

Estabilização Biotécnica das Margens do Lago do Parque São Lourenço, Curitiba-PR

Leandro Vidal Costa Castelani

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, leandro.castelani@gmail.com

Lucas Ghion Zorzan

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, lucasghionzorzan@gmail.com

Elvidio Gavassoni

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, gavassoni@ufpr.br

Vítor Pereira Faro

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

RESUMO: Com o crescimento e urbanização das cidades, alguns aspectos do ambiente urbano reduzem a qualidade de vida de seus habitantes. Nesse sentido, as áreas de conservação públicas constituem-se como atrativos populares e opções consolidadas para atividades de lazer em centros urbanos. Os parques públicos são zonas de respiro arborizadas em contraste com o ambiente construído. Entretanto, mesmo as áreas de conservação constituem sistemas que naturalmente sofrem processos de desestabilização tais como a erosão, movimentação de massa e assoreamento. A Engenharia Natural, também chamada de Bioengenharia de Solos, é empregada na estabilização desses processos utilizando-se de plantas como elemento estrutural principal. O Parque São Lourenço, em Curitiba – PR, tem importância turística, social e ambiental para a capital do estado. É exemplo característico de parque linear abastecido pelo Rio Belém, inteiramente curitibano e o segundo mais extenso do município. Tem funções diversas, dentre as quais se destacam a sanitária, no controle de cheias, e o lazer para a população local. Desde sua criação, na década de 70, o local apresenta diversos processos de instabilização hidráulico-geotécnica principalmente nas margens do lago. O problema demandou ações do poder público municipal que constantemente mostraram-se ineficazes na estabilização das margens. Nesse sentido, o presente trabalho visa à elaboração de um projeto de estabilização geotécnica das margens lacustres do Parque São Lourenço. Contendo a análise histórica, caracterização geotécnica e o estudo da fenomenologia dos processos desestabilizantes do local, o trabalho consiste de um projeto conceitual de estabilização das margens erodidas do lago do Parque São Lourenço o qual, ao ser entregue à Prefeitura Municipal, possibilita uma solução permanente, segura, social e ecologicamente correta, permitindo uso adequado do bem público pela sociedade. Essa é a primeira fase de um importante trabalho pioneiro em âmbito nacional aplicando-se técnicas de Engenharia Natural para estabilização biotécnica de unidades público-urbanas de conservação.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Natural, Erosão lacustre, Estabilidade de taludes, Bioengenharia de Solos.

1 INTRODUÇÃO

As áreas de conservação públicas urbanas

contribuem para o aumento da qualidade de vida dos habitantes do ambiente urbano. Os parques são opções consolidadas para atividades

Em geral os elementos das soluções da Engenharia tradicional quando inseridos nos sistemas naturais desestabilizados podem não ser efetivos no tratamento dos problemas, ou ainda agravar a dinâmica desestabilizante ou mesmo serem rejeitados pelo sistema natural. A Engenharia Natural se propõe a tratar de desequilíbrios dos sistemas naturais utilizando-se de elementos vivos como material de construção e elemento estrutural. Como premissa, esta técnica não utiliza plantas apenas como elemento estético, e sim como um importante componente estrutural (LEWIS, 2000). O sistema de técnicas conhecido atualmente como Bioengenharia de Solos é usado há centenas de anos em várias civilizações (LEWIS, 2000). Embora com benefícios notáveis, como a diminuição da necessidade de escavações e o uso de plantas nativas, segundo Lewis (2000), a Engenharia Natural não deve ser encarada como uma solução perfeita para todos os problemas, apresentando também limitações de aplicação. Nesse sentido, a Bioengenharia de solos é extremamente dependente de condições que promovam o crescimento dos principais elementos estruturais – as plantas vivas (POLSTER, 2002). De maneira geral, a Engenharia Natural demanda o mínimo de complexidade construtiva e permite soluções mais flexíveis capazes de acomodar os

O objetivo do presente trabalho é a elaboração da primeira fase de um projeto executivo, por meio de técnicas de Engenharia Natural, para estabilização das margens do lago do Parque São Lourenço. A primeira etapa, chamada conceitual, envolve o levantamento de informações e características do local de análise, sua problemática e a discussão de soluções possíveis para a resolução da questão. Por fim, apresenta prescrições e procedimentos necessários para a continuidade do estudo nas fases de projeto básico e executivo.

O Parque São Lourenço está inserido no bairro São Lourenço, zona norte de Curitiba. O parque pertence à bacia hidrográfica do rio Belém que, por sua vez, está inserida na região central da bacia do rio Iguaçu (Figura 1).



Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Belém com ênfase na localização do Parque São Lourenço (Bollmann e Edwiges, 2008).

O rio Belém tem sua nascente localizada no bairro Cachoeira, na capital do estado do Paraná. Quase inteiramente canalizado, suas águas cortam Curitiba no sentido Norte-Sul. A bacia do Belém, altamente urbanizada, abrange uma área de, aproximadamente, 20,3% da área do município (Plano de Manejo do Parque São Lourenço, 2009).

Os dados contidos na Tabela 1 caracterizam a bacia hidrográfica, sendo obtidos através de uma seção de controle localizada na foz do rio principal.

Tabela 1. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Belém (FENDRICH, 2002).

Característica física	Valor
Área total da bacia (km ²)	87,77
Extensão do Rio Belém (km)	17,13
Perímetro da bacia (km)	49,3
Ordem da bacia	4ª ordem
Extensão dos rios da bacia (km)	105,91
Densidade de drenagem (km/km ²)	1,28
Declividade média da bacia	0,554
Fator de forma	0,211
Compacidade	1,44

O clima da bacia, de acordo com Maack (1968), sofre com variações climáticas relacionadas às diferenças de altitudes nos planaltos paranaenses e ao ângulo de incidência de radiação solar. Com chuvas bem distribuídas durante o ano, o índice pluviométrico da região supera os 1.200 mm anuais.

O lago do parque originou-se, no ano de 1970, a partir da inundação provocada pelo rompimento de uma barragem pertencente à fábrica de adubos proprietária da região na época. O incidente liberou as águas do Rio Belém, as quais alagaram uma extensa área. A prefeitura municipal mobilizou-se para tornar a zona afetada um parque linear aberto ao público que possui como função principal a contenção das águas de cheias do rio no qual está inserido – uma estratégia sanitaria. Dois anos após o acidente com a represa, o parque foi inaugurado e é, atualmente, referência para a população local, importante ponto turístico e essencial para a estruturação sanitária da cidade de Curitiba.

O parque possui área total de 203.918 m² e seu lago tem perímetro de 1,32 km com profundidade média, decorrente de processos de assoreamento, de 1 m (Plano de Manejo do Parque São Lourenço, 2009). É estruturado por um canal de alimentação, dois canais de continuidade e o corpo principal do lago. O canal começa após o fim da galeria subterrânea na qual o rio encontra-se canalizado.

Além da função de lazer, o lago do parque é responsável pela contenção de cheias do município. À jusante do parque, o centro da cidade encontra-se em grande parte protegido do aumento do nível das águas do Rio Belém evitando, assim, graves problemas sanitários.



Figura 2. Local de estudo, na entrada do Rio Belém no Parque São Lourenço, com indicação das margens estudadas e a ilha artificial (Os autores, 2016).

O local de estudo (Figura 2) insere-se na porção do parque na qual o Rio Belém entra no lago. Devido à alta taxa de sedimentos transportados pelas águas do rio, houve a formação de uma ilha artificial composta por material fino e variegado consolidado pelo aparecimento espontâneo de vegetação na região. A configuração da ilha passou por diversas alterações com o passar dos anos, motivadas tanto pelas mudanças de curso do rio quanto pelas obras de dragagem realizadas no local. A ilha exibe, com o passar do tempo, tendência de crescimento radial, reduzindo-se as propriedades hidráulicas de escoamento do lago. As obras públicas de recuperação do curso das águas são frequentes, tanto de consolidação das margens quanto de dragagem do leito do lago, alterando a configuração da ilha e mostrando-se ineficazes no longo prazo.

As margens do local de estudo são

compostas, basicamente, por solo de aluvião muito variegado de baixa permeabilidade. Nesse sentido, a grande variedade de solos (Figura 3) prejudica a estabilidade da encosta. Segundo o Plano de Manejo do Parque São Lourenço, divulgado pela Prefeitura de Curitiba em 2008, o material geológico varia de argila a areia e conta com a presença de plásticos, tecidos e resíduos de construção. Os ensaios realizados pela MINEROPAR fornecem dados importantes acerca dos parâmetros geotécnicos do solo do Parque São Lourenço (Tabela 2).



Figura 3. Vista do solo variegado das margens do lago do Parque (Os autores, 05/10/2015).

Tabela 2. Resultados obtidos com ensaios de amostra indeformada (Plano de Manejo do Parque São Lourenço, 2008).

Parâmetro	Resultado
Granulometria	Argilas: 42% Siltes: 40% Areias: 18%
Cor	Marrom avermelhada
Porosidade	64,7%
Umidade	35,3%
Permeabilidade	0,003381 cm/s
Índice de erodibilidade	106,66

Dessa forma, as margens são suscetíveis à erosão e à instabilidade geotécnica. Atualmente, para a contenção do solo das margens, estas encontram-se cobertas por bolsas de geotêxtil sintético no trecho objeto deste estudo. Essas bolsas estão preenchidas por material proveniente de dragagem do leito do lago. As bolsas impedem, em muitos pontos, o escoamento subsuperficial do entorno do lago pelas massas de solo das margens, aumentando a poropressão sobre dos taludes. Além disso muitas dessas estruturas de geotêxtil estão em

estado de degradação avançado. Na margem esquerda do local de estudo, grande parte das estruturas de contenção encontram-se abaixo da linha da água, evidenciando os problemas com a solução adotada.

A região do entorno do lago, incluindo o estacionamento, é drenada por alguns bueiros de seção circular com diâmetro variando de 40 a 60 cm em concreto armado.

As velocidades de escoamento do canal alimentador foram medidas de modo expedito-aproximado em duas ocasiões diferentes. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Velocidade das águas do Rio Belém obtidas de maneira expedita.

Dia	Tempo médio (min)	Distância (m)	Velocidade e Média (m/s)
05/10/2015	1,996	5	0,0520
24/11/2015	2,817	5	0,0296

Devido aos efeitos da distribuição de velocidades de acordo com a profundidade, o valor obtido para as velocidades necessita ser corrigido. Uma boa aproximação é através de funções logarítmicas. Nesse caso, as velocidades médias são divididas pelo coeficiente 0,8. Desse modo, os valores de 0,0650 m/s e 0,037 m/s representam as velocidades para o primeiro e segundo dias de medições, respectivamente. O ábaco de Hjülstrom (1935) permite aferir, a partir da velocidade do curso, o tamanho mínimo de partículas que sedimentarão no local.

A partir do cruzamento dos dados, observa-se que para a velocidade do primeiro dia, partículas a partir de 0,7 mm depositam-se no leito, enquanto que para o segundo dia partículas com diâmetro superior a 0,5 mm sedimentam. Com esta análise, percebe-se que a velocidade reduzida do fluxo de água favorece o acúmulo de sedimentos na entrada do lago.

3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

As visitas a campo no local de estudo permitiram avaliar quais os problemas que atingem as margens do lago do parque. Dentre os principais, a erosão das margens por corrosão, o deslocamento de massas de terra do entorno por erosão ou deslizamento e o desabarrancamento dos taludes destacaram-se como decisivos fatores de instabilidade geotécnica do local. Observam-se, também, dois fatores principais nos processos de perda de estabilidade: os problemas de drenagem – tanto superficial quando subsuperficial – e a origem aluvionar do solo, com propriedades insatisfatórias de engenharia (baixa permeabilidade e resistência).

Notou-se, visualmente, grande dificuldade para que a água de precipitação e da drenagem do entorno possa escoar para o interior do lago. Este fato verifica-se, por exemplo, no ponto mostrado pela Figura 4 que evidencia o empoçamento na região analisada.



Figura 4. Acúmulo de água nas margens do lago (Os autores, 24/11/2015).

Constatou-se que o principal fator que impede o escoamento é, em uma primeira análise, a impermeabilidade das bolsas de geotêxtil posicionadas no entorno do lago. Embora em sua condição original estes elementos não sejam necessariamente impermeáveis, o solo de preenchimento apresenta baixa permeabilidade. Dessa questão, insurgem dois problemas importantes, que consistem na deficiência de drenagem superficial e subsuperficial. A primeira visa reduzir a infiltração e prevenir a erosão, enquanto a segunda reduz a poropressão do solo – contribuindo para a maior estabilidade dos taludes das margens. A deficiência de drenagem

prejudica a manutenção da margem em uma forma adequada para seu contexto.

A análise conjunta do problema de drenagem e origem do solo fornece dados importantes sobre as causas da instabilidade da margem. A baixa permeabilidade dos maciços das margens, potencializada pelo uso do material geotêxtil, associada à baixa resistência dos solos de aluvião variegados, fazem com que a margem não seja capaz de resistir adequadamente às solicitações, acarretando na instabilidade observada. Visto que estes dois fatores afetam de maneira mais intensa o local, a intervenção escolhida deve, obrigatoriamente, garantir ganhos significativos em resistência e, principalmente, em drenagem a fim de obter sucesso em longo prazo.

4 SOLUÇÕES DISCUTIDAS

As margens do lago do Parque São Lourenço apresentam, como dito, constantemente problemas relacionados à estabilidade hidráulico-geotécnica. As soluções executadas pelo poder público até então não se mostraram efetivas, evidenciando a necessidade de estudos de técnicas mais eficientes para a resolução do problema. A partir de ensaios expeditos, análises de campo e consulta bibliográfica, conclui-se que as causas principais para o problema analisado estão relacionadas à composição do solo e aos problemas de drenagem existentes. As intervenções executadas até então não levaram tais fatores em consideração, tornando o processo oneroso e inefetivo. Inserido neste panorama, são apresentadas, de modo descritivo apenas, as soluções propostas para corrigir os problemas das encostas do Parque sob uma perspectiva econômica, estética e de durabilidade. A ideia consiste na execução de uma obra de contenção flexível e permeável que alivie os esforços das margens e use técnicas da Engenharia Natural.

4.1 Enrocamento vegetado

Consiste no enrocamento tradicional aliado a inserção de estacas com crescimento vegetativo entre as rochas (Figura 5). Apresenta, portanto,

possibilidade de passagem da água superficial impedindo possíveis acúmulos. A técnica não utiliza grande quantidade de material vegetal, podendo ser aplicada caso não tenha disponibilidade de material com aptidão biotécnica em grande quantidade. É de simples execução e dimensionamento e demanda pouca movimentação de solo. Contudo, o fato da presença de rochas não ser comum no ambiente natural da bacia, o custo pode ser mais alto.



Figura 5. Enrocamento vegetado realizado em obra nas margens do Rio São Francisco (Araújo-Filho et al, 2013).

4.2 Parede Krainer simples



Figura 6. Parede Krainer executada nas margens do Rio Taquari, em Estrela - RS (Prefeitura Municipal de Estrela, 2010).

Trata-se de uma estrutura em formato de “fogoeira” composta por um conjunto de longarinas e transversinas (em geral em peças roliças de madeira) dispostas alternadamente cujos espaços são preenchidos com solo e estacas, ramos e mudas de vegetação com aptidão biotécnica (Figura 6). A interferência no meio é pequena e minimiza-se ainda mais com o uso da madeira não tratada, que será assimilada com sua degradação. Contudo os solos devem ter permeabilidade e fertilidade adequada,

podendo acarretar custos do empréstimo de material para melhoria das propriedades do solo local. Além disso, existe a necessidade de movimentações de solo para cortes no talude para encaixe da estrutura. Para proteção imediata do solo de preenchimento contra ação do escoamento do lago podem ser instalados biorretentores de sedimento e/ou feixes de ramos (vivos ou mortos) nas faces das gavetas.

4.3 Plantio em banquetas

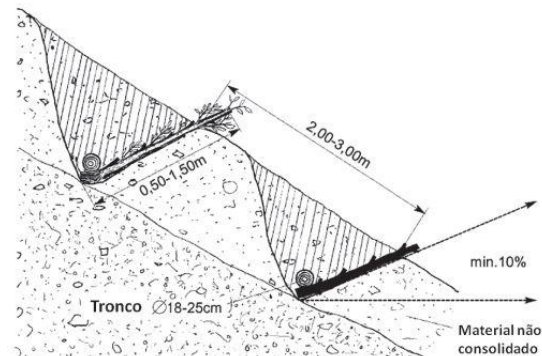


Figura 7. Representação esquemática do plantio em banquetas para contenção de encostas.

A obra é realizada em cortes longitudinais que formam plataformas nas quais são inseridas mudas ou estacas de espécies vegetais com aptidão biotécnica (Figura 7). Essa técnica, aliada à outras intervenções, melhora as condições de drenagem subsuperficial da região ao fornecer um canal de escoamento e absorção de água pelo solo. Seu uso traria benefícios aos problemas de drenagem na região analisada do Parque, com impactos em menor escala. Demandam alta quantidade de material vegetal e por isso seu uso deve ser condicionado à verificação prévia da disponibilidade de espécies adequadas em quantidade suficiente para uso na intervenção.

4.5 Terra reforçada vegetada

Consiste no uso de manta geotêxtil ancorada por estacas vivas estendida ao longo do talude. O desenvolvimento da vegetação aumenta a estabilidade da margem pela ação de ancoragem provida pelas raízes. O custo é relativamente maior devido ao uso de geotêxteis. Consiste no

uso de manta geotêxtil ancorada por estacas vivas estendida ao longo do talude.

O desenvolvimento da vegetação aumenta a estabilidade da margem pela ação de ancoragem provida pelas raízes. O custo é relativamente maior devido ao uso de geotêxteis.

4.6 Gabionagem vegetada

Mais complexa do ponto de vista técnico e econômico, consiste na execução de uma contenção convencional no formato de gabião complementada pela inserção de estacas de espécies com reprodução vegetativa nas gaiolas (Figura 8).

As estacas devem ter comprimento o suficiente para atravessar toda a gaiola e serem fixadas no substrato do tardo do gabião. As plantas utilizadas não podem possuir diâmetros muito elevados podendo, caso contrário, danificar a estrutura e comprometer a segurança.

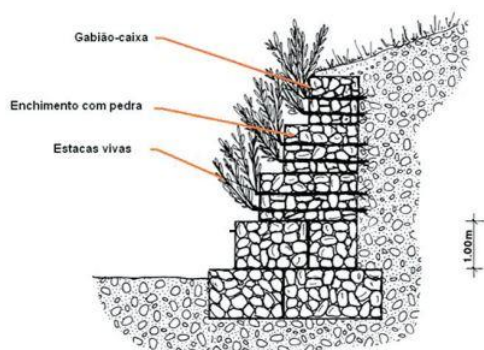


Figura 8. Representação esquemática de gabião vegetado.

Como vantagens, a intervenção apresenta ótima adaptação ao contorno do terreno, funcionando, também, como uma boa solução de problemas de drenagem subsuperficial já que as plantas retiram os excessos de água aliviando tensões do terreno. Os gabiões tem custo relativamente alto em relação às demais soluções e consistem num impacto maior no local.

4.8 Não intervenção

Em ambientes lacustres, o processo de desestabilização das encostas dos lagos é natural. Em geral, este acontecimento não compromete a utilização do local para as

atividades usuais – apesar de dificultar seu pleno aproveitamento. Dessa forma, a não intervenção no local apresenta-se como uma solução possível e não invasiva. Ressalta-se, entretanto, que esta opção inviabiliza a utilização da região em diversas atividades de lazer pela progressão da corrosão das margens. Como consequência, tem-se perda de área para o qual o parque foi idealizado além de, no curto prazo, o acúmulo de material proveniente das margens no rio poder provocar problemas de dragagem.

5 PRESCRIÇÕES

Todas as intervenções aqui levantadas são de possível realização do ponto de vista técnico. Entretanto, soluções de Engenharia Natural envolvem um estudo mais amplo e aprofundado sobre as características da região. Nesse panorama, será necessária a realização de ensaios de solo *in loco*, como, por exemplo, a investigação por percussão (SPT). Serão necessários, também, novos ensaios de granulometria e permeabilidade do solo para obtenção de parâmetros geotécnicos de dimensionamento que auxiliarão na execução das obras.

Visto que a Engenharia Natural utiliza, primordialmente, plantas como elemento estrutural é de extrema importância conhecer-se todos os detalhes possíveis acerca das plantas disponíveis para uso e suas características biotécnicas, como, por exemplo, a arquitetura e disposição das raízes, flexibilidade dos ramos, tamanho da planta adulta, pioneirismo, rusticidade, tolerância à inundação e disponibilidade na região. Tal conhecimento é essencial na escolha da melhor e mais viável alternativa para o local, abrangendo aspectos da demanda por plantas de cada intervenção. Aliado a isso, a análise da fertilidade do solo permite avaliar a viabilidade do uso das plantas disponíveis. Para continuidade do processo, se faz necessário, também, o levantamento das seções transversais do lago e das margens na região de tratamento, a fim de se obter conhecimento das características hidráulicas do corpo aquático e das condições atuais dos

taludes quanto à inclinação e nível de erosão por corrosão. Devem, por fim, ser recalculados parâmetros da bacia hidrográfica tendo como seção de controle o ponto de união dos canais de continuidade.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho descreve as atuais condições de perda de estabilidade hidráulico-geotécnica nas margens do lago do Parque São Lourenço. A evolução desses processos pode comprometer as funções de lazer e controle de cheias exercidas pelo parque e seu lago. Com base em ensaios expeditos e visitas a campo conclui-se que as causas dos problemas nas margens não estão relacionadas com a velocidade do fluxo do Rio Belém – afluente do lago São Lourenço. A baixa velocidade de escoamento demonstra que a interferência da erosão superficial é mínima. Entretanto, a identificação de drenos mal executados e a saturação das encostas, a qual diminui a tensão efetiva do solo, pela baixa drenagem subsuperficial, somada à origem aluvionar do solo, são as causas principais dos fenômenos de instabilidade observados. Para solução dos problemas identificados, são necessárias intervenções que atuem nos dois principais problemas: a falta de drenagem e de resistência. Para tanto, foram levantadas possibilidades de soluções de Engenharia Natural, que se mostram mais eficientes e duráveis frente às técnicas tradicionais já executadas. Para comprovação deste fato, é necessária a realização de ensaios de investigação de solo, levantamento topográfico e estudo de viabilidade na utilização das plantas para o dimensionamento hidráulico, geotécnico e estrutural da intervenção mais adequada.

O trabalho, ao apresentar a análise histórica, a caracterização geotécnica e o estudo da fenomenologia dos processos atuantes no local, é a primeira etapa do projeto executivo que, ao ser entregue ao poder público, possibilitará uma solução durável e segura para a instabilidade das margens do lago do Parque São Lourenço.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Ministério da Educação pelas bolsas concedidas no Programa de Educação Tutorial (PET). Além disso, agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dos equipamentos que deram suporte aos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Araújo-Filho, R. N.; Holanda, F. S. R.; Andrade, K. R. (2013). Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle de erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. São Cristóvão, SE, Brasil. *Scientia plena*, vol. 9, nº 7.
- Bollmann, H. A.; Edwiges, T. (2008). Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. Artigo, Rio de Janeiro, Eng. Sanit. Ambiental vol. 13 nº 4.
- Fendrich, R. (2002) Diagnóstico dos recursos hídricos da bacia hidrográfica urbana do Rio Belém. Curitiba: Assembléia Legislativa do Estado do Paraná.
- Lewis, L. (2000). Soil Bioengineering: an alternative for roadside management. Guia prático, United States Department of Agriculture. San Dimas, California, USA, 47 p.
- Maack, R. (1968). Geografia Física do Estado do Paraná. Livro técnico, Curitiba - PR, Brasil, 350 p.
- Polster, D. F. (2002). Soil Bioengineering techniques for riparian restoration. Proceedings of the 26th Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium, Dawson Creek, BC, p. 230-239.
- Prefeitura Municipal de Curitiba; Ecotécnica Tecnologia e Consultoria LTDA. (2009). Plano de Manejo do Parque Natural Municipal São Lourenço. Relatório público, Curitiba, Paraná, 502 p.