

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA A ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO DO CÓRREGO SUZIGAN

Claudio Luiz Ridente Gomes ¹; Filipe Antonio Marques Falcetta ²; Zeno Hellmeister Junior ³

Resumo – O processo erosivo do córrego Suzigan, situado na divisa dos municípios de Santa Bárbara d'Oeste e Americana, SP, apresentava extensão de aproximadamente 600 m, largura variando de 20 m a 150 m, taludes com até 80 graus de inclinação e alturas entre 5 m e 21,0 m, Desenvolveu-se em área urbana na direção NW/SE, atingiu o lençol freático e gerou grande perda de áreas produtivas no seu entorno, além de provocar assoreamentos significativos no Rio Piracicaba. Este trabalho apresenta o resultado dos estudos geológico-geotécnicos e hidrológicos realizados pelo IPT na área de estudo e as soluções de engenharia para a estabilização do referido processo, respeitando as seguintes premissas pré-estabelecidas com os municípios envolvidos: as águas pluviais deveriam ser conduzidas pelo interior do processo erosivo em canal a céu aberto; a estabilização dos taludes, por meio de retaludamento, deveria ser realizada de modo que as perdas de áreas produtivas fossem às menores possíveis; a topografia original do terreno deveria ser recuperada na região dos braços do processo erosivo; a totalidade do volume de corte necessário para a estabilização dos taludes deveria ser disposto no interior do processo, por meio de aterro compactado.

Abstract – The gully on Suzigan creek spring, located on the border of the municipalities of Santa Barbara d'Oeste and Americana (SP), achieved approximately 600 m on length, with a width varying between 20 m and 150 m, with slopes up to 80 degrees and heights between 5 m and 21 m. The process reached urban areas in NW/SE direction and triggered significant productive areas losses in its surroundings, besides causing major silting downstream, in the Piracicaba river. This paper presents the results of the geological-geotechnical/hydrological studies carried out by IPT in the area and the engineering solutions that were needed to stabilize the erosive process following the pre-established premises: rainwater should be conducted on an open channel; the slopes should be stabilized minimizing productive area losses; the original topography of erosive process ramifications must be recovered; the entire cut-off volume required for stabilization of the erosive process should be disposed on compacted landfills inside the gully.

Palavras-Chave – Processo erosivo (boçoroca); Estabilização; Retaludamento.

¹ Tecg. Civil, MSc. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4498, aranha@ipt.br

² Eng. Civil, MSc. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4096, falcetta@ipt.br

³ Geólogo, MSc. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4643, zenohell@ipt.br

1. INTRODUÇÃO

Os processos erosivos manifestam-se como um fenômeno resultante da ruptura de equilíbrio do meio ambiente, decorrente da transformação drástica da paisagem, por eliminação da cobertura vegetal natural e introdução de novas formas de uso do solo. Desta maneira, o território brasileiro, ao longo dos anos de sua ocupação, vem manifestando não só a erosão correspondente à intensificação da atividade agrícola, mas também àquela relativa ao uso urbano do solo. Além das condições do meio físico, os processos erosivos lineares são intensificados basicamente por alterações no meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento e agricultura, até obras urbanas e viárias, que propiciam a concentração das águas de escoamento superficial e a redução na proteção do solo.

A erosão pode ser “natural” ou “geológica”, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo; e “acelerada” ou “antrópica”, cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural.

A erosão acelerada pode ser de dois tipos: erosão laminar, ou em lençol, “quando causada por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo”; e erosão linear, “quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno” na forma de sulcos, ravinas e boçorocas (IPT, 1986).

Os núcleos urbanos e principalmente as periferias são o palco dos mais intensos processos de degradação ambiental, onde a erosão aparece de forma intensa e acelerada. Mesmo em terrenos pouco suscetíveis passam a desenvolver esse processo devido às fortes modificações ocasionadas pelo parcelamento do solo, à instalação de sistema viário e a grande mobilização provocada pelos serviços de terraplenagem, entre outras intervenções. As condições hidrológicas, já modificadas pelo desmatamento, são fortemente alteradas pela impermeabilização do solo.

A erosão urbana se expressa mais frequentemente nas formas de erosão laminar, sulcos e ravinas nas vias públicas e áreas periféricas, e mais intensamente na forma de boçorocas, quando atinge o lençol freático que, de forma acelerada, provoca graves problemas, tais como, destruição de edificações e equipamentos urbanos e assoreamento dos corpos d’água. De modo geral são desencadeadas em cabeceira de drenagem em função do lançamento concentrado e inadequado das águas pluviais provenientes do meio urbano.

O processo erosivo do córrego Suzigan está situado na divisa dos municípios de Santa Bárbara d’Oeste (margem esquerda) e Americana (margem direita), os quais pertencem à mesorregião e microrregião de Campinas, região sudeste do Estado. A bacia de contribuição das águas pluviais, que são lançadas no interior do processo, encontra-se inserida nos municípios mencionados e suas águas são lançadas no rio Piracicaba. A referida área está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI - 5).

De acordo com o Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT/DAEE, 1997), a área de estudo está inserida na Classe de Suscetibilidade a Erosão I (Muito Alta), onde predominam os processos erosivos lineares (ravinas e boçorocas) e erosão laminar intensa.

2. METODOLOGIA

Para estabilizar os processos erosivos deve-se prever a análise das características do meio físico e as suas especificidades relacionadas à sua dinâmica de evolução. De modo geral, a elaboração de projetos para a estabilização ou recuperação desses processos requer um conjunto de medidas corretivas, conforme ilustra a Figura 1.

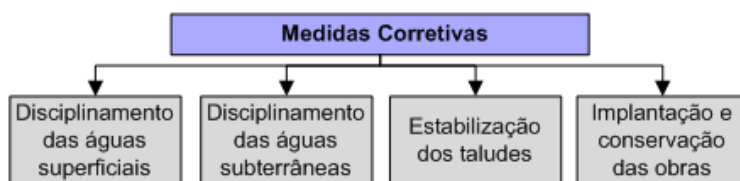


Figura 1. Medidas corretivas da erosão urbana (modificado de IPT, 2012).

Para tanto, é necessário um conjunto de medidas que consistem em disciplinar as águas superficiais e subterrâneas e estabilizar os taludes laterais. As águas pluviais e servidas, provenientes da bacia de contribuição, devem ser captadas e conduzidas desde a cabeceira do processo erosivo até um local adequado para descarga, onde sua energia possa ser dissipada. Na concepção do projeto deve-se ter como preocupação básica a diminuição gradual da energia das águas captadas, e a sua condução controlada, dentro ou fora da erosão (DAEE/IPT, 1986).

A ação das águas subterrâneas é uma das principais causas do desenvolvimento lateral e remontante dos processos erosivos do tipo boçorocas. Ao atingir o lençol freático, os mecanismos de evolução do processo são intensificados em função do surgimento de um gradiente piezométrico que, ao emergir no pé do talude, remove as partículas sólidas, estabelecendo o processo de erosão regressiva (entubamento ou piping). Ocorre também a liquefação do material arenoso, gerando uma diminuição da coesão do solo e conseqüente solapamento do talude (DAEE/IPT, 1986). O tratamento convencional é feito com a aplicação de drenos enterrados, visando à drenagem das águas subsuperficiais para impedir a remoção do solo pelo piping.

Por fim, as medidas para a estabilização dos taludes dos processos erosivos contemplam, de modo geral, retaludamentos, proteção vegetal dos taludes contra a ação erosiva promovida pelas águas de escoamento superficial ou lançamento concentrado.

3. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO EROSIVO

Na área estudo, de acordo com Perrotta et al. (2005), predominam rochas do grupo Itararé e, restritamente, sedimentos/depósitos aluvionares (planície aluvial do rio Piracicaba) e os sedimentos/depósitos colúvio-eluvionares.

O Grupo Itararé é composto predominantemente por arenitos de granulação heterogênea, imaturos, passando a arenitos feldspáticos e mesmo a arcósios, com espessuras delgadas a bancos maciços ou com estratificação plano-paralela a cruzada, de corrente aquosa. Também são característicos siltitos, lamitos, diamictitos e ritmitos, com cores amarelo, vermelho e cinza.

O conjunto de características dos elementos do meio físico (relevo e tipos de rocha e solo existentes), associado ao uso e ocupação do solo, confere à bacia de contribuição do córrego Suzigan alta suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Esse quadro foi agravado pela ação antrópica intensa ocorrida na bacia de contribuição, tais como, desmatamentos, abertura/duplicação da “Estrada da Balsa”, abertura de loteamentos, arruamentos e lançamentos de águas pluviais e servidas, de forma concentrada, na cabeceira da drenagem.

O processo erosivo do córrego Suzigan é urbano, do tipo boçoroca, e teve como elemento desencadeador e evolutivo o lançamento concentrado e inadequado das águas pluviais provenientes das áreas urbanas dos municípios de Santa Barbara d'Oeste e Americana. Com aproximadamente 600 m de extensão na direção NW/SE, o processo atingiu o lençol freático e se desenvolveu lateralmente gerando larguras entre 20 m a 150 m e taludes com até 80 graus de inclinação e alturas variando entre 5 m e 21,0 m (Figuras 2 e 3) Em função das suas dimensões elevadas, esse processo gerou grande perda de áreas produtivas no seu entorno, além de provocar assoreamentos significativos no Rio Piracicaba.



Figura 2. Vista parcial da erosão de jusante para montante.



Figura 3. Vista de um dos taludes do processo erosivo. Notar a altura e inclinação elevada do talude.

As principais observações e caracterizações obtidas durante os levantamentos de campo realizados pelo IPT são apresentadas a seguir:

- a. A bacia de contribuição encontrava-se parcialmente urbanizada e com infraestrutura instalada (ruas pavimentadas e sistema de drenagem superficial composto por bocas de lobo e galerias de águas pluviais);
- b. O lançamento das águas pluviais e servidas no interior da erosão dava-se por meio de galeria (aduelas de concreto armado) que se encontrava parcialmente destruída (algumas aduelas espalhadas ao longo da drenagem natural). No ponto de lançamento das águas pluviais, verificou-se desnível acentuado do terreno, processo erosivo ativo e surgência d'água sob a última aduela da galeria remanescente;
- c. A galeria de drenagem remanescente, que lançava suas águas no interior do processo erosivo, trabalhava afogada;
- d. A cabeceira do processo erosivo encontrava-se com vegetação bem desenvolvida e apresentava vários pontos de surgência d'água (nascentes);
- e. A erosão encontrava-se, em vários trechos, ativa e em franca evolução. De modo geral, sua base já atingiu a rocha alterada (camada saprolítica), constituída de arenito do Grupo Itararé, de cor avermelhada/roxeadada. Sobre o arenito, verificou-se a presença de solo saprolítico, com camadas de até 17,5 m de espessura, com textura areno silto-argilosa, de cor amarelada. A camada superior, situada sobre o solo saprolítico, é constituída de solo coluvionar com textura areno argilosa com grânulos de quartzo, com nível de cascalho basal, apresentando espessuras variando de 1 a 3,5 m. Na margem direita, lado de Americana, observou-se o talude de maior inclinação (85 graus) e maior altura (21 m). O solo coluvionar, o cascalho basal e solo saprolítico, nessa região, possuem, respectivamente, camada de 3,0 m, 0,5 m e 17,5 m de espessura (Figura 4);

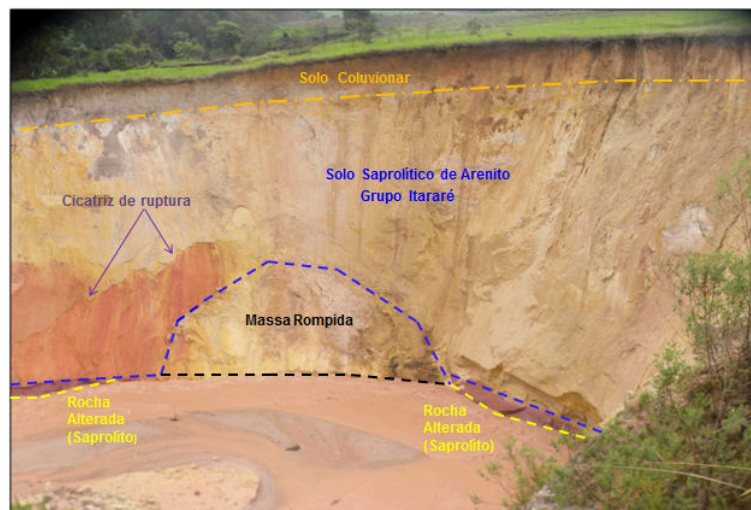


Figura 4 Feições geomorfológicas visíveis em um dos taludes do processo erosivo.

- f. Na margem esquerda, lado de Santa Bárbara d'Oeste, verificaram-se, também, taludes verticalizados com alturas de até 20 m, vários braços ativos, os quais também possuíam taludes verticalizados. Os principais braços apresentavam extensões variando de 35 m a 80 m;
- g. O curso d'água apresentava-se com sinuosidade acentuada, erodindo o pé dos taludes da margem direita em cinco pontos, e da margem esquerda em 4 pontos. Nesses pontos, as camadas saprolíticas são friáveis e de fácil desagregação e os taludes apresentavam instabilizações recentes, configurando assim a evolução lateral do processo erosivo (Figura 4);
- h. Os taludes que não estavam sendo atingidos pelo curso d'água, não apresentavam indícios de instabilizações recentes, sendo que alguns se encontravam com cobertura vegetal em estágio de desenvolvimento inicial e natural. Essa situação indicou que o

principal mecanismo de desenvolvimento lateral do processo erosivo é condicionado ao efeito erosivo das águas que escoam no fundo da erosão, as quais possuem energia suficiente para erodir a base dos taludes, gerando assim geometrias desfavoráveis e, conseqüentemente, a instabilização dos mesmos;

- i. A jusante do processo erosivo observou-se canal de drenagem natural entalhado nos arenitos do Grupo Itararé com mata ciliar em estágio de regeneração natural ou preservada.

4. SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO

Na sequência, são abordados os critérios conceituais que nortearam as medidas de estabilização adotadas em função das características geológico-geotécnicas da área de estudo, dos estudos hidrológicos e hidráulicos realizados, das análises de estabilidade dos taludes.

Recuperar a área afetada corresponde a um conjunto de medidas que permite reestabelecer as condições geométricas do terreno anteriores à ocorrência do processo ou configurar uma geometria diferente da original, de modo que a área possa ser utilizada para um determinado fim.

Por outro lado, estabilizar o processo erosivo corresponde a um conjunto de medidas que visa, somente, impedir sua evolução (retaludamentos e sistemas de drenagem superficial e de subsuperfície). Neste caso, a feição erosiva fará parte da paisagem, podendo a mesma ser totalmente vegetada ou implementados parques lineares no seu interior.

Conforme entendimentos mantidos com as Prefeituras de Santa Barbara d'Oeste e Americana, optou-se por: estabilizar o processo erosivo do córrego Suzigan e recuperar as áreas afetadas pelos seus ramos mais desenvolvidos; e manter o lançamento das águas pluviais provenientes das áreas urbanas no interior do processo erosivo, conduzindo-as por meio de canal a céu aberto. Para tanto, é necessário um conjunto de medidas que consistem em disciplinar as águas superficiais e subterrâneas e estabilizar os taludes laterais.

Quanto ao dimensionamento do canal de drenagem, as premissas adotadas nos estudos hidrológicos realizados levaram em consideração a ocupação futura da bacia de contribuição, onde se prevê a implantação de loteamentos urbanos na área e as vazões de pico para um período de retorno de 100 anos foram estimadas com a utilização do método do Hidrograma Unitário.

Já o dimensionamento hidráulico considerou o regime permanente e uniforme, utilizando degraus no perfil longitudinal a fim de vencer o desnível entre a cabeceira e os limites do processo erosivo, mantendo a declividade baixa, a fim de se respeitar a velocidade média admissível para o revestimento adotado para o canal. Os resultados do dimensionamento culminaram na seção transversal trapezoidal apresentada na Figura 5.

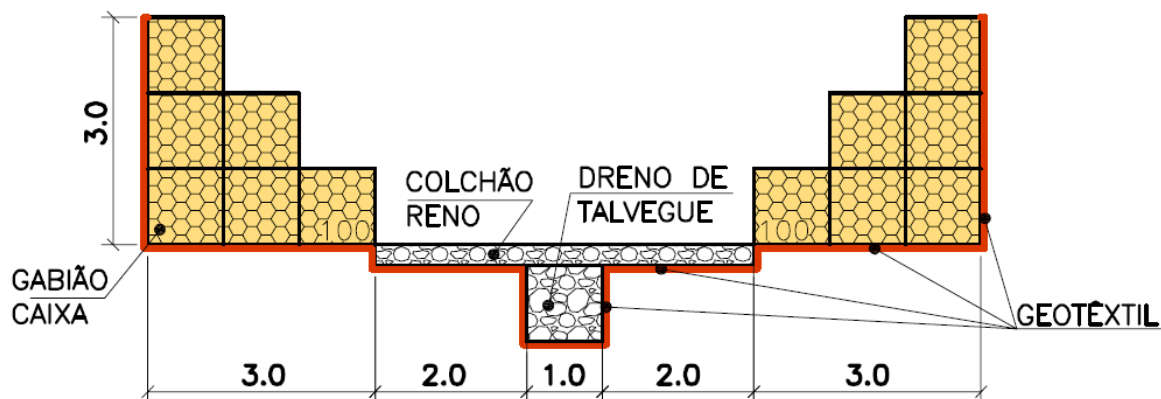


Figura 5. Seção transversal do canal.

A partir do levantamento topográfico realizado, determinaram-se as seções consideradas mais críticas do ponto de vista geotécnico (maiores alturas e inclinações). Para verificar os

parâmetros mínimos equivalentes desses taludes, foram realizadas retroanálises para a condição limite da estabilidade, ou seja, fator de segurança unitário (Gomes, 2003). Para tanto, foram analisadas 4 seções, representativas da situação observada na grande maioria dos taludes.

A Tabela 1 apresenta as seções analisadas, a inclinação dos taludes, altura e os parâmetros mínimos equivalentes de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) calculados.

Tabela 1. Retroanálises realizadas.

Seção	Inclinação do Talude	Altura do Talude	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (graus)
05	85	15	28	40
09	80	17	21	38
21	67	15	17	36
24	77	14	20	38

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, pode-se verificar que a seção 21 apresenta o menor par de parâmetros mínimos equivalentes. Utilizando esse par de parâmetros, análises de estabilidade, por meio da pesquisa da superfície de ruptura crítica, foram realizadas para as seções 05, 09, 21 e 24, obtendo-se, como retaludamento padrão para a área de estudo, cortes no terreno natural com 60 graus de inclinação; altura máxima de 6 m; e bermas de 3 m. Ressalta-se que esse retaludamento padrão é aquele que possibilita estabilizar os taludes com a menor perda de área produtiva e o menor volume de corte.

Baseado nos levantamentos topográficos realizados e, partir do retaludamento padrão, foi calculado o volume de corte necessário para estabilizar o processo erosivo. A Tabela 2 apresenta os volumes de cortes previstos para as margens direita, esquerda e para o canal de drenagem.

Tabela 2. Volumes de escavação.

Margem	Taludes Laterais (m ³)	Outras Escavações (m ³)	Canal de Drenagem (m ³)	Total Geral (m ³)
Direita	20.000	400	9.000	41.600
Esquerda	12.000	200		

A concepção básica das medidas de estabilização do processo erosivo previa que todo o volume de corte fosse disposto no interior do processo erosivo. A partir da estrutura do canal de drenagem, aterros compactados (aterros de base) foram projetados até encostar-se à base dos taludes. Entretanto, esse volume não foi suficiente para acomodar todo o volume de corte previsto, sendo necessária a execução de aterros complementares, os quais foram projetados a partir dos taludes de corte até a porção intermediária da erosão. A Tabela 3 apresenta os volumes de aterros dispostos por margens.

Tabela 3. Volumes de aterro.

Margem	Aterro de Base (m ³)	Aterro Complementar (m ³)	Ramos (m ³)	Total Geral (m ³)
Direita	16.500	700	2.400	41.600
Esquerda	15.000	-	7.000	

A título de ilustração, as Figuras 6, 7 e 8 apresentam algumas seções contendo os cortes e aterros projetados.

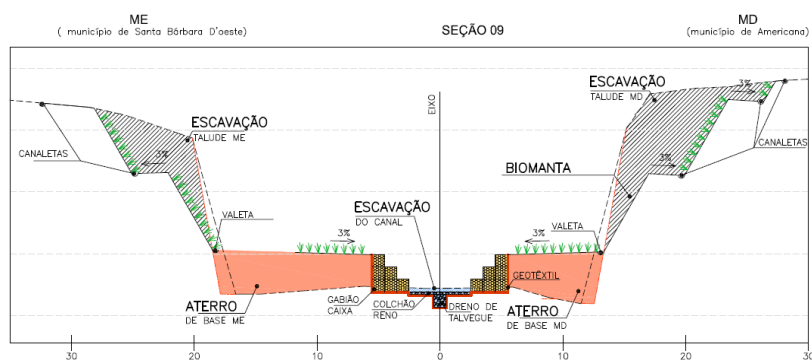


Figura 6. Seção 9 – Canal, cortes e aterros de base.

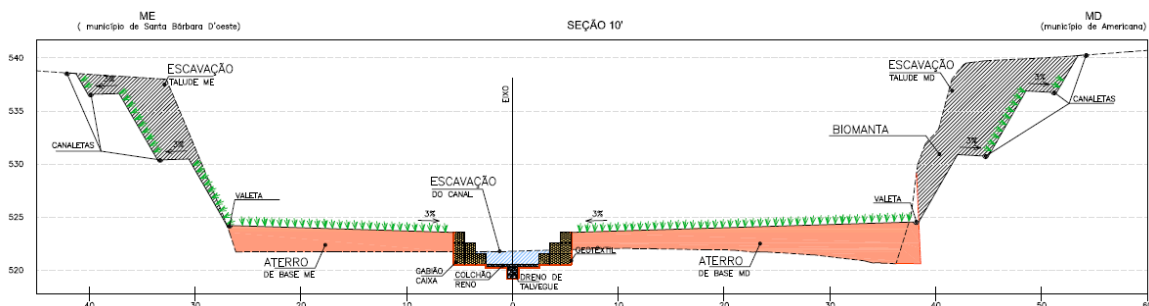


Figura 7. Seção 17 – Canal, cortes e aterros de base.

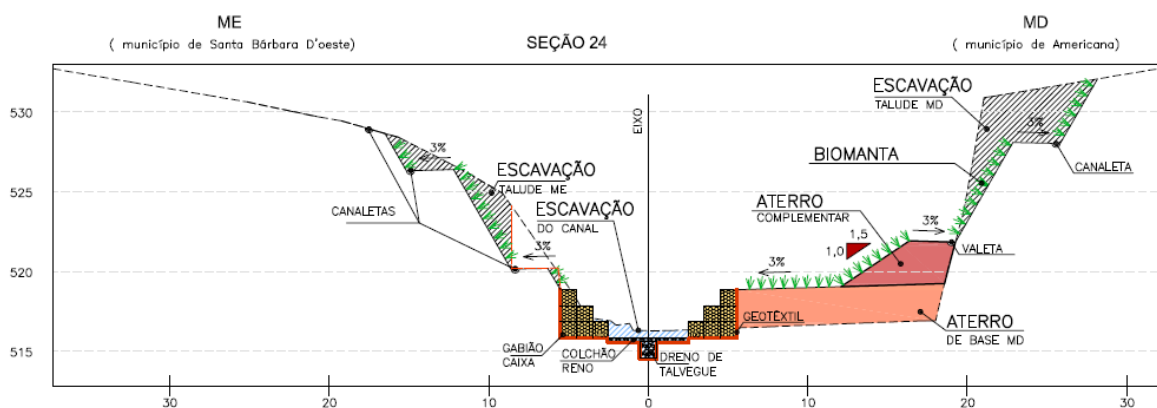


Figura 8. Seção 24 – Canal, cortes e aterros de base.

5. CONCLUSÕES

O processo erosivo do córrego Suzigan teve como elemento desencadeador e evolutivo o lançamento concentrado e inadequado das águas pluviais provenientes das áreas urbanas dos municípios de Santa Barbara d'Oeste e Americana. Do ponto de vista econômico, o processo erosivo acarreta perdas consideráveis de áreas produtivas e, ambientalmente, gera sérios danos, pois vem assoreando de forma considerável o rio Piracicaba.

Ficou acordado com os representantes das Prefeituras de Santa Barbara d'Oeste e de Americana, que o eixo principal do processo erosivo do córrego Suzigan deveria ser estabilizado e as áreas afetadas pelos seus principais ramos seriam recuperadas. Além disso, decidiu-se que as águas pluviais provenientes da área urbana dos dois municípios permaneceriam sendo lançadas no interior do processo erosivo e conduzidas em canal a céu aberto.

Para estabilização do processo é preciso captar, conduzir e lançar de forma adequada as águas pluviais decorrentes da área urbana. Para tanto, foram propostas as seguintes medidas estruturais: redimensionamento da galeria de drenagem existente, uma vez que essa trabalha afogada durante chuvas intensas; execução de tubos de queda para conectar a galeria redimensionada ao canal de drenagem proposto; canal de drenagem a céu aberto, constituído por colchão reno argamassado e gabião caixa, respectivamente na sua base e paredes laterais; e dispositivo de dissipação de energia no final do canal.

O processo erosivo foi estabilizado por meio de retaludamentos, de modo a obter, respeitando os critérios técnicos obtidos nos estudos de estabilidade, uma relação equilibrada entre os volumes de corte e aterro. O volume de corte gerado foi totalmente disposto no interior da erosão, eliminando a necessidade da obtenção de áreas, devidamente licenciadas para bota-fora.

Os cortes previstos em terreno natural deverão ter inclinações de 60 graus, altura máxima de 6,0 m e bermas com 3,0 m de largura. Os taludes que apresentarem inclinações abaixo de 60 graus deverão somente ser regularizados, havendo, portanto, a necessidade de concordâncias geométricas com os taludes mais inclinados. Os aterros deverão ter altura de 3,0 m e inclinação de 1V:1,5H.

A drenagem superficial da área estabilizada deverá ser composta por valetas vegetadas, canaletas de drenagem moldadas in loco ou pré-moldadas (terreno natural) ou armadas (aterros), escadas hidráulicas e caixas de coleta. A drenagem de subsuperfície é composta por drenos de talvegue e trincheiras drenantes em formato de espinha de peixe.

Finalmente, destaca-se que o processo erosivo do córrego Suzigan vem apresentando, ao longo do tempo, evoluções significativas, razão pela qual, durante a fase de implantação das obras, adequações de projeto e das recomendações poderão ser necessárias. Nesse sentido, é importante o acompanhamento técnico por parte de empresa especializada, por meio de profissionais experientes nesse tipo de obra.

Alertar que a não implementação das obras de estabilização propostas implicará na continuidade do desenvolvimento acentuado do processo erosivo em análise, gerando mais perdas econômicas e ambientais.

REFERÊNCIAS

GOMES, C. L. R. (2003). *Retro-análise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento*, Dissertação de Mestrado, UNICAMP.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1986). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo: Bacia do Peixe/Parapanema (Relatório Técnico 24.739 – vol. 2)*. São Paulo: IPT.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1997). *Mapa de Suscetibilidade à Erosão do Estado de São Paulo – Escala 1:1.000.000 (Relatório Técnico 33.402)*. São Paulo: IPT/DAEE.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2012). *Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo (Relatório Técnico 131.057-205)*. São Paulo: IPT, 434p..

PERROTTA, M.M. et al. (2005). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000*. CPRM, São Paulo.