatório pode ser operado de forma a diminuir a ociosidade ou os desperdícios de água. Entretanto, as PCHs são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio porte, que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas. As resoluções elaboradas pela ANEEL permitem que a energia gerada nas PCHs entre no sistema de

eletrificação, sem que o empreendedor pague as taxas pelo uso da rede de transmissão e distribuição. O benefício vale para quem entrou em operação até 2003. As PCHs são dispensadas ainda de remunerar Municípios e Estados pelo uso dos recursos hídricos.



**Figura 1 – Esquema ilustrativo de uma Pequena Central Hidrelétrica (Fonte: <http://www.portaltpch.com.br/index.php/saiba-mais/o-que-e-uma-pch>).**

Por outro lado, é preciso considerar que a construção de reservatórios para a geração de energia elétrica altera o escoamento das águas e o fluxo de sedimentos, podendo causar impactos ambientais, econômicos e sociais. De acordo com Carvalho et al. (2000a), esses impactos devem ser analisados sistematicamente por meio de programas de monitoramento aplicados às bacias hidrográficas. Entre estes programas, destaca-se o monitoramento hidrossedimentológico, que pode gerar informações que são imprescindíveis à adoção de medidas para o controle do assoreamento dos cursos d'água e dos reservatórios.

Os impactos do assoreamento nos reservatórios incluem a redução da capacidade de armazenamento, a abrasão dos canais de fuga e das pás das turbinas; a formação de bancos de areia, com interferência na navegação e, em alguns casos, a obstrução da tomada de água (MIRANDA, 2011). Cabral et al. (2006) consideram que o assoreamento dos reservatórios é um dos principais problemas enfrentados pelas usinas hidrelétricas, devido à diminuição da vida

útil do empreendimento e à necessidade de dragagens periódicas, normalmente, de alto custo.

### **Processos erosivos**

A erosão é um processo natural de desgaste e transporte de materiais que transforma a superfície do solo (MACHADO, 2007). Num conceito de tempo geológico, a erosão pode ser definida como um fenômeno natural de aplainamento da paisagem. De acordo com Bigarella (2003) a erosão consiste no desgaste, no afrouxamento do material rochoso e na remoção dos detritos através dos processos atuantes na superfície da Terra. No entanto, as intervenções antrópicas no ambiente podem contribuir para aumentar a ocorrência e a velocidade dos processos erosivos, dentre as quais se podem citar o desmatamento, excesso de preparo do solo para uso agrícola e uso e ocupação inadequados do solo. As partículas de solo são liberadas, transportadas e depositadas em áreas mais baixas, alterando a paisagem e, em alguns casos, causando impactos ambientais.

Nas voçorocas do município de Costa Rica-MS há predominância de erosões hídricas, condicionada por fatores que favorecem o impacto das gotas de chuva, como tipo de solo, topografia e cobertura do solo, sendo que os processos erosivos ocorrem principalmente em áreas desnudas, onde ocorre o desprendimento e arraste das partículas de solo (PIRES, 2003 e HUDSON, 1977).

Outros fatores que influenciam a erosão são clima (regime de chuvas), classes e características do solo (físicas e químicas), relevo (declividade, comprimento de rampa e forma da encosta), interceptação pela cobertura do solo e tipo de manejo agrícola (SILVA et al., 1999). Segundo Cogo et al. (2003), a declividade do terreno influencia as perdas de solo por erosão hídrica. Quanto maior a declividade do terreno maior é a velocidade de escoamento da enxurrada e menor é a infiltração no solo, o que aumenta a capacidade de transporte das

partículas e a capacidade desta de desagregar o solo por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos do terreno.

A erosão hídrica pode afetar a sociedade de várias maneiras, seja pelos impactos ambientais causados em decorrência desta, seja pela perda de fertilidade do solo, ou ainda, pelo assoreamento dos reservatórios de água devido à deposição dos sedimentos que compromete seu desempenho, situação esta vivenciada pelo município de Costa Rica-MS.

Segundo Guerra (1998) existem diferentes formas de erosão hídrica: laminar, em sulcos ou ravinas e voçorocas, descritas a seguir.

Erosão Laminar: refere-se à ocorrência de perda de solo em camadas, relativamente finas, de difícil identificação em uma inspeção visual (SOARES, 2002). Ocorre quando as gotas de chuva, ao impactarem no solo, rompem seus agregados e torrões transformando-os em pequenas partículas que entopem os poros do solo, causando selamento superficial. Conseqüentemente, verifica-se a diminuição da capacidade de infiltração no solo, aumentando o volume de escoamento (RESENDE E ALMEIDA, 1985). Somado a isso, o impacto da gota de chuva na lâmina de água que se forma durante o escoamento superficial pode aumentar a turbulência da água da enxurrada, aumentando sua velocidade.

Erosão em sulcos: é causada pela ação das forças hidráulicas em decorrência da concentração do escoamento superficial em depressões da superfície do terreno. Foster (1982) afirma que a erosão em sulcos ocorre quando as forças coesivas do solo são superadas pelas forças de cisalhamento do escoamento. De acordo com Cantalice (2002) a erosão em sulcos constitui-se na segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo, que é marcada pela mudança da forma do escoamento na qual o mesmo deixa de ser difuso (erosão laminar) e se concentra em pequenas depressões na superfície do terreno. Embora esse tipo de erosão seja prejudicial, esta pode ser facilmente desfeita por máquinas durante as operações de preparo do solo (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990).



Erosão em Ravinas: ravinas constituem-se na evolução do processo de formação de sulcos, e podem ser vistas como canais incisivos naturais que resultam de desequilíbrios naturais ou induzidos pelo homem. A diferenciação entre sulcos, ravinas e voçorocas é basicamente de caráter dimensional (GUERRA *et al.*, 2005), sendo que as ravinas geralmente possuem largura e profundidade de até 50 cm.

Erosão em voçorocas: referem-se à manifestação da forma mais agressiva de erosão, caracterizada pela mobilização de vários metros cúbicos de solo. O termo voçorocas, originário do vocabulário tupi-guarani, significa “terra rasgada” (GOULART, 2005). A diferença entre erosão em sulcos e erosão em voçorocas está relacionada às dimensões das mesmas. Além das voçorocas terem um grau de erosividade superior, chegando ao nível freático, elas não podem ser corrigidas por práticas agrícolas, ao contrário da erosão em sulcos. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) as voçorocas consistem no deslocamento de grandes massas de solo, formando depressões, grotas, cavidades ou sulcos de grandes extensões e profundidade, que chegam até ao nível freático. Entre as principais causas das voçorocas estão as atividades antrópicas (desmatamento, uso agrícola intensivo das terras, queimadas, superpastejo) aliadas a fatores naturais (propriedades do solo e condições climáticas). O Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (1989) aponta a falta de planejamento e gerenciamento das águas pluviais como uma causa das voçorocas, já que a construção de estradas, cercas, ruas, drenagens, galerias e esgotos somados às águas pluviais, com o direcionamento da enxurrada em um único ponto sem dispositivos de dissipação de energia do fluxo, faz com que as voçorocas progridam a ponto de atingir o nível freático.

No município de Costa Rica-MS, devido ao uso intensivo do solo, ocorrem os três tipos de erosão acima citados. Assim, torna-se cada vez mais importante o controle de processos erosivos intensos que têm culminado com a origem de voçorocas.

## Movimentos de Massa

Embora na região de Costa Rica-MS não haja ocorrência de movimentos de massa de forma generalizada, estes ocorrem em alguns pontos isolados, como por exemplo, na principal voçoroca de Costa Rica-MS.

Os movimentos de massa também podem ser considerados fenômenos naturais responsáveis pelas feições do relevo e aplainamento da superfície terrestre. Envolvem uma massa de solo ou rocha que se desloca em conjunto, se diferenciando da erosão porque este último envolve transporte de sedimentos (MACIEL FILHO, 1994). Os movimentos de massa podem ser classificados, conforme Terzaghi (1950), em ativos e passivos e, posteriormente, em internos e externos. Augusto Filho (1992) propõe uma classificação baseada na dinâmica ambiental brasileira, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Processos envolvendo movimentos de massa, conforme Augusto Filho (1992).**

Processos	Características do movimento, tipo de material e geometria
Rastejo	Envolve vários planos de deslocamento A velocidade é muito baixa (cm ano <sup>-1</sup> ) e decrescente com a profundidade Ocorrem movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Podem ocorrer com materiais de solo, depósitos, rocha alterada/ fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Envolve poucos planos de deslocamento A velocidade é média (m h <sup>-1</sup> ) a alta (m s <sup>-1</sup> ) A geometria e os materiais são variáveis: - Planares → solos pouco espessos, solos com um plano de fraqueza - Circulares → solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas - Em cunha → solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento Os movimentos são do tipo queda livre ou ocorrem em plano inclinado As velocidades são muito altas (vários m s <sup>-1</sup> ) A geometria é variável: lascas, placas, blocos e outros Pode ocorrer rolamento de matacão e Tombamento
Corridas	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) Movimentos semelhantes ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias e altas Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas mais planas

Outra classificação é proposta por Varnes (1978), que se baseia no conhecimento das características geológicas dos maciços para classificar os movimentos de massa conforme descrito a seguir.

Queda de blocos: são movimentos rápidos de queda livre do material (rocha, detrito ou solo) favorecidos por uma superfície instável, conforme ilustrado pela Figura 2.



Figura 2 – Representação esquemática da queda de blocos (Fonte: Oliveira e Brito, 1998).

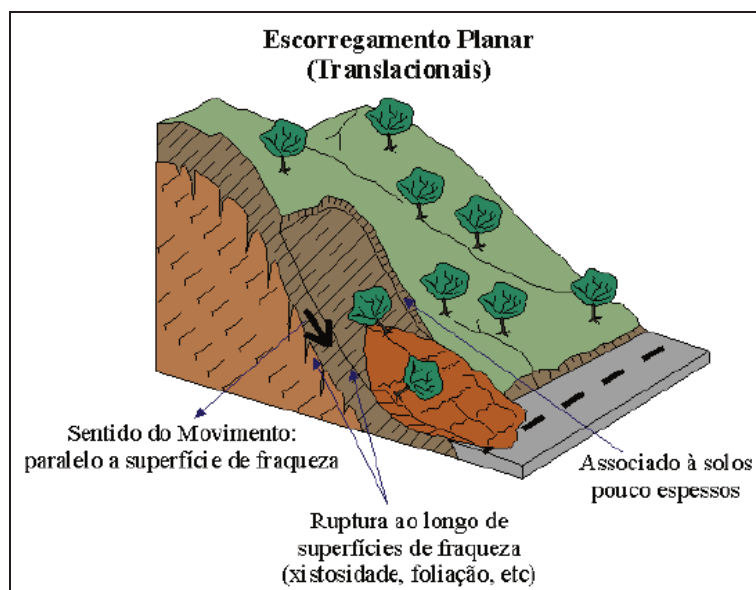
Tombamento: são movimentos caracterizados pela rotação de blocos rochosos, que têm origem na ação de forças que impulsionam painéis de rochas para o exterior do maciço, aliado à presença de infiltração de água na estrutura do maciço (ROMANA, 1988), conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Representação esquemática do processo de tombamento (Oliveira e Brito, 1998).

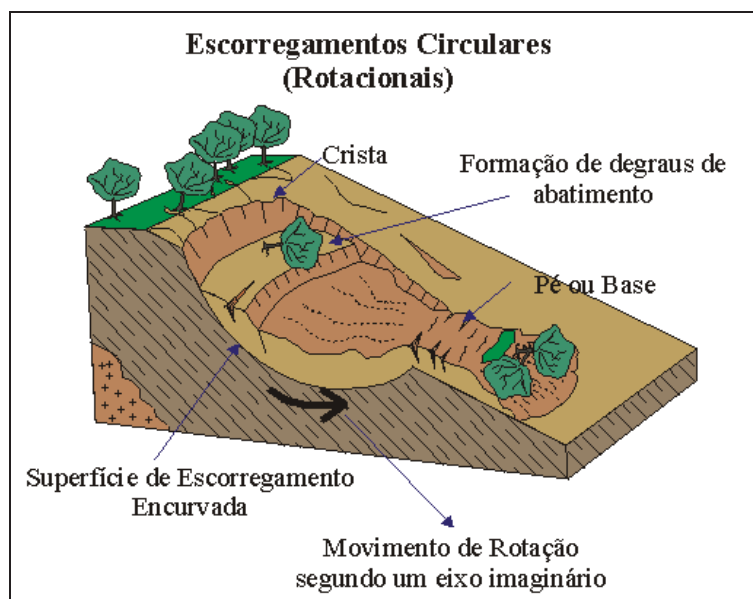
Escorregamento: caracteriza-se por um movimento rápido e finito que se dá sobre uma superfície de deslizamento preexistente quando ocorre um desequilíbrio na distribuição de forças, ao longo da superfície, fazendo com que as forças atuantes (que favorecem o movimento) sejam superiores às forças resistentes. Esse fenômeno ocorre em velocidades muito variáveis por ação da força da gravidade e pode ser dividido em escorregamentos translacionais (planares) e escorregamentos rotacionais (circulares).

Os escorregamentos translacionais geralmente ocorrem em maciços rochosos condicionados à xistosidade, fraturamento, foliação ou outros planos de ruptura, às vezes caracterizados pelo contato entre o solo e a rocha subjacente, conforme ilustrado na Figura 4. Vale destacar que nos movimentos translacionais é notável o paralelismo do movimento com o plano de ruptura.



**Figura 4 – Esquema ilustrativo da ocorrência de escorregamentos translacionais no solo ( Infanti Jr. E Fornasari Filho, 1998).**

Os escorregamentos rotacionais caracterizam-se por ocorrerem ao longo de uma superfície de ruptura encurvada, em movimentos de caráter rotacional segundo um eixo imaginário, sendo comum uma sucessão de deslizamentos combinados, conforme ilustra a Figura 5 (INFANTI Jr. e FORNASARI FILHO, 1998).



**Figura 5 – Esquema ilustrativo da ocorrência de escorregamentos rotacionais no solo (Infanti Jr. E Fornasari Filho, 1998).**

Escoamento em fluxo: são formas muito mais rápidas de escoamento de caráter hidrodinâmico, que têm origem na diminuição da resistência dos materiais que formam a capa do talude (MATOS, 2008), em que uma massa de solo ou rocha pode fluir com o líquido quando atinge o grau de fluidez necessário (ROMANA, 1988). Podem ser caracterizadas pelo grande volume de material mobilizado e pelo extenso raio de alcance que esse fenômeno geralmente possui (INFANTI Jr. e FORNASARI, 1998).

### **Fatores que influenciam a erodibilidade do solo**

As condições de estabilidade geotécnica de taludes dependem diretamente das propriedades do solo, sendo imprescindível maior conhecimento sobre as características dos diferentes tipos de solo do local onde se pretende elaborar um projeto (COUTO et al., 2010).

Não há uma definição universalmente aceita de solo devido à ampla utilização deste recurso por profissionais das mais variadas áreas.

A Embrapa (2007) propõe a seguinte definição de solos: “... coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais orgânicos e minerais que

ocupam maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas”.

De acordo com D’Agostini (1999) e Guerra et al. (1999) a erodibilidade do solo corresponde à susceptibilidade do mesmo aos processos erosivos e esta associada a alguns atributos. As propriedades do solo mais relevantes para a sua caracterização seguem brevemente discutidas nos itens a seguir.

### *Mineralogia*

De acordo com Resende et al. (2007) os constituintes minerais do solo podem ser partículas com dimensões variadas, desde matacões (mais de 200 mm de diâmetro), passando por calhaus (200 – 20 mm), cascalhos (20 – 2 mm), areia grossa (2 – 0,2 mm), areia fina (0,2 – 0,05 mm), silte (0,05 – 0,002 mm) até argila (menos de 0,002 mm de diâmetro).

As partículas no tamanho de silte e areia são minerais primários oriundos da rocha que originou o solo e são facilmente intemperizáveis. Em solos de região tropical como os que predominam no Brasil (geralmente, são bastante intemperizados) o mineral mais presente na superfície é o quartzo, que apresenta elevada resistência ao intemperismo (RESENDE et al., 2007). As partículas no tamanho de argila, que juntamente com a matéria orgânica são responsáveis pelas cargas elétricas existentes nos solos tropicais, são constituídas principalmente por minerais de argila, do tipo aluminossilicatada e do tipo oxídica, óxidos de ferro e óxidos de alumínio (RESENDE et al., 2007). De forma geral, quanto mais intemperizado o solo maior é a presença de argilas de óxidos de ferro e de óxidos de alumínio na sua constituição mineral.

A estrutura e constituição das argilas aluminossilicatadas consistem em lâminas de octaedros de alumínio ligadas a tetraedros de silício. Assim, as argilas podem pertencer a dois grupos: grupo 2:1, quando na unidade de mineral da argila há duas lâminas de tetraedros de silício para uma lâmina de octaedro de alumínio; e grupo 1:1, quando ocorre intemperismo e, conseqüentemente, a

remoção de sílica, restando uma lâmina tetraedro de silício para uma lâmina e octaedro de alumínio por unidade de mineral (COUTO et al., 2010).

A presença de óxidos de ferro e alumínio em relação a solos com mineralogia 2:1 reduz a erodibilidade. Assim, tem-se a sequência de erodibilidade em ordem decrescente: Vertissolos (2:1) > Cambissolos, Argissolos, Latossolos (1:1) > Latossolos (óxidos de ferro e alumínio) (D'AGOSTINI, 1999 e GUERRA et al., 1999).

### *Micromorfologia*

Segundo Brady (1974) características como poder de adsorção, capacidade de expansão e contração, capacidade de retenção de água e plasticidade e coesão têm suas magnitudes aumentadas para solos cujo diâmetro das partículas são menores.

A presença de matéria orgânica, geralmente oriunda de resíduos animais e vegetais em diferentes estágios de decomposição e tamanhos, contribuem para agregar as partículas do solo (BRADY, 1974).

Latossolos predominantemente giblíticos apresentam menor erodibilidade, pois possuem plasma no padrão aglutinado, poroso, macroestrutura granular, com maior porosidade e permeabilidade. Já latossolos e outros solos quando caulíníticos apresentam maior erodibilidade, pois possuem plasma porfirogrânico, denso e contínuo, com macroestrutura em blocos, com menor porosidade e permeabilidade (D'AGOSTINI, 1999 e GUERRA et al., 1999).

### *Cor*

Dentre as propriedades do solo, é a de mais fácil percepção, sendo importante por poder indicar o teor de matéria orgânica e a situação de drenagem. Cores mais escuras indicam teores mais elevados de matéria orgânica, e as mais avermelhadas apontam para teores de ferro mais elevados e melhores condições de drenagem em relação aos solos mais amarelados e acinzentados.

Segundo Couto et al. (2010), em condições de pouca drenagem há predomínio da anaerobiose, em que os microrganismos passam a utilizar o ferro

férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) transformando em ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), cujos minerais refletem a coloração azulada. Em regiões de contato com as raízes das plantas adaptadas a solos saturados, comumente o cinza dá espaço a riscados amarelados e avermelhados, associados à liberação de  $\text{O}_2$  no solo pelas raízes.

De acordo com D'Agostini (1999) e Guerra et al. (1999), geralmente quanto mais claros maior a tendência de possuir maior erodibilidade, exceto a gibsitita que tende a tons claros mas transmite baixa erodibilidade ao solo.

### *Estrutura*

Segundo Santos et al. (2005), a estrutura do solo faz conotação ao agrupamento das partículas primárias dos solos (argila, silte e areia) para formar, a partir de agentes cimentantes, partículas maiores (agregados). As formas dos agregados geralmente mudam ao longo do perfil do solo, influenciando a densidade do solo, a capacidade de retenção de água e a sua resistência à erosão.

A predominância de argilas do tipo óxidos de ferro e de alumínio no solo, assim como o aumento do teor de matéria orgânica, faz com que sua estrutura tenha uma tendência a ser de forma granular. À medida que a participação de argilas aluminossilicatadas é aumentada a estrutura do solo passa a ter tendência de forma em blocos, prismas e colunas (RESENDE et al., 2007).

A erodibilidade do solo aumenta conforme a seguinte sequência de formas da estrutura: grumos > granular > bloco > prisma > coluna > laminar. A presença de agregados com DMG (Diâmetro Médio Geométrico) > 4 mm ou com porcentagem de agregados maior que 0,250 mm (>90%) e maior que 1,0 mm (>70%) pode contribuir para a diminuição da erodibilidade (D'AGOSTINI, 1999 e GUERRA et al., 1999).

### *Textura*

A textura do solo refere-se à proporção relativa das partículas que constituem o solo na granulometria de argila, silte, areia fina e areia grossa. Segundo EMBRAPA (2007), os grupamentos texturais mais utilizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) são:



Textura arenosa: com composição granulométrica de mais de 70% de areia e de menos de 15% de argila;

Textura média: com composição granulométrica de mais de 15% de areia e de menos de 35% de argila;

Textura argilosa: com composição granulométrica de menos de 60% de argila e mais de 35% de areia;

Textura muito argilosa: com composição granulométrica de mais de 60% de argila;

Textura siltosa: com composição granulométrica de menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

Segundo D'Agostini (1999) e Guerra et al. (1999), a erodibilidade é menor quanto maior a proporção de areia grossa, cascalhos, seixos e matacões, já que são mais difíceis de serem transportados pela água. A maior presença de silte e areia muito fina podem contribuir para o efeito de selamento e, conseqüente, redução de infiltração da água, aumentando a erodibilidade do solo.

### *Consistência*

A consistência do solo está associada à manifestação das forças de coesão e adesão em diferentes níveis de umidade: seco, úmido e molhado (SANTOS et al., 2005; RESENDE et al., 2007). Resende et al. (2007) faz uma distinção entre coesão e adesão, sendo coesão a força que mantém partículas de composição semelhante unidas umas às outras pelo contato de suas superfícies, e adesão a força de atração entre corpos de naturezas diferentes (água e constituintes sólidos do solo). A magnitude da coesão é aumentada com a redução da umidade do solo, acentuando-se para solos nos quais as argilas aluminossilicatadas são mais bem organizadas (com menor interferência de argilas oxídicas e matéria orgânica). A magnitude da adesão aumenta com a redução das forças coesivas, ou seja, com o aumento da umidade do solo. À medida que se aumentam os teores de argilas dos solos as forças de coesão e adesão tendem a aumentar, conforme ilustra a Figura 6.

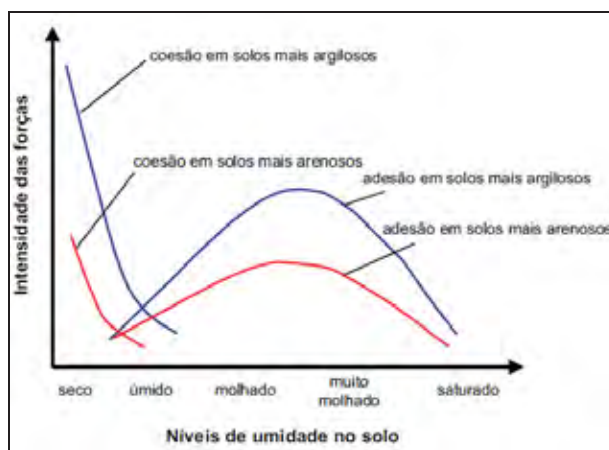


Figura 6 – Variação na magnitude das forças de coesão e adesão em função dos diferentes níveis de umidade e textura dos solos (COUTO et al., 2010).

### *Densidade de partículas*

Em termos de densidade de partículas, a presença de minerais pesados na fração areia do solo possibilita que haja menor arraste pela água da chuva, o que reduz a erodibilidade.

### *Química*

A ação de componentes químicos do solo pode contribuir para a cimentação, que promove a união de suas partículas independente do seu nível de umidade. De acordo com Santos et al. (2005), a cimentação pode ser contínua ou descontínua ao longo dos horizontes do solo e pode ser considerada:

Fraca: quebrável com as mãos;

Forte: não quebrável com as mãos, mas facilmente quebrável com uso de martelo pedológico;

Extremamente forte: não quebrável com uso de martelo pedológico. As substâncias cimentantes podem ser orgânicas e inorgânicas (carbonato de cálcio, óxidos de ferro, óxidos de alumínio e silício) (RESENDE et al., 2007). Valores de Ponto de carga Zero (PCZ) e Ponto de Efeito Salino Nulo (PESN) acima do pH natural provocam a dispersão dos coloides do solo, contribuindo para elevar a erodibilidade. A aplicação de fósforo, quando em doses elevadas, pode aumentar

a erodibilidade do solo. Já o carbono orgânico melhora a estruturação do solo com a formação de agregados que elevam a sua permeabilidade.

#### *Atributos biológicos*

No que tange aos atributos biológicos, alguns microrganismos promovem a agregação do solo, o que contribui para a redução da erodibilidade na seguinte ordem decrescente: fungos > actinomicetos > bactérias produtoras de polissacarídeos extracelulares > leveduras > outras bactérias. Vale destacar que os bioporos criados por raízes mortas e pela fauna do solo contribuem para reduzir a erodibilidade por aumentarem a infiltração de água (D'AGOSTINI, 1999 e GUERRA et al., 1999).

#### **Ciclo hidrossedimentológico e assoreamento de reservatórios**

O fluxo de sedimentos expressa a funcionalidade hidrológica e o comportamento do processo erosivo nas bacias hidrográficas. Desta forma, o estudo da dinâmica sedimentar em determinado canal auxilia nas análises das bacias hidrográficas para aplicações diversas, tais como o planejamento ambiental, implantação de hidrelétricas, entre outras (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Segundo Tucci (2000), o ciclo hidrossedimentológico envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia, sendo este, intimamente ligado ao ciclo hidrológico. Canais fluviais são abastecidos pelo lento escoamento do freático, sendo estes abastecidos por águas pluviais infiltradas no solo ou na rocha, ou diretamente pelo escoamento superficial das águas pluviais. Estas formas de escoamento podem ser vistas como meio de dissipação de energia, da qual a água esta provida, ao se deslocar horizontalmente e verticalmente, sob ação da força gravitacional.

O fator “assoreamento” é um fenômeno natural de obstrução dos corpos d'água, por sedimentos, terra, areia ou outros detritos, que pode ser acelerado por

atividades antrópicas e acarretar prejuízos sociais, econômicos e ambientais (MASSAD, 2003). A definição de assoreamento é, muitas vezes, confundida com erosão ou sedimentação, que são processos que participam do assoreamento. Portanto, a ocorrência do assoreamento é dependente dos processos de geração, transporte e deposição de sedimento (ESTIGONI, 2012).

O assoreamento causa a diminuição gradual de profundidade dos rios, por sedimentos originados de processos erosivos, desencadeados, principalmente pelas águas da chuva, além de processos químicos, antrópicos e físicos, que desagregam solos e rochas, que são transportados e depositados nos cursos d'água, causando seu assoreamento (PENTEADO, 1983). De acordo com Carvalho et al. (2000a), o assoreamento compromete o desempenho de centrais hidrelétricas na produção de energia, devido à diminuição da vida útil de seus reservatórios, que passam a depender de dragagem constante para a retirada de sedimentos do leito.

Por outro lado, é preciso considerar que a construção de barragens para implantação de reservatórios gera modificações nas condições naturais do curso d'água. As barragens reduzem a velocidade da corrente e, conseqüentemente, a capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, favorecendo sua deposição nos reservatórios que, aos poucos, vão perdendo a capacidade de armazenar água. Portanto, um reservatório construído para fins de geração de energia, de irrigação ou de abastecimento público, tem sua vida útil diretamente dependente do fluxo de sedimentos no curso d'água.

De acordo com Costa (2009), 77,3% da energia elétrica brasileira são provenientes de fontes hidráulicas. No entanto, este autor destaca que estudos sedimentológicos não são realizados da mesma maneira que os estudos hidrológicos. Isto tem ocorrido porque os estudos hidrológicos são bem mais completos e difundidos pelo país, tendo como base uma grande quantidade de dados provenientes de postos de coleta e monitoramento. Além disso, a maior parte da energia elétrica gerada no país é feita por grandes reservatórios, cujos problemas de assoreamento são considerados de pequena importância, a curto e médio prazo (COSTA, 2009). Os reservatórios de Itaipu, Itá, Sobradinho e

Tucuruí, são exemplos disso, para os quais o tempo de assoreamento total avaliado para cada reservatório pode ultrapassar 1000 anos. No entanto, em tempo muito menor, 20 a 30 anos, os depósitos na região do remanso, área do delta, já poderão estar prejudicando atividades como a navegação (ANEEL, 2000).

### **Técnicas de bioengenharia aplicadas ao controle de voçorocas**

A bioengenharia de solos envolve a utilização sinérgica de materiais inertes como concreto, madeira, aço e fibras sintéticas com elementos biológicos, como algumas espécies de vegetais, com a finalidade de estabilizar e controlar processos erosivos.

A contribuição da utilização de vegetais está principalmente relacionada ao desenvolvimento radicular e do caule dos mesmos, que são utilizados em arranjos geométricos convenientes de modo a formar elementos estruturais e mecânicos que promovem a contenção do solo (retenção de movimentos de terra) e contribuem para a sua proteção, já que melhoram as condições de drenagem reduzindo a velocidade do escoamento superficial e aumentando a parcela de infiltração.

Segundo Couto et al. (2010) as técnicas de bioengenharia são utilizadas desde o período romano para controlar processos erosivos em taludes e margens de rios, em diferentes partes do mundo, e caíram em desuso após o advento da Revolução Industrial, que popularizou o uso da tecnologia do concreto armado e aço, materiais inertes que inicialmente apresentaram-se baratos e seguros.

O autor discorre ainda que após a década de 1930, engenheiros norte-americanos retomaram o desenvolvimento de técnicas de bioengenharia, já que estas apresentam a vantagem de requerer menor utilização de maquinário e maior utilização de mão de obra braçal com menor qualificação em comparação com as práticas tradicionais de engenharia civil, vantagem que fica mais evidente quando se trata de locais de difícil acesso ou inacessíveis para o maquinário. Além disso, a utilização de materiais naturais e locais como madeira, pedras, compostos

orgânicos, entre outros, permitem uma redução dos custos de insumos e transporte, o que muitas vezes garante uma relação custo benefício melhor do que técnicas tradicionais de engenharia civil. Deve-se, ainda, considerar vantagens de ordem ambiental, já que a aplicação de materiais naturais permite melhor compatibilidade ambiental e a menor utilização de maquinários e movimentação de terra ocasiona menor perturbação durante a execução das obras de proteção.

Em projetos de contenção de taludes aplicando técnicas de bioengenharia muitas vezes opta-se por trabalhar com geotêxteis e geogrelhas, madeira, concreto, aço, polímeros sintéticos ou rochas, utilizando a vegetação em todas as suas formas de acordo com a necessidade de aplicação (COUTO et al., 2010).

### *Geossintéticos*

Conhecidos como biomantas ou biotêxteis, os geossintéticos também são conhecidos como PRCE (produtos em rolo para controle de erosão) e são classificados em degradáveis e não degradáveis (AUSTIN e DRIVER, 1995). São produtos flexíveis constituídos de uma variedade de fibras orgânicas ou sintéticas, degradáveis ou não, que podem ser coladas, costuradas ou estruturalmente ligadas a malhas ou redes (GRAY e SORTIR, 1996).

As matérias primas utilizadas nesses produtos vão desde materiais naturais como algodão, fibra de coco beneficiada, sisal, turfa, trigo, milho entre outros, até materiais sintéticos, compostos por polipropileno, polietileno, náilon entre outras (COUTO et al., 2010). Sua escolha deve levar em consideração as necessidades do projeto, já que além da variedade de composição, apresentam variedade de degradabilidade, gramatura e resistência.

A função da utilização de geossintéticos é potencializar os efeitos protetores da vegetação na redução de processos erosivos, permitindo que a vegetação seja estabelecida em situações adversas (CEMIG, 2002), contribuindo para a renovação da qualidade visual do cenário. Uma grande vantagem é que proporciona proteção imediata contra o efeito dos agentes erosivos.

Segundo Couto et al. (2010), as características básicas das biomantas são:

- Permeabilidade: por serem constituídas de materiais fibrosos desidratados e por absorverem teores de umidade até quatro vezes superior ao seu peso seco, contribuem para a retenção e ancoragem dos sedimentos e favorecem a infiltração de água no solo.
- Proteção superficial do solo: uma vez que atuam como dissipadores de energia do escoamento superficial, reduzem a velocidade do fluxo, reduzindo o seu potencial erosivo. Contribuem nesse sentido também para a redução da erosividade de chuva, oriunda do impacto das gotas de água no solo.
- Integração ambiental: sendo degradáveis, apresentam perfeita harmonia com o meio ambiente. Possuem degradação programável, assim em situações em que a ausência temporária da vegetação pode causar danos, pode-se utilizar biomantas de degradação lenta ou gramatura elevada. Além disso, a mineralização da matéria orgânica constituinte da biomanta contribui para reduzir a erodibilidade do solo, pois uma vez que favorece a coesão entre partículas, promove a estruturação do solo.
- Flexibilidade e praticidade, já que são facilmente moldáveis e adaptáveis às mais diversas situações, leves, práticas e de fácil aplicação, mesmo em locais de difícil acesso, sem necessidade de equipamentos sofisticados.
- Baixo custo em relação aos produtos e técnicas convencionais da engenharia para controle de processos erosivos, justamente por terem como insumo, muitas vezes, materiais fibrosos oriundos de resíduos agrícolas.
- Aplicação direta sobre a superfície que se deseja proteger ou após semeio/plantio da vegetação.

As biomantas são comercializadas em bobinas, como ilustra a Figura 7. Assim, sua aplicação deve ser feita desenrolando-se a bobina no sentido da declividade do talude, sempre partindo do topo em direção à base, moldando sobre uma valeta transversal ao mesmo (localizada no seu topo) de, aproximadamente, 10 cm de profundidade e largura, deixando ultrapassar pelo




menos 20 cm para fazer a ancoragem. Para isso, deve-se grampear a manta no fundo da valeta, aplicar solo compactado, aplicar sementes e fertilizantes, dobrar o excedente da biomanta e grampear com espaçamento máximo de 40 cm entre os grampos.



Figura 7 – Bobinas de biomantas (Fonte: Couto et al., 2010).

A fixação das biomantas pode ser feita com grampos de aço, bambu, madeira de formas e tamanhos variados, conforme sugere a Tabela 2, sendo que a quantidade e especificação dos mesmos devem ser estabelecidas de acordo com seu material e inclinação do talude.

Tabela 2 – Tipos e características dos grampos (Fonte: Couto et al, 2010).

Grampos	Tipo	Comprimento dos Grampos (cm) e Uso em Taludes (corte / aterro)					
		7,5	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0
Aço		Corte	Corte	Corte	Aterro	Aterro	Aterro
Bambu		-	-	Corte	Corte	Aterro	Aterro
Madeira		-	-	-	Aterro	Aterro	Aterro

Para garantir a continuidade da manta ao longo da superfície a ser protegida deve-se atentar para os transpasses laterais e longitudinais, que devem ser de no mínimo 5 cm, com grampeamento a cada 30 cm. A determinação do número de grampos por unidade de área deve ser feita levando-se em consideração a inclinação do talude, o tipo de material, a susceptibilidade à erosão e a segurança requerida para o projeto. Solos menos coesos e arenosos geralmente demandam por grampos de maiores comprimentos.



A Figura 8 apresenta uma proposta de disposição adequada dos grampos e espaçamentos para promover a fixação das biomantas, de acordo com a inclinação dos taludes.

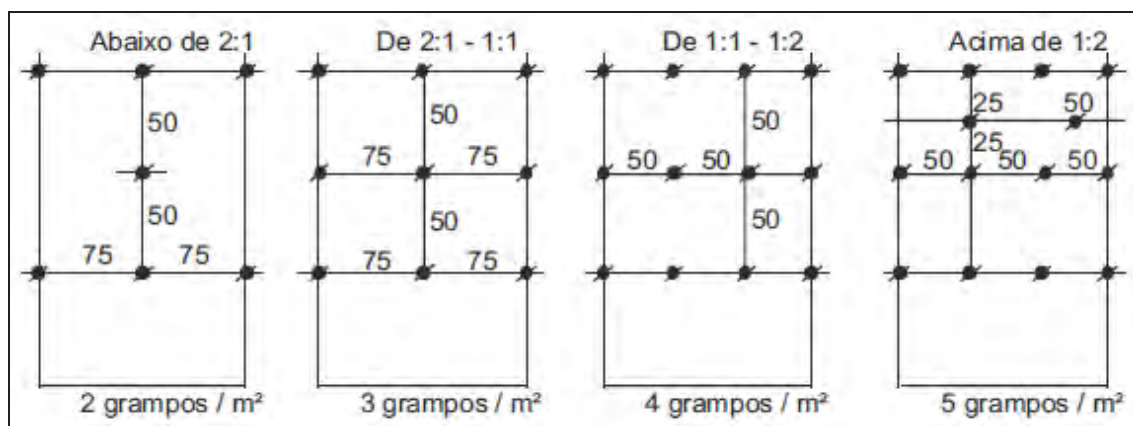


Figura 8 – Número de grampos utilizados para a fixação de biomantas (Fonte: Pereira, 2008 citado por Couto et al., 2010).

As Figuras 9 e 10 ilustram a utilização das biomantas em talude de corte, permitindo ver o aspecto visual do talude após a aplicação.



Figura 9 – Instalação de biomanta em talude de corte (Fonte: Couto et al., 2010).



Figura 10 – Aspecto visual do talude onde foi aplicada biomanta (Fonte: Couto et al., 2010).

### *Retentores de sedimentos*

As primeiras chuvas ocorridas após a aplicação de alguma técnica de bioengenharia para contenção/proteção de talude poderão comprometer o trabalho realizado caso não sejam previstos dispositivos para reter os sedimentos até que a vegetação se estabeleça.

É necessário que se utilizem dispositivos adequados para ancorar os sedimentos, já que cada método tem sua função e deve ser adequadamente escolhido para garantir sucesso dos trabalhos e proporcionar redução dos custos.

Segundo Couto et al. (2010), as estruturas destinadas à detenção e retenção de sedimentos podem ser classificadas de acordo com os seguintes critérios:

Formato: retilínea ou arqueada;

Finalidade: deposição, quando se destinam à retenção dos sedimentos, ou consolidação, quando para estabilização de leitos de canais de taludes;

Resistência às forças externas: estruturas de gravidade ou estruturas arqueadas;

Material: concreto, rocha, gabião, madeira, aço e materiais mistos;

Construção e objetivos específicos: filtração, deposição ou retardamento de vazões.

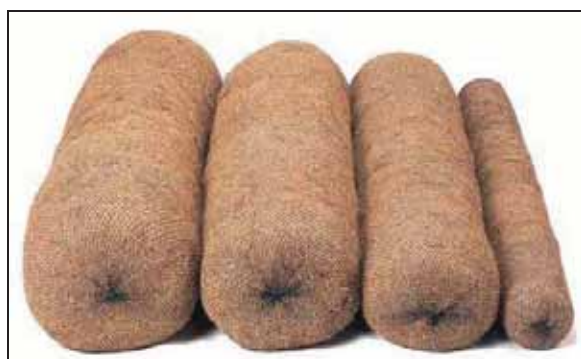
A contribuição da utilização dos dispositivos retentores de sedimentos está relacionada, basicamente, a dois fatores principais. Um deles é que a deposição contínua de sedimentos oriundos da área à montante da estrutura de contenção promove uma suavização da geometria do terreno, diminuindo a possibilidade de processos erosivos em maciços. Outro aspecto é que a presença de tais estruturas altera as condições de drenagem superficial, ocorrendo redução de volume e força trativa do fluxo sobre o leito e os taludes das erosões, reduzindo o desprendimento e transporte de sedimentos.

A concepção de estruturas destinadas a retenção e ancoragem de sedimentos pode ser feita empregando-se os mais variados dispositivos, como por exemplo, gabião, arrimo, paliçadas de madeira e bermalongas.

### *Bermalongas*

São dispositivos destinados à retenção de sedimentos, constituídos de fibras vegetais desidratadas que passam por uma prensagem, formando um cilindro flexível e muito resistente. As fibras vegetais retêm os sedimentos, mas permitem a passagem da água, sem que haja colmatação, o que permite que muitas vezes as bermalongas sejam usadas como dreno profundo.

As bermalongas apresentam baixa densidade, de aproximadamente 100 kg/m<sup>3</sup>, o que facilita o manuseio e transporte para locais de difícil acesso. Têm grande capacidade de absorver e reter umidade, chegando a absorver até cinco vezes o seu peso em água. São comercializadas em rolos de diâmetros (20, 30, 40 e 50 cm) e comprimentos variados (padrão é de 1,60 metros, mas podem atingir comprimentos de até 10 metros sem perda das características), e apresentam grande flexibilidade, sendo facilmente moldáveis ao local onde serão aplicadas. A Figura 11 ilustra bermalongas fabricadas pela empresa Deflor, localizada em Belo Horizonte – MG.



**Figura 11 – Bermalonga fabricada industrialmente com fibras vegetais, prensadas e envolvidas por uma rede resistente de polipropileno.**

A aplicação das bermalongas deve ser feita juntamente com o acerto da erosão, e sua fixação deve levar em consideração cuidados como posição e locais corretos onde devem ser fixadas. Podem ser utilizadas isoladamente para a detenção dos sedimentos, em locais de menor declive e baixo fluxo de sedimentos, sendo dispostas sempre no sentido transversal à declividade do talude. Podem ser fixadas com grampos ou estacas vivas, e sua aplicação ser

conciliada com plantio de vegetação. A Figura 12 ilustra aplicação de bermalongas em uma voçoroca.



**Figura 12 – Disposição de bermalongas perpendicularmente ao sentido do escoamento superficial**  
(Fonte: Couto et al., 2010).

A Figura 13 ilustra a utilização de bermalonga associada ao plantio de vegetação, no caso capim *Vertiver* sp.



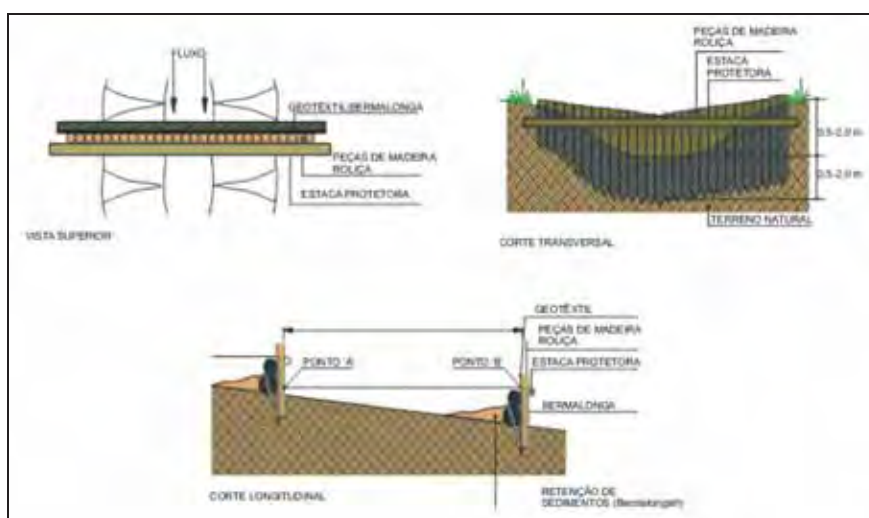
**Figura 13 – Utilização de bermalongas associada ao plantio de capim *Vertiver* SP**  
(Fonte: Couto et al., 2010).

### *Paliçadas de madeira*

As paliçadas de madeira são anteparos que devem ser aplicados em locais onde houver maior necessidade de retenção de sedimentos. São constituídas de peças de madeira tratada (para garantir proteção contra ataque de fungos) enterradas lado a lado no solo, dispostas de modo a dar estabilidade em locais de

risco, sendo as suas dimensões definidas em função da necessidade do local em termos de carregamento que deverá suportar futuramente (PEREIRA, 2001).

As paliçadas também podem ser construídas de madeira roliça, dormentes e bambu. A fixação é feita através de uma vala linear transversal ao declive do talude, com profundidade no mínimo igual à metade do comprimento da peça, de modo a garantir que as peças permaneçam verticais. Caso o solo não apresente boa coesão para tal, deve-se dispor de artifícios para manter a estrutura ereta, o que pode ser feito com o travamento das peças com outras aplicadas horizontalmente no pé das estacas verticais ou com a utilização de concreto. A Figura 14 ilustra detalhes construtivos da confecção de paliçada de madeira roliça.



**Figura 14 – Vista em planta e corte da construção de paliçada de madeira (Fonte: Pereira, 1998 citado por Couto et al., 2010).**

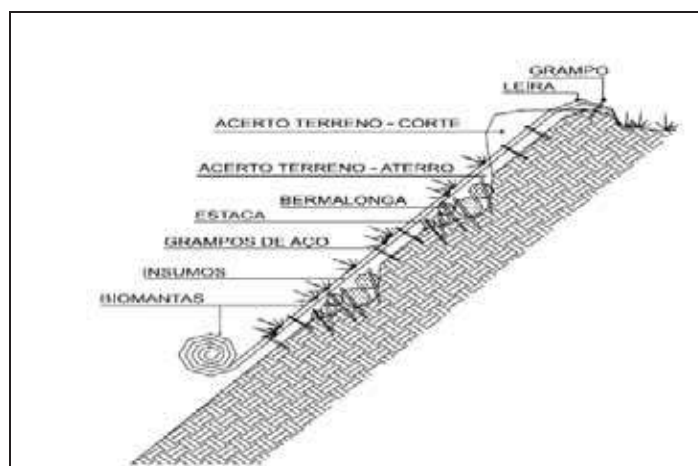
Na área onde os sedimentos serão alojados recomenda-se cobertura com geotêxtil e adequada disposição de bermalongas na interface da madeira com o solo, a fim de evitar fuga de sedimentos.

As paliçadas devem ser aplicadas nos estreitamentos de processos erosivos lineares de pequeno e médio porte que não apresentem escoamento superficial concentrado ou afloramento freático (intermitente ou perene), de modo a promover, com a retenção de sedimentos, uma geometria mais estável para os taludes adjacentes.

O distanciamento de uma paliçada e outra deve ser tal que a altura máxima da paliçada a jusante esteja em nível com a base da paliçada a montante, onde essa diferença fica reservada para o preenchimento com sedimentos.

#### *Preenchimentos de concavidades erosivas*

Recomenda-se, para o preenchimento de concavidades erosivas de até 50 cm de profundidade, a utilização de bermalongas dispostas longitudinal ou transversalmente ao sentido de desenvolvimento da cavidade a ser preenchida. As bermalongas devem ser fixadas com grampos que atinjam camadas de solo mais coeso. Após o preenchimento do vazio, deve-se aplicar solo e sementes para compor a vegetação do local. A Figura 15 ilustra o preenchimento de concavidades erosivas utilizando retentores orgânicos (bermalongas).

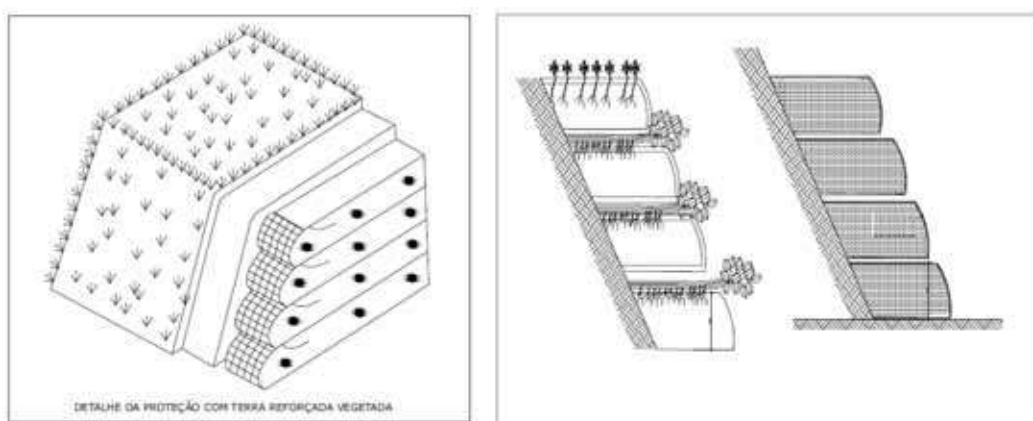


**Figura 15 – Vista em corte do preenchimento de concavidades erosivas (Fonte: Pereira, 1995 citado por Couto et al., 2010).**

#### *Solo envelopado*

Trata-se de uma técnica de bioengenharia destinada à recomposição de taludes erodidos e a envelopar aterros, que apresenta como vantagens rápida construção, possibilidade de utilização de material do próprio local para executar o aterro e possibilidade de aplicação de sementes e estacas vivas com a finalidade de atirantar o solo com as raízes.

O processo construtivo do solo envelopado envolve etapa de preparação prévia do terreno e aplicação de biomanta antierosiva estendida, com adequada disposição de retentores de sedimentos (por exemplo, bermalongas) para conter a fuga de solo. Em seguida, dispõe-se de uma camada de aproximadamente 50 cm para fazer a compactação do terreno e novamente aplicação de biomanta para envelopar todo o aterro, formando um envelope no qual se pode associar a técnica de estacas vivas entre uma camada e outra, conforme ilustra a Figura 16.



**Figura 16 – Processo construtivo do solo envelopado (Fonte: Aloísio, 1998 citado por Couto et al., 2010).**

A Figura 17 ilustra a utilização da técnica de solo envelopado na revitalização da margem do Rio das Velhas, em Santa Luzia – MG.



**Figura 17 – Solo envelopado com estacas vivas e madeira (Fonte: Couto et al., 2010).**

### *Solo grampeado*

Trata-se de uma técnica destinada à contenção de instabilidades geotécnicas sub-superficiais e profundas. Devido à sua facilidade, rapidez e flexibilidade na construção, essa técnica tem sido muito utilizada em substituição a outros sistemas, como placas de concreto e cortina.

O processo construtivo do solo grampeado envolve, basicamente, etapas de acerto e regularização do solo, perfuração e fixação dos chumbadores, preparo do solo e aplicação de malha metálica de alta resistência.

A regularização e preparo do solo é necessária para a retirada de material solto. Os locais que apresentarem concavidades após o processo de regularização deverão ser preenchidos com solo compactado e retentores de sedimentos, de modo a garantir uma superfície bem homogênea.

Em seguida, a perfuração para a fixação dos chumbadores é feita levando em consideração a estabilidade do talude, que é avaliada a partir do resultado de sondagens do local. Geralmente a perfuração é feita com o uso de equipamentos de ar comprimido, com diâmetro de 50 mm, para posterior colocação dos chumbadores de aço CA-50 de 15 mm de diâmetro, com pintura anticorrosiva, e injeção de calda de cimento para garantir total retenção no solo. Após a regularização do talude, a colocação dos grampos e o adequado sistema de drenagem, é feito o preparo do solo efetuando microcoveamento, ou seja, pequenas covas próximas umas das outras com profundidade suficiente para reter fertilizantes, corretivos, sementes entre outros insumos a serem aplicados manualmente ou por hidrossemeadura.

Finalmente, ancora-se a malha metálica de alta resistência nos chumbadores através das placas de ancoragem de aço com tamanho de 30 x 30 cm parafusadas no chumbador, de modo a compor um elemento estrutural resistente à tração. Normalmente utiliza-se malha metálica banhada em solução de Zn/Al para evitar corrosão, com espaçamentos de 8 x 10 cm e diâmetro de 2,7 mm. Aplicam-se, ainda, grampos de aço CA-50 com 30 cm de profundidade e diâmetro de 7,5 mm entre os chumbadores, para garantir total aderência da malha ao solo.



A Figura 18 ilustra as etapas do processo construtivo do solo grampeado, detalhando os chumbadores com roscas nas extremidades para fixação das placas de ancoragem que aderem à malha metálica na superfície do talude, o preenchimento dos espaços vazios e ancoragem dos sedimentos com uso de retentores de sedimentos (bermalonga) e biomanta, a disposição das placas de ancoragem fixando a malha metálica de alta resistência (vista frontal) e os chumbadores aplicados no solo (espaçados com distância  $a = b = 3$  metros e com profundidade  $c = 6$  m).

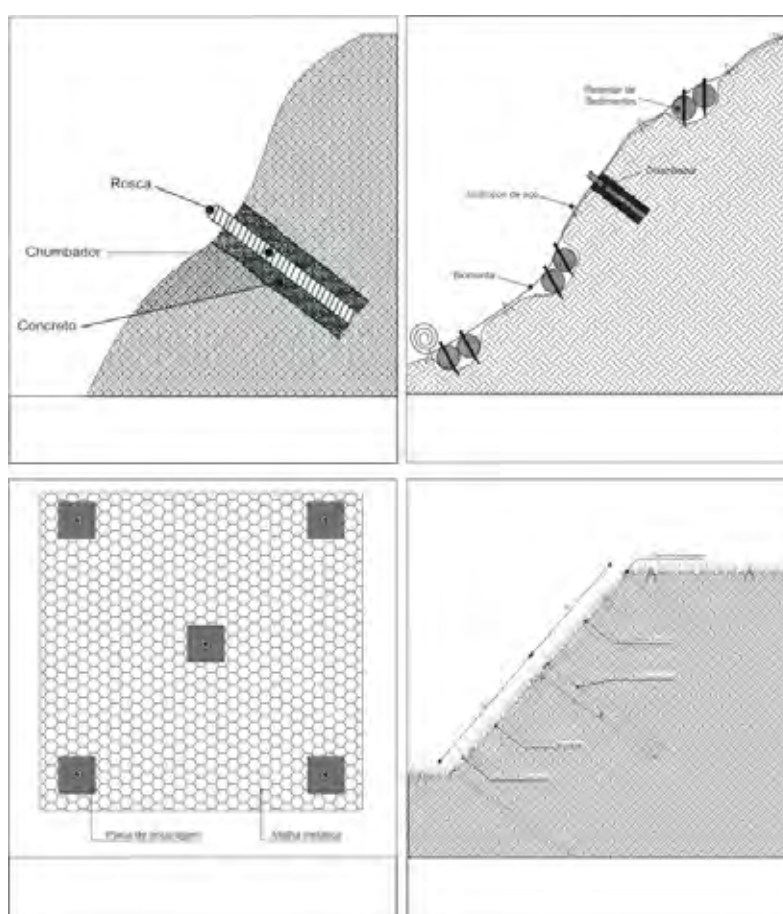


Figura 18 – Processo construtivo do solo grampeado (Fonte: Pereira, 2007 citado por Couto et al., 2010).

### *Estacas vivas*

Segundo Pereira (1997), citado por Couto et al. (2010), o processo denominado estacas vivas consiste na utilização de madeiras ou gravetos com

funções estruturais (inertes) que, havendo enraizamento, passam a exercer funções biologicamente ativas.

Há diversas alternativas para a utilização de madeira e estacas vivas, que podem ser empregadas para proteção de margens de rios e córregos, para contenção de taludes de corte e aterro, para contenção de processos erosivos de sulcamento, ravinamento e voçorocamento, entre outros.

A escolha das espécies de vegetação a serem utilizadas nesta técnica é balizada por características como sistemas radiculares finos e extensos, elevada tolerância às variações das condições ambientais, elevadas taxas de crescimento, altas taxas de transpiração, facilidade de manejo por poda, resistência a pragas e doenças, ramos flexíveis resistentes à abrasão e grande capacidade de enraizamento a partir de estacas.



**Figura 19 - Revitalização do solo utilizando madeira e estacas vivas – Santa Luzia-MG, Rio das Velhas (Fonte: Couto et al, 2010).**

### *Hidrossemeadura*

Trata-se de uma técnica que consiste na aplicação de sementes misturadas com adubos minerais, massa orgânica e adesivos de fixação via aquosa, através de bomba hidráulica (COUTO et al., 2010), o que requer prévia regularização manual ou mecânica da superfície do talude a fim de eliminar os sulcos erosivos, preencher os vazios e fazer a ancoragem dos sedimentos soltos.

As sementes utilizadas são escolhidas a partir de critérios de adaptabilidade edafoclimática, rusticidade, capacidade de reprodução e perfilamento, velocidade de crescimento e facilidade de obtenção das sementes (COUTO et al., 2010).

Feita a regularização do terreno, inicia-se o preparo do solo, que consiste em efetuar o microcoveamento, ou seja, execução de pequenas covas próximas umas das outras (distantes de aproximadamente 10 cm) com profundidade suficiente para reter os insumos aplicados (diâmetro de no mínimo 5 cm). A Figura 20 ilustra a aplicação de hidrossemeadura em taludes de corte, com leiras de bermalonga.



**Figura 20 – Demonstração da aplicação de hidrossemeadura (Fonte: Couto et al., 2010).**

É conveniente lembrar que esta técnica não protege o solo imediatamente, já que requer que a vegetação seja estabelecida para que o surgimento de novos focos erosivos seja evitado. A Figura 21 ilustra a formação de sulcos erosivos em área onde foi aplicada hidrossemeadura, antes mesmo da vegetação se estabelecer.

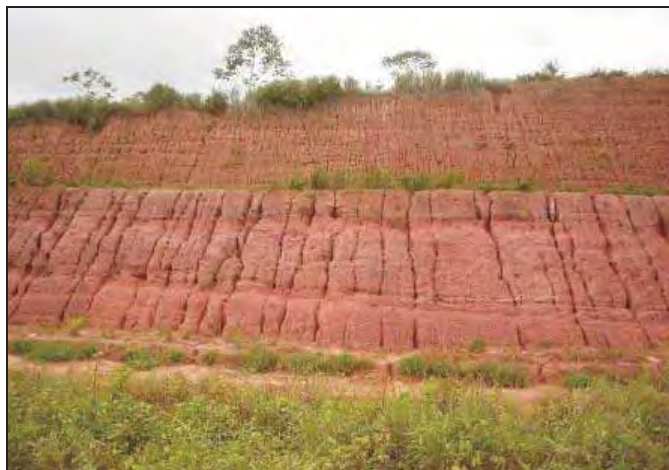


Figura 21 – Formação de sulcos erosivos (Fonte: Couto et al., 2010).

### **Estruturas convencionais de contenção à gravidade**

A construção de muros de contenção à gravidade é uma prática atrativa, pois são construtivamente fáceis de serem executados e não exigem mão de obra especializada. Este tipo de estrutura é formado por um corpo maciço que pode ser construído de vários materiais agregados por argamassa, gabiões ou ainda combinando vários materiais. Os principais elementos que compõem este tipo de estrutura são: base, corpo, topo, reaterro, solo natural e filtro.

A estrutura é submetida a um esforço de empuxo e a sua estabilidade é dada pelo solo e pelo seu próprio peso, sendo que a compactação do solo durante a construção do muro é uma das características mais importantes no caso das estruturas em gabiões formando ou reconstituindo um novo maciço.

As estruturas de contenção à gravidade podem ser classificadas em duas principais categorias: estruturas rígidas e estruturas flexíveis.

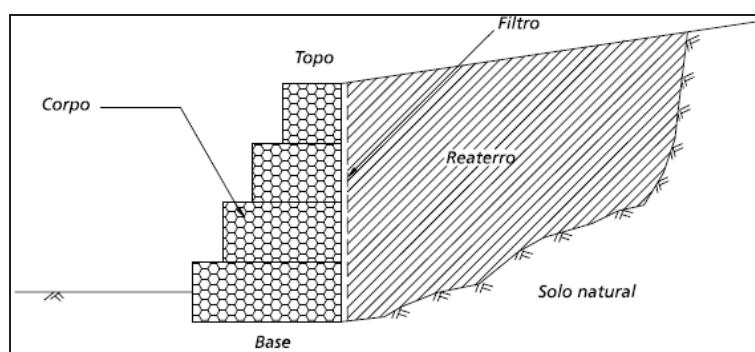
- Estruturas rígidas: são construídas com materiais que não aceitam qualquer tipo de deformação, como por exemplo concreto e pedras argamassadas. Apesar de serem muito utilizadas, apresentam algumas limitações técnicas e de aplicação, pois requerem um bom terreno de fundação (não aceitam recalques ou assentamentos), necessitam de um eficiente sistema de drenagem e, em geral, o aterro não pode ser feito antes da total conclusão da estrutura.

- Estruturas flexíveis: são construídas com materiais deformáveis e que podem, dentro de limites aceitáveis, adaptarem-se a acomodações e movimentos do terreno, sem que haja perda de estabilidade ou eficiência. Como exemplo, podem ser citados muros em gabião ou blocos articulados.

### *Gabião*

Os fatores que determinam o tipo de contenção que atenda com qualidade e eficiência as exigências de cada obra são de natureza física, geotécnica e econômica. Em geral, as contenções construídas com materiais flexíveis, como gabião, atendem com propriedade de construção, comportamento e custos, sendo muitas vezes uma alternativa vantajosa para várias aplicações.

Os gabiões são estruturas flexíveis armadas, drenantes e de grande durabilidade e resistência. São produzidos com malha de fios de aço doce recozido e galvanizado, em dupla torção, amarradas nas extremidades e vértices por fios de diâmetro maior e são preenchidos com seixos, pedras britadas ou blocos de pedras, conforme ilustra a Figura 22.



**Figura 22 – Muro de contenção a gravidade em gabiões.**

A malha metálica utilizada na sua construção deve ser produzida em arames de aço de baixo carbono, revestidos com liga de zinco e alumínio para que resistam à corrosão. A sua confecção envolve a montagem da caixa com a malha e posterior preenchimento com material resistente, de diâmetro nunca inferior ao da menor dimensão da malha.

Dentre as inúmeras vantagens da utilização de gabiões, podem ser destacadas a viabilidade econômica proporcionada pelo fato de não necessitarem de fundações, a rapidez na execução e os baixos custos comparados a outras técnicas convencionais de contenção de taludes.

## **Drenagem dos Taludes**

O objetivo principal de uma rede de drenagem é assegurar um escoamento seguro da água para locais com estabilidade geotécnica, evitando a mobilização e arraste de partículas de solo pelo escoamento superficial. Portanto, os dispositivos de drenagem devem ser construídos com materiais duráveis e devem apresentar facilidade de manutenção e segurança.

A classificação de um sistema de drenagem pode ser feita considerando, basicamente, duas categorias: drenagem subterrânea e drenagem superficial.

### *Drenagem subterrânea*

De acordo com Coelho e Brito Galvão (1998) as rochas intemperizadas e a maior parte dos solos apresentam problemas de drenagem, pois as superfícies não protegidas desses materiais são facilmente erodidas pelo fluxo da água, permitindo que o processo erosivo se inicie, podendo levar ao entupimento de filtros e drenos.

Desta forma, se faz necessária a utilização de protetores de filtros que permitam a passagem de água, mas que façam a retenção das partículas de solo, sem que haja colmatação (entupimento). Dentre as propriedades dos materiais utilizados como elementos filtrantes que são necessárias para garantir perfeito funcionamento da drenagem, elas devem apresentar elevada resistência à tração e pontuação, serem relativamente incompressíveis, estarem comercialmente disponíveis na região e possuírem baixo custo.

Os drenos são dispositivos instalados em camadas subsuperficiais do solo, de modo a interceptar, coletar, conduzir e desaguar águas que se infiltrem no solo ou que estejam contidas no maciço, cuja presença possa comprometer a

estabilidade geotécnica do mesmo. Geralmente os drenos são constituídos pelos seguintes componentes: material filtrante, material drenante e condutor tubular.

Como exemplo de materiais usados para filtros têm-se os agregados de quartzo (areia) ou os geossintéticos, sendo que as vantagens deste último em relação aos filtros convencionais de areia são baixo custo e facilidade de instalação. Os condutores tubulares geralmente são de polietileno de alta densidade – PEAD – corrugados e perfurados, ou ainda de parede porosa. A Figura 23 ilustra um sistema de drenagem subterrânea.

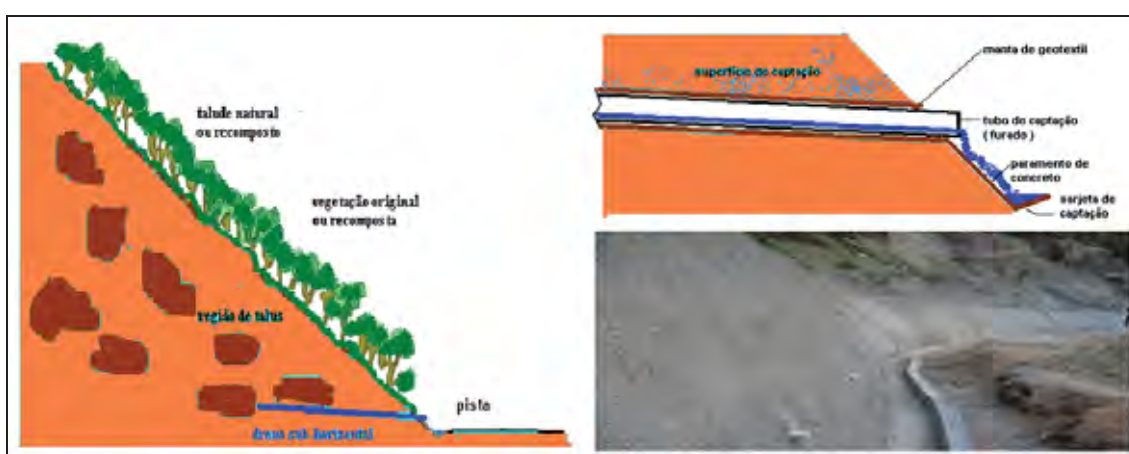


Figura 23 – Sistema de drenagem subsuperficial.

### *Drenagem superficial*

A drenagem superficial é feita pelas linhas naturais do curso d'água e pelo sistema formal construído, que deve estar em harmonia com as feições do relevo para permitir o efetivo escoamento das águas (COUTO et al, 2010). Todo sistema deve ser dimensionado de acordo com a vazão e declividade dos canais de drenagem. Um sistema de drenagem superficial pode ser composto pelos seguintes dispositivos: canaletas e escadas hidráulicas.

### *Canaletas*

São canais de pequenas dimensões que se destinam à captação das águas que, escoando livremente sobre o solo, poderiam gerar desagregação e arraste de material, iniciando um processo erosivo. As canaletas de drenagem devem ter

capacidade suficiente para as taxas de escoamento superficial de pico, que geralmente são atingidas em eventos extremos de precipitação, que ocorrem com frequência especificada, definindo um período de recorrência.

Uma proposta alternativa às canaletas convencionais de concreto pode ser feita utilizando biomantas antierosivas, que são aplicadas sobre o canal escavado e compactado, de modo a compor um canal de drenagem, conforme ilustra a Figura 24.



**Figura 24 – Canaleta revestida com biomanta antierosiva (COUTO et al, 2010).**

Sob as biomantas deverá ser semeada uma mistura de sementes de espécies de herbáceas de sistema radicular denso e profundo, e de baixa rugosidade superficial. No entanto, essa alternativa se aplica de forma mais adequada apenas a canais destinados ao escoamento de fluxo intermitente de água.

Para canais destinados ao escoamento de um fluxo perene recomenda-se a utilização de grelhas revestidas com concreto. As geogrelhas são materiais planares, em forma de grelhas, com grandes aberturas ou vazios, que apresentam as seguintes características físicas e mecânicas, respectivamente: gramatura, espessura, abertura da malha; e resistência à tração, alongamento na ruptura e tração para alongamento.

Dentre as diversas aplicações das geogrelhas (elemento de reforço e separação em aterros sobre solos moles, elemento de reforço em recomposição de



aterros, elemento de reforço em estabilização de taludes, revestimento na proteção de taludes, entre outros), a sua utilização pode ser feita em associação ao concreto para a construção de canais de drenagem, conforme ilustrado na Figura 25.



**Figura 25 – Canaleta construída com geogrelha e concreto (COUTO et al, 2010).**

### *Escada hidráulica*

São dispositivos que possibilitam o escoamento das águas que se concentram na área à montante do talude, conduzindo-as para a parte inferior do talude em velocidade adequada para não causar desgaste do material do qual a escada é construída e para evitar danos de erosão na zona de deságue. Para limitar a velocidade de descida da água, a escada promove a dissipação de energia do fluxo através da turbulência gerada pela sequência de degraus sobre os quais o escoamento ocorre. A Figura 26 ilustra a utilização de escada hidráulica para conduzir o fluxo limitando sua velocidade.



**Figura 26 – Escada hidráulica.**

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

O município de Costa Rica localiza-se na região Nordeste do Estado do Mato Grosso do Sul, com latitude 18°31'38" Sul, longitude 53°57'42" Oeste e altitude de 641 metros. Faz divisa com os Estados de Goiás e Mato Grosso, distando 390 km da capital, Campo Grande, à qual é ligada por rodovia pavimentada ou pela rodovia não pavimentada, que passa pelo Distrito de Paraíso, pela qual a distância é reduzida para 339 km. O município de Costa Rica é considerado um dos mais prósperos do Mato Grosso do Sul e, de acordo com os dados do IBGE (2010), possui população de aproximadamente 19.597 habitantes. As atividades de agropecuária e turismo são as de maior relevância para a economia do município, sendo que entre as atividades agrícolas a cultura do algodão apresenta-se em destaque. O potencial turístico também vem sendo explorado, principalmente por atividades envolvendo esportes de aventura; o parque municipal do Rio Sucuriú atrai turistas por suas tirolesas, rapel, piscinas, arvorismo, rafting, trilhas entre outras atividades de esporte e lazer.

Costa Rica é um município divisor de águas das bacias hidrográficas do Rio Araguaia; Pantaneira (Rio Taquari, Jaurú) e do Paraná (Rio Sucuriú, Nascentes do Aporé, Corrente de Goiás). A bacia hidrográfica do Rio Sucuriú, na qual se encontra a área de estudo, é dividida em Alto, Médio e Baixo Sucuriú, e o município de Costa Rica encontra-se na região da bacia do Alto Rio Sucuriú (Figura 27).

Na bacia do Alto Sucuriú predominam as pastagens, que ocupam 52,45% da área total, e em seguida as matas, que cobrem 29,68% desta bacia. Essa elevada porcentagem de área coberta por mata se deve ao fato de Costa Rica manter cerca de 70% da área total do município como áreas de proteção ambiental, representadas por unidades de preservação como o Parque Natural Municipal do Alto Sucuriú, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari e o Parque Nacional das Emas, entre outros. Costa Rica ocupa 17,15% da área total

da bacia do Alto Sucuriú, sendo que as monoculturas anuais são representadas, principalmente, por soja, algodão, sorgo, cana-de-açúcar e milho (FERREIRA, 2011).

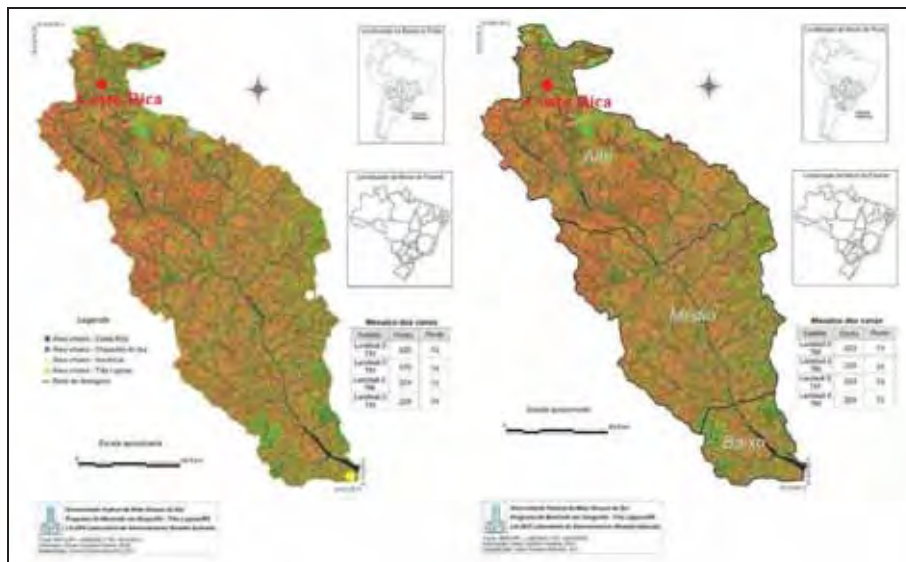


Figura 27 – Bacia do Alto Sucuriú e suas divisões: Alto Rio Sucuriú (Fonte: FERREIRA, 2011).

Na bacia do Alto Rio Sucuriú são encontradas as formações geológicas Santo Anastácio, Adamantina, Serra Geral, Cobertura de Detrito Laterítico, Caiuá e Botucatu, conforme pode ser observado na Figura 28.

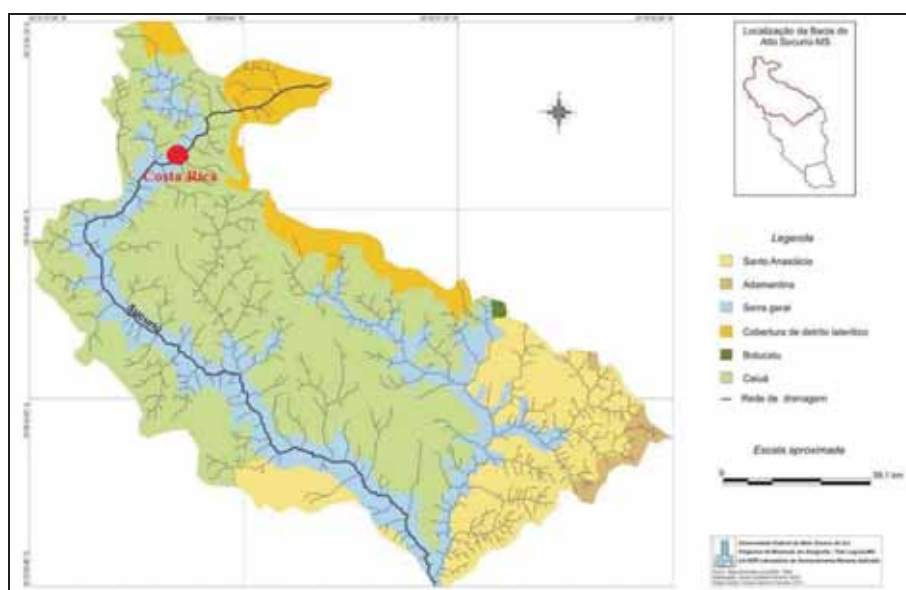
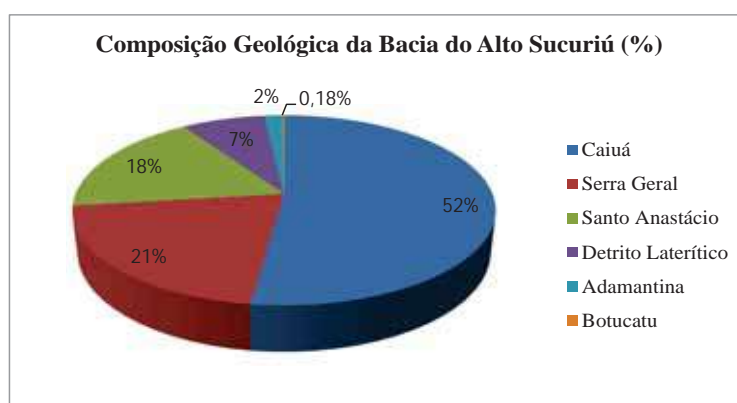


Figura 28 – Geologia da Bacia do Alto Sucuriú, MS (Fonte: FERREIRA, 2011).

De acordo com Ferreira (2011) estas formações geológicas podem ser descritas como:

- Santo Anastácio: granulação predominantemente fina, podendo esporadicamente, ser média a grosseira. Normalmente apresenta camadas intercaladas siltico-argilosas, sendo mais espessas, as camadas superiores.
- Adamantina: apresenta arenitos finos a médios com coloração, que varia de cinza-róseo, cinza-esbranquiçado a amarelo-esbranquiçado. Estes arenitos apresentam matriz argilosa e pouco consistente.
- Serra Geral: originada de derrames basálticos, constituída por rochas de cores verdes a cinza-escuro, de granulometria fina a média. Devido à origem basáltica, os solos desta formação são muito férteis.
- Cobertura de Detrito Laterítico: localizada em regiões de cotas superiores a 800m, sendo que o solo homogêneo vermelho-escuro; apresenta atividade química ascendente e/ou descendente através de veios de lixiviação irregulares.
- Caiuá: composta por arenitos bastante porosos, de granulometria fina a média, facilmente desagregáveis e com camada de espessura não superior a 1,50 m.
- Botucatu: caracteriza-se por arenitos finos a muito finos de coloração vermelha, rósea ou amarelo-claro.

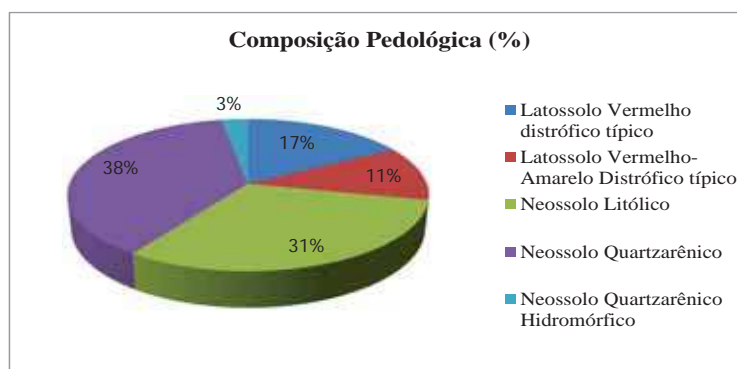
Conforme apresentado na Figura 29, as Formações Caiuá, Serra Geral e Santo Anastácio correspondem a 52, 21 e 18%, respectivamente, e predominam na Região da bacia do Alto Sucuriú.



**Figura 29 – Formações Geológicas da Bacia do Alto Sucuriú.**

Considerando os levantamentos pedológicos realizados por Galdino et al. (2003), na Bacia do Taquari, contígua à bacia do Alto Sucuriú, predominam

nesta região, os Latossolos e os Neossolos. Conforme informações obtidas no relatório RT-004-voçoroca, apresentado pela equipe da Fundunesp de Guaratinguetá, em projeto de P&D, na Figura 30 é possível observar a pedologia do município de Costa Rica, numa área de 1.241,60 km<sup>2</sup>, que corresponde à bacia de contribuição do reservatório da PCH Costa Rica.



**Figura 30 – Pedologia do município de Costa Rica**

De acordo com este gráfico os Neossolos Litólicos e os Neossolos Quartzarênicos cobrem, aproximadamente, 70% da área desta bacia. Os Neossolos Litólicos são solos pouco intemperizados, muito rasos (horizonte A diretamente sobre a rocha ou horizonte C) e, geralmente, ocorrem em relevo fortemente ondulado, montanhoso ou escarpado, que não possibilita o uso de máquinas. A fertilidade natural destes solos depende do material de origem. Os Neossolos Quartzarênicos são solos formados basicamente de quartzo – resistente ao intemperismo químico – possuem menos de 15% de argila, apresentam baixa retenção de água, devido à excelente permeabilidade. Normalmente, ocorrem em relevo plano, são pobres quimicamente, mas são profundos a muito profundos, oferecendo assim, facilidade à mecanização agrícola, embora sejam altamente susceptíveis aos processos erosivos (OLIVEIRA, 2011).

Os Latossolos são solos muito intemperizados (profundos), possuindo, normalmente, altos teores de argila, que podem variar de 15% a mais de 90%, dependendo do material de origem, mas também podem ser arenosos. Por serem

muito intemperizados, geralmente são ácidos e de baixa fertilidade, apesar disso, são aptos à agricultura e como ocorrem em relevo plano a levemente ondulado, apresentam facilidades à mecanização agrícola (OLIVEIRA, 2011).

### **PCH Costa Rica**

A PCH Costa Rica está instalada no trecho alto do Rio Sucuriú, em funcionamento desde 1997. A produção média de energia é de 16,5 MW, produção esta que vem sendo comprometida pelo intenso processo de assoreamento do rio Sucuriú, fazendo com que há quatro anos seu funcionamento venha sendo mantido por dragagem. São retirados sedimentos do leito do reservatório constituídos principalmente de areia, que é depositada em área da própria PCH Costa Rica, pois há previsão de ser aproveitada por areeiros da região e construtores. As Figuras 31 e 32 ilustram o funcionamento contínuo da draga no reservatório da PCH e o volume de material depositado.



**Figura 31 – Draga instalada no canal de adução da PCH Costa Rica.**



**Figura 32 – Sedimentos retirados do canal de adução, parte do reservatório da PCH Costa Rica.**

## Diagnóstico da principal voçoroca de Costa Rica

Em visita ao município de Costa Rica, realizada no mês de janeiro de 2011, a equipe de pesquisadores da Unesp de Guaratinguetá verificou que não existe acompanhamento da quantidade de sedimentos que são dragados do reservatório da PCH Costa Rica, tão pouco da quantidade e das principais fontes geradoras do grande volume de sedimentos que assoreiam o rio Sucuriú e que ao atingirem o canal de adução, comprometem a vida útil do seu reservatório e afetam o bom desempenho da geração de energia.

Uma possível fonte geradora de sedimentos que causam o assoreamento do Rio Sucuriú e, conseqüentemente, do reservatório da PCH Costa Rica, é uma voçoroca localizada próximo ao Córrego São Luiz, com altitude de 789 metros e coordenadas UTM -290955 e -7946607 (um ponto de entorno), distante cerca de 21 km do município de Costa Rica e cerca de 16 km a montante do reservatório. As dimensões da voçoroca são de aproximadamente 250m de largura, 650m de comprimento e 30m de profundidade, conforme ilustra a Figura 33 com imagem obtida do Google Earth do ano de 2009.



Figura 33 – Principal voçoroca localizada à montante do reservatório da PCH de Costa Rica (MS).

De acordo com informações obtidas de moradores da região, essa voçoroca vem se desenvolvendo há mais de 50 anos, sendo que em visita à área foram verificadas evidências de movimentos de solo recentes em vários pontos, indicando que o processo erosivo continua ativo, conforme ilustra a Figura 34. Além disso, podem ser notadas outras voçorocas em formação num raio de 250 a 300 metros desta voçoroca principal.



**Figura 34 – Evidência de processos erosivos recentes na principal voçoroca da bacia contribuinte da PCH Costa Rica (MS).**

### **Metodologia para cadastramento da principal voçoroca de Costa Rica**

O cadastro das erosões lineares, que incluem ravinas e voçorocas, constitui o primeiro passo para o controle e recuperação das mesmas e tem como objetivo diagnosticar cada uma das feições erosivas para registrar em ficha de cadastro apropriada, que possibilite qualificá-las quanto aos riscos ambientais.

A avaliação dos riscos ambientais das bacias hidrográficas pode ser feita através da caracterização das voçorocas que nela se encontram, o que torna possível estabelecer um conjunto de prioridades que balizarão a determinação de medidas de controle, correção e recuperação, bem como a alocação de recursos para tal. Entretanto, tais medidas não devem levar em consideração apenas as informações cadastrais das erosões lineares, mas também as informações provenientes dos levantamentos regionais, particularmente os mapas de vulnerabilidade aos processos erosivos.



O cadastramento sistemático das feições erosivas proporciona um avanço no conhecimento de suas relações com áreas urbanas e rurais, já que o cadastro procura avaliar sua dinâmica e fenomenologia além de descrever as principais características da erosão, permitindo uma melhor compreensão dos processos responsáveis pela deflagração e evolução do fenômeno de forma mais integrada.

Neste sentido, o cadastro da principal voçoroca da bacia do Rio Sucuriú em Costa Rica foi feito para obter uma série de parâmetros que podem ser usados para avaliar o volume de perda de solo que ocorreu nesta voçoroca desde seu surgimento, identificado em campo por moradores da região há mais de 50 anos.

Para uma melhor identificação desta voçoroca foi feita a utilização de imagens obtidas do Google Earth e foram utilizados levantamentos topográficos empregando GPS Geodésico e Estação Total, no mês de janeiro de 2012. Considerando que esta voçoroca tem aproximadamente 50 anos, foi possível estimar a perda anual de solo.

O procedimento metodológico para o cadastramento de uma voçoroca envolve níveis de abordagem local e regional, para que se possam analisar as razões da degradação do solo em escala regional e nas bacias hidrográficas em que se inserem as voçorocas no município de Costa Rica.

Em escala regional é necessário avaliar aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso da terra, o que pode ser feito utilizando mapas temáticos e topográficos.

Em escala local, consideram-se levantamentos realizados em campo para avaliar os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos locais, bem como as relações entre as voçorocas e suas características físicas (comprimento, talude, declividade, entre outros) e os fenômenos naturais e antrópicos (uso do solo, por exemplo) que desencadearam o processo de voçorocamento.

Nos levantamentos de campo foi realizado um detalhamento das feições geométricas da principal voçoroca do município de Costa Rica, utilizando a Estação Total da marca Ruide, série RTS 860R e o GPS geodésico da marca Ashtech acompanhado do software Promark Field.

Para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e cálculo dos dados geométricos da principal voçoroca da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica, foram empregados os softwares GNSS Solutions<sup>®</sup>, DataGeosis<sup>®</sup>, SPRING (CÂMARA et al., 1996) e SAGA-GIS (OLAYA, 2002).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cadastro da voçoroca de Costa Rica

A Tabela 3 apresenta a ficha de cadastro da principal voçoroca identificada na bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica, no município de Costa Rica (MS).

**Tabela 3 – Ficha de cadastro da principal voçoroca identificada na bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica, no município de Costa Rica (MS).**

<b>1. Identificação e localização da voçoroca</b>						Nº: 001
Nome: Voçoroca de Costa Rica						Ano: 2012
Acesso: acesso pela BR 158 com distância de 28,3km do centro de Costa Rica, MS, em área rural próxima ao córrego São Luiz e à Fazenda Conquista do Sr. Rudinei Burgel.						
<b>2. Município:</b> Costa Rica - região nordeste do Estado do MS, situada a uma latitude de 18°31'38" Sul, a uma longitude 53°57'42" Oeste e a uma altitude de 641 m, caracterizando-se por ser um dos municípios mais prósperos do Mato Grosso do Sul.						<b>UF:</b> MS
<b>3. Dados regionais</b>						
Bacia hidrográfica: Rio Sucuriú			Geomorfologia: Planalto Central			
Geologia: arenitos marrom-avermelhados da Formação Santo Anastácio e basaltos da Formação Serra Geral			Relevo Regional: Planalto Arenítico-basáltico Relevo Local: Colinas amplas e suaves			
<b>4. Solo:</b>						
Nome: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura arenosa			Fertilidade: baixa (distrófico)			
Comprimento de Rampa: comp. máximo de 136m, comp. médio de 12,13m.			Drenagem: dendrítica/ramificada			
Declive: entorno com declividades médias inferiores a 5% e paredes da voçoroca com inclinações variando entre 60 e 80°			Vegetação Regional: Vegetação de cerrado (mapa do IBGE)			
Espessura do <i>solum</i> : conjunto dos horizontes A e B, de aproximadamente 2,0 m						
<b>5. Dados Geométricos da Voçoroca</b>						
<i>Comprimento</i>	<i>Profundidade</i>	<i>Largura</i>	<i>Volume (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Área Contribuição</i>	<i>Forma</i>	
465,76 m	varia entre as cotas 740,94m a 796,74m	até 259,68m	2.271.682,51 m <sup>3</sup>	(ha) 146,1	predominante “côncava”	

<b>6. Caracterização da Voçoroca</b>	
<b>Tipos de erosão:</b> Sulcos; Ravinas; Pedestal; Pináculo; Movimentos de massa/deslizamentos	<b>Estimativa da área estabilizada:</b> De uma maneira geral a voçoroca está instável, particularmente em sua porção montante. A área estabilizada não representa mais de 20% e corresponde ao leito coberto em grande parte por pteridófitas
<b>Vegetação dominante:</b>	
Borda: Vegetação de Cerrado a jusante, pastagem e monocultura (soja) a montante	
Encosta Superior: vegetação de cerrado carregada no processo de deslizamento	
Média Encosta: vegetação de cerrado e pastagem carregada no processo de deslizamento da encosta superior	
Encosta Inferior: vegetação típica de área degradada, sobre solo desestruturado, ácido e de baixa fertilidade (predomínio de pteridófitas)	
Leito: Pteridófitas	
<b>Localidade:</b> Zona rural de Costa Rica	
<b>7. Presença de corpos d'água:</b>	
Sim, há presença de cursos d'água e pontos de surgência no leito da voçoroca	
Qualidade da água: a ser avaliada por empresa terceirizada	
<b>8. Uso e ocupação:</b>	
Não há presença de lixo doméstico	
Não há aterro sanitário	
Não existe entulho de construção civil	
Não há área preservada	
<b>9. Ocupação limítrofe da voçoroca:</b>	
<i>Porção montante:</i> pastagem (braquiária) e atividade agrícola (monocultivo de soja)	
<i>Porção jusante:</i> vegetação de cerrado	
<b>10. Identificação da ficha</b>	
Referências locais: situada na zona rural, a cerca de 28 km da cidade de Costa Rica e em torno de 16 km à montante do reservatório da PCH Costa Rica	Coordenadas: Zona UTM 22 K, E=290.886m e N=7.946.690m (SIRGAS-2000)
<b>11. Dinâmica – Fenomenologia</b>	
<b><u>Processos Naturais:</u></b> intrínsecos aos arenitos, que apresentam elevada erodibilidade relativa associada aos efeitos hidrológicos locais que criaram condições para ocorrer o fenômeno de “ <i>piping</i> ”.	
<b><u>Origem antrópica:</u></b> as principais causas antrópicas referem-se ao processo de mecanização agrícola intensivo, que mantém grande parte dos solos expostos e a ausência de práticas de manejo e de conservação do solo e da água adequadas, que favorecem os processos erosivos intensos na região.	
<b>12. Histórico da ocupação – causas</b>	
Vegetação Natural: Cerradão, seguida de retirada para o monocultivo de soja e algodão, principalmente. Segundo um morador local, Sr. Agnaldo, desde a sua chegada à região, em 1978, já existia um início de	

processo erosivo, que desencadeou esta voçoroca. Portanto, nos últimos 35 a 40 anos esse processo vem evoluindo de forma progressiva. Outra informação do Sr. Agnaldo é de que no início da década de 1980, intensificaram-se os plantios altamente mecanizados e que os cultivos foram feitos sem a preocupação com a adoção de técnicas conservacionistas, como a implantação de curvas de nível e de terraços, entre outras. De acordo com estas informações e com as visitas aos produtores locais, ficou evidente que a voçoroca de Costa Rica teve seu processo acelerado pela agropecuária intensiva. Se por um lado, os moradores locais associam o desencadeamento e evolução da voçoroca ao uso intensivo do solo pela agropecuária, os produtores vinculam esse processo erosivo à abertura de uma estrada muito próxima a borda da voçoroca. Portanto, para melhor avaliar esta questão serão utilizadas imagens de satélite Landsat 5 multitemporais, disponíveis no período de 1987 até o momento. Essas imagens possibilitam obter pixels de 30 metros, o que é compatível com a dimensão da voçoroca.

### **13. Medidas de Combate – Desempenho**

Serão analisadas várias medidas de contenção do processo erosivo, incluindo técnicas de bioengenharia e obras de engenharia civil. No entanto, como medida emergencial recomenda-se o isolamento da área, o controle das águas, por meio da construção de canal de drenagem na região de montante da voçoroca – coletor de águas. Também é recomendável a construção de paliçadas, já que o talvegue propicia esta ação e a revegetação da área da voçoroca com espécies nativas de leguminosas inoculadas com rizóbio tolerante às condições de solo.

### **14. Previsões de Evolução**

A previsão de evolução da voçoroca inclui principalmente duas situações:

- 1) O avanço de ramificações perpendiculares ao eixo principal, onde ocorrem pontos de surgência d'água e;
- 2) Na porção montante da voçoroca, onde não existe qualquer proteção vegetal e há desenvolvimento de drenagem remontante, se continuar como está, apresenta grandes possibilidades de evolução, considerando que cerca de 80% de sua área está ativa.

### **15. Acidentes Registrados**

Até o momento não existem registros de acidente com pessoas e animais. No entanto, a equipe foi informada de que a voçoroca tem sido constantemente visitada por turistas que fazem trilhas no local, aumentando os riscos de acidente na área que apresenta deslocamentos de massa e deslizamentos recentes, com grande possibilidade de ocorrência.

## *Geologia*

De acordo com esta ficha de cadastro, a região desta voçoroca está totalmente inserida na bacia do Paraná, onde duas unidades geológicas possuem maior influência: formação Serra Geral, constituída de basaltos maciços no topo, e formação Santo Anastácio, constituída de arenitos finos a médios pobres em argilas de coloração marrom avermelhada na base (CPRM, 2006).

Estas duas formações ocorrem de maneira estratificada na região, configurando uma condição geológica que faz com que a água, ao infiltrar, desenvolva horizontes pedológicos com permeabilidades distintas. Isso assume relevante importância por ser um fator que pode contribuir para processos erosivos, uma vez que a percolação de água subterrânea nessas condições pode causar remoção de partículas do solo, originando cavidades que se desenvolvem dentro do solo.

### *Geomorfologia*

Quanto à geomorfologia, a unidade de relevo predominante na região da voçoroca de Costa Rica é formada por Colinas Amplas e Suaves típicas da região do Planalto Central denominada de *Planalto Arenito-Basáltico*, conforme ilustra a Figura 35.



**Figura 35 – Geomorfologia da região da voçoroca de Costa Rica, caracterizada por extensas planícies.**

### *Pedologia*

Em relação às classes de solo, no município de Costa Rica, inclusive no local da voçoroca, predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, que apresenta como características, boa drenagem, ocorrência de horizonte B latossólico de cores vermelhas a vermelho-amareladas, com teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  iguais ou inferiores a 11% mas normalmente maiores que 7% quando a textura é

argilosa. São solos profundos e apresentam características físicas, como boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e penetração de raízes que os tornam favoráveis ao aproveitamento agrícola. Por outro lado, por apresentarem características químicas que limitam o aproveitamento agrícola, muitas vezes são adotadas práticas para correção química para correção da elevada acidez.

Esta classe de solo ocorre em relevo suave, ondulado ou plano, sob vegetação de Cerrado ou Floresta, distribuída por praticamente todo o estado do Mato Grosso do Sul. A Figura 36 ilustra a classe Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico predominando no município de Costa Rica, em área explorada com monocultivo.



**Figura 36 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, predominante no município de Costa Rica.**

### *Rede de drenagem*

Ao analisar as condições de drenagem superficial na voçoroca de Costa Rica pode-se dizer que esta reflete as condições geológicas, geomorfológicas e pedológicas encontradas na região onde está inserida a voçoroca. Em outras palavras, os relevos planos, o solo arenoso e consequentemente as condições de elevada infiltração dos solos e rochas da região não favorecem o desenvolvimento de um escoamento superficial de elevada densidade. Consequentemente, há de se esperar que a região na qual está inserida a voçoroca

apresente uma condição de fluxo subsuperficial intensa que, sendo interceptada pela voçoroca, causa exposição do freático.

Nessas condições, a percolação de água subterrânea pode causar remoção das partículas do solo, formando cavidades que avançam para o interior do solo. Este fenômeno é denominado *piping* e está entre um dos principais mecanismos responsáveis pela formação das grandes voçorocas, já que favorecem grandes movimentos de massa. Na voçoroca de Costa Rica isso é evidenciado pelo afloramento de água na cabeceira da voçoroca, que alimenta um fluxo superficial perene de intensidade relevante que se desenvolve em canais ramificados no leito da voçoroca, conforme ilustra a Figura 37.



**Figura 37 – Exposição do freático, que forma um fluxo superficial perene.**

### *Vegetação*

No tocante à cobertura vegetal, a região da voçoroca de Costa Rica está localizada no Planalto da Bacia Sedimentar do Paraná, inserida completamente no bioma Cerrado. Assim, são comuns na região fragmentos de cerradão, veredas e campos.

Além das paisagens naturais compostas por remanescentes típicos da região, que são muito pouco preservados, a região é tomada por pastagens e lavouras de diferentes tipos de cultura, principalmente soja e algodão. As



atividades agropecuárias na bacia hidrográfica do Rio Sucuriú são tão intensas que nem mesmo faixas de matas ciliares de preservação permanente são respeitadas. O avanço de tais atividades teve início na década de 1970, seguindo o modelo rural construído na época, fazendo com que matas de galerias e áreas úmidas do bioma Cerrado fossem progressivamente alteradas e substituídas por monoculturas ou pastagens cultivadas e causando fragmentação de habitats.

No entorno (bordas) da voçoroca de Costa Rica verifica-se ocorrência de vegetação de Cerrado à jusante e pastagem com *Brachiara decumbens* e monocultivo de soja a montante, conforme ilustra a Figura 38.



**Figura 38 – Vegetação de Cerrado a jusante e pastagem e monocultivo de soja a montante.**

No interior da voçoroca, em sua encosta superior, bem como na média e baixa encosta verifica-se a presença de vegetação de cerrado oriunda do carreamento causado pelos deslocamentos de massa e deslizamentos. Na parte baixa da encosta e no leito da voçoroca verifica-se a ocorrência de espécies adaptadas a solos encharcados, desestruturados, com baixa fertilidade e elevada acidez, havendo predomínio de Pteridófitas, conforme ilustra a Figura 39.



**Figura 39 – Leito da voçoroca com espécies adaptadas e predomínio de Pteridófitas.**

### *Tipos de erosão presentes na voçoroca*

Foram identificados vários padrões de erosão na principal voçoroca de Costa Rica, detalhados na revisão bibliográfica do presente trabalho.

Erosão em sulcos: a Figura 40 ilustra erosão em sulcos, que representam o estágio inicial do processo de erosão linear. No caso desta voçoroca, os sulcos ocorrem predominantemente na parte inferior das encostas e seu aparecimento e evolução são facilitados pelas condições de drenagem superficial no interior da voçoroca e pelos pontos de surgência de água associados ao aquífero.



**Figura 40 – Erosão em sulcos identificada na principal voçoroca de Costa Rica (MS).**

Ravinas: a Figura 41 ilustra a ocorrência de ravinas, que são erosões lineares mais desenvolvidas que os sulcos, alcançando grandes dimensões, e se diferem da voçoroca por não apresentarem surgência de água oriunda do lençol freático. No caso da voçoroca de Costa Rica, os ravinamentos ocorrem predominantemente nas bordas e se desenvolvem formando um conjunto de linhas verticais que geram ainda mais instabilidade à encosta.



**Figura 41 – Ocorrência de ravinas na principal voçoroca de Costa Rica (MS).**

Movimentos de massa e deslizamentos/desabamentos: o principal tipo de erosão que ocorre na voçoroca são os movimentos de massa e deslizamentos/desabamentos, sendo estes mais evidentes na porção montante da voçoroca, que é mais instável e apresenta os maiores ângulos de inclinação do talude de encosta, variando entre 80° e 90°. As principais causas para os desabamentos podem ser interpretadas como uma associação de encostas íngremes (quase verticais) com a presença de um fluxo basal muito significativo que aflora na base da encosta mais a montante da voçoroca, oriundo da bacia de contribuição à montante que apresenta relevo planificado e solo de elevada permeabilidade. O afloramento desse fluxo basal gera o fenômeno de *piping* na base do talude, favorecendo rupturas hidráulicas quando as forças de percolação ultrapassam a resistência do solo. A Figura 42 ilustra a ocorrência de movimentos de massa em decorrência do afloramento de fluxo basal do freático, evidenciado pelo fluxo superficial perene estabelecido no interior da voçoroca.



**Figura 42 – Ocorrência de movimentos de massa, com deslizamento e carreamento de vegetação da borda da voçoroca, com fluxo superficial perene oriundo do afloramento do freático na encosta.**

Erosão em pedestal: a Figura 43 ilustra a existência de erosão em pedestal no interior da voçoroca, que ocorre quando o solo erodível é protegido do fluxo superficial por fragmentos rochosos ou raízes de árvores, isolando pedestais. Tal fenômeno é verificado com mais frequência no interior da voçoroca, embora também ocorra em alguns pontos da borda.



**Figura 43 – Erosão em pedestal no interior da voçoroca de Costa Rica (MS).**

Erosão em pináculo: este tipo de erosão caracteriza-se por deixar pináculos, que podem ocorrer na borda ou no fundo da voçoroca. Isso se deve pela existência de uma camada ou porção de solo mais resistente na parte superior dos pináculos que protege a porção subjacente, fazendo com que haja maior dificuldade do solo em ser erodido. A Figura 44 ilustra a ocorrência deste tipo de erosão na voçoroca de Costa Rica.



**Figura 44 – Erosão em pináculo no interior da voçoroca de Costa Rica.**

### **Dados topográficos**

A área da bacia de contribuição da voçoroca de Costa Rica é de aproximadamente 146,1 ha. Conforme apresentado na Figura 45, imagens de satélite Landsat TM5 de 2005 permitem identificar áreas de solo exposto (destacadas em vermelho e roxo), que também contribuem para o desencadeamento de processos erosivos e, conseqüentemente, assoreamento dos corpos d'água.



**Figura 45 – Imagem Landsat TM5 de 2005, destacando em vermelho, as áreas de solo exposto em tons de vermelho e roxo e áreas cobertas por algum tipo de vegetação em tonalidades de verde na região de Costa Rica, na bacia do Alto Sucuriú, MS (TRANNIN et al., 2012).**

Na Figura 46 apresenta a distribuição dos pontos obtidos com o GPS geodésico e a Estação Total, utilizados no levantamento topográfico realizado pela equipe de pesquisadores da Fundunesp de Guaratinguetá em janeiro de 2012, que originou dados para a elaboração do Modelo Digital de Terreno da voçoroca de Costa Rica, sobrepostos na imagem de satélite.



**Figura 46 – Distribuição dos pontos levantados na voçoroca de Costa Rica.**

### *Fenomenologia da voçoroca*

A fenomenologia dessa voçoroca (causas da origem) precisa ser minuciosamente avaliada, pois está localizada no meio de um chapadão e não

parece ter sido causada por pisoteio de gado ou processo de mecanização agrícola. Além disso, encontra-se em área de solo avermelhado (característica de solos ricos em óxidos de ferro), profundo e coberto com vegetação arbórea de cerrado bem desenvolvida, não sendo identificada de imediato a principal causa para que o processo erosivo tenha sido desencadeado. Diante destas características, esse processo erosivo precisa ser melhor avaliado, utilizando o mapa geológico e uma série histórica de imagens da região.

### **Técnicas de bioengenharia aplicáveis ao controle dos processos erosivos presentes na voçoroca**

Com base nos principais tipos de processos erosivos identificados na voçoroca de Costa Rica, foram propostas técnicas de bioengenharia aplicáveis ao seu controle, considerando a especificidade de cada um e do local de ocorrência na voçoroca. O controle desses processos erosivos pode contribuir para a diminuição da perda de solo, que geram os sedimentos que assoreiam os cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú e do reservatório da PCH Costa Rica. Desta forma, para cada tipo de processo erosivo identificado na bacia, foram propostas técnicas de bioengenharia a serem aplicadas nos trechos de cabeceira, médio e baixo da voçoroca, considerando dois ambientes distintos: os taludes de encosta da voçoroca e o interior da voçoroca.

#### **Taludes de encosta da voçoroca**

##### *Trecho de cabeceira da voçoroca*

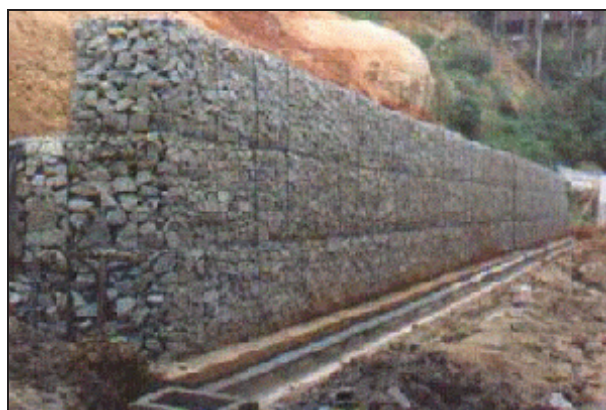
A começar pela cabeceira da voçoroca, que corresponde à região onde se verificam os maiores comprimentos de rampa e as maiores declividades de talude, bem como a ocorrência do tipo mais grave de processo erosivo (movimentos de massa e deslizamento), propõe-se a aplicação de técnicas convencionais de Engenharia Civil para a contenção dos taludes, que apresentam

ângulo de inclinação variando de 80° a 90° e comprimentos da ordem de 30 metros, conforme ilustra a Figura 47.



**Figura 47 – Taludes de encosta na cabeceira da voçoroca.**

Dentre as técnicas aplicáveis, a utilização de muros de gravidade flexíveis em gabião apresenta-se como a alternativa mais adequada, pois apresentam uma grande vantagem econômica em relação às demais alternativas convencionais, proporcionada pelo fato de não necessitarem de fundações e de utilizarem materiais e mão de obra menos onerosas em comparação com estruturas de contenção rígidas de concreto armado, além da rapidez na execução. A Figura 48 ilustra a utilização de muro de gravidade flexível em gabião.



**Figura 48 – Muro de gravidade flexível em gabião.**

Outro aspecto muito importante que conduz à escolha do muro de gravidade em gabião para ser aplicado na contenção dos taludes de encosta na cabeceira da voçoroca de Costa Rica e a sua característica drenante, muito conveniente devido à necessidade de se estabelecer adequadas condições de drenagem para o fluxo basal que aflora no pé da encosta, já que o afloramento desse fluxo sem adequados dispositivos de drenagem causa o fenômeno denominado *piping*. Tal fenômeno é caracterizado pela desagregação e arraste de solo pelo fluxo subterrâneo, promovendo a formação de cavidades que se desenvolvem e avançam no sentido do interior do talude. A presença dessas cavidades faz com que a porção de solo acima delas perca sustentação, mobilizando um plano de ruptura que se desenvolve quando a tensão de cisalhamento mobilizada ultrapassa os limites de resistência ao cisalhamento do solo. Quando isso ocorre, toda a porção de solo isolada pelo plano de ruptura é movimentada pela ação da gravidade, sofrendo desagregação total ou parcial, o que contribui ainda mais para processos erosivos, já que esse material fragilizado apresenta maior susceptibilidade à erosão laminar pela ação do fluxo superficial de água pluvial, podendo evoluir para erosão em sulcos e ravinamento.

Fica evidenciada, portanto, a necessidade de um sistema de drenos profundos que promovam o rebaixamento do nível do freático nas imediações da encosta, utilizando geossintéticos que permitem a passagem de água e retém os sedimentos sem que haja colmatção, conforme ilustrado na Figura 49.

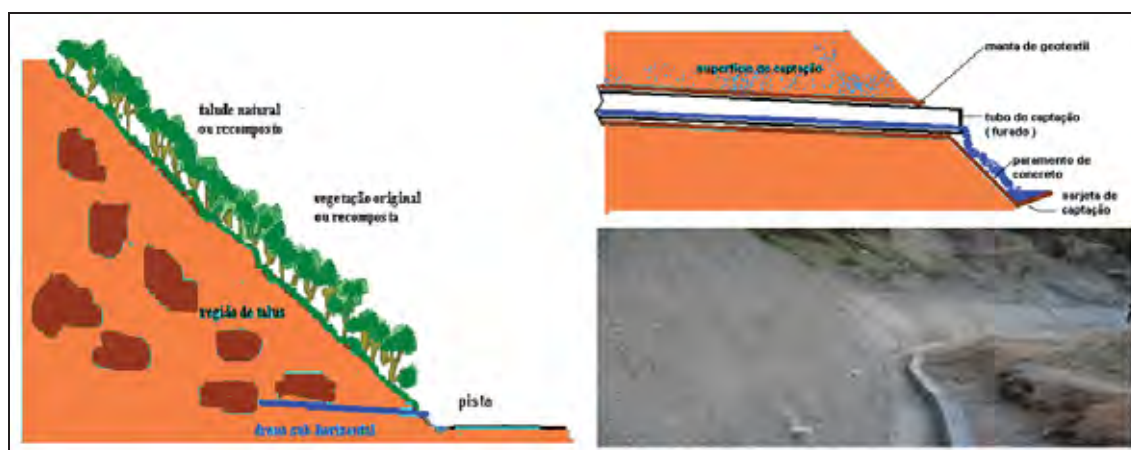


Figura 49 – Sistema de drenos profundos



Em síntese, pode-se dizer que o trecho da cabeceira da voçoroca é o que demanda por intervenções mais severas e, conseqüentemente, mais onerosas, por apresentar condições mais críticas de instabilidade de talude, processos erosivos de maior escala e maiores dimensões dos taludes.

#### *Trecho médio da voçoroca*

No trecho médio da voçoroca verificam-se menores comprimentos de talude e menores inclinações dos mesmos, além de que os processos erosivos ocorrem em menor escala. As condições de instabilidade dos taludes é menos crítica, pois em alguns trechos a vegetação já se estabeleceu, verificando estabilidade ao talude e aos processos erosivos associados ao fluxo superficial.

Nas encostas do trecho médio da voçoroca de Costa Rica o tipo de erosão que predomina são os ravinamentos, que ocorrem nas bordas e se desenvolvem formando um conjunto de linhas verticais que conferem ainda mais instabilidade à encosta, podendo gerar movimentos de massa e deslizamentos. A presença de ravinas acentua ainda mais a perda de sedimentos, pois concentra o fluxo de águas pluviais no seu leito, aumentando a erosividade do fluxo.

Propõe-se, para tanto, uma associação de várias técnicas de bioengenharia, a começar pelo preenchimento de vazios das cavidades erosivas (ravinas) presentes na encosta com bermalongas dispostas longitudinalmente ao sentido de desenvolvimento das ravinas. Devem-se fixar as bermalongas com grampos que atinjam camadas de solo mais coeso, e finalizar o preenchimento com solo e promover a compactação, para que não haja remanescente de material solto.

Feita a regularização da superfície das encostas com o preenchimento das cavidades, propõe-se a aplicação da técnica de solo grampeado, que é destinada à contenção de instabilidades geotécnicas subsuperficiais e profundas. Tal técnica se aplica às encostas das bordas laterais da voçoroca (trecho médio) por estas apresentarem declividades não tão íngremes em relação à cabeceira. A Figura 50 ilustra a aplicação da técnica de solo grampeado em talude.



**Figura 50 – Solo Grampeado em talude de encosta.**

A perfuração para a fixação dos chumbadores deve ser feita levando em consideração a estabilidade dos taludes, que é avaliada a partir de ensaios de sondagem do local que vão definir o espaçamento vertical e horizontal entre os furos, bem como a profundidade dos mesmos. Comumente a perfuração é feita com equipamentos de ar comprimido, com diâmetro de 50 centímetros, para posterior colocação dos chumbadores de aço CA-50 de 15 mm de diâmetro, com pintura anticorrosiva, e injeção de calda de cimento para garantir total retenção no solo.

Em seguida, ancora-se uma malha metálica de alta resistência nos chumbadores através das placas de ancoragem de aço com tamanho de 30 x 30 cm parafusadas no chumbador, de modo a compor um elemento estrutural resistente à tração. Normalmente utiliza-se malha metálica banhada em solução de Zn/Al para evitar corrosão, com espaçamentos de 8 x 10 cm e diâmetro de 2,7 mm. Aplicam-se, ainda, grampos de aço CA-50 com 30 cm de profundidade e diâmetro de 7,5 mm entre os chumbadores, para garantir total aderência da malha ao solo.

Para complementar a aplicação da técnica de solo grampeado nas encostas do trecho médio da voçoroca propõe-se o uso de Geossintéticos, que têm a função de potencializar os efeitos protetores da vegetação na redução de processos erosivos, permitindo que a vegetação seja estabelecida em situações adversas, neste caso, de grande declividade. O motivo da aplicação de biomanta biodegradável na superfície do solo grampeado é que esta proporciona proteção

imediate contra o efeito dos agentes erosivos da água pluvial, garantindo proteção contra erosão laminar até que a vegetação se estabeleça.

A aplicação da biomanta, que é comercializada em bobinas, deve ser feita desenrolando-as no sentido da declividade do talude, sempre partindo do topo em direção à base. Sua fixação deve ser feita no topo, em uma valeta de aproximadamente 10 centímetros de profundidade construída paralelamente ao longo da borda da voçoroca. A manta deve ser moldada e grampeada no fundo da valeta com espaçamento de no máximo 40 centímetros, transpassando 20 centímetros para fazer a ancoragem aplicando solo compactado para preencher a valeta.

Para a fixação da biomanta ao longo do talude utilizam-se grampos de aço, bambu ou madeira, em quantidade e especificação estabelecidos de acordo com o seu material e inclinação do talude. A continuidade da manta ao longo da superfície a ser protegida deve ser garantida aplicando-se transpasses laterais e longitudinais, que devem ser de no mínimo 5 centímetros com grampeamento a cada 30 centímetros. A determinação do número de grampos por unidade de área deve ser feita levando-se em consideração a inclinação do talude e o tipo de material. Solos menos coesos e arenosos, como é o caso em questão, geralmente demandam por grampos de maiores comprimentos. A Figura 51 ilustra a aplicação de biomantas sobre taludes.



**Figura 51 - Aplicação de biomanta na superfície do talude de encosta.**

*Trecho baixo da voçoroca (exutório)*

Os taludes de encosta no trecho baixo da voçoroca apresentam menores declividades e menores comprimentos em relação aos trechos alto e médio. Verifica-se a presença de vegetação de cerrado oriunda do carreamento causado pelos deslocamentos de massa e deslizamentos, o que contribui para a estabilidade geotécnica da encosta pela ação mecânica das raízes, que exercem função de estacas vivas. No entanto, em alguns pontos, verifica-se ocorrência de processos erosivos recentes, indicando que os mesmos encontram-se ativos nessa região.

Propõe-se, portanto, a aplicação da técnica de solo envelopado em pontos isolados da borda da voçoroca que apresentem instabilidade geotécnica e deslizamentos de massa. Como as declividades e o comprimento dos taludes são menores tal técnica torna-se viável construtivamente. A vantagem da técnica de solo envelopado destinada à recomposição de taludes erodidos é que apresenta rápida construção, possibilidade de utilização de material do próprio local para executar o aterro e possibilidade de aplicação de sementes e estacas vivas com a finalidade de atirantar o solo com as raízes.

O processo construtivo do solo envelopado envolve etapa de preparação prévia do terreno, que consiste na remoção de material solto e preenchimento de cavidades erosivas, o que pode ser feito com bermalongas devidamente fixadas com grampos e solo compactado por cima. Em seguida deve ser feita a aplicação de biomanta antierosiva estendida, sobre a qual dispõe-se uma camada de aproximadamente 50 cm para fazer a compactação do terreno e novamente aplicação de biomanta para envelopar todo o aterro, formando um envelope no qual se pode associar a técnica de estacas vivas entre uma camada e outra para acentuar a estabilidade do talude. A Figura 52 ilustra a utilização da técnica de solo envelopado.



**Figura 52 – Solo envelopado.**

No que se refere aos pontos isolados da borda da voçoroca onde há ocorrência de erosão em pináculos recomenda-se a técnica de Hidrossemeadura, que consiste na aplicação de sementes misturadas com adubos minerais, massa orgânica e adesivos de fixação via aquosa, utilizando, por exemplo, bomba hidráulica. Para tal deve-se promover prévia regularização manual ou mecânica da superfície do talude a fim de eliminar os sulcos erosivos, preencher os vazios e fazer a ancoragem dos sedimentos soltos. No caso de erosão em pináculo, como ocorrem em pontos isolados e em pequenas áreas, a regularização do terreno consiste basicamente na remoção dos sedimentos soltos e no preenchimento das cavidades erosivas mais expressivas.

Após esta etapa de regularização, inicia-se o preparo do solo, que consiste em efetuar o microcoveamento, ou seja, execução de pequenas covas próximas umas das outras (distantes de aproximadamente 10 cm) com profundidade suficiente para reter os insumos aplicados (diâmetro de no mínimo 5 cm). A vantagem desta técnica aplicada sobre a superfície onde ocorreu erosão em pináculos é que esta já apresenta naturalmente pequenas irregularidades que acabam servindo de leito para a solução aquosa de sementes e adubo, reduzindo a mão de obra para a execução do microcoveamento.

É conveniente lembrar que esta técnica de hidrossemeadura não protege o solo imediatamente, já que requer que a vegetação seja estabelecida para que o surgimento de novos focos erosivos seja evitado. No entanto, sua aplicabilidade sobre superfícies que sofreram erosão em pináculo não fica comprometida, pois a estruturação do solo erodido em pináculos é melhor do que dos solos de camadas

superiores. Assim, sendo menos susceptíveis à erosividade da chuva, dificilmente haverá perda de sedimentos até que a vegetação se estabeleça.

### **Interior da voçoroca**

No interior da voçoroca verifica-se a presença de solo desestruturado originado de movimentos de massa e deslizamentos das bordas, encharcados, com baixa fertilidade e elevada acidez, sendo que em alguns pontos há ocorrência de vegetação com predomínio de Pteridófitas, espécies adaptadas a essas condições. As declividades do terreno são baixas, onde se verifica uma malha de drenagem composta por canais ramificados originados pela evolução de sulcos e ravinas. Em alguns desses canais há fluxo superficial perene oriundo do afloramento do freático na cabeceira da voçoroca, conforme ilustra a Figura 53.



**Figura 53 – Ocorrência de fluxo superficial perene no interior da voçoroca.**

Diante dessas condições de solo e relevo no interior da voçoroca os processos erosivos que ocorrem são os mais diversos, a começar pela erosão laminar causada pelo escoamento da água de chuva sobre o solo desestruturado exposto. Verifica-se a evolução da erosão laminar para pequenos sulcos, que por sua vez evoluem para ravinas e erosão em pedestal (quando parte do solo erodível é protegido por um fragmento de rocha ou raiz). Em pontos isolados há ocorrência de erosão em pináculos, causada pela ação abrasiva do impacto da chuva sobre uma camada de solo erodível acima de outra camada mais resistente.

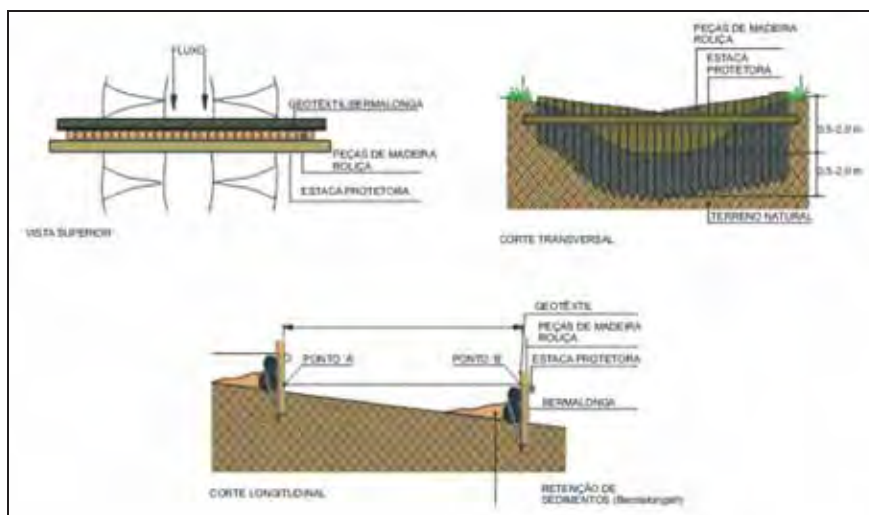
Para reduzir a geração de sedimentos oriundos da erosão laminar nos trechos de solo exposto recomenda-se a utilização de retentores de sedimentos instalados transversalmente ao sentido dos sulcos e ravinas. Nos trechos mais próximos à encosta, onde a profundidade dos sulcos é menor, recomenda-se a aplicação de bermalongas (fixadas com grampos ou estacas vivas) para reter os sedimentos e permitir a passagem da água. A Figura 54 ilustra a aplicação de bermalongas como retentores de sedimentos.



**Figura 54 – Utilização de bermalongas como retentores de sedimentos.**

Nos trechos de estreitamentos de processos erosivos lineares de médio porte que não apresentem escoamento superficial concentrado ou afloramento freático devem ser instaladas paliçadas de madeira, também no sentido transversal ao fluxo, de modo a promover, com a retenção de sedimentos, uma geometria mais estável para os taludes adjacentes. O distanciamento de uma paliçada e outra deve ser tal que a altura máxima da paliçada a jusante esteja em

nível com a base da paliçada a montante, onde essa diferença fica reservada para o preenchimento com sedimentos. Devem ser dispostas bermalongas de pequenos diâmetros na interface das placas de madeira que compõem a paliçada com o solo, de modo a permitir passagem da água e impedir fuga de sedimentos. A Figura 55 ilustra o esquema construtivo de uma paliçada de madeira.



**Figura 55 – Vista em planta e corte da construção de paliçada de madeira (Fonte: Pereira, 1998 citado por Couto et al., 2010).**

Para os pontos isolados no interior da voçoroca onde há ocorrência de erosão em pináculos recomenda-se a técnica de Hidrossemeadura, igualmente como foi sugerido anteriormente para pontos isolados da borda da voçoroca onde há ocorrência de erosão em pináculos.

### **Sistema de drenagem no entorno e no interior da voçoroca**

O fluxo superficial de águas pluviais oriundas da bacia de contribuição da voçoroca contribui para a ocorrência de processos erosivos nas bordas e taludes de encosta da voçoroca, pois causa desagregação e arraste de partículas de solo, promovendo a formação de sulcos erosivos e, em casos mais críticos, a formação de ravinas. Fica evidenciada, portanto, a necessidade de um sistema de drenagem



que faça a interceptação desse fluxo superficial, conduzindo a água de forma adequada até o ponto de deságue.

Propõe-se, portanto, a construção de uma canaleta de interceptação no entorno da voçoroca, distante de 500 metros da borda e paralela à mesma. Para o seu dimensionamento devem ser levadas em consideração as condições hidrossedimentológicas da bacia de contribuição da voçoroca, para que a mesma seja projetada com capacidade para o escoamento de vazões de pico e com inclinação de fundo adequada para que não haja deposição de sedimentos que possam assorear o canal. Sua construção pode ser feita com geogrelhas revestidas com concreto.

Devem ser previstos pontos de extravazão da água, que deve ser direcionada para o interior da voçoroca através de escadas hidráulicas, conduzindo-a para a parte inferior do talude em velocidade adequada para não haja desgaste do concreto e para evitar danos de erosão na zona de deságue.

Para o interior da voçoroca recomenda-se que sejam acentuadas as linhas naturais do curso d'água que se estabeleceu por conta do afloramento do lençol freático e dos sulcos e ravinas. No entanto, para evitar que esses canais continuem evoluindo e sofrendo erosão, propõe-se que os mesmos sejam revestidos com biomantas antierosivas, que devem ser aplicadas sobre o canal escavado e compactado, sob as quais deverá ser semeada uma mistura de sementes de espécies de herbáceas de sistema radicular denso e profundo, e de baixa rugosidade superficial. Para canais destinados ao escoamento de um fluxo perene recomenda-se a utilização de grelhas revestidas com concreto. A Figura 56 ilustra um esquema simplificado (sem escala) proposto para o sistema de drenagem no entorno e interior da voçoroca.



Figura 56 – Esquema do sistema de drenagem proposto para a voçoroca de Costa Rica.

## 6. CONCLUSÕES

- A agricultura intensiva, altamente mecanizada, aliada ao manejo inadequado dos solos arenosos, típicos da região do Cerrado potencializou os processos erosivos naturais e, conseqüentemente, o assoreamento dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, contribuinte da PCH Costa Rica.
- No tocante à fenomenologia da voçoroca estudada, a geomorfologia plana ou suavemente ondulada, predominante na região, não oferece limitações à mecanização agrícola, mas o desmatamento em litologia sedimentar tem causado o aparecimento de processos erosivos intensos, como a voçoroca estudada.
- Os procedimentos metodológicos utilizados nesse estudo foram considerados satisfatórios para atingir os objetivos propostos. Nesse sentido, o cadastramento da voçoroca possibilitou identificar os diferentes tipos de processos erosivos presentes para que fossem propostas técnicas de bioengenharia adequadas ao seu controle.
- Devido ao avançado estágio erosivo que se encontra a voçoroca estudada, a utilização de técnicas de bioengenharia pode ser a melhor solução, considerando que as técnicas de engenharia tradicional se utilizam de materiais pesados, como concreto, ferro e máquinas de grande porte, que além de causar maior impacto aos aspectos naturais e estéticos do ambiente, requerem um elevado investimento de capital.
- Este estudo constitui uma importante contribuição ao conhecimento dos processos erosivos e da reabilitação de áreas degradadas com a aplicação de técnicas de bioengenharia, não só para a bacia hidrográfica do Alto Rio Sucuriú, mas também para outras bacias que apresentem situações semelhantes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**, Brasília, 2000.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Geologia de Engenharia, estabilidade de taludes**. 1992. In: MARCHI O. A. Contribuição ao estudo da estabilidade de taludes em solos residuais da zona da mata norte de Minas Gerais: O caso de ponte nova-MG. Disertação de mestrado, MG. 2005.

AUSTIN, D. N.; DRIVER, T. **Classifying rolled erosion control products**. Erosion Control, v. 2, n. 1, p. 48-53, 1995.

BERMANN, C. **Crise ambiental e as energias renováveis**. Ciência e Cultura, v. 60, p. 20-29, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 1990. in: . In: TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; FRANCISCO, E. R. FILHO. A sistematização dos fatores da eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio anta gorda (PR). Estudos Geográficos, Rio Claro, 3(1): p.1-21, 2005.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**, 2003. In: SILVA, R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

BOLETIM TÉCNICO CBCN. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**, nº001. 2010.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8.ed. New York: Macmillan Publishing, 1974. 639 p.

CABRAL, J. B. P. **Análise da sedimentação e aplicação de métodos de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CÂMARA, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. *Computers & Graphics*. v.20 p.395-403, 1996.

CANTALICE, J. R. B. **Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo**. Porto Alegre, 2002. In: BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA, M. FILHO; SOUZA, W.L.S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do semiárido do Brasil. *Revista Brasileira, Ci Solo* 34:1325-1332. 2010.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

CARVALHO, N.O.; GUILHON, L.G.; TRINDADE, P.A. **O assoreamento de pequeno reservatório devido ao efeito de enchente extraordinária – Itiquira, um estudo de caso**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. ABRH, UnB, ANEEL. Brasília, DF. (2000).

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999.

COELHO, A. T.; BRITO GALVÃO, T. C. **Controle de erosão em taludes de disposição de rejeitos siderúrgicos com tapete biodegradável.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 6., 1998. Presidente Prudente-SP. Anais... Presidente Prudente-SP: 1998. CD-ROM.

COGO, N. P; LEVIEN, R; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo.** Revista Brasileira, Ci Solo, 27:743-753. 2003.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Controle de erosão em margens de reservatórios, com ênfase em métodos de bioengenharia de solos.** Belo Horizonte: 2002. 42p.

COSTA, I.G.D.D. **Análise do assoreamento no Reservatório de Três Irmãos – SP, utilizando dados topobatimétricos, hidrológicos e técnicas de geoprocessamento.** 2009. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

COUTO et al. **Técnicas de Bioengenharia para revegetação de Taludes no Brasil** – boletim técnico CBCN n001 – centro brasileiro de conservação da natureza e desenvolvimento sustentável – Viçosa/MG, 2010.

D'AGOSTINI, L.R. **Erosão: o problema mais que o processo.** Ed. UFSC, Florianópolis. 1999. 131p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para planejamento urbano e regional; orientações para controle de voçorocas urbanas.** São Paulo 1989. 92p. In: MACHADO R. L. Perdas de solo e nutrientes em voçorocas com

diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ. Dissertação de mestrado, RJ. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 306 p.

ESTIGONI, M.V. **Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios. Estudos de caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes – SP**. 2012. 124f. Dissertação (Mestrado-Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

FERREIRA, C.C. **Geotecnologias aplicadas a criação e organização de banco de dados geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuriú - MS/BR**. 2011. 182f. Dissertação (Mestrado-Pós-Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2011.

FOSTER. 1982. In: SILVA, R. C. P. **Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo**. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, A.; VIEIRA, L.M.; POTT, A.; PADOVANI, C.R.; MELO, E.C.; ALMEIDA JUNIOR, N. **Erosão potencial laminar hídrica na bacia do Alto Taquari**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

GOULART, R. M. **Comportamento de espécies florestais e atributos de solo visando à estabilização de voçorocas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Lavras, MG. 2005. 81 p.

GRAY, D. H.; SORTIR, R. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization – A practical guide for erosion control**. New York: John Wiley, 1996. 377p.

GUERRA, J. A. T.; COELHO, M. C. N.; MARCAL, M. S. A. **Açailândia: cidade ameaçada pela erosão**. 1998. In: MACHADO R. L. **Perdas de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ**. Dissertação de mestrado, RJ. 2007.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**, 1977. In: COGO, N. P; LEVIEN, R; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p.743-753. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**.

INFANTI J. R. N.; FORNASARI F. N. **Geologia de Engenharia**, 1998. In: MARCHI O. A. **Contribuição ao estudo da estabilidade de taludes em solos residuais da zona da mata norte de Minas Gerais: O caso de ponte nova-MG**. Dissertação de mestrado, MG. 2005.

MACHADO R. L. **Perdas de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado, Rio de Janeiro. 2007.



MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à Geologia de Engenharia**, 1994. In: FARIA, R; ROCHA G. C; ZAIDAN, R. T. A eficácia de previsões de ocorrência de movimentos de massa em juiz de fora – MG.

MAIA, A. G. **As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens**. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MASSAD, F. **Obras de Terra: curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos. 61 - 81 pp. 2003.

MATOS, L.M.P. **Estabilidade de taludes em rochas silto-argilosas- Técnicas de remediação para roturas superficiais**. 2008. In: SILVA, R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

MIRANDA, R.B. **A influência do assoreamento na geração de energia elétrica: Estudo de Caso na Usina Hidrelétrica de Três Irmãos – SP**. 2011. 117f. Dissertação (Mestrado - Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLAYA, V. **Integración de modelos computacionales geomorfológicos hidrologicos y selvícolas para el desarrollo de soluciones SIG específicas en hidrologia forestal de pequeñas y medianas cuencas vertientes**. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, 2002. 813 p.

OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia – Estabilidade de taludes**. São Paulo: ABGE, 1998. 586p.

OLIVEIRA, G.C. **Conservação do Solo e Água**. 2011. 31f. Notas de aula.

PAIVA, J. B. D. de. In: CAUDURO, E. M. (org.) **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), 2001.

PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed. 1983. In: HOLANDA ET. AL. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 157-166. 2009.

PEREIRA, A. R. **Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia**. Belo Horizonte: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão – Goiânia(GO), 03 a 06 de maio de 2001.

PIRES, F. R. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**, 2003. In: SILVA, R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J. R. **Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo**. 1985. In: TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. B.; FRANCISCO, E. R. FILHO. A sistematização dos fatores da eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio anta gorda (PR). 2005. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 3(1): 01-21 , jan-jun - 2005 (ISSN 1678—698X).

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5.ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

ROMANA, M. **Practice of SMR classification for slope appraisal**, 1988. In: SILVA R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SILVA, A. B.; RESENDE, M.; SOUSA, A. R.; MARGOLIS, E. **Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste de Pernambuco**, 1999. In: MACHADO, R. L. Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ. Dissertação de mestrado, RJ. 2007.

SOARES, J. V. **Erosão e Sedimentação e sua relação com florestas**. 2002. In: SILVA, R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.

TERZAGHI. 1928, 1950 In: MARCHI O. A. **Contribuição ao estudo da estabilidade de taludes em solos residuais da zona mata norte de Minas Gerais: O caso de Ponte Nova- MG**. Dissertação de mestrado, 2005.

TRANNIN, I.C.B.; SIMOES, S.J.C.; CATELANI, C.S.; MAGALHAES SOBRINHO, P. **Relação do meio físico e do uso do solo com os processos erosivos de Costa Rica (MS)**. In: Anais do Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, Rio Claro, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000.

VARNES, D.J. – **“Slope movement types and processes”**. 1978. In.: SILVA R. C. P. Uso de técnicas de bioengenharia para a estabilização de encostas e combate da erosão do solo. Trabalho de conclusão de curso, MG. 2010.