



Proposta de Técnicas de Bioengenharia para Conter Erosão Hídrica nas Margens do Rio do Peixe – SP

Henrique Dinis

Professor, UPM, São Paulo, Brasil, henrique.dinis@mackenzie.br

Bruno Pecini

Professor, UPM, São Paulo, Brasil, bruno.pecini@mackenzie.br

Kamila Rodrigues Cassares Seko

Professora, UPM, São Paulo, Brasil, kamila.seko@mackenzie.br

RESUMO: A Bacia do Rio do Peixe está localizada no Planalto Ocidental Paulista, este se caracterizando por relevos de colinas amplas e baixas. As associações pedológicas que predominam na área de estudo são os argissolos, tendo como principal característica um alto potencial de erodibilidade do solo, com formação de ravinas e boçorocas. O trabalho se pautou em identificar técnicas para contenção do processo erosivo presente. Para a análise, foram agrupados casos semelhantes de formação de boçorocas, escolhendo-se para o estudo, um caso típico de ocorrência para argissolos em área de declividade média. Identificou-se a pressão de percolação como sendo a causa principal do processo erosivo, desenvolvendo-se propostas focadas, especialmente, na bioengenharia, por oferecer melhor adaptação à recuperação natural, mesclando-se com técnicas mistas, em ambientes mais degradados. Entre as soluções que se mostraram viáveis, podem ser citados enrocamentos aplicados às margens do rio, para sua recomposição, podendo ser empacotado com geogrelhas; no caso de contenção da evolução de boçorocas, de forma localizada, no trecho remontante, barramentos em solo-cimento compactado, prevendo-se drenagem com colchões drenantes na base; nas superfícies do trecho médio, drenos subhorizontais alinhados, de modo a interceptar a linha freática e plantio de espécies vegetais de raízes alastrantes.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de Margens Fluviais. Técnicas de Bioengenharia. Erosão Hídrica. Bacia do Rio do Peixe.

ABSTRACT: The Rio do Peixe Basin is part of the Western Paulista Plateau and is characterized by reliefs of wide and low hills. The predominant pedological associations in the study area are argissolos, with the main characteristics that are a high potential for erodibility soil, and for ravine and gullies formation. The work was based on identifying techniques to contain the erosive process present. For the analysis, similar cases of gully formation were grouped, and a typical case of occurrence for argissolos in a medium slope area was chosen for the study. Percolation pressure was identified as the main cause of the erosive process. It is developed proposals focused especially on bioengineering, because the better adaptation to natural recovery, mixed with structural techniques. Among the viable solutions, we can mention rockfill applied to the banks of the river, for its physical recovery, which can be packaged with geogrids; in the case of containment of the evolution of gullies, in a localized manner, in the upstream section, compacted soil-cement dams, providing for drainage at the base; on the surfaces of the middle stretch, aligned subgrade horizontal drains, in order to intercept the water table as well as planting species with resistant roots.

KEYWORDS: Stabilization of Riverbanks. Bioengineering Techniques. Water Erosion. Rio do Peixe Basin.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o desmatamento com o objetivo de produção agrícola juntamente com a adoção de práticas de preparo do solo inapropriadas realizadas em áreas susceptíveis à erosão tem proporcionado um aumento dos processos erosivos e, conseqüentemente, o assoreamento dos cursos d'água, reservatórios e açudes



(Filizola *et al.*, 2011).

No Brasil, um levantamento publicado em 2002 mostrou que as perdas totais anuais de solo em áreas de lavoura chegaram a ordem de 751,6 milhões de toneladas e as perdas em áreas de pastagens foram de 71,1 milhões de toneladas devido a ampliação da fronteira agrícola e do uso intenso do solo (Hernani *et al.*, 2002).

Há inúmeras técnicas para recuperar áreas degradadas, onde a bioengenharia de solos pode ser uma alternativa tecnológica ambientalmente sustentável com a finalidade de conter a erosão de solos em suas diversas condições de declividade, granulometria e composição, seja em taludes e encostas, sistemas de trilhas, aterros sanitários, áreas mineradas, margens de corpos de água (reservatórios, canais de irrigação e rios), e outros. A Bioengenharia de Solos ou a também denominada Engenharia Natural se baseia na utilização de materiais de natureza vegetal, podendo ser vivos ou inertes, em combinação com rochas, concreto, polímeros ou metais (Schmeier, 2013).

O Estado de São Paulo, principalmente na região do extremo oeste paulista, há a predominância de monoculturas — como café, algodão e, atualmente, a cana-de-açúcar — que aliada à pecuária extensiva e à escassez de práticas voltadas à conservação do solo, tem resultado em um cenário marcado pela degradação causada pela erosão acelerada, contribuindo significativamente para a perda da fertilidade dos solos (Nunes; Perusi; Fushimi; Moreno; Thomazini, 2023). Ressalta-se que a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe (UGRHI 21), foco desta pesquisa, está localizada na região oeste do Estado de São Paulo. Este artigo tem por objetivo propor metodologias para conter a evolução de erosão hídrica, com foco em casos específicos encontrados na Bacia do Rio do Peixe.

2 REFERENCIAL E CONTEXTUALIZAÇÃO

A erosão linear tipo ravinas e boçorocas provoca forte impacto no meio físico, nas obras e nos recursos hídricos. Kertzman *et al.* (1995) realizaram um levantamento que apresenta cinco diferentes classes de suscetibilidade à erosão devido a ravinas e boçorocas para o Estado de São Paulo: extremamente suscetível a ravinas e boçorocas (alta), muito suscetíveis a ravinas e boçorocas (média), moderadamente suscetíveis a ravinas e boçorocas (baixa), suscetíveis a ravinas e boçorocas (muito baixa). A classe extremamente suscetível a ravinas e boçorocas é aplicada a regiões propícias à ocorrência de fenômenos como “*piping*”. Os autores destacam que o controle de erosão nestas áreas se torna bastante complexo e exige altos investimentos. O processo evolutivo, de uma erosão laminar severa para ravina e, então, para boçoroca, pode ocorrer em poucos meses, além de apresentar ramificações, desabamentos das laterais e de cabeceiras. Geralmente, nestas áreas há a presença de solo com textura arenosa/média e relevo muito movimentado de colinas médias e morrotes alongados. Em relação a classe muito suscetíveis a ravinas e boçorocas, a forma de ocupação é um dos fatores determinantes para a ocorrência de um certo processo erosivo, seja laminar ou linear. Destaca-se a presença de solos com textura arenosa/média e média, latossolos de textura média e areiais quartzosas. Outra característica importante é a alta permeabilidade. Quanto ao relevo, este pode ser do tipo movimentado de colinas médias e morrotes alongados. Quanto à classe moderadamente suscetíveis a ravinas e boçorocas, as ravinas ocorrem atreladas a existência de grande concentração de água do escoamento superficial. A boçoroca pode ocorrer de forma direta, mediante fenômenos como “*piping*”, a partir da infiltração de águas pluviais, normalmente na presença de argilossolos, quando há orientação da percolação por sobre o horizonte mais impermeável. Também, especialmente, a boçoroca pode ocorrer quando a ravina atinge o lençol freático (normalmente profundo), em regiões caracterizadas pela presença de latossolos de textura média e areiais quartzosas, neste caso, associadas a relevo pouco movimentado de colinas e morros amplos. Já a última classe, suscetíveis a ravinas e boçorocas, a formação da ravina está associada à declividade das encostas e a determinadas formas de ocupação do solo.

Dentre as vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) do Estado de São Paulo, segundo Almeida Filho *et al.* (2020), a Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe apresenta graves problemas relacionados aos recursos hídricos, em decorrência de uma má gestão do uso e ocupação do solo (seja na área rural como na urbana), de políticas habitacionais ineficazes, falta de recursos financeiros para investimentos na ampliação do saneamento básico, dentre outros fatores.

Os solos presentes predominantes são do tipo latossolos vermelhos ou vermelho-amarelos com textura média, e argissolos vermelhos com textura média/argilosa. Na Figura 1, pode-se verificar a representação temática do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, com as classes do 2º nível taxonômico (subordem), constando a Bacia do Rio do Peixe. Para sua elaboração, foi utilizado, mediante adaptações, o mapa geral estabelecido pelo sistema cartográfico do IBGE, na escala 1:250.000 (ROSSI, 2017).

Destaca-se que os argissolos vermelhos, com textura média/argilosa, são geralmente originários de rochas ígneas e metamórficas no Planalto Atlântico ou de rochas sedimentares finas em outras regiões e ocorrem em relevos com características bastante variáveis. Em relação aos latossolos vermelhos ou vermelho-amarelos com textura média, são originários de arenitos em relevo suavizado, apresentam alta permeabilidade e baixa coesão. Ressalta-se que são solos suscetíveis à erosão nos períodos chuvosos e quando apresentam declividades mais elevadas (IAC, 20??).

Um estudo proposto por CETEC (2008 *apud* Pereira, 2023) corrobora ao indicar que a bacia em questão apresenta um nível crítico em relação aos processos erosivos, pois há 78 sub bacias do Rio do Peixe, onde 62 apresentam alto potencial à degradação por erosão (aproximadamente, 79,49%), outras 10 possuem médio potencial (aproximadamente, 12,82%) e outras 6 estão caracterizadas com baixo potencial (aproximadamente, 7,69%). Pereira (2023) apresenta a localização dos processos erosivos lineares na Figura 2, sendo perceptível a magnitude da ocorrência da evolução deste tipo de processo, denotando a fragilidade da região estudada.

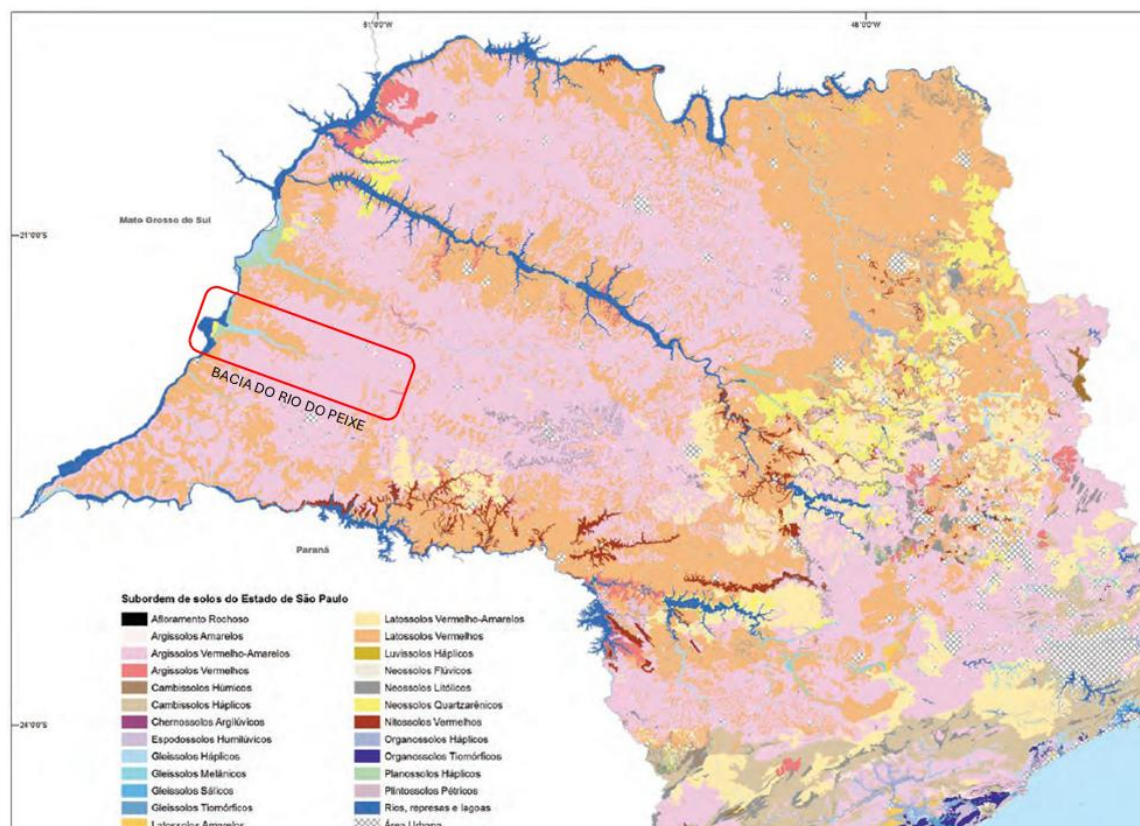


Figura 1. Mapa parcial com os tipos de solos do Estado de São Paulo.

Fonte: Adaptado de Rossi, 2017.

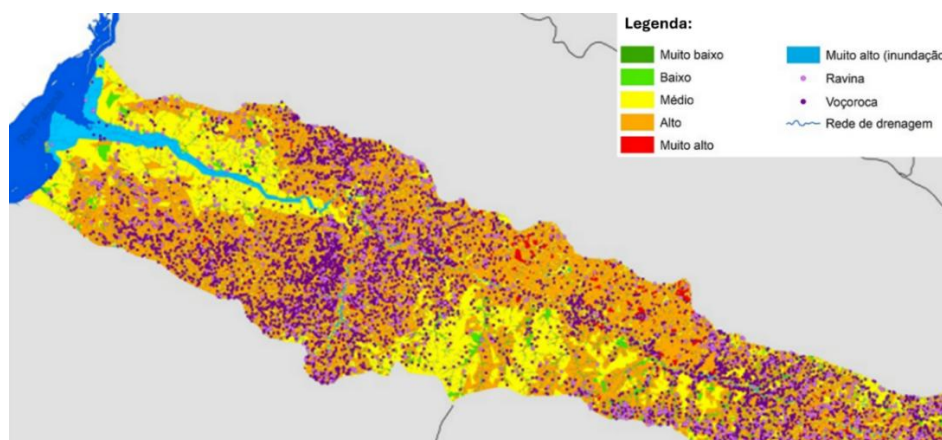


Figura 2. Mapa de localização dos processos erosivos da Bacia do Rio do Peixe.

Fonte: Adaptado de Pereira (2023).

3 PROPOSTA PARA CONTER EVOLUÇÃO DE EROSÃO HÍDRICA EM BOÇOROCA

A problemática que envolve a ocorrência de erosão hídrica em forma de ravinas ou boçorocas é ampla e complexa, dependendo para sua solução, de inúmeros fatores, em especial, a geomorfologia do local, que apresenta muitas variáveis. Ocorrem, desta forma, inúmeras alternativas para conter a evolução da erosão hídrica, muitas delas inviáveis economicamente, especialmente, para casos de boçorocamento. Para estudo de uma alternativa viável, foi escolhido como caso, uma boçoroca aleatória, no entanto, quando formada por argissolos, em relevo de declividades suaves, sem a influência da dinâmica dos rios quanto ao alteamento do lençol freático. Cabe ressaltar que os argissolos têm como particularidade a presença do horizonte B textural, que pode ocorrer logo abaixo do horizonte A ou E. O horizonte A é um horizonte mineral superficial que ocupa geralmente os primeiros centímetros do solo. Já o horizonte E é caracterizado por perder argila para o horizonte B, abaixo dele. Parte-se do pressuposto de que a linha freática que causa a erosão seja causada por infiltrações decorrentes de chuvas intensas, podendo os fluxos intersticiais que causam a erosão hídrica, serem esgotados por drenagem subhorizontal, que é a base da solução adotada.

Não se adentrará em processos de dimensionamento hidráulico ou geotécnico, haja visto a grande quantidade de variáveis, questão que deve ser avaliada caso a caso. No entanto, apresenta-se o arcabouço teórico considerado para as ponderações das análises, tendo como base o efeito das pressões de percolação:

- Tratando-se de argissolos, a zona de separação entre os horizontes E e A encontra-se em cotas acima do nível máximo do curso d'água receptor.
- As águas pluviais infiltradas, objeto da análise, são acumuladas acima da zona de separação dos horizontes E e B, percolando em direção à superfície de erosão, exercendo sobre a mesma, empuxos de percolação, responsáveis pela desagregação dos solos do horizonte E, junto a referida superfície, vindo ocorrer a erosão e evolução da ravina/boçoroca.

A proposta apresentada tem como base a drenagem subhorizontal das águas infiltradas, antes que os fluxos de percolação atinjam a superfície de erosão em forma de ravina.

Para o solucionamento, admite-se três regiões críticas que definem a boçoroca, ver Figura 3:

- Trecho 1, médio: trecho predominante, corresponde ao comprimento de desenvolvimento entre o extremo remontante e a embocadura da boçoroca no curso d'água. Como característica, a vazão de percolação é ortogonal ao desenvolvimento
- Trecho 2, de erosão remontante: corresponde ao extremo da boçoroca à montante. Como característica, local de maior vazão de percolação relativamente ao perímetro exposto.
- Trecho 3, embocadura: como característica, tem-se as margens do curso d'água e da boçoroca submetidas a solapamentos em função das dinâmicas de cheias e vazantes do rio.

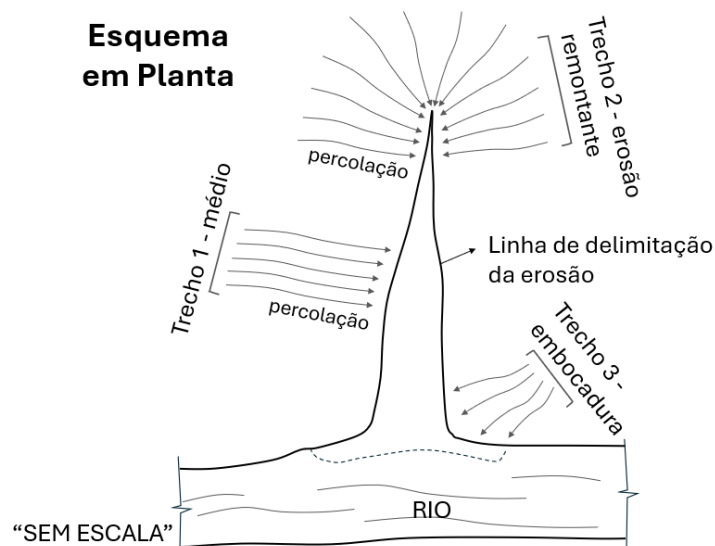


Figura 3. Dinâmica hidráulica da boçoroca

Para cada um dos trechos definidos foi dada uma solução de drenagem das águas de percolação e proteção das superfícies erodidas. Como princípio, a drenagem visa captar e rebaixar as águas de percolação antes de atingirem a superfície de erosão. Já na foz, convive-se com a ação das pressões de percolação contra o solo junto à superfície das margens, adotando-se, como contraposição aos solapamentos causados pelas águas, proteção por meio de enrocamento lançado nas margens. Prevê-se suavizar as superfícies com taludes mais abatidos e na superfície dos taludes formados, aplicar proteção vegetal, que em todos os casos, visa prevenir contra deslizamentos superficiais e solapamentos. Ver Figura 4.

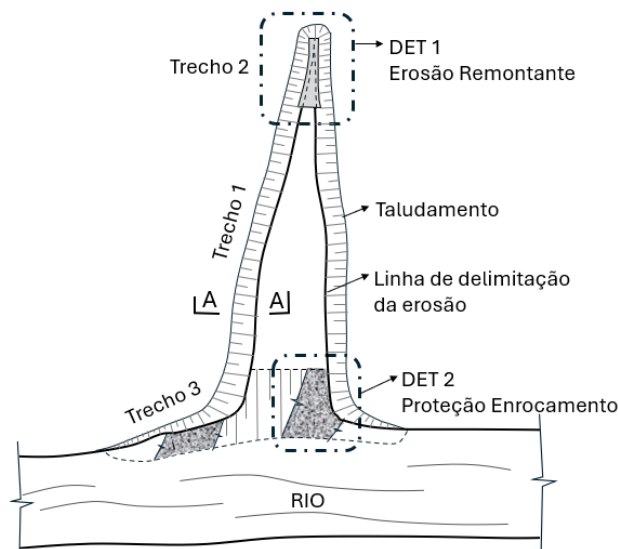


Figura 4. Esquema geral em planta das soluções adotadas para contenção da evolução do boçorocamento.

No trecho 1, para captar as águas de percolação, adotou-se drenos subhorizontais em tubos furados envoltos por geotêxtil, espaçados segundo dimensionamento hidráulico. Seu posicionamento altimétrico coincide com a zona de transição entre os horizontes E e B. Abaixo do dreno, efetua-se uma escavação já no horizonte B, visando viabilizar a execução do dreno e para previsão de um dissipador de energia contínuo ao pé do talude, efetuado por brita lançada, visando conduzir as águas coletadas até a foz. Uma vez regularizada e suavizada a superfície erodida, de modo a formar um talude regular, efetua-se a cobertura vegetal utilizando capim Vertiver e Bambu. Segundo Armelin *et al.* (2023), o Bambu utilizado para proteção de superfícies deve ser da espécie alastrante, visto que suas raízes formam uma estrutura dadicular abaixo da superfície, formada por rizomas e raízes finas, que protegem o talude contra a erosão superficial e deslocamento. Intercalando-se ao Bambu, efetua-se o plantio do capim Vertiver, cujas raízes profundas e resistentes, grampeiam os rizomas do Bambu no solo. Ver Figura 5.

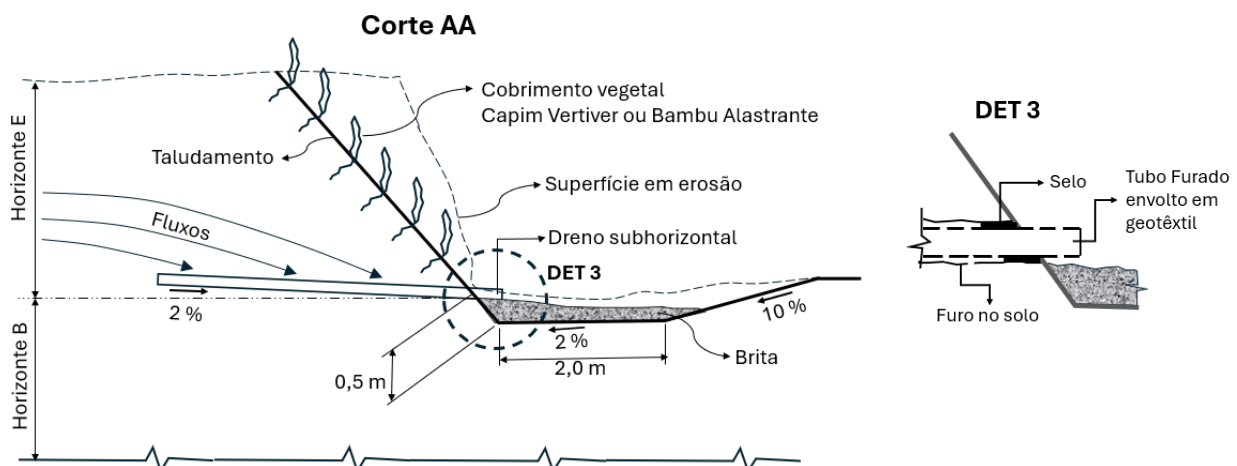


Figura 5. Detalhe da solução para o trecho médio da boçoroca

No trecho 2, tendo em vista a pequena largura da garganta formada pela erosão remontante e as pressões de percolação elevadas, adotou-se um paramento em solo-cimento compactado, no pé das superfícies em forma de ravina, visando conter seu eventual escorregamento e, para conter os fluxos intersticiais, drenagem subhorizontal em colchão de brita envolto por geotêxtil, com o objetivo de rebaixar e esgotar as águas de percolação. Ver Figuras 6 e 7.

Para execução do barramento em solo-cimento, prevê-se a compactação de camadas acabadas de 20 cm, segundo DNIT 142/2022 – ES, relativamente à mistura processada no local. Inicia-se o processo de execução com a pulverização e homogenização do solo pré-umidecido em cada camada, distribuindo-se o cimento uniformemente na superfície, seguindo-se com o umedecimento da camada, incorporando-se água à mistura. A compactação deve atender aos testes especificados quanto à quantidade de passadas e grau de compactação para umidade ótima. Os equipamentos de compactação devem ser escolhidos segundo a tipo de solo, adequados à obtenção do resultado. Preferencialmente, o início da execução de uma camada deve ser realizado antes do endurecimento pleno da camada anterior.

Para a mistura, tem-se como referência as orientações da ABCP (1984). A mistura do solo com o cimento deve ser efetuada manualmente, ou por uma misturadora mecânica tipo agrícola, acrescentando-se a água gradativamente, até atingir a quantidade indicada para se atingir a resistência à compressão simples requerida em projeto. Como referência, orienta-se que a resistência mínima a ser considerada aos 28 dias seja de 2 MPa, para um teor mínimo de cimento de 10% em massa. O teor de areia é importante e deve obedecer padrões de dosagem, ver ABCP (2004). Para desempenho da massa, orienta-se em não ultrapassar em 20% o teor de argila, devido às dificuldades de pulverização do material, no sentido de se obter homogeneidade na mistura.

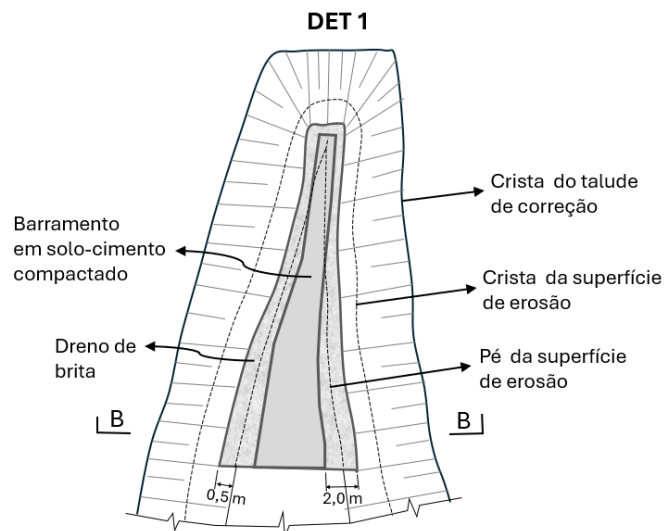


Figura 6. Solução em planta para o trecho de erosão remontante.

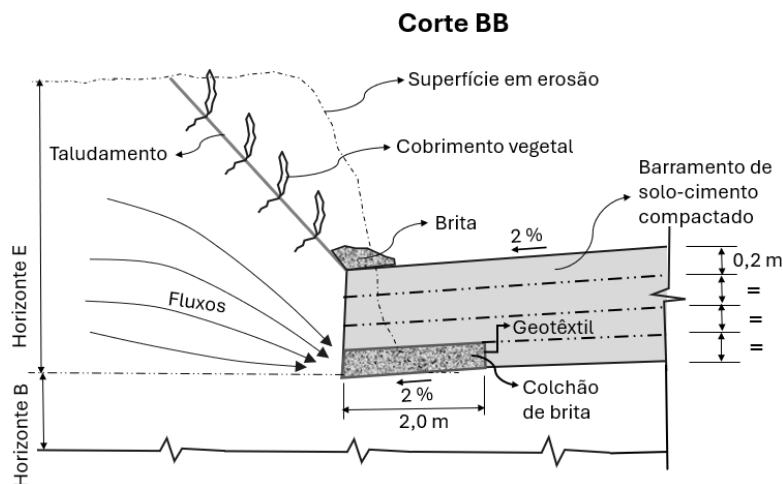


Figura 7. Solução em detalhe para o trecho de erosão remontante.

No trecho 3, onde se caracteriza as margens do rio, pode ocorrer erosões fluviais por ação da velocidade do escoamento das águas. Deste modo, para evitar este fenômeno, propõe-se proteger as margens com enrocamento lançado.

O diâmetro médio do enrocamento pode ser determinado através da equação de Izbach, que é resultante da Lei de Airy, para o movimento de um bloco de rocha sob ação do escoamento. A altura do enrocamento deve ultrapassar o horizonte B, para conter a erosão hídrica, simultaneamente. Ver Figura 8.

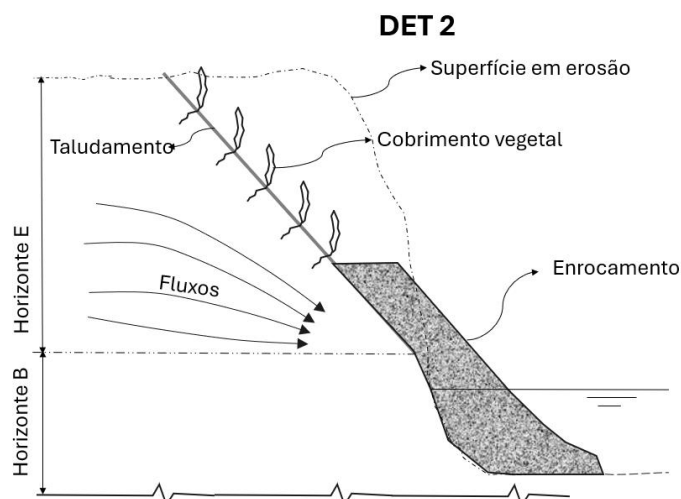


Figura 8. Solução em detalhe para o trecho de solapamento do rio.

4 CONCLUSÃO

Os métodos para prevenção ou contenção do avanço de boçorocas representam investimentos normalmente altos, muitas vezes, inviabilizando sua aplicação. Sua utilização ocorre mediante análises de custo-benefício, que consideram o valor das obras relativamente ao benefício que causam à manutenção do valor de propriedades agrícolas, questões ambientais e urbanas. Apresenta-se, neste trabalho, uma proposta para métodos híbridos, pautados em parte, na bioengenharia, em meio a obras estruturais de menor monta, como alternativa preventiva ao avanço da erosão linear. Certamente, não corresponde aos conceitos de contenção estrutural, em que se eliminam os riscos mediante obras amparadas por tratamento analítico determinístico. As propostas apresentadas, assim, podem ter maior ou menor eficácia, função de casos específicos, tratando-se de soluções que podem ser adaptadas a cada situação, como alternativas a serem avaliadas na concepção de cada caso particularmente. No entanto, mesmo tratando-se de medidas preventivas, bem aplicadas, apresentam o potencial de estancar o avanço de formação de boçorocas, em qualquer situação, a relações custo-benefício que podem ser significativamente favoráveis à sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida Filho, G. S. de; Hellmeister Júnior, Z.; Corsi, A. C.; Falcetta, F. A. (2020) Suscetibilidade à erosão na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe (UGRH-21), Estado de São Paulo. In: XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campinas - SP. *Anais....*
- Armelin, L. F.; Dinis, H.; Lázaro, A. A. (2023) Uso de métodos não convencionais para contenções de área de risco. SEFE 10. 10º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo.
- Associação Brasileira de Cimento Portland (1984). *Manual de construção em solo-cimento*. São Paulo.
- Associação Brasileira de Cimento Portland (2004). *Dosagem das misturas de solo-cimento. Normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo.
- Cardoso, R.; Pires, L. V. (2009) Voçorocas: processos de formação, prevenção e medidas corretivas. In: XIII Simpósio Brasileiro De Geografia Física Aplicada, Viçosa. *Anais... SBGFA*.



Departamento Nacional de Engenharia de Transportes (2022). DNIT 142/2022 – ES: *Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento – Especificação de Serviço*. Brasília.

Ferreira, D. A. C.; Dias, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. Revista *Árvore* - Viçosa, v. 2, n. 4, p. 617 - 623. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000400016>.

Filizola, H. F.; Almeida Filho, G. S. de; Canil, K.; Souza, M. D. de; Gomes, M. A. F. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 7 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 22) .

Hernani, L. C.; Pruski, F.; De-Maria, I. C.; Castro Filho, C.; Freitas, P. L. de; Landers, J. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C. V.; Freitas junior, E. de; Peres, J. R. (Ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

Instituto Agrônômico (IAC). Solos do Estado de São Paulo. (20??) Disponível em:
< <https://solossp.iac.sp.gov.br/>>. Acessado em: 05 de junho de 2025.

Nunes, J. O. R.; Perusi, M. C.; Fushimi, M.; Moreno, M. dos S.; Thomazini, L. da S. Estabilização de erosão hídrica em Antropossolos com técnicas de bioengenharia na Área de Proteção Ambiental de Uso Sustentável do Timburi, município de Presidente Prudente, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 2023, v. 24 n. especial (2023); DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2325>.

Pereira, G. S. (2023) Fragilidade ambiental e distribuição dos processos erosivos na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do rio do peixe (UGRHI 21) - SP. In: 14º Simpósio Nacional de Geomorfologia - SINAGEO, Corumbá - MS. *Anais....*

ROSSI, M. 2017. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.I. 118p. (inclui mapas)

Schmeier, N. P. Bioengenharia de solos: uma alternativa à recuperação de áreas degradadas. *Revista Destaques Acadêmicos*, [S. l.], v. 5, n. 4, 2013. Disponível em:
<https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/332>. Acesso em: 7 jul. 2025.