

INTRODUÇÃO À BIOENGENHARIA DE SOLOS

Artigo publicado na Revista CEIBE nr. 3 em abril de 2007.

Revisto em junho de 2018.

*Eng. Civil Luiz Lucena, CPESC.

“Vegetação tem sido utilizada em engenharia no controle de processos erosivos e como reforço de obras civis. O conjunto de técnicas que utilizam este elemento vivo na engenharia é conhecido como bioengenharia de solos”. (Kruedener, 1951).

A movimentação de partículas de solo ocasiona a sedimentação dos corpos d’água e esta é a maior fonte de contaminação difusa por poluentes (resíduos sólidos, nutrientes eutrofizantes de corpos d’água e outros).

Histórico

Há muitos anos a vegetação é utilizada como proteção e reforço de obras civis. Na Europa Ocidental, China e no Império Romano vários exemplos de proteção das margens de rios, diques, muros de contenção e canais de abastecimento e drenagem ainda resistem ao tempo.

No nosso continente temos registros pré-incas e dos incas, mestres no desenvolvimento de técnicas simples e muito eficientes para conservação do solo. A técnica inca de amarrar galhos e gravetos e instalá-los em curva de nível com o objetivo de reter sedimentos e reduzir a velocidade do escoamento superficial, as chamadas “*fajinas*” (faixinhas em tradução literal), tiveram desenvolvimento técnico e industrial recente convertendo-se em Bermalonga® (Brasil), biorollos (America Latina) e “*Wattles*” (USA) com o mesmo objetivo. Não podemos deixar de mencionar as técnicas de terraceamento e os muros de pedra conhecidos internacionalmente, sobretudo pelas ruínas de Cuzco e Macchu Picchu.

Ao longo da história, a engenharia tradicional tem apresentado grande dificuldade para lidar com as questões ambientais. A grande movimentação de terras e a intensa utilização de maquinaria se opõem à retomada atual dos conceitos de engenharia ambientalmente amigável que se inspiram nas formas da natureza para suavizar os contornos nas obras de terra (v. *Schor & Gray, 2007*) e a utilização da vegetação para proteção e reforço superficial do solo.

Podemos dizer que a bioengenharia moderna começou em 1874 com os trabalhos de Wollney, um alemão que realizou os primeiros ensaios em pesquisa de conservação do solo e da água. Verdadeiro precursor do conservacionismo do solo e da água, teve seu trabalho reconhecido somente em 1938 por Baver (USA).

Em 15 de abril de 1881 nasceu Hugh Hammond Bennett, o primeiro estudioso americano a tratar das questões do solo e conhecido naquele país como pai da conservação do solo. Bennett não somente estudou a conservação do solo, mas também usou suas habilidades políticas e de liderança para fomentar este tema, estimulando outros cientistas a

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

pesquisarem o mesmo tema e promovendo a conscientização pública sobre a importância da perda de solos. Por esta razão, o dia do seu nascimento se converteu no dia mundial da conservação do solo. No Brasil esta data também é comemorada por força de Lei Federal número 7.876 de 1989.

Curiosamente, em plena recessão americana Bennett publicou “Erosão do Solo – Uma Ameaça Nacional” (Bennett, H. H. e W. R. Chapline, 1928) sobre os efeitos da erosão na agricultura. Com a eleição de Franklin Delano Roosevelt, que teve forte apoio da classe ruralista, Bennett foi convidado a dirigir a primeira instituição oficial para tratamento das questões relativas à erosão: o “*Soil Erosion Service*” (1932) que foi inserido na política de recuperação da economia americana conhecida como “*New Deal*”. Os anos que se seguiram ao início das atividades desta instituição foram considerados os anos de ouro na pesquisa sobre o tema da conservação do solo. A partir daí, os acontecimentos mais importantes foram:

- A promulgação da lei da conservação do solo (Soil Conservation Act, USA, 1935);
- O desenvolvimento de equações para estimar a perda de solos (1940 – 1960) que resultaram na Equação Universal da Perda de Solos conhecida apenas por USLE (Wischmeier, W. H. 1959) ou RUSLE (revisada);
- O Sistema Nacional de Eliminação de Descargas Poluentes conhecido por sua sigla em Inglês - NPDES (USA, 1970);
- A lei da água limpa (Clean Water Act - USA, 1972);
- A fundação da Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos – IECA (USA, 1972);
- O projeto de previsão da erosão hídrica – WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA, anos 80).

Observamos que muitos eventos significativos na história moderna da pesquisa sobre a conservação do solo ocorreram nos Estados Unidos, aparentemente devido a uma série de conjunções históricas associadas com a participação ativa do governo durante todo o processo. Um movimento concomitante e bastante significativo de estudos para a conservação e proteção dos solos e corpos d’água, liderado por europeus, tem forte influência no desenvolvimento da tecnologia conhecida naquele continente por Engenharia Naturalística.

Na América Latina temos uma grande quantidade de instituições e cientistas envolvidos com o tema de proteção dos solos e promovemos desenvolvimentos muito importantes, a ponto sermos considerados como “Escola Tropical de Controle de Erosão e Sedimentos”, com produtos e práticas adaptadas às nossas condições e que diferem significativamente daqueles utilizados nos países de clima temperado e frio. Infelizmente, nossos governos tratam do tema com desinteresse e o enfoque é dirigido apenas para a exploração agrícola ou simplesmente o uso do solo, não estimulando os estudos das espécies da nossa diversidade, necessários para a aplicação desta tecnologia com a utilização de espécies nativas. Isto constitui um atraso para a aplicação ampla das novas tecnologias em engenharia e proteção do meio ambiente, bem como para o desenvolvimento de normas técnicas e legislação adequada ao setor.

Especificamente no Brasil, o desenvolvimento de leis ambientais teve um processo inicial com ênfase na proteção da água, Código das Águas (Decreto 24.643 de 10/07/34) para posteriormente estabelecer normas de proteção ao solo com o Estatuto da Terra (lei 4504

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

de 1964) e o Código Florestal (lei 4771 de 1965) que disciplinam o *USO* da terra e não objetivam, necessariamente, a proteção do recurso solo. Sobre a proteção superficial do solo, foi pioneiro o DNER ao estabelecer normas para proteção de taludes rodoviários, que embora inadequadas, sob a ótica dos conhecimentos atuais, representaram um grande avanço no início dos anos 70. Também pioneiro, o DNIT divulgou em Julho de 2006 suas normas 071 a 077 que pela primeira vez menciona a Bioengenharia de Solos em um documento de instituição governamental no Brasil, abrindo caminho para futura normatização das práticas relacionadas à proteção e reforço do solo. O movimento neste sentido é ainda muito lento, sendo observado avanços importantes na legislação e práticas, principalmente no Estado de São Paulo.

“A legislação ambiental brasileira caracterizou-se por oferecer pequenas garantias ambientais, inseridas em códigos e leis de caráter administrativo, avançando para a existência de uma legislação agrária, passando nos últimos vinte e cinco anos para o surgimento de normas específicas de tutela do meio ambiente.”

Guilhardes de Jesus Júnior em “Contribuição do Movimento Ambientalista Para o Desenvolvimento da Legislação Brasileira do Meio Ambiente”.

Conceitos

O principal conceito que devemos absorver é a própria definição de erosão: erosão é um processo de desagregação, transporte e deposição (sedimentação) de partículas de solo. Assim, para impedir ou desacelerar o processo erosivo temos que evitar a desagregação das partículas de solo ou o seu transporte.

A alteração das propriedades físico-químicas do solo para que as suas partículas não se desagreguem já é conhecido e utilizado na engenharia tradicional, principalmente para a construção de estradas, num processo conhecido como imprimação, através da aplicação de polímeros, copolímeros e resinas que servem para impermeabilizar e melhorar a coesão do solo. Entretanto, para o tratamento de grandes áreas este processo é caro e é incompatível com o desenvolvimento da vegetação e demais benefícios ambientais pretendidos. Dessa maneira, resta-nos somente o manejo das partículas de solo como solução economicamente viável para o problema da erosão. A ideia é possibilitar a drenagem da água dos locais em intervenção, não permitindo ou reduzindo a movimentação das partículas de solo. Quer dizer, se não houver transporte de partículas de solo não haverá erosão. No entanto, para conseguir fazê-lo é importante conhecer os caminhos que a água percorre ao longo do talude ou encosta e instalar revestimentos ou barreiras que permitam a passagem da água e retenham os sedimentos. Este procedimento nos possibilita projetar e executar obras, minimizando as alterações de geometria dos taludes e encostas, reduzindo a necessidade de utilização de equipamentos pesados e menor distúrbio ao solo durante estas intervenções. Além do mais, os materiais utilizados em associação com a vegetação são geralmente muito leves e não requerem a abertura de caminhos de acesso para seu transporte e instalação. Estes são os fatores mais importantes para a redução de custos nos projetos onde as técnicas de bioengenharia de solo são aplicáveis.

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

“...devido ao seu baixo custo e a requerimentos técnicos relativamente simples para instalação e manutenção e aos benefícios paisagísticos e ambientais, estas operações encontram um amplo campo de aplicação nas zonas tropicais, já que nestas as condições favoráveis ao desenvolvimento da vegetação ocorrem durante quase todo o ano”. (Golfari e Caser, 1977).

“Em locais de difícil acesso ou inacessível á maquinaria, as técnicas de bioengenharia são frequentemente a única alternativa técnica viável para execução de obras de proteção de taludes e controle da erosão”. (Coelho, 2004).



Foto 1: Descomissionamento de mina: tratamento de encostas com as técnicas de Bioengenharia de Solos.

A definição moderna de bioengenharia de solos é a integração de elementos inertes e vivos em obras de proteção e recuperação do solo. Como elementos vivos também são considerados os micro-organismos, principalmente aqueles que se relacionam diretamente com a vegetação ou alteram as qualidades físico-químicas do solo. Uma discussão de grande interesse nos meios acadêmicos é sobre o verdadeiro papel de cada uma das substâncias orgânicas que promovem modificações na qualidade do solo, tais como as mucilagens produzidas pelas plantas, exudatos de micro-organismos (em especial a *Glomalina*) e os ácidos húmicos e fúlvicos oriundos da degradação da matéria orgânica.

Sob um enfoque estritamente técnico, a utilização da vegetação para o reforço e proteção do solo torna-se problemática ao ser considerada panaceia por muitos planejadores e executores. Estes não consideram aspectos técnicos importantes como a introdução de

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

espécies hostis ao ambiente e a disseminação de pragas e doenças, seja pela própria vegetação ou pela microbiota a ela associada. Ressalte-se ainda o fato de existirem efeitos negativos da vegetação sobre a estabilidade do solo e estes são frequentemente ignorados. Assim, o planejamento da intervenção deve ser multidisciplinar e deve considerar os vários aspectos do meio físico tais como a geotecnia, pedologia, hidrologia superficial e subterrânea e do meio biótico tais como a fisiologia vegetal e a ecologia, dentre outros.

A grande limitação técnica é justamente o fato de trabalharmos com o elemento vivo, já que estes podem não nascer ou morrer. Assim, como artifício de engenharia para a utilização da vegetação como elemento de projeto, devemos utilizar produtos temporários ou degradáveis, que garantam as condições estabelecidas em projeto para a proteção do solo, até o completo desenvolvimento da vegetação. Para cumprir com este requerimento, geralmente são utilizadas biomantas e biorretentores de sedimentos fabricados com fibras vegetais. Além disso, deve-se estabelecer um período de monitoramento para verificação do completo desenvolvimento da vegetação e atendimento das condições preconizadas no projeto. Nas nossas condições tropicais este prazo é geralmente de dois períodos chuvosos (1 a 2 anos) subsequentes ao término da intervenção.

➤ Classificação das erosões:

- **Erosão splash (splash)**
- **Erosão laminar (sheet flow)**
- **Erosão em sulco (rill)**
- **Voçoroca ou boçoroca (gully)**
- **Erosão em margens de corpos d'água (streambank)**
- **Erosão Costeira (shoreline)**
- **Erosão Eólica (wind)**

➤ Quantificação das erosões:

- **$A = R . K . LS . C . P$ (RUSLE)**
 - A = perda de solos computada por área para um intervalo de tempo
 - R = fator climático (precipitação / intensidade)
 - K = fator erodibilidade do solo (frações silt, areia, argila e sua granulometria, além da fração orgânica)
 - LS = fator topográfico (comprimento e declividade)
 - C = fator recobrimento
 - P = fator práticas conservacionistas
- **WEPP** projeto de predição da erosão hídrica.

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas

Dos principais efeitos da vegetação sobre a estabilidade do solo, o único efeito que não tem “contra-indicações” é o **aumento da coesão do solo pelas raízes** o que leva ao aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Todos os demais efeitos da vegetação na estabilidade dos solos, apresentados abaixo, deverão ser considerados e tecnicamente analisados por sua possível influência negativa sobre a estabilidade e sua interação com os demais efeitos ora potencializando ou anulando sua ação. Para fins didáticos, estes são aqui analisados isoladamente, a saber:

Efeitos físicos:

- **Ancoragem do solo pelo sistema radicular** - implica na transferência dos esforços das camadas superiores do perfil do solo para camadas inferiores através das raízes. Geralmente, quanto mais profunda está a camada, mais resistente é o solo e neste caso a vegetação exerce importante papel na estabilidade das camadas mais superficiais. Entretanto, por razões geológicas ou construtivas, excepcionalmente podemos nos deparar com solos de boa resistência na superfície que sobrepõem camadas de menor resistência. Neste caso, comum aos taludes construídos por reaterro compactado (por exemplo), a transferência dos esforços de uma região de grande resistência ao cisalhamento para outra de menor resistência pode gerar as condições para a ruptura;
- A **sobrecarga** pontual representada por espécies de grande porte é um efeito que deve ser considerado nos estudos geotécnicos, a exemplo do que faz a maioria dos softwares para este fim, estabelecendo valores para os esforços gravitacionais (peso da árvore) e também para os esforços rotacionais em função da força exercida pelo vento sobre a copa das árvores;
- A **penetração radicular** promove esforços que podem ser importantes, ocasionalmente, dependendo da estrutura do solo, da velocidade de crescimento das raízes e de seu diâmetro;

Efeitos hidrológicos:

- A **depleção da umidade** do solo pela vegetação reduz significativamente a componente de esforços gravitacionais. Por outro lado, alguns dos solos argilosos, de grande plasticidade, dependem de uma quantidade mínima de umidade para manter sua coesão. Assim, nestas condições, a presença da vegetação ao secar o solo, pode acelerar o seu processo de fratura;
- A **interceptação da chuva** também contribui para reduzir o volume de água que escoia superficialmente e reduz o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, que em solos desnudos / degradados promovem o chamado Efeito *Splash* ou de salpicamento. Em florestas densas até 30% da água da chuva pode ficar retida no dossel. Por outro lado, existe o processo de condensação das gotas nas folhas e o impacto destas gotas maiores, em alturas superiores a um metro, promovem mais danos do que as gotas menores que caem diretamente da atmosfera;

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

- O **retardamento do escoamento superficial**, resultante da maior rugosidade hidráulica da vegetação, resulta em menor tensão de arraste da água no solo. Por outro lado, se a vegetação tiver baixa densidade de ocupação efetiva do solo, estes esforços poderão resultar em distúrbio dos fluxos superficiais (turbilhões), promovendo zonas de alta pressão à montante, de alta velocidade entre os indivíduos e de baixa pressão ou vórtices à jusante, que resultam em maior desagregação e deslocamento das partículas do solo;
- O **aumento da infiltração** reduz o volume do escoamento superficial com a consequente redução da tensão de arraste; por outro lado, nos leva a uma maior resultante dos esforços gravitacionais atuantes no talude ou encosta bem como a redução do ângulo de atrito aparente ao “lubrificar” as partículas de solo criando condições para os escorregamentos. Além disto, a infiltração excessiva pode promover a saturação do solo, gerando novas tensões geradas pela poro-pressão;
- O **aumento da drenagem sub-superficial** e possível formação de *pipings*, que são erosões subsuperficiais de difícil detecção e tratamento. Este efeito é especialmente importante para análise do potencial aumento de erosão subsuperficial em projetos de construção de linhas de dutos e obras de infraestrutura subsuperficiais tais como redes de esgoto e de drenagem pluvial, infovias, redes de abastecimento de água e redes subterrâneas de telefonia e energia;

Efeitos biológicos:

- O **sombreamento do estrato herbáceo** por espécies mais altas e a presença de espécies que possuem **propriedades alelopáticas** podem resultar em porções de solos desnudas e com maior susceptibilidade á erosão;
- O aumento da densidade da vegetação e a forte adubação utilizada na intervenção com a consequente melhoria na sua carga nutricional, geralmente representa um atrativo para a fauna. O **intemperismo biológico** deve ser analisado de acordo com a presença da fauna local, já que ninhos e caminhos de fuga feitos no solo por animais como tatus, coelhos, cobras, formigas, vespas e outros, podem acelerar o transporte de água com maior volume para camadas mais profundas do perfil do solo. A presença de animais de pastoreio na área em intervenção leva à necessidade de cercamento da área, nos estágios iniciais da intervenção;
- Efeito similar ocorre com a morte de espécies que possuem raízes de grande diâmetro ou grande densidade de raízes, já que as **raízes senescentes** funcionam como uma tubulação que altera significativamente a dinâmica da água no subsolo. Além disso, a queda de árvores de grande porte geralmente produz grandes concavidades que possuem alta capacidade de captação de água e cujo impacto é de solução muito mais complexa do que aquele produzido por uma concavidade erosiva de mesmo volume.

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

Materiais utilizados

Na bioengenharia busca-se utilizar materiais disponíveis no local de intervenção tais como o solo do próprio local, madeira, pedras e estes em associação com a vegetação (sementes, mudas e estacas vivas) e outros materiais para melhorar aspectos estruturais ou para garantir as condições estabelecidas do projeto até o total desenvolvimento da vegetação. São eles:

- Produtos em Rolo para Controle de Erosão – PRCE's
 - Biomantas antierosivas
 - TRM's – geomantas ou mantas de reforço para gramados (*Turf Reinforcement Mats*)



Foto 2: Biomantas Antierosivas.

- Produtos Hidraulicamente Aplicados para Controle de Erosão
 - Mulch Hidráulico
 - Hidrossemeadura
 - Polímeros
 - BFM's – matrizes de fibras coladas (*Bonded Fiber Matrix*)
- Biorretentores de Sedimentos



Foto 3: Biorretentores de Sedimentos

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

- Sistemas de Confinamento Celular
 - Geocélulas
 - Colchão Celular
 - Engradamento



Foto 4: Geocélula

- Geossintéticos
 - Geotexteis (tecidos / não-tecidos)
 - Geomembranas
 - Geogrelhas
 - Geotubos
 - Geocompostos
- Diversos (adesivos / aditivos - catalisadores / materiais de fixação / nutrientes – fertilizantes / etc.)

Técnicas

Existe um conjunto muito grande de técnicas estruturais e vegetativas utilizadas em bioengenharia de solos. Destas, quase todas são conhecidas da engenharia tradicional, civil ou agrônômica, embora a finalidade de sua utilização seja diferente: independente da utilização ser estrutural ou não, eles sempre deverão gerar as condições para a recuperação ambiental. Ou seja, não há preocupação em construir estruturas definitivas ou colher o que se vai plantar.

“As técnicas de bioengenharia de solos podem ser classificadas como **trabalho-técnico intensivas** em oposição às técnicas tradicionais, predominantemente energético-capital intensivas.”

D. H. Gray, 1982.

Técnicas vegetativas:

- Semeio manual

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

- Hidrosemeadura
- Mulching
- Instalação de biomantas
- Barreiras vivas

Técnicas estruturais:

- Instalação de bioretentores
- Paliçadas
- Rip rap
- Solo reforçado (crib wall / reaterro compactado)
- Solo envelopado
- Solo grampeado verde
- Grampeado verde (“Green Nailing”)
- Gabiões e outros muros de gravidade

Utilização:

- Taludes
- Corpos d’água
- Áreas degradadas
- Drenagens

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS RECOMENDADAS PELO AUTOR

A bibliografia abaixo é recomendada para abordagem geral do tema e obtenção de novas referências nos próprios livros:

- Alvarado, Virginia y Amador, M. Auxiliadora Plantas Nativas para el Control de la Erosión. Editorial Tecnologica de Costa Rica, 2018.
- Díaz, Jaime Suárez Control de Erosión en Zonas Tropicales, 555p – Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2001.
- García-Chevesich, Pablo A. Procesos y Control de La Erosión. The University of Arizona, 2008.
- Gray, D.H. e Sotir, R.B. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control, 378p - Nova York: John Wiley & Sons, 1996.
- Guerra, Antonio et al Gestão Ambiental de Áreas Degradadas, 320p – Bertrand Brasil, 2005.
- McHarg, I.L. Design With Nature. John Wiley & Sons, 1992.
- Morgan, R. Soil Erosion and Conservation, 304p – Crainfield University, Blackwell Science Ltd. Oxford, UK, 2005.
- Pereira, Aloísio* Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão, 2ª Edição – Editora FAPI, 2006.
- Rodriguez, Oscar S. Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable, 469p – Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2010.
- Schiechtl, Hugo Bioengineering for Land Reclamation and Conservation, 400p – University of Alberta Press, 1980.

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

- Schor, H.J. and Gray, D.H. Landforming: An environmental approach to hillside development, mine reclamation and watershed restoration, 354p - Nova York: John Wiley & Sons, 2007.

RELAÇÃO DE SITES DE INTERESSE:

www.vetiver.org

www.ieca.org

www.epa.gov

www.landandwater.com

www.watchyourdirt.com

www.ectc.org

www.mma.gov.br

www.geosynthetica.net

www.hydroseeding.org

www.geosyntheticssociety.org

www.teses.usp.br

www.iengenharia.org.br/videos/#

NORMAS E ENSAIOS:

Controle de Erosão

ASTM D 6459 - Large-scale slope testing

ASTM D 6460 - Large-scale channel testing

ASTM D 7101 - Bench-scale slope rainsplash and runoff testing

ASTM D 7207 - Bench-scale channel shear testing

ASTM D 7322 - Bench-scale germination enhancement testing

Controle de Sedimentos

ASTM D 6461 - Silt Fence Materials Spec

ASTM D 6462 - Silt Fence Installation Guide

ASTM D 5141 - Bench-scale Silt Fence (and other sediment retention device) Testing for Filtration Efficiency and Flow Rate

ASTM D 7208 - Large-scale Check Structure Testing

ASTM D 7351 - Large-scale Sediment Retention Device Testing under Sheet Flow Conditions

Normas 071 a 077 de julho de 2006 DNIT www.dnit.org

DNIT 071 / 2006 – ES Tratamento ambiental de áreas planas ou de pouca declividade por vegetação herbácea;

DNIT 072 / 2006 – ES Tratamento ambiental de áreas íngremes ou de difícil acesso por vegetação herbácea;

DNIT 073 / 2006 – ES Tratamento ambiental de áreas planas ou de pouca declividade por vegetação arbórea e arbustiva;

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br

DNIT 074 / 2006 – ES Tratamento ambiental de taludes e encostas por meio de dispositivos de controle de processos erosivos;

DNIT 075 / 2006 – ES Tratamento ambiental de taludes com solos inconsistentes;

DNIT 076 / 2006 – ES Tratamento ambiental acústico de áreas lindeiras da faixa de domínio;

DNIT 077 / 2006 – ES Cerca viva ou de tela para a proteção da fauna.

* Eng. Civil Luiz Lucena, formado em 1982 pela Universidade FUMEC, certificado internacionalmente em controle de erosão e sedimentos (CPESC), certificado em sistema Vetiver pela Rede Internacional do Vetiver (TVNI), diretor da OPER Engenharia, diretor para o Brasil da IECA - Associação Internacional de Controle de Erosão e Sedimentos, membro da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, trabalha há mais de 20 anos em estabilização, recuperação ambiental e Bioengenharia de Solos. lucena@operengenharia.com.br