

# PROPOSTAS DE DISPOSITIVOS EM BIOENGENHARIA PARA CONTENÇÃO EROSIVA E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS PERI-URBANAS DEGRADADAS

*Dener Toledo MATHIAS<sup>1</sup>  
Cenira Maria Lupinacci da CUNHA<sup>2</sup>*

## Resumo

Este trabalho objetiva apresentar propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas embasadas na utilização de dispositivos de bioengenharia. O estudo se desenvolve sob enfoque sistêmico, utilizando-se da análise de parâmetros hidrogeomorfológicos para a proposição de medidas visando à contenção erosiva e a recuperação da área. É apontada como estudo de caso a bacia do córrego Tucuzinho (São Pedro – SP) caracterizada por apresentar formas erosivas lineares em pleno desenvolvimento ocorrendo na periferia da área urbana do município. Os equipamentos de contenção concebidos sob a perspectiva da bioengenharia têm sido utilizados com êxito em diversos casos, tendo como vantagens o custo menos elevado em relação a outras medidas estruturais e a integração com o sistema físico de forma a auxiliar a recuperação da área, sobretudo devido ao uso de dispositivos “vivos” que proporcionam inclusive a revegetação. As propostas apresentadas para o caso estudado constituem uma contribuição relevante que pode ser aplicada em projetos de recuperação da bacia em questão.

**Palavras-chave:** Áreas Degradadas. Bioengenharia. Contenção Erosiva.

## Abstract

### **Proposals of devices in bioengineering to erosive containment and recovery of degraded peri-urban areas**

This paper aims to present recovery proposals of eroded peripheral urban areas with utilization of bioengineering devices. The study develops a systemic approach, by using hydrogeomorphological analysis of parameters to proposing providences aimed to erosive containment and the recovery of the area. The Tucuzinho basin (São Pedro – SP) is the area of this study case, that is characterized by linear erosive forms in current development at the periphery urban area. Bioengineering equipments have been used in several successful cases. The lower costs and the better interation with the physical systems is an advantage to the area recovery, mainly due to the use of “alive” devices that provides even revegetation. This proposal is a relevant contribution that can be applied to recovery projects of the Tucuzinho basin.

**Key words:** Degraded Areas. Bioengineering. Erosive Containment.

<sup>1</sup> UNESP - Campus de Presidente Prudente - Discente de Pós-graduação (doutorado). Endereço – Rua 4, 2617 Centro – Rio Claro/SP – CEP 13500-171. E-mail: denertm@yahoo.com.br

<sup>2</sup> UNESP - Campus de Rio Claro - Professora Assistente – Doutora; Endereço – Av. 24A 1515 Bela Vista – Rio Claro/SP – CEP 13506-900. E-mail: cenira@rc.unesp.br

## INTRODUÇÃO

A degradação do meio físico resultante da má utilização da terra ou do avanço das áreas urbanas sem um planejamento adequado constitui-se um problema comum nas cidades brasileiras. Os municípios de pequeno a médio porte do Estado de São Paulo, sobretudo aqueles localizados nas áreas de ocorrência de litologias sedimentares, frequentemente apresentam uma série de impactos associados à dinamização de processos erosivos lineares, os quais tendem a se agravar em função do avanço da urbanização.

As formas erosivas que traduzem com mais nitidez a severidade da degradação resultante dos processos de erosão linear são as voçorocas. Tais formas resultam de estágios acelerados da erosão linear, no qual conjugam-se os processos superficiais e sub-superficiais, culminando no colapso da estrutura dos solos e na ulceração no manto pedo-ecológico. Neste estágio identifica-se um conjunto de processos integrados, tais como a erosão linear propriamente dita, a erosão laminar, o solapamento dos taludes erosivos, movimentos de massa e erosão interna em dutos, ou *piping* (BIGARELLA et al, 1996; FENDRICH, 1997; GUERRA, 2007).

Na periferia das áreas urbanas a dinamização de processos de erosão linear encontra-se associada às falhas, ou ausência, de um planejamento urbano adequado. Tem-se como premissa que o avanço da urbanização deve ser planejado levando-se em consideração os atributos físicos das áreas, sobretudo em relação à suscetibilidade natural ao desencadeamento erosivo, representada entre outras características, pelos aspectos hidrogeomorfológicos. Entretanto, o que se observa é a crescente urbanização ocorrendo em descompasso com tais características, resultando em quadros de intensa degradação do meio físico (MATHIAS, 2011).

Nesse sentido, a elaboração de propostas visando à contenção erosiva e a recuperação de áreas degradadas constitui-se um procedimento imprescindível à melhoria das condições sócio-ambientais, contribuindo na prevenção de riscos e de gastos públicos.

A utilização de dispositivos de bioengenharia na recuperação de áreas erodidas constitui-se uma opção de custo menos elevado em relação aos equipamentos convencionais sugeridos pela engenharia civil. Trata-se de técnicas que integram estruturas de contenção e ramos ou estacas vivas que, por brotamento tendem a realizar também a função de revegetação das áreas. Tais dispositivos têm sido indicados na bibliografia pela sua eficácia na dupla função de contenção erosiva e revegetação (MORGAN, 1995; GRAY; SOTIR, 1996; ARAÚJO, 2008)

Neste trabalho são apresentadas as propostas de recuperação para a bacia do córrego Tucunzinho (São Pedro - SP), caracterizada por apresentar intensa degradação resultante da dinâmica erosiva ocorrendo na periferia do setor urbano. São apontados os principais dispositivos de bioengenharia que podem ser implantados visando à recuperação da área, considerando-se os atributos hidrogeomorfológicos conforme apontados por Mathias (2011), o que vem a contribuir com subsídios importantes a projetos a ser desenvolvidos na bacia em questão.

## URBANIZAÇÃO, DEGRADAÇÃO DO MEIO FÍSICO E RECUPERAÇÃO

Sob um enfoque sistêmico, as cidades são entendidas como sistemas abertos, no qual ocorrem entradas e saídas de matéria e energia, tanto em se tratando de produtos como de resíduos. Na compreensão das relações sociais e dos processos decorrentes destas é preciso considerar as conexões entre o sistema humano e o sistema natural, em que

muitas vezes ocorrem interações que resultam em depredação do meio físico. Não somente torna-se necessário compreender de que forma interagem os sistemas mencionados, mas também a relação sistêmica que condiciona tal interação.

As sociedades modernas, ditadas pelo capitalismo, têm feito uso dos recursos naturais de forma imediatista e predatória. O relevo terrestre consiste o suporte necessário a todas as atividades humanas, seja na obtenção de matéria prima, cultivo de alimentos, como na instalação e expansão dos aglomerados urbanos. O uso do relevo pelo homem, contudo, tem ocorrido de forma desregrada, ocasionando impactos negativos sobre a paisagem. Casseti (1991, p.52) traduz de que forma ocorrem as transformações na paisagem pela relação sociedade/natureza nos seguintes termos:

Considerando o processo de ocupação do relevo, utilizando o conceito de vertente (componente genérico do relevo), transformando as propriedades geoecológicas (primeira natureza) em sócio-reprodutoras (segunda natureza), o homem pode produzir desequilíbrio climático e conseqüentes derivações ambientais. (CASSETI, 1991, p.52)

Sob tal ótica é possível apontar que o sistema econômico sendo o elemento controlador do sistema físico, cria desequilíbrios nesse sistema através de válvulas de controle. O que equivale a dizer que são as decisões humanas, ditadas pelas regras do capital, as instâncias que representam o elemento que define um sistema como "controlado", de acordo com as considerações de Christofletti (1979).

As características físicas existentes em determinada área, sobretudo os atributos geomorfológicos, dentre os quais se destaca a topografia, exercem grande influência sobre o processo de ocupação que, por sua vez, produz alterações marcantes no relevo, conforme aponta Prandini et al (1995, p.190):

Nas áreas urbanas, especialmente, o meio físico é o componente ambiental que, mesmo alterado em suas características e processos originais, persiste interagindo e condicionando grande parte dos problemas do ambiente construído. (PRANDINI et al, 1995, p. 190)

Têm-se, portanto, que as formas do relevo constituem um elemento do meio físico sobre o qual ocorre a ocupação e, portanto, o processo de urbanização não pode desconsiderá-lo, fato que comumente se verifica com a ocupação de áreas de risco. Assim, a topografia é responsável por determinar a dinâmica hídrica, compartimentando o relevo em áreas que podem ou não ser ocupadas. Em seguida, não menos importante, são relevantes os demais atributos físicos que, atuando no sistema relevo de maneira integrada também respondem por restrições ao uso e ocupação do solo. Destacam-se as características geológicas e geotécnicas, mais especificamente aquelas relacionadas aos aspectos estruturais dos solos e da litologia, definindo zonas de maior ou menor estabilidade, sendo seu estudo imprescindível à análise de riscos.

Os modelos de urbanização, contudo, na maioria das vezes não levam em consideração a dinâmica processual do relevo. A especulação imobiliária, as falhas da administração pública e políticas equivocadas são responsáveis pela falta de planejamento, ocasionando grande parte dos distúrbios das áreas urbanas, seja na forma de degradação ambiental, como também na depreciação social tão característica da sociedade capitalista (CARVALHO, 2001; CASSETI, 1991; DREW, 1983).

A ação do homem se processa de maneira degradante logo a partir da ocupação das terras, quando ocorre o desmatamento seguido das práticas agrícolas. Nesse ambiente, a erosão laminar e processos de erosão linear são responsáveis pela intensa perda de solos, tornando terras inabilitadas e provocando o assoreamento dos cursos d'água. A urbanização acrescenta outros fatores não menos degradantes, tais como cortes e aterros que alteram

substancialmente a topografia e a dinâmica hídrica. A depreciação das várzeas e a poluição através de efluentes, resíduos, de origem doméstica e industrial, terminam por conceber um quadro de impactos ambientais negativos advindos da urbanização que são responsáveis por uma notável diminuição na qualidade de vida das populações humanas (CASSETI, 1991; CARVALHO; BARBOSA, 2007).

Em termos geomorfológicos, os impactos da atividade humana no meio ambiente podem resultar em quadros de degradação extrema, ou na melhor das hipóteses gerar novas formas, acrescentar novos materiais e influenciar com isso os processos morfogenéticos, resultando em relevos e depósitos antropogênicos, que por sua vez podem ou não contribuir para o agravamento da degradação.

Em relação aos processos erosivos, é importante ressaltar que se identificam como fatores condicionantes de sua dinâmica primeiramente os atributos físicos da paisagem. Assim, o arcabouço geológico pode ser entendido como elemento primordial, uma vez que rochas mais friáveis, em geral sedimentares, apresentam maior propensão a serem erodidas. Concomitantemente, solos formados a partir de tais litologias, em sua maioria arenosos e pouco consolidados tendem a sofrer mais intensamente a ação erosiva. A morfometria do relevo, por sua vez, determina a energia potencial do escoamento superficial e a topografia responde pela distribuição/concentração das águas desse escoamento. Por fim, convém enfatizar o regime climático e o comportamento hidrológico que podem ser elencados como a força motriz na dinamização dos processos erosivos (IWASA; SALOMÃO, 1995; BIGARELLA et al, 1996; FENDRICH, 1997; GUERRA, 2007).

A influência antrópica integra-se aos elementos supramencionados e pode ser considerada um agente catalisador da dinamização erosiva, conforme aponta Penteadó (1976) que enfatiza tal atuação como fator de importância na morfogênese em áreas da Depressão Periférica Paulista.

Com base nas considerações levantadas torna-se evidente que a degradação resultante dos processos de erosão linear acelerada vem a se constituir, sobretudo no contexto das áreas urbanas, um impacto que requer ações preventivas e/ou corretivas eficazes, visando com isso assegurar a melhoria da qualidade de vida da população e evitar riscos e gastos públicos.

Nesse sentido, cabe ressaltar que qualquer intervenção que busque inverter um quadro de degradação deve pautar-se em um conceito de recuperação adequado. Uma das referências que tem se mostrado mais adequada às aplicações das ciências ambientais é aquela apontada por Box (1976), utilizada pela ABNT (1989), para o qual o conceito de recuperação está:

[...] associado à idéia de que o local alterado deve ser trabalhado de modo a que as condições ambientais acabem-se situando próximas às condições anteriores à intervenção; ou seja, trata-se de devolver ao local o equilíbrio e a estabilidade dos processos ali atuantes anteriormente (BOX, 1976; ABNT, 1989 apud BITAR; BRAGA, 1995).

A recuperação de áreas degradadas trata de um tema de grande relevância no cenário atual, considerando-se a ótica do planejamento urbano no contexto da sustentabilidade, a qual norteia uma série de premissas visando uma integração mais harmônica entre o meio físico e o ambiente construído. Destaca-se, nesse contexto, a utilização dos dispositivos de bioengenharia para a recuperação de áreas erodidas, que vem a se constituir subsídios importantes para o tema em questão, sobretudo considerando-se os atributos físicos ocorrentes na área estudada.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do córrego Tucunzinho (São Pedro – SP) constitui-se um canal de primeira ordem tributário da bacia do ribeirão Araquá, afluente da margem esquerda do rio Piracicaba. A área da bacia possui 946330 m<sup>2</sup> e encontra-se nos domínios da Bacia Sedimentar do Paraná o que faz com que apresente litologias típicas desta Unidade Geo-estrutural do relevo brasileiro. Capeando os topos dos interflúvios há o predomínio da Formação Botucatu, do Grupo São Bento, que se constitui de arenitos de granulação fina a média, uniforme e com boa seleção de grãos foscos de alta esfericidade, avermelhados, apresentando estratificação cruzada. No interior da bacia, aparecem as litologias da Formação Pirambóia, também integrante do Grupo São Bento, e que se caracterizam por uma seqüência de camadas arenosas geralmente vermelhas, de granulação média a fina, apresentando em alguns setores arenitos grossos e conglomeráticos, ou então, lâminas de silte ou argila, com estratificação plano-paralela e cruzada (IPT, 1981). O Grupo São Bento formou-se se na penúltima etapa de estabilização evolutiva da plataforma Sul-Americana durante a era Mesozóica, constituindo a Formação Pirambóia no Triássico e a Formação Botucatu no Jurássico-Cretáceo. Assim, o grupo é composto de depósitos fluviais e eólicos, evidenciando condições climáticas caracterizadas por crescente aridez, passando-se da deposição predominantemente fluvial em canais meandantes e planícies de inundação, típicas da Formação Pirambóia, para um ambiente progressivamente desértico, com o empilhamento de grandes dunas caminantes, característico da Formação Botucatu (CARPI JR, 1996).

Associados a tais litologias desenvolvem-se as seguintes classes de solos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999): Argissolos (solos podzólicos vermelho amarelo), Neossolos Quartzarênicos (areias quartzosas profundas), e Gleissolos. Os Argissolos estão ligados ao arenito Botucatu e ocupam grande parte da bacia, sendo considerados como pertencentes à série Lavras (SANCHEZ, 1971). Sua textura é entre média e arenosa, apresentando problemas de suscetibilidade à erosão. Os Neossolos Quartzarênicos aparecem dominando os interflúvios mais amplos avançando pelas médias vertentes de menor declividade. Apresentam frações de areia fina a grossa e possuem alto grau de acidez, o que os torna quase inviáveis à agricultura. Finalmente, os Gleissolos aparecem compondo as áreas de várzea e planícies aluviais do Córrego Tucum, do qual o córrego Tucunzinho é afluente. São solos hidromórficos que se mostram vinculados ao excesso de água decorrente da presença de lençol freático elevado e à grande suscetibilidade às inundações (RIBEIRO, 2000).

As características dos solos da região, de acordo com Oliveira (1999), de maneira geral apontam grande pobreza de nutrientes, ocasionada em função da lixiviação intensa a que sofre tal superfície. A baixa capacidade do solo para a retenção de água é também um fator que acentua o processo de lixiviação.

Convém ressaltar que as características aqui apresentadas tratam-se dos atributos físicos originais da área. Atualmente uma grande quantidade de material de origem antrópica recobre os setores de média a baixa vertente da bacia, tendo sua origem vinculada a obras realizadas visando o soterramento de inúmeras formas erosivas, o que constitui um amplo depósito tecnogênico. Esse material apresenta espessura variada e suas características estruturais diferem notavelmente daquelas associadas aos solos descritos. A origem do referido depósito é corroborada nos trabalhos de Sanchez (1986), Facincani (1995) e Carpi (1996).

O clima da região é o Tropical, típico de área de transição, onde se verifica o ponto de encontro de massas de ar provenientes do Leste, a Tropical Atlântica; do Noroeste, a Equatorial e Tropical continentais; e, vindas do Sul, as massas de ar Polares. Estas últimas são praticamente as responsáveis pelas sucessões de estados de tempo em todo o Brasil meridional, atuando através de "ondas de frio" que funcionam como sistemas frontais ao se

chocarem contra as massas provenientes do interior do continente. Em geral nota-se a sucessão de dois períodos climáticos bastante distintos, um mais chuvoso, que ocorre entre os meses de outubro e março e um mais seco no restante dos meses. Tal fato é responsável por um notável contraste, caracterizado pelo excesso de águas durante o período chuvoso em contrapartida com a considerável estiagem que ocorre nos meses menos úmidos, fato que favorece o desencadeamento de processos de erosão linear (SANCHEZ, 1971; CARPI JR, 1996).

Os aspectos apresentados constituem-se alguns dos condicionantes ao desenvolvimento de processos erosivos que ocorrem na área, os quais se aliam a outros atributos naturais, como a morfometria e a morfoestrutura do relevo. Inseridos neste contexto encontram-se as interferências antrópicas na paisagem, atuando em diferentes escalas espaciais e temporais no uso da terra e com isso dinamizando a ação erosiva.

A fisionomia da paisagem da bacia é marcada pela intensa ocupação urbana (65 % da área apresenta ocupação por áreas residenciais, segundo MATHIAS, 2011) e a ocorrência, em geral nas porções da baixa bacia, de formas erosivas expressivas, em que se destaca o avanço de uma voçoroca sobre áreas de antigas pastagens situadas na periferia dos bairros. Tais áreas apresentam intensas alterações antrópicas, sobretudo na esculturação de formas do relevo antropogênicas, geradas a partir de obras pretéritas visando à minimização dos processos erosivos (CARPI, 1996; MATHIAS, 2011). A figura 1 apresenta a fotografia aérea do setor da baixa bacia do córrego Tucunzinho, através da qual é possível observar os aspectos citados.



**Figura 1 – Fotografia aérea da baixa bacia do córrego Tucunzinho (São Pedro – SP)**

Quanto aos parâmetros hidrogeomorfológicos da área, Mathias (2011) apresenta a espacialização de dados referentes às taxas de infiltração, análise granulométrica, comportamento do escoamento e o mapeamento das formas de retrabalhamento, tais como sulcos,

alcovas e dutos formados por piping. Os documentos cartográficos referidos permitem a identificação dos setores mais propensos a sofrer a intensificação dos processos mediante ramificações da voçoroca principal e recuo do rebordo erosivo motivado pelos processos de piping. Os dados em questão, analisados conjuntamente com outros levantados pelo autor supracitado, constituíram a base para as propostas apresentadas neste trabalho.

Têm-se, portanto, na bacia uma fisionomia da paisagem marcada pela presença de formas erosivas notáveis ocorrendo no contato com a malha urbana do município, além de outros fatores, tais como a deposição de lixo e entulho nas cabeceiras, os quais conferem um quadro de intensa degradação, exigindo com isso medidas de recuperação adequadas à situação imperante sobre a área.

## PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA

Objetivando demonstrar de que forma os dispositivos de bioengenharia podem vir a ser empregados na contenção erosiva e recuperação de áreas erodidas, são apresentadas propostas para o caso a bacia do córrego Tucunzinho (São Pedro – SP), as quais foram concebidas tomando-se como base os atributos mencionados anteriormente e as sugestões de equipamentos apresentadas por Morgan (1995), Gray e Sotir (1996) e Araújo (2008).

A voçoroca do córrego Tucunzinho, tal como é denominada, caracteriza-se por apresentar taludes cuja geometria mostra-se variada ao longo de ambas as margens do córrego, compondo escarpas abruptas com gradiente clinográfico superior a 45%, áreas de menor inclinação com ampla disseminação de sulcos e entressulcos e setores onde não há um talude erosivo propriamente dito, mas a encosta apresenta uma série de abatimentos em nível. As diferentes morfologias de encostas observadas ao longo dos taludes erosivos da voçoroca em questão podem ser visualizados através das figuras 2a, 2b e 2c.



**Figuras 2a, 2b e 2c – Encosta com abatimentos em nível, talude erosivo com forte inclinação e ravinação lateral, respectivamente**

Para cada morfologia de encosta no contexto dos processos erosivo sugerem-se a adoção de sistemas diferentes, compostos pela junção entre alguns equipamentos específicos utilizados na estabilização do talude e posterior colonização vegetal. Além dos

aspectos referentes às tipologias de encostas, foram considerados os atributos físicos já mencionados e os parâmetros hidrogeomorfológicos conforme as considerações apresentadas por Mathias (2011). A análise integrada desses elementos proporcionou um melhor entendimento da dinâmica processual da área fornecendo as bases para a proposição de medidas segundo três sistemas distintos.

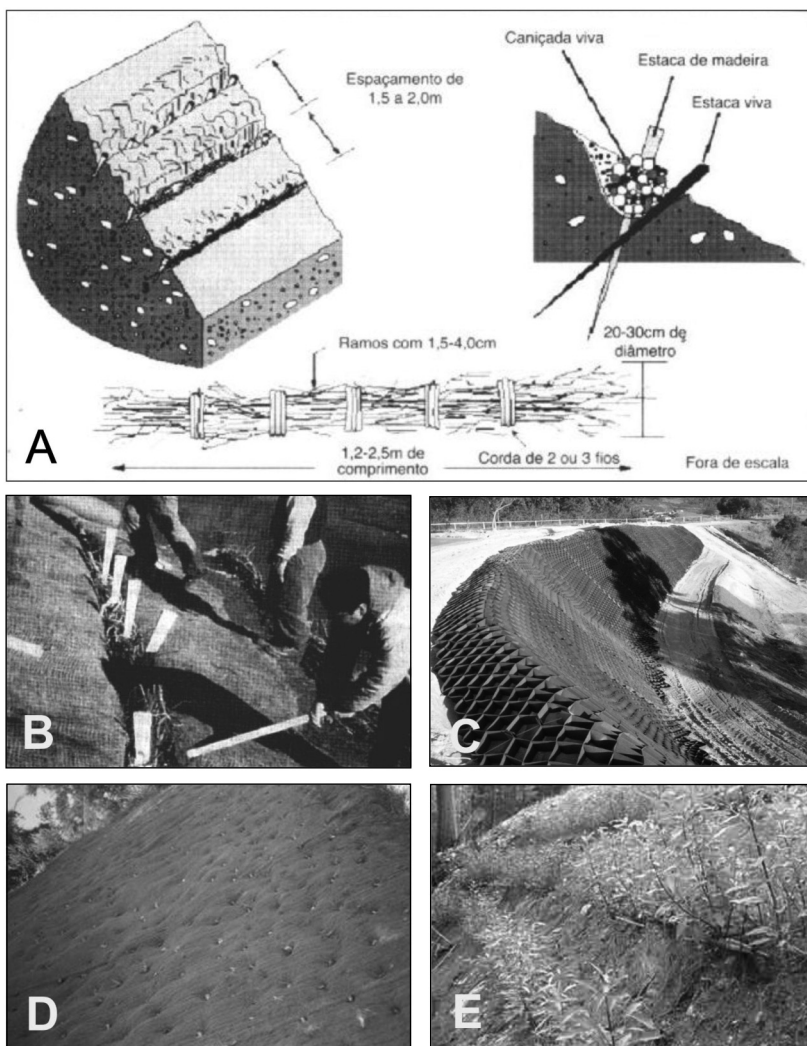
O primeiro sistema pode ser referido pela denominação "Ajuste topográfico suave" e refere-se às encostas caracterizadas por apresentar os menores gradientes clinográficos no contexto do talude erosivo. Um amplo setor representativo desta categoria possui encosta marcada por abatimentos em nível, com pouca incidência de sulcos pronunciados e recobrimento parcial de gramíneas. O segundo sistema, descrito como "Ajuste topográfico severo" refere-se às encostas mais íngremes, onde há a necessidade de correção da topografia mediante o desbaste das arestas mais pronunciadas visando à concepção de gradiente no qual se torne viável o recobrimento com mantas e plantio por sementes e estacas. Nestes setores ocorre também a formação de sulcos em profusão, bem como cascatas e alcovas de regressão. O terceiro sistema, descrito como "Desbaste de arestas do talude" refere-se aos ravinamentos laterais de maior porte, no qual devem ser adotadas medidas mais complexas visando à supressão do vetor erosivo e supressão do progresso evolutivo de tais formas.

Assim, têm-se que o primeiro sistema deve contemplar, segundo orientações propostas por Cunha (1991), a correção suave de imperfeições na encosta seguida da concepção de bermas para quebra da energia do fluxo de run-off, as quais devem ser concebidas como trincheiras rasas, acompanhando as curvas de nível. No interior dessas trincheiras inserem-se caniçadas vivas, de acordo com sugestões apontadas por Araújo (2008), as quais se constituem de ramos de espécies vegetais enraizáveis dispostas em fardos e ancoradas na trincheira com estacas vivas. A trincheira deve ser preenchida com terra adubada de forma que os ramos e estacas ao se enraizarem possam ser nutridos durante o início do crescimento vegetativo. Sugere-se que as rampas apresentando solo exposto sejam revestidas de sistemas de confinamento celular, genericamente denominados geocélulas, as quais são preenchidas com solo adubado e preparado de acordo com as necessidades de correção da acidez, acrescidos ainda de um mix de sementes de espécies pioneiras, de preferência gramíneas, cuja malha radicular venha a oferecer uma boa ancoragem de tais solos e a densidade da planta diminua substancialmente os efeitos de splash das gotas de chuva e do potencial erosivo do escoamento laminar. Em seguida deve haver o recobrimento dessa camada superficial com biomantas, ancoradas com estacas vivas, conforme orientações do autor supramencionado. A encosta assim recoberta se apresentará, à medida que houver o brotamento das sementes, inteiramente vegetada. A figura 3 apresenta alguns exemplos das medidas e equipamentos propostos.

Embora as geocélulas referidas não se constituam propriamente em dispositivo de bioengenharia, considera-se que, para o caso estudado, tais estruturas tornam-se necessárias para a devida estabilização de uma camada de solo adubado e acrescido de sementes. Saliencia-se que, em geral as geocélulas encontradas no mercado são fabricadas de material biodegradável e, portanto, integram-se perfeitamente às propostas deste trabalho.

Quanto ao segundo sistema a ser implantado é importante destacar que tratam de medidas que exigem maiores cuidados técnicos de execução, uma vez que se propõe uma correção mais severa da topografia a partir do desbaste das linhas de aresta do talude erosivo. Em geral recomenda-se o mínimo de mobilização de materiais nas áreas de maior fragilidade e suscetibilidade erosiva, entretanto o ajuste da topografia de encosta visando à correção do ângulo de inclinação é um procedimento de vital importância para que possam ser instalados os devidos dispositivos de contenção. Nesse caso, privilegiam-se as medidas de bioengenharia apresentadas por Araújo (2008), Morgan (1995) e Gray e Sotir (1996).





**Figura 3 – A) Diagrama esquemático do sistema de caniçadas vivas e B) Instalação das caniçadas (ARAÚJO, 2008); C) Encosta revestida com geocélulas (GEOSOLUÇÕES, 2011); D) Recobrimento com biomanta (MACCAFERRI, 2011); E) Exemplo de resultado (TERRA EROSION CONTROL, 2011)**

Inicialmente deve-se realizar o planejamento minucioso acerca da linha de desbaste do rebordo erosivo, que deve ser calculada com base no ângulo preconizado para a correção da inclinação do talude. A alteração da geometria da encosta, além de permitir o estabelecimento da vegetação, contribui para o alívio da carga nas porções superiores. Para tanto se torna necessária a concepção de cálculos com base na NBR 11682 (ABNT, 1990), a qual

se refere às normas brasileiras aplicáveis à obras de estabilização de taludes e que apresenta os procedimentos a serem adotados para a execução do ajuste topográfico referido.

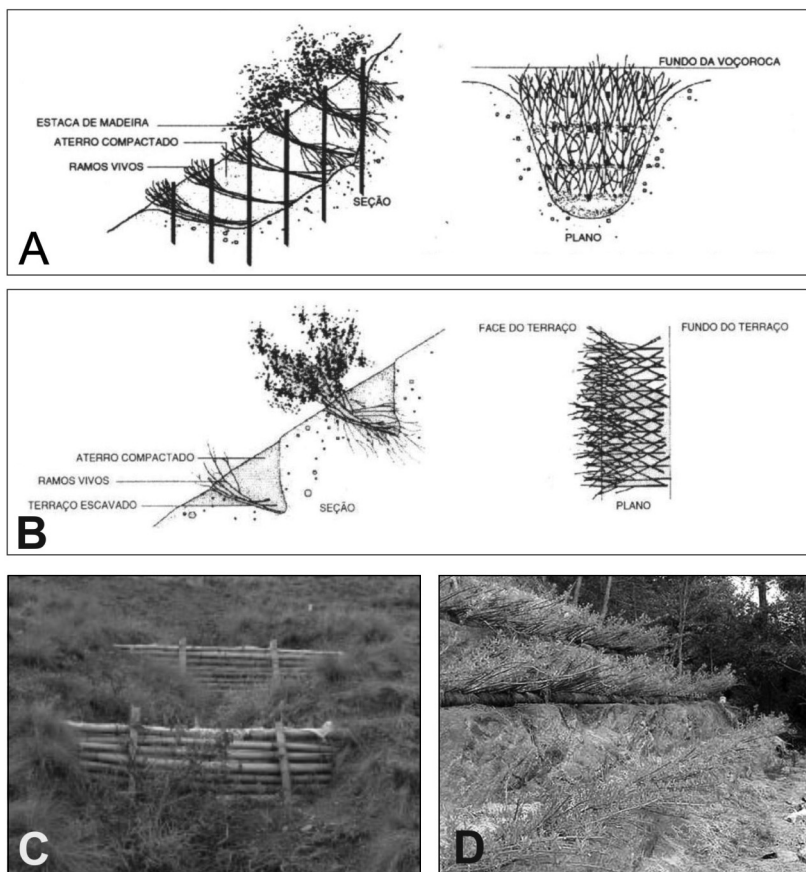
O material removido servirá para o preenchimento dos sulcos existentes nessas porções do talude. Recomenda-se a adoção da técnica de empacotamento de ramos, ou "branchpacking", de acordo com as considerações de Gray e Sotir (1996) e Araújo (2006), que consiste na inserção de fardos de ramos vivos no interior dos sulcos, os quais são em seguida parcialmente recobertos com o material mobilizado. Deve-se acrescentar uma determinada quantidade de solo adubado e devidamente corrigido nesse pacote, visando suprir as necessidades nutricionais dos ramos que irão se enraizar. Os fardos são ancorados com estacas profundas distribuídas sistematicamente no pacote e nos sulcos mais pronunciados torna-se necessário a instalação de paliçadas feitas de toras de eucalipto, tais como as sugeridas por Fendrich (1997), a fim de garantir a ancoragem do material e a perfeita fixação do fardo de ramos. Sugere-se o aproveitamento das saliências laterais, ou entressulcos para a ancoragem das paliçadas transversais ao sulco. Ressalta-se ainda a importância de se instalarem drenos, conforme aqueles apontados no manual DAEE/IPT (1989), ao longo dos sulcos mais pronunciados antes do recobrimento.

A encosta retrabalhada deve ser acrescida de bermas de dimensões pequenas, as quais serão preenchidas com ramos vivos, conforme o proposto no primeiro sistema, ou ainda pode ser adotada a técnica de camadas de ramos, ou "branchlayerling", apontada por Gray e Sotir (1996) e Araújo (2008), que consiste em linhas de ramos vivos intercalados com camadas de solo. Igualmente deve-se proceder ao recobrimento da encosta com geomantas preenchidas com terra preparada e já contendo sementes de gramíneas, sobrepondo a essa camada a cobertura de biomantas ou malhas geossintéticas (ARAÚJO, 2008).

Outro aspecto refere-se ao tipo de terraplenagem da encosta, sendo sugerida a adoção de um nivelamento natural, ou seja, ao longo da seção longitudinal devem ser respeitadas as concavidades e convexidades naturais existentes na área, conforme indica Araújo (2008). Embora a voçoroca em questão apresente-se predominantemente retilínea, ocorrem em alguns setores e de forma pouco pronunciada contornos os quais devem ser respeitados a fim de se obter uma caracterização mais compatível com os atributos morfométricos da área. Ressalta-se que nesse sentido, deve ser dada especial atenção às concavidades por serem as áreas onde a concentração da água tende a formar vetores erosivos. Nesses pontos sugere-se a instalação de paliçadas transversais preenchidas com materiais e pacotes de ramos de acordo com as técnicas supracitadas.

Após a instalação dos dispositivos propostos, a encosta apresentará no sentido de seu contorno feição retilínea a levemente ondulada, à medida que respeitar as concavidades/convexidades inerentes a cada segmento da mesma. Espera-se com isso a correção das irregularidades formadas pelas formas de retrabalhamento em sulcos e entressulcos. A figura 4 apresenta exemplos das estruturas propostas.

O terceiro sistema que se propõe para a área tem como foco a contenção das formas erosivas de retrabalhamento mais pronunciadas, que são ravinamentos laterais, cuja evolução encontra-se em desenvolvimento mais acelerado, apresentando-se como ramificações da voçoroca principal. Tais formas caracterizam-se por apresentar sulco erosivo mais aprofundado e maior alargamento, típico de ravinas, contudo na junção entre estas e o leito da voçoroca principal ocorre a presença de dutos expressivos, condicionando o avanço do vetor de ramificação da voçoroca. A presença de tais dutos consiste um atributo que exige a adoção de técnicas complexas e monitoramento constante. A instalação de drenos visando o disciplinamento do fluxo subterrâneo nos pontos de ocorrência de dutos trata-se da medida mais indicada pela bibliografia (FENDRICH, 1997; DAEE/IPT, 1989; ARAÚJO, 2008). Entretanto convém ressaltar que tais drenos por si só não são eficazes caso não haja o progressivo entulhamento do leito da voçoroca, propiciado por outros sistemas a serem implantados ao longo do leito da voçoroca, os quais não são apontados neste trabalho que teve como foco a contenção de encostas.

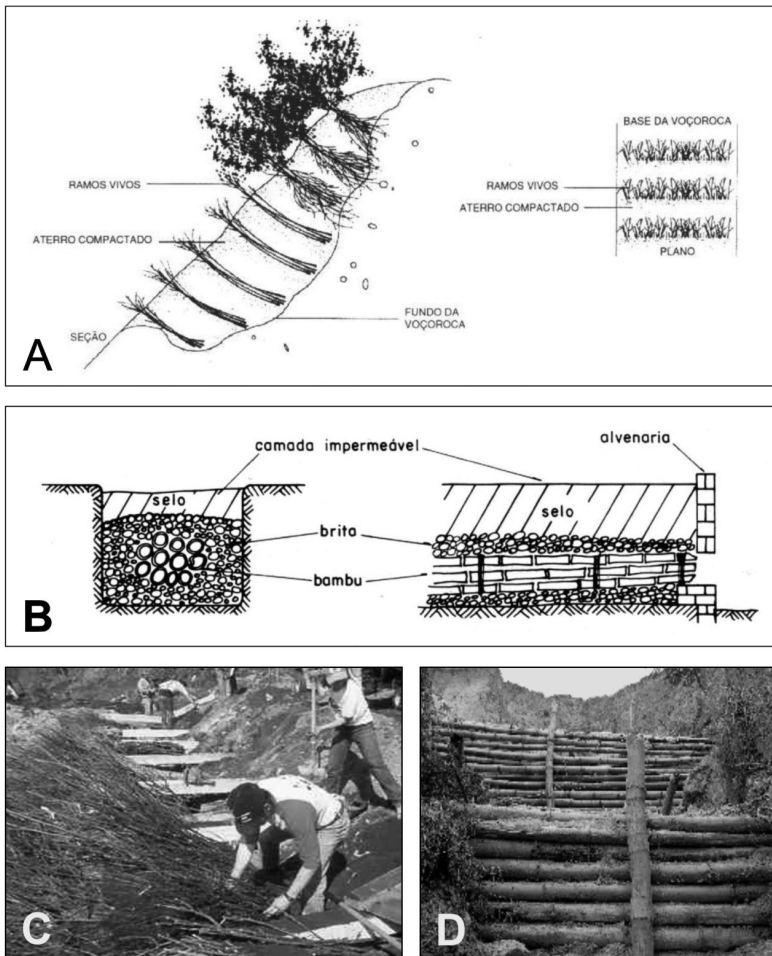


**Figura 4 – A) Técnica de empacotamento de ramos e B) Técnica de camadas de ramos (ARAÚJO, 2008); C) Paliçadas de toras (EMBRAPA, 2011); D) Exemplo de aplicação de Brushlayering (CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2011)**

Desse modo, sugere-se que nos pontos em que ocorrem a saída dos dutos sejam concebidos drenos que podem ser constituídos de feixes amarrados de bambus envolvidos por filme de polipropileno. Em seguida, transversalmente ao sentido longitudinal do eixo de tais ramificações, devem ser instaladas paliçadas de toras de eucalipto revestidas internamente com manta geotêxtil (a qual não se trata de um dispositivo de bioengenharia, mas conforme já salientado anteriormente constitui-se outro elemento importante para o caso estudado), de acordo com a proposta de Carvalho (2006), posicionadas desde o ponto mais baixo da forma erosiva até o topo. A quantidade de paliçadas ao longo do eixo, bem como a distância entre cada uma devem ser definidas em função da declividade e extensão do canal plúvio erosivo ocorrente no interior da forma. Esse sistema deverá reter os sedimentos ao longo do tempo formando patamares embutidos no interior da ravina.

As técnicas para revegetação a serem empregadas são similares às sugeridas nos sistemas anteriores. Araújo (2008) aponta a técnica denominada *aterro vivo* como sendo a mais indicada no caso de ravinas e até mesmo voçorocas. Assim, devem ser inseridos feixes

de ramos vivos na parte anterior das paliçadas e preenchimento preliminar da seção com o material de mobilização acrescido de solo adubado e corrigido. Nas laterais da ravina deve haver o desbaste das arestas feito de forma a suavizar o ângulo de inclinação, quebrando os rebordos mais expressivos, sobretudo onde condicionam a formação de cascatas. Posteriormente, recobrem-se tais superfícies utilizando a mesma técnica já referida para a revegetação de encostas, acrescida da técnica de camadas ou empacotamento de ramos vivos, já sugeridos anteriormente. A figura 5 apresenta alguns dos dispositivos referidos.



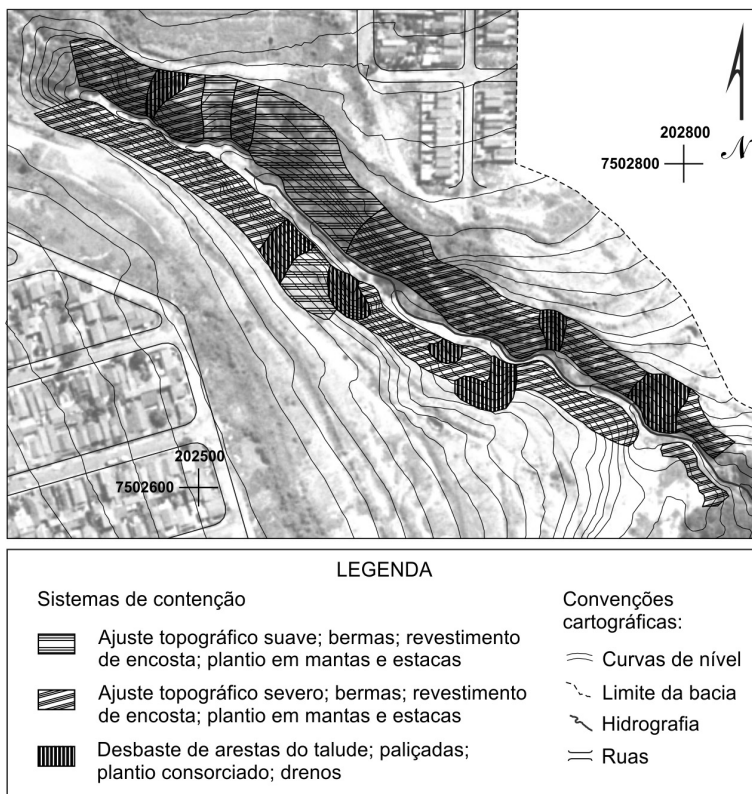
**Figura 5 – A) Perfil esquemático de um aterro vivo (ARAÚJO, 2008); B) Dreno de bambu (DAEE/IPT, 1989); C) Exemplo de instalação de pacotes de ramos conjugado com paliçadas (SOTIR & ASSOCIATES, 2011) e D) Paliçadas de toras em ravina profunda (EMBRAPA, 2011)**

Ressalta-se que é de suma importância que a instalação dos sistemas propostos por este trabalho seja realizada de forma integrada, caso contrário as intervenções feitas sobre áreas de notável fragilidade podem conduzir à redinamização de processos, cujas consequê-

ências erosivas comprometerão quaisquer obras que tenham sido feitas. Além do mais, se deve proceder ao contínuo monitoramento da evolução dos processos logo após a execução das obras, realizando sempre que necessário ajustes e manutenções a fim de garantir a eficácia das medidas.

## RESULTADOS

Os sistemas propostos para o caso da voçoroca do córrego Tucunzinho foram espacializados em uma base topográfica da área objetivando a representação dos setores que devem receber cada conjunto de dispositivos mencionado. A figura 6 apresenta o recorte do referido documento cartográfico, no qual consta parte da área da baixa bacia do córrego Tucunzinho, ou seja, a área de ocorrência dos processos erosivos.



Escala:  
0 50 100 m

Elaborado por: DENER TOLEDO MATHIAS

Equidistância das curvas de nível: 2m  
Datum: Corrego Alegre - UTM Zona 23S

Apoio: **FAPESP**

**Figura 6 - Sistemas propostos para a recuperação da voçoroca do córrego Tucunzinho (São Pedro - SP)**

A compartimentação da área estudada em função dos sistemas propostos foi norteadada, conforme já mencionado, por parâmetros morfométricos e hidrogeomorfológicos. Assim, tem-se que o primeiro sistema ocupa uma porção significativa na porção central da área, bem como outros dois setores próximos a este, que são áreas caracterizadas por apresentar encostas mais suaves (em relação aos rebordos escarpados da voçoroca), marcadas por abatimentos em nível. De acordo com Mathias (2011), ocorrem nesses setores maiores concentrações texturais da fração areia grossa e as taxas de infiltração no período seco são as mais elevadas. Outro dado importante refere-se à presença de cobertura densa de gramíneas de baixo porte que pode ser considerado um atenuador das forças incisivas lineares. A encosta tende a se rebaixar por abatimento pela progressão erosiva em função das características citadas.

Destaca-se ao longo dos rebordos erosivos da voçoroca em questão a predominância dos setores que se propõem serem submetidos ao segundo sistema, com complexidade maior que o anterior. São encostas marcadas por ampla disseminação de sulcos e ravinamentos laterais que em alguns locais chegam a se assemelhar às formas denominadas "badlands". Mathias (2011) ressalta que existem complexidades intrínsecas ao conjunto de atributos hidrogeomorfológicos desses setores, as quais irão refletir-se na maior ocorrência de erosão em dutos, ou piping, bem como na distribuição e quantidade de outras formas de retrabalhamento tais como cascatas e alcovas. Embora o autor identifique tais variações associando-as aos atributos texturais, morfométricos e às taxas de infiltração, é possível considerá-las em sua totalidade na proposição das medidas preconizadas por este trabalho, enquadrando-se no segundo sistema proposto.

Por fim resta mencionar que, embora de ocorrência menos notável em relação às demais tipologias, são observados ravinamentos laterais expressivos, configurando estágios mais avançados dos processos de retrabalhamento que ocorrem ao longo das margens, ou taludes, da voçoroca. Mathias (2011) indica que nesses setores a atuação erosiva subsuperficial é mais evidente, devido à presença de vários dutos no sopé do talude erosivo e associa a dinamização de tais formas tanto aos aspectos físicos já mencionados como às características antropogênicas que se evidenciam na área, condicionando determinados vetores de avanço erosivo por meio de interferências na topografia. A complexidade de elementos envolvidos nesse caso, bem como a dimensão de tais formas exigem maiores cuidados técnicos, que são aqueles indicados pelo terceiro sistema proposto.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A recuperação de áreas degradadas pela dinamização de processos erosivos lineares constitui uma intervenção antrópica positiva e necessária, sobretudo na periferia das áreas urbanas. A adoção de medidas estruturais visando a contenção de tais processos deve levar em consideração as características físicas dessas áreas em sua totalidade a fim de que possam ser eficazes. Apontam-se os atributos hidrogeomorfológicos como aqueles cujo levantamento considera-se imprescindível ao entendimento dos processos em questão. A partir desse conhecimento podem-se planejar com precisão quais técnicas e equipamentos são mais adequados à determinada situação, considerando-se cada setor da área degradada.

Os dispositivos de bioengenharia se apresentam como uma alternativa valiosa, principalmente por permitirem tanto a contenção dos processos como a revegetação da área e também por serem de custo menos elevado em comparação às estruturas convencionais. Entretanto, cabe ressaltar que tais dispositivos devem ser planejados e instalados conjuntamente com outras estruturas uma vez que a dinâmica da erosão linear exige a adoção de

um conjunto de medidas, algumas referentes à própria infra-estrutura urbana. O papel desempenhado pelas altas taxas de impermeabilização e pelo comportamento do escoamento superficial nas áreas urbanizadas acrescenta maior complexidade à problemática da degradação por processos erosivos, tornando necessária a adoção de técnicas de diferentes tipos conjuntamente.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, G. H. S. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 3ª. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2008. 320p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10703**: Degradação do solo: Terminologia. São Paulo: ABNT, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de taludes: procedimentos. São Paulo: ABNT, 1990.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem da Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC. V. 2, 1996. 875 p.
- BITAR, O. Y.; BRAGA, T. O. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O. Y. (Org), **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995, p. 165-179.
- BOX, T. W. Reclamation of drastically disturbed land. In: SYMPOSIUM OHIO, 1976, Ohio. **Proceedings...** Wooster: Wisconsin American Society of Agronomy, 1976. p.3-5.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION **Brush layering**. 1 fotografia, color. Disponível em: < <http://www.dot.ca.gov/hq/LandArch/ec/index.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.
- CARPI JR, S. **Técnicas cartográficas aplicadas à dinâmica da bacia do Ribeirão Araquá – SP**. 1996. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1996.
- CARVALHO, J. C. de (Coord.) et al **Processos erosivos no centro-oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464 p.
- CARVALHO, P. F. ; BARBOSA, C. . Land-use guidelines towards sustainable urban development-Brazil. In: 2ND INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL PLANNING AND MANAGEMENT, 2007, Berlin. **Implementations Environment**. Berlin : Fakultat Planen Bauen Umwelt der Technischen Universitat Berlin, 2007. v.2. p. 613-616.
- CARVALHO, P. F. de, et al. Contribuição da Análise Geomorfológica para o Planejamento Urbano. In CARVALHO, P. F. de, BRAGA R. (Org), **Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias**, Rio Claro: LPM/Deplan/IGCE-Unesp, 2001. p. 55-65.
- CASSETI, V. **Meio ambiente e apropriação do relevo**. Goiânia: Editora da UFG, 1991. 147p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: HUCITEC, 1979. 106p.
- CUNHA, M. A. (Coord.) **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989. 92p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 224 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro**: Proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1995.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Champagnat. 4ª ed., 1997, 486 p.

GEOSOLUÇÕES. **Soluções para controle de erosão**. 1 fotografia, color. Disponível em: <[http://www.geosolucoes.com/Geo\\_Solucoes/Solucoes.html](http://www.geosolucoes.com/Geo_Solucoes/Solucoes.html)> Acesso em: 05 Jul. 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T. et al (Org), **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 15-55.

GRAY, D.H.; SOTIR, R.B. **Biotechnical Soil Bioengineering Slope Stabilization**: A Practical Guide for Erosion Control. New York: John Wiley & Sons, 1996. 400 p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Escala 1:500.000.

IWASA, O. Y.; SALOMÃO, F. X. T. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (Org), **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995, p. 31-57.

MACCAFERRI. **Revestimento de taludes e encostas**. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br/pagina.php?pagina=156&idioma=0>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

MATHIAS, D. T. **Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos**: Córrego tucunzinho (São Pedro/SP). 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP. 2011.

MORGAN, R.P.C; RICKSON, R.J. (Org) **Slope stabilization and erosion control**: a bioengineering approach. Cranfield: Cranfield University, UK. 1995. 274p.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônômico, **Boletim Científico** 45, 1999, 112p.

PENTEADO, O. M. M. A geomorfologia no planejamento do meio ambiente (geomorfologia ambiental). **Notícia Geomorfológica**: Campinas. v. 16, n. 31, p. 5 – 15, 1976.

PRANDINI, F. L. et al. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: Bittar, O. Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/IPT, 1995, p. 187-202.

RESENDE, A. S de; MACHADO, R. L. **Paliçadas de bambu implantadas na área interna da voçoroca**. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/implantacao.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

RESENDE, A. S de **Paliçada de bambu e saco de ráfia contendo erosão em sulco, Pinheiral-RJ**. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/implantacao.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.



RIBEIRO, S. L. **Aplicação do sistema de Informação Geográfica Nacional ao estudo de erosão dos solos por meio de modelo Eups**: Microbacia hidrográfica do Ribeirão Araquá-SP. 2000. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000.

SANCHEZ, M. C. Contribuição ao conhecimento das bases naturais dos municípios de São Pedro e Charqueada (SP). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 11, n. 21, p. 47-60, 1971.

SANCHEZ, M.C. et al. Monitoramento de forma de erosão acelerada no córrego Tucunzinho, no município de São Pedro (SP, Brasil). **Boletim de Geografia Teórica**. v. 16-17, n. 31-34, p. 276-284, 1986/87.

SOTIR & ASSOCIATES. **Live cribwalls are constructed of timbers, soil, rock, and live cuttings**. 1 fotografia, color. Disponível em: <[http://www.sotir.com/publications/brushing\\_erosion.html](http://www.sotir.com/publications/brushing_erosion.html)> Acesso em: 05 Jul. 2011.

TERRA EROSION CONTROL LTD. **Site July 2003**. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.terraerosion.com/projects/work/riparian-restoration/project3-baldface/restoration-project3.htm>> Acesso em: 05 Jul. 2011.

Recebido em fevereiro de 2012

Aceito em setembro de 2012

