

Modelo de avaliação de obras de contenção de pequenos movimentos de massa

Evaluation model of reinforcement structures of Small mass movement

Gustavo Antonio Piazza*

Glaucia Gebien*

Marilha Ortiz*

Bruna Grosch*

Leandro Mazzuco Aguida*

Maria Luiza Fausto*

Thiago Caique Alves*

Laio Zimmermann de Oliveira*

Neli Branco de Miranda*

Juarês José Aumond**

Lucia Sevegnani**

**Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-SC, Brasil.*

***Docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau-SC, Brasil.*

Recebido em 16.05.2014

Aceito em 03.03.2015

ARTIGO - VARIA

RESUMO

Movimentos de massa podem ser resultantes de eventos de precipitação elevada e de políticas inadequadas de uso do solo. Este estudo teve como objetivo diagnosticar o desempenho de uma obra de estabilização em uma encosta que sofreu movimentação de massa no evento meteorológico do Vale do Itajaí, em 2008, e propor um método simples de avaliação de pequenas obras de contenção. A área de estudo está localizada na BR-470 – km 45, próxima à divisa do município de Gaspar e Blumenau, em Santa Catarina. Foram realizados ensaios para determinação da taxa de infiltração e umidade do solo, além de um levantamento da composição florística e da declividade da encosta. Verificou-se que o movimento de massa não foi totalmente estabilizado e que o sistema ainda encontra-se comprometido. A utilização do muro gabião e demais medidas de geotecnia e recuperação ambiental não foram suficientes e eficazes para a estabili-

zação da encosta. Para uma maior eficácia sugere-se: o taludamento da encosta; adensamento do solo; plantio de vegetação adequada (sucessão ecológica); e implantação de um sistema de drenagem abrangente.

Palavras-chave: Deslizamentos. Geotecnia. Muro gabião. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Mass movements can be the result of elevated precipitation events and inadequate policies of land use. This study aims at diagnosing the performance of a hillside stabilization structure that suffered a landslide in the meteorological event at the Itajaí Valley in 2008, and to propose a simple method for evaluating reinforcement structures of small mass movement. The study area is located at BR-470 – km 45, near to the city limit of Gaspar and Blumenau, in Santa Catarina, South Brazil. Tests were performed to determine the infiltration rate and soil moisture, as well as a survey of the floristic composition and slope. The mass movement still takes place and the stabilization structure is compromised. The use of gabion wall and other geotechnical techniques for environmental recovery were insufficient to provide the hillside stabilization. To a greater efficiency we suggest: slope reduction; soil compaction; suitable planting species (ecologic succession); and implementation of a comprehensive drainage system.

Keywords: Landslides. Geotechnics. Gabion wall. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Movimento de massa é um fenômeno (de ordem geológica) que pode ser desencadeado por condições meteorológicas extremas, onde um material inconsolidado move-se encosta abaixo sob a ação da força da gravidade. Quedas/tombamento (falls), escorregamentos (com ruptura circular, planar ou em forma de cunha), corridas de massa (de solo ou detritos) e escoamento/rastejo (creep) são formas que esses movimentos ocorrem. Tais fenômenos são observados em diversas condições geomorfológicas e climáticas em diversas partes do globo. A falta de políticas adequadas de uso e ocupação do solo permite que muitas áreas vulneráveis a movimentos de massa sejam povoadas. Esses equívocos resultam em mortes, famílias desabrigadas, bilhões em perdas monetárias e prejuízos ao meio ambiente (AUGUSTO FILHO; ALHEIROS, 1997; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2011; AUMOND; BACCA, 2012).

Alguns fenômenos meteorológicos, como as precipitações prolongadas e as precipitações intensas de curta duração, propiciam a ocorrência de movimentos de massa. Encostas situadas na Serra do Mar são vulneráveis a tais fenômenos, pois, geralmente, encontram-se sem cobertura florestal e/ou com solo exposto, além de não possuírem estruturas de apoio à estabilização (ou quando existentes não satisfazem o propósito). A ocupação inadequada do solo é outro fator que compromete a estabilização física das encostas. Com efeito, muitas cidades brasileiras apresentam um histórico de ocorrência de movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1995; AUMOND; SEVEGNANI, 2009). Mesmo os pequenos deslizamentos podem causar enormes transtornos, principalmente em áreas urbanas – o bloqueio de vias de circulação e o soterramento de casas e veículos causam prejuízos tanto nas esferas sociais, como nas econômicas (SIEBERT, 2012).

O Vale do Itajaí, situado no centro – norte do Estado de Santa Catarina (Brasil), é formado por um conjunto de municípios integrantes da bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Açu. Essa bacia é a maior da vertente atlântica do Estado (16,5% da área territorial). Devido às características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e climáticas da bacia, é comum ocorrer fenômenos

de enchentes¹. Vale citar o exemplo do município de Blumenau, fundado no ano de 1850; que no ano de 1852 já registrava uma enchente que atingiu a cota de 16,3 m acima do nível normal do Rio Itajaí-Açu. Situação semelhante a essa ocorreu em anos posteriores (1862 e 1868). Desde 1850 até 2008, Blumenau e os municípios vizinhos sofreram 83 enchentes, cujo nível do Rio Itajaí-Açu oscilou de 8,0 m até 15,0 m acima do nível normal (DEFESA CIVIL BLUMENAU *et al.*, 2012). Em novembro de 2008, um desastre ambiental ocorreu no Vale do Itajaí, pois além dos habituais transtornos causados pela cheia do rio, esse evento foi marcado por um grande número de movimentos de massa em áreas habitadas e que margeiam rodovias (AUMOND; SEVEGNANI, 2009).

A engenharia civil desenvolveu diversas técnicas para conter ou prevenir os movimentos de massa. Uma das estruturas mais utilizadas são os muros de contenção, entre eles os “muros de gabião”. Essa técnica de contenção, por ser prática e de fácil instalação, foi amplamente utilizada para a estabilização de encostas após o evento de 2008 no Vale do Itajaí. Os muros gabiões são construídos com diversos materiais e visam suportar permanentemente (através de seu próprio peso) uma massa de solo (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2011). Eles são destinados à solução de problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle da erosão (COSTA, 2010), e são utilizados preferencialmente para pequenas contenções (IPT, 1991).

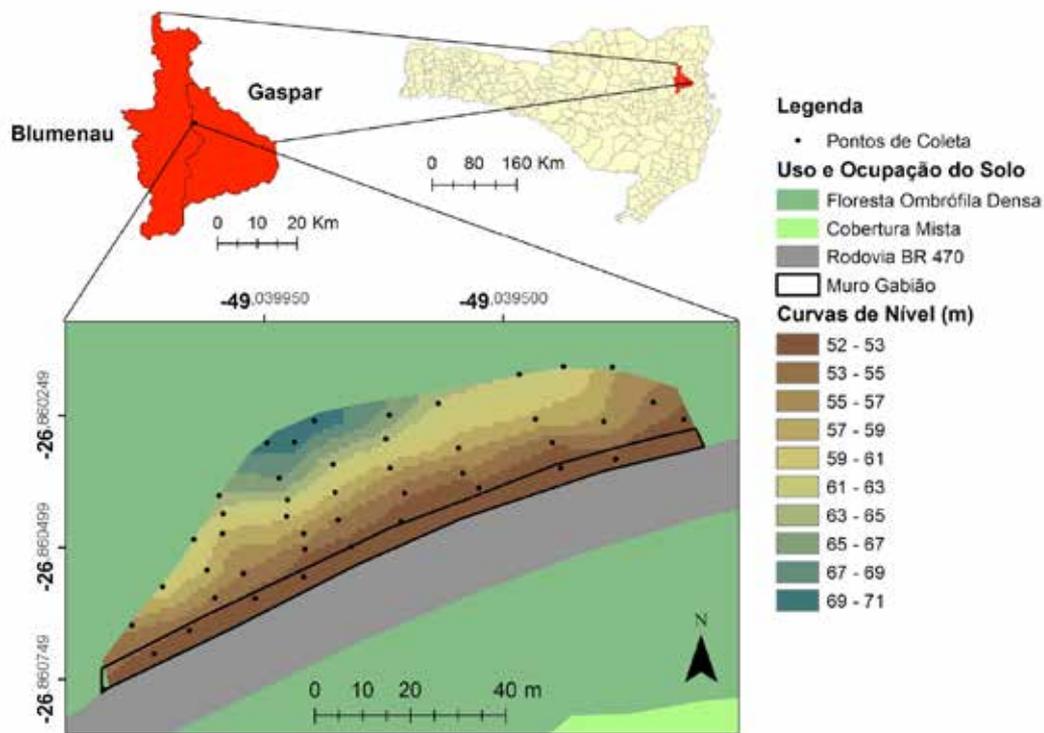
Essas estratégias tecnológicas, quando mal utilizadas, deixam resultados a desejar porque atuam no efeito e não na causa do problema; por isso, grande parte dessas obras de recuperação não garante a sustentabilidade do sistema (AUMOND, 2007). Essas obras tradicionais são, geralmente, simplistas e reducionistas, e carecem de abordagens sistêmicas e integradoras, como os modelos propostos por Christofolletti (1999), O'Connor (1997), Griffith e Toy (2005) e Aumond (2007). A abordagem sistêmica (O'CONNOR, 1997; GRIFFITH; TOY, 2005) consiste na identificação de variáveis relevantes e possíveis interações entre elas, assim como a estrutura hierárquica dos componentes através de uma matriz de correlação (AUMOND, 2007). A partir da matriz, círculos de causalidade (que auxiliam na modelagem de processos de recuperação) podem ser construídos. Assim, a relação de causalidade e retroalimentação entre as variáveis tornam-se visualizáveis (GRIFFITH; TOY, 2005). Essa forma de modelagem auxilia o entendimento das variáveis de um dado sistema debilitado, pois estas seguem geralmente padrões circulares e não modelos lineares (ODUM, 1988).

Diante desse contexto, o presente estudo tem três objetivos: (i) avaliar a atual situação e a eficácia de uma obra de estabilização de uma encosta que sofreu um movimento de massa durante o evento de 2008 à margem da BR-470, km 45, no município de Gaspar (Santa Catarina); (ii) propor uma metodologia simples para avaliar a eficácia de obras de contenção de pequenos movimentos de massa; (iii) apontar ações (ou medidas) que deveriam ter sido observadas durante a fase de construção da obra de contenção estudada.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no km 45 da rodovia federal catarinense BR-470, próxima à divisa dos municípios de Gaspar e Blumenau (Figura 1). A área do muro gabião é de 2.770 m², com 125 m de comprimento.

Figura 1. Localização da área de estudo – Rodovia BR-470, km 45, Gaspar – Santa Catarina, Brasil.



A precipitação média anual da região é de 1.500 mm, havendo anos com valores em torno de 2.000 mm, como o ano de 2008, com 2.008 mm, dos quais 550 mm precipitaram em dois dias (SEVERO, 2009). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006), é do tipo Cfa – clima temperado úmido com verão quente (temperatura média maior que 22°C) e estação seca inexistente.

Os tipos de solo predominantes na região são Argissolo², Cambissolo³ e Neossolo⁴ (CIRAM, 2002; EMBRAPA, 2009). Na área de estudo ocorre um Argissolo, resultante da alteração das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina⁵, formado por granitos leucos a mesocráticos⁶.

O relevo da região do Vale do Itajaí é acidentado e caracterizado por serras e vales (SANTA CATARINA, 1986; SCHEIBE, 1986). A área de estudo apresenta declividade acentuada devido ao corte realizado para implantação da rodovia, que, após um período de fortes chuvas, resultou no escorregamento da encosta.

O Vale do Itajaí, segundo o mapa fitogeográfico de Santa Catarina (KLEIN, 1978) está inserido na região fitoecológica da Floresta Ombrófila Densa⁷ (IBGE, 2012), também definida como Floresta Latifoliada Pluvial (OLIVEIRA-FILHO, 2009). A vegetação do entorno da área de estudo pode ser caracterizada como um mosaico de formações florestais em diferentes estágios de sucessão secundária (SIMINSKI, 2009); na área de estudo a vegetação encontra-se em estágio inicial de sucessão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o desempenho da obra de estabilização foi determinada a declividade da área, a cobertura vegetal, a taxa de infiltração e a umidade do solo. Esses parâmetros foram adotados, pois a medição destes não requer equipamentos sofisticados e não demandam quantidades elevadas de tempo. Para a coleta das informações foi necessária uma equipe de oito pessoas, formada por biólogos, engenheiros ambientais, engenheiro florestal, geólogo e hidrólogo.

Para a elaboração do mapa de declividade da encosta foram coletados 45 pontos através do *Global Positioning System (GPS) Garmin GPSMAP 76CSX*. Posteriormente, os pontos foram importados para um Sistema de Informação Geográfica⁸ (SIG). Nos pontos foram recolhidas informações gerais: coordenadas geográficas e altitude. O mapa temático foi gerado através do programa ArcGIS 10, através das ferramentas Triangular Irregular Network (TIN – modelo irregular de terreno) e Slope (declividade).

A cobertura vegetal (florística) foi levantada através do método de caminhamento (FILGUEIRAS *et al.*, 1994; WALTER; GUARINO, 2006), contemplando toda a área de estudo; foram registradas todas as espécies lenhosas presentes. A coleta de material botânico foi feita em todas as plantas que não foram identificadas no campo. Estas foram identificadas mediante comparações à coleção do herbário Dr. Roberto Miguel Klein da Fundação Universidade Regional de Blumenau (Furb).

Para avaliar a capacidade de infiltração de água no solo aplicou-se o teste de infiltração com auxílio de cilindros concêntricos, conforme Forysthe (1975). Inicialmente foram feitas leituras da quantidade de água infiltrada em intervalos de um minuto e, em seguida, com o solo saturado, em intervalos de cinco e dez minutos, até completar duas horas de ensaio. Para isso, foi utilizada uma régua fixada à parte inferior do cilindro interno, a qual serviu como referência para a medição.

Os ensaios de umidade superficial do solo foram realizados a partir da coleta de uma amostra de solo com frascos de alumínio em cinco locais, sendo dois deles nas extremidades inferiores (próximo ao muro gabião), dois na porção intermediária da encosta, um no canto direito, um no esquerdo e um na parte central superior. Outras duas coletas de apoio foram realizadas no local do ensaio de infiltração (antes e depois do ensaio). Após a coleta, o frasco de alumínio foi coberto com um papel filme para preservação da umidade das amostras. As amostras foram analisadas em laboratório, logo após a coleta de campo. A determinação da umidade foi feita a partir da pesagem dos frascos antes e depois da secagem do material em um forno mufla.

Com base nos dados levantados em campo construiu-se uma matriz de correlação (AUMOND, 2007) baseada no pensamento sistêmico (O'CONNOR, 1997; GRIFFITH; TOY, 2005). Áreas perturbadas e (ou) degradadas apresentam um baixo nível de organização, ou seja, existem poucas interações entre seus componentes; além desses aspectos, os ciclos biogeoquímicos são simplificados, com poucos componentes (AUMOND, 2007; TROPPEMAIR, 2006; VIVAN, 1998), sendo facilmente identificáveis. Partindo desse princípio, oito variáveis foram escolhidas de acordo com sua representatividade no sistema; os pesos das interações entre cada variável foram determinados de forma empírica, baseados na observação do sistema, fundamentando-se nos processos físicos e biológicos descritos na literatura. As variáveis consideradas foram: (i) declividade, (ii) erosão (superficial e escorregamento), (iii) umidade, (iv) cobertura do solo (gramíneas ou arbustiva-arbóreas), (v) escoamento superficial, (vi) compactação do solo, (vii) infiltração da água e (viii) peso da encosta. A intensidade das relações entre as variáveis foram classificadas em uma de quatro categorias hierárquicas:

- i) 0 = intensidade nula;
- ii) 1 = intensidade fraca;
- iii) 2 = intensidade moderada;
- iv) 3 = intensidade forte.

Após a construção da matriz foram elaborados círculos de causalidade, os quais ajudam a modelar processos de recuperação ambiental, que são a principal ferramenta do pensamento sistêmico (GRIFFITH; TOY, 2005; AUMOND, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de estabelecer um marco inicial, informações sobre a obra de contenção foram preliminarmente discutidas. A obra de contenção da encosta que sofreu movimento de massa no evento meteorológico de 2008 teve início logo após a ocorrência do evento e foi finalizada no ano de 2009 (Figura 2A). Na data da visita (dezembro de 2012), a obra já apresentava rachaduras e fissuras, deficiências no sistema de drenagem e indícios de ocorrência de movimento de massa circular. Os movimentos circulares (rotacionais) são movimentos de massa nos quais a superfície de ruptura possui uma forma côncava voltada para cima e para fora (AUMOND, 2007). Esses movimentos são muito comuns na Serra do Mar devido à topografia, presença de solos profundos e chuvas intensas e prolongadas, como as que ocorreram em novembro de 2008 no Vale do Itajaí (AUMOND; SEVEGNANI, 2009; AUMOND; BACCA, 2012).

Para a contenção do movimento de massa foi utilizada a técnica de muro gabião que, apesar de ser uma opção válida, não se mostrou adequada para o caso do km 45 da BR-470, devido à altura e ao comprimento da área desestabilizada. De acordo com Aumond e Sevegnani (2009), os muros gabiões são adequados para pequenos cortes, logo, não condizem com a situação da área de estudo. Uma técnica apropriada para a área estudada seria o taludamento, que consiste na construção de degraus na encosta a fim de diminuir a declividade e, conseqüentemente, processos erosivos e de infiltração de água.

Figura 2. Encosta após a obra de estabilização finalizada no ano de 2009 (A) e na data da visita de campo no final do ano de 2012 (B).





O plantio de espécies arbóreas (*Inga marginata* Willd., *Psidium cattleianum* Sabine, *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Syzygium cuminii* L.) na fase inicial da estabilização (Figura 2A) não foi adequado, pois os sistemas radiculares das árvores tendem a favorecer a infiltração de água no solo, aumentando a umidade e o peso da encosta (desfavoráveis à estabilidade física). Árvores só deveriam ser plantadas quando a estabilização física da encosta fosse alcançada (KAGEYAMA; CASTRO, 1989; DUARTE; BUENO, 2006). Ou seja, deve-se considerar o aumento da biomassa da vegetação sobre a encosta com o passar do tempo, o qual deve ser evitado nos anos iniciais de estabilização. Por esses motivos, o plantio de espécies arbóreas não é recomendado. De acordo com Martins (2012), a sucessão ecológica deve ser respeitada para uma recuperação ambiental bem-sucedida. Em contrapartida, o plantio de gramíneas (*Zoysia japonica* Steud) foi adequado, porém, deve ser precedido de um adensamento (compactação) do substrato para a diminuição da erosão e infiltração, facilitando o escoamento superficial das águas pluviais até as calhas de drenagem.

A encosta, passados três anos da obra de estabilização, não apresenta indícios de estabilização física, e ainda existem evidências de movimentos de massa. Outra evidência dessas movimentações é o acúmulo de solo e sedimentos sobre a calha de drenagem e sobre o muro gabião. Além disso, a estrutura das calhas de drenagem encontra-se deslocada de sua posição original e com rachaduras, deformações e fendas (espaços vazios entre as calhas e o solo), tanto na calha da parte superior (da encosta) quanto na inferior. Essas fendas contribuem para processos de infiltração de águas pluviais no sistema, impedindo que o escoamento superficial chegue até a calha de drenagem, dificultando o processo de estabilização da encosta. Highland e Bobrowsky (2011) ressaltam a importância de uma drenagem superficial eficiente, principalmente no topo do deslizamento, fato que não foi observado na obra avaliada.

Outras evidências de movimento de massa foram observadas na porção superior e inferior da encosta. Árvores inclinadas e desaprumadas (por efeito de fototropia) são indicadores de movimento de massa do tipo rastejo (creep), e podem significar que a estabilização da encosta não foi alcançada (AUMOND, 2007). Rastejo é um movimento de massa muito lento, com movimento maior na superfície, diminuindo em profundidade, podendo ser constante, sazonal ou

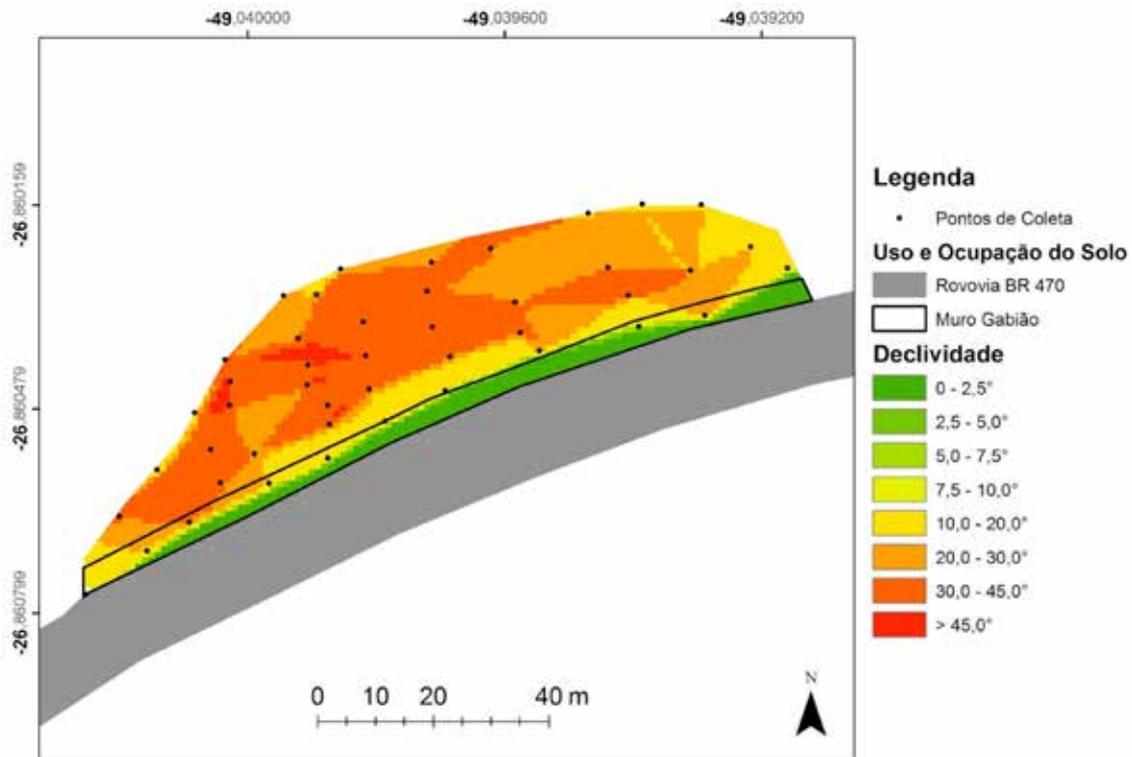
intermitente. Sabe-se, que a infiltração da água e as variações na temperatura aceleram esse processo (SILVA, 2006).

Medidas de proteção de encostas visam evitar movimentos de massa, porém as estratégias e as técnicas utilizadas na área estudada mostraram-se ineficientes.

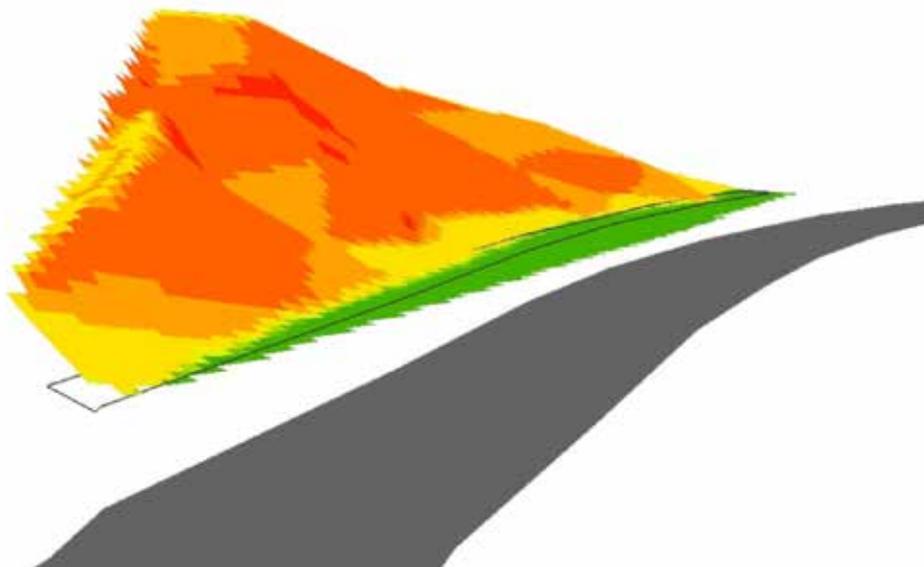
DECLIVIDADE DA ENCOSTA

A partir das informações coletadas pelo GPS, gerou-se o mapa de declividade da encosta (Figura 3). A declividade média da encosta variou entre 20° e 30°. Na parte inferior (sobre o muro gabião, a 4 m de altura da rodovia) a declividade da encosta é baixa, variando entre dois a cinco graus. Na parte superior (acima da calha de drenagem) a encosta apresenta declividade acentuada, ultrapassando 45° em alguns pontos. A mobilização da encosta e alteração da morfologia pode ser motivada por chuvas intensas (CASTRO *et al.*, 2012). Por efeito desses eventos, a declividade do terreno tende a acentuar-se em consequência de desestabilizações e processos erosivos.

Figura 3. (A) Mapa de declividade da área; e (B) visualização tridimensional.



(A)



(B)

COBERTURA VEGETAL

Foram levantadas 43 espécies, sendo 30 identificadas ao nível de espécie, 11 no genérico e duas até família. As 43 espécies estão distribuídas em 17 famílias (Tabela 1).

As famílias com maior riqueza de espécies foram Asteraceae (17), Melastomataceae (6), Fabaceae (3), Myrtaceae (3) e Piperaceae (2). As demais famílias apresentaram uma única espécie. O gênero com maior riqueza foi *Baccharis* com seis espécies, seguido de *Austroeupatorium*, *Miconia*, *Psidium* e *Piper*, cada um com duas espécies.

O padrão florístico encontrado na encosta confere com os observados por outros autores para estágios iniciais de sucessão na Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina. Klein (1980) estudou a sucessão secundária no Vale do Itajaí e citou espécies do gênero *Baccharis* e as espécies *Tibouchina urvilleana* (DC.) Cogn., *Myrsine coriacea* (Sw.) R. Br. e *Citharexylum myrianthum* Cham. como protagonistas da ocupação inicial de ambientes perturbados. A Resolução 04/1994 do Conama, a qual define estágios sucessionais no Estado de Santa Catarina, assim como o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), citam espécies do gênero *Baccharis* e *Solanum* como sendo comuns nesse estágio de sucessão.

Os gêneros *Miconia*, *Leandra*, *Tibouchina* e *Solanum*, os quais foram observados na encosta, são mencionados por Tabarelli e Mantovani (1999) como sendo comuns nas formações pioneiras da Floresta Ombrófila Densa, corroborando a teoria da ocupação de espécies menos exigentes nos estágios iniciais de sucessão ecológica. Siminski (2009) também obteve resultados semelhantes a outros autores no que diz respeito a tendências de composição florística nesse estágio de sucessão para a Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina.

Observando o hábito das espécies levantadas, nota-se que 44,2% são arbustos, 20,9% árvores, 18,6% arvoretas, 14% subarbustos e 2,3% indeterminadas (por falta de identificação em nível de espécie). A distribuição das espécies em grupos ecológicos apresentou as seguintes proporções: 62,8% são pioneiras, 23,3% secundárias, 19% indeterminadas e 2,3% são climácicas. A

predominância de pioneiras é comum nos estágios iniciais de sucessão (KLEIN, 1980; FINEGAN, 1992, 1996; SIMINSKI et al., 2004; CHAZDON, 2008) e a presença e ingresso de espécies secundárias nas formações pioneiras observadas no presente levantamento também foi observado por Schorn (2005) o qual, de forma semelhante a este estudo, registrou espécies secundárias como *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naudin e *Hieronyma alchorneoides* Allemão em estágios iniciais de sucessão.

Tabela 1. Famílias e espécies de plantas levantadas na encosta da BR-470 (km 45) no município de Gaspar, SC, sendo: A = árvore; Arb = arbusto; Aro = feto arborescente; Arv = arvoreta; P = palmeira; S = subarbusto; Grupo Ecológico: P = pioneira; SE = secundária; C = climática.

Família/Espécie	Hábito	Grupo ecológico	Família/Espécie	Hábito	Grupo ecológico
ANACARDIACEAE			<i>Leandra australis</i>	S	P
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Arv	SE	<i>Miconia cinnamomifolia</i>	A	SE
ANNONACEAE			<i>Miconia</i> sp.	-	-
<i>Annona</i> sp.	Arv	SE	<i>Ossaea amygdaloides</i>	Arb	P
ASTERACEAE			<i>Tibouchina urvilleana</i>	Arv	P
Asteraceae 1	S	-	MELIACEAE		
Asteraceae 2	Arb	-	<i>Cedrela fissilis</i>	A	SE
<i>Austro eupatorium</i> sp. 1	Arb	P	MYRTACEAE		
<i>Austro eupatorium</i> sp. 2	Arb	P	<i>Syzygium cuminii</i>	A	SE
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Arb	P	<i>Psidium cattleianum</i>	Arb	P
<i>Baccharis microdonta</i>	Arb	P	<i>Psidium guajava</i>	Arv	P
<i>Baccharis semiserrata</i>	Arb	P	ONAGRACEAE		
<i>Baccharis</i> sp. 1	Arb	P	<i>Ludwigia sericea</i>	Arb	P
<i>Baccharis</i> sp. 2	Arb	P	PINACEAE		
<i>Baccharis</i> sp. 3	Arb	P	<i>Pinus</i> sp.	A	P
<i>Campovassouria cruciata</i>	Arb	P	PIPERACEAE		
<i>Chromolaena laevigata</i>	Arb	P	<i>Piper cernuum</i>	Arb	SE
<i>Chromolaena</i> sp.	Arb	P	<i>Piper gaudichaudianum</i>	Arb	SE
<i>Cyrtocymura scorpioides</i>	S	P	PHYLLANTHACEAE		
<i>Senecio brasiliensis</i>	S	P	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	A	SE
<i>Symphiopappus lymansmithii</i>	Arb	P	PRIMULACEAE		
<i>Vernonanthura tweediana</i>	S	P	<i>Myrsine coriacea</i>	Arv	P
EUPHORBIACEAE			RUBIACEAE		
<i>Alchornea glandulosa</i>	A	P	<i>Bathysa australis</i>	Arv	C
FABACEAE			SAPINDACEAE		
<i>Andira fraxinifolia</i>	A	P	<i>Allophylus edulis</i>	Arv	SE
<i>Inga marginata</i>	A	P	SOLANACEAE		
<i>Senna</i> sp.	Arv	SE	<i>Solanum</i> sp.	Arb	P
MELASTOMATACEAE			VERBENACEAE		
<i>Clidemia hirta</i>	S	P	<i>Citharexylum myrianthum</i>	A	P

A riqueza de espécies pioneiras de rápido crescimento e curto ciclo de vida, como as das famílias Asteraceae e Melastomataceae, torna-se um fator de grande importância no processo de restauração da cobertura vegetal da encosta, sendo esses indivíduos provenientes de propágulos das proximidades (dispersão de sementes de áreas próximas). Segundo Bechara (2006), as

espécies pioneiras apresentam alta efemeridade, elevados níveis de atração de polinizadores e rápida produção de biomassa, importantes no processo de sucessão ecológica, pois melhoram as condições ambientais para as espécies mais exigentes em termos de recursos ecológicos.

É relevante citar a presença de espécies exóticas na área de estudo como o pinheiro-americano (*Pinus* sp.), lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König) e capins (*Brachiaria* spp.), as quais podem provocar a exclusão de outras espécies por seu rápido crescimento, tornando difícil o controle de suas populações (KISSMANN; GROTH, 1997; RICHARDSON et al., 2000). O aumento da cobertura da vegetação na área em estudo pode ser evidenciado na Figura 2, a qual apresenta a fisionomia da vegetação após o plantio de grama (A) e mudas de árvores e três anos de sucessão ecológica (B).

A evolução da cobertura vegetal e ingresso de novas espécies de diferentes grupos ecológicos e hábitos são consideráveis, e estão, possivelmente, associados à disponibilidade de propágulos advindos das formações florestais do entorno e à fauna especializada na dispersão de propágulos, favorecidas pelas condições ecológicas existentes na encosta. Nota-se na Figura 2B o efeito de fototropia citado anteriormente, onde árvores encontram-se inclinadas e desaprumadas.

UMIDADE SUPERFICIAL DO SOLO

Houve variação da umidade superficial do solo em relação às áreas inferiores e superiores da encosta – 34% a 21%, respectivamente. Constatou-se que a zona de intumescência (inferior, mais próxima à calha de drenagem) é mais úmida (32% – 34%), e que a umidade tende a diminuir na parte superior da encosta (26% – 21%). As taxas de umidade encontradas na encosta assemelham-se às de uma floresta plantada (~29% – Dalben e Osaki [2008]) sobre Cambissolo no município de Tijucas do Sul, no Paraná. De acordo com os autores, solos cobertos por floresta nativa tendem a apresentar taxas de umidade mais altas, de aproximadamente 50%.

A variação da umidade no local do ensaio de infiltração variou de 27% (antes) para 48% (depois), evidenciando a alta presença de espaços vazios (poros e rachaduras) na estrutura do solo, possivelmente causada pela movimentação do solo seco e drenagem insuficiente do sistema.

CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DO SOLO

A taxa de infiltração de água no solo foi alta no início e baixa no final do ensaio. Isso acontece porque a metodologia proposta por Forysthe (1975) utiliza uma carga hidráulica constante no solo, de forma que no início do ensaio a água infiltra com maior facilidade. Bertol et al. (2001), por meio da mesma metodologia, mediram a infiltração em diferentes coberturas em um Cambissolo e constataram que as infiltrações variaram de 70 a 9 mm/h para pastagem (média de 40 mm/h), de 194 a 28 mm/h para uma cultura agrícola convencional (média de 111 mm/h) e de 85 a 17 mm/h para agricultura com plantio direto (média de 51 mm/h). A média obtida no ensaio do presente estudo foi de 14 mm/h, consideravelmente menor do que os resultados encontrados por Bertol et al. (2001). Esse resultado demonstra que, no centro da encosta (local do teste de infiltração), o solo se apresenta adensado.

O comportamento da infiltração pode ser explicado pelos resultados de umidade superficial do solo, que apresentaram valores muito baixos no início do ensaio. Ou seja, grande parte da água utilizada no ensaio de infiltração ficou retida na região do entorno dos cilindros concêntricos.

Verificou-se que a taxa inicial de infiltração do solo foi elevada (variando de 97 a 12 mm/h) sendo mais elevada do que na pastagem e na agricultura com plantio direto, descritas por Bertol et al. (2001). Entretanto, com apenas cinco minutos de ensaio, a curva da taxa de infiltração

apresentou um comportamento de estabilização, demonstrando o quão rápido acontece a saturação do solo da encosta (ficando retida na forma de umidade).

Vale citar que no local foram constatadas diversas rupturas como sulcos e fendas na superfície do solo, possivelmente ocasionadas por processos erosivos, por movimentos de massa da encosta e falta de estruturação do solo. A água infiltrada nessas fendas vai diretamente (via escoamento subsuperficial) para a parte inferior da encosta e diminui a disponibilidade de água para o crescimento de plantas. Em suma, entende-se que os espaços vazios no solo e a baixa taxa de infiltração são evidências da alta capacidade do solo em reter água, o que pode ser prejudicial ao sistema, pois aumenta o peso da encosta.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO

A partir dos oito principais componentes do sistema foram determinadas as intensidades das relações e o grau de intensidade de cada entre cada um; tais relações estão apresentadas na matriz de correlação (Tabela 2). Com os pesos hierárquicos definidos foram gerados os círculos de causalidade (Figura 4), que são interpretados a partir do pensamento sistêmico e mostram a relação de causalidade e retroalimentação entre variáveis, por meio de uma sequência cíclica. Segundo Aumond (2007), o conjunto dessas relações pode ser chamado de “diagrama de influências”. É importante ressaltar que outras variáveis, além das consideradas, podem influenciar o sistema, como o clima (precipitação, temperatura, radiação solar), vegetação do entorno, fauna e intervenção humana.

Tabela 2. Matriz de correlação do sistema.

Influenciada / Interveniente	E	D	Esc	Comp	CobG	CobA	I	U	P	Soma das intervenções
E		3	1	0	1	1	3	3	3	16
D	3		3	0	0	2	2	2	0	12
Esc	3	2		0	1	0	1	1	0	8
Comp	2	0	3		0	2	3	2	1	13
CobG	1	0	3	0		1	2	2	1	10
CobA	2	0	0	1	1		3	3	3	13
Inf	3	1	1	1	1	1		3	3	14
U	2	0	1	1	1	1	0		3	9
P	3	0	0	0	0	0	1	2		5
Somas das Influências	19	6	12	3	5	8	15	18	14	

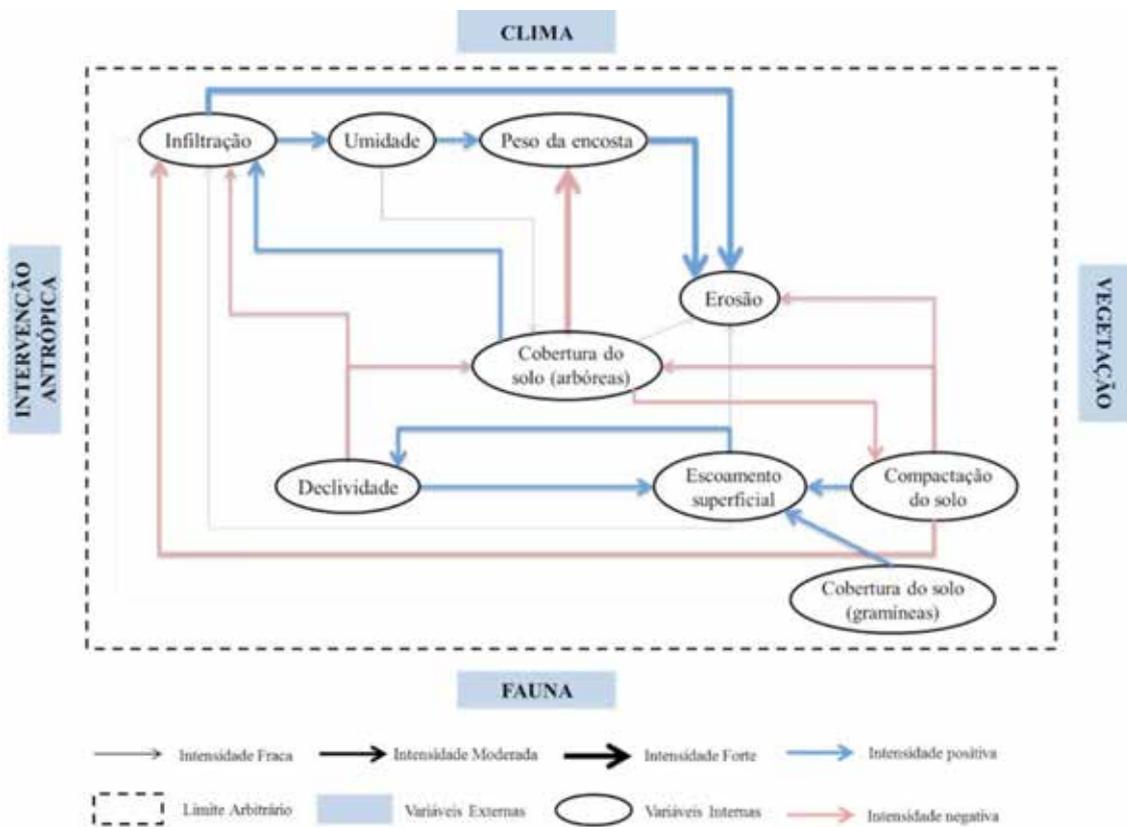
Legenda. E: erosão; D: declividade; Esc: escoamento superficial; Comp: compactação do solo; CobG: cobertura do solo (gramíneas); CobA: cobertura do solo (arbóreas); I: infiltração; U: umidade; P: peso da encosta.

As variáveis infiltração, escoamento superficial, cobertura do solo (espécies de gramíneas e arbóreas) e erosão são as mais importantes, pois relacionam-se com a maioria das variáveis e são fortemente relacionadas entre si. Conforme a representação analítica proposta, é preciso atuar sobre essas variáveis a fim de garantir a estabilização da encosta. Por seu turno, a variável compactação é relevante porque é intimamente ligada (correlação negativa) às variáveis infiltração,

umidade, escoamento superficial e erosão. Por conseguinte, aumentando a compactação do solo teríamos uma menor infiltração de água no sistema e menor suscetibilidade a processos erosivos gerados pelo escoamento superficial das águas pluviais.

O escoamento superficial precisa ser controlado através do taludamento e de calhas de drenagem que devem funcionar eficientemente; adicionalmente, o plantio de gramíneas (a curto prazo) é fundamental, preferencialmente de espécies com sistemas radiculares robustos (e.g., vetiver, ver Grimshaw [1990]). As gramíneas facilitam o escoamento superficial, ao contrário das árvores que, devido à arquitetura do sistema radicular, induzem a sua descompactação e, conseqüentemente, o aumento da infiltração de água. A infiltração da água aumenta a umidade e o peso do solo, podendo reativar eventos de movimento de massa; por isso, ela deve ser minimizada através de técnicas de compactação do solo (durante a etapa de construção dos taludes e terraços). A compactação do solo à montante do muro gabião minimizaria a infiltração da água, a qual deve ser conduzida por sistemas de drenagem para fora do sistema.

Figura 4. Diagrama do círculo de causalidade do sistema (encosta), considerando as oito variáveis eleitas.



4. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Conforme citado, a proposta do método de avaliação de obras de contenção de pequeno porte é simples e por isso não abrange todos os aspectos e facetas complexas do sistema. Para um estudo aprofundado (estudo técnico), outras metodologias (específicas e de maior custo) devem ser adotadas.

As metodologias adotadas neste trabalho foram escolhidas devido à restrição de equipamentos e análises avançadas. Todas as metodologias utilizadas encontram-se disponíveis nos laboratórios experimentais e computacionais da Fundação Universidade Regional de Blumenau (Furb), como por exemplo, equipamentos de campo (GPS, fitas métricas, pranchetas, potes de coleta), anéis concêntricos, forno tipo mufla e *softwares* de manipulação de dados espaciais (SIG).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método proposto para a avaliação de obras de contenção de pequeno porte é simples e de fácil aplicação, e pode servir como modelo ou base para avaliações de obras de natureza e dimensões semelhantes à deste estudo.

Em relação à obra, conclui-se que o muro gabião, por si só, não foi eficaz na contenção da encosta avaliada. Os ensaios e os levantamentos realizados em campo geraram evidências de que as medidas tomadas para a estabilização da encosta não trouxeram o efeito esperado, de maneira que algumas das técnicas escolhidas no projeto comprometeram o comportamento de algumas variáveis do sistema (com passar do tempo). Dessa maneira, conclui-se que a encosta não encontra-se estabilizada e movimentos de massa continuam a ocorrer no local. Verificou-se, também, que novos movimentos de massa (talvez de maior magnitude) podem ocorrer, caso um evento intenso de chuvas atinja a região.

As técnicas e o cronograma das obras de estabilização não foram totalmente adequados mediante o contexto do sistema; assim, as seguintes sugestões poderiam minimizar os problemas constatados:

- (i) taludamento de toda a encosta, até o topo (além da porção já mobilizada);
- (ii) adensamento do solo, visando minimizar a infiltração de água no sistema;
- (iii) plantio de vegetação adequada, respeitando o processo de sucessão ecológica; na fase inicial implantar apenas gramíneas e, após um período de tempo, quando constatada a estabilização, plantar as espécies arbustivas e arbóreas. O plantio de árvores ou arbustos não é mandatório, visto que o processo de sucessão ecológica por si faz esse esforço, como o observado na encosta estudada;
- (iv) implantação de um sistema de drenagem abrangente e eficiente com o intuito de diminuir a infiltração da água, retirando-a da área problema.

Adicionalmente, para controlar e evitar novos movimentos de massa, o monitoramento do sistema deve-se fazer presente, pelo menos duas vezes ao ano, para a realização de reparos e manutenções dos componentes da obra.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO FILHO, O. Deslizamientos. REPETTO, F. L.; KAREZ, C. S. (Org.). Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. 1 ed. Montevideo, Uruguai: UNESCO, p. 29-48. 1991.
- AUGUSTO FILHO, O., ALHEIROS, M. Landslides And Coastal Erosion Hazards In Brazil. International Geology Review, v. 39, n. 8, p.756-763. 1997.
- AUMOND, J. J.; BACCA, L. E. A. Tragédia geoclimática catarinense: a paisagem como fundamento para a gestão pública. Gestão de Natureza Pública e sustentabilidade. PHILIPPI Jr., A.; CIOCE, C. A.,; FERNANDES, V. Barueri (Eds). São Paulo, SP: Manole. 2012.

AUMOND, J. J.; SEVEGNANI, L. Medidas de estabilização de encostas. Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política. Frank, B., Sevegnani, L. (Org.). Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 192 p. 2009.

AUMOND, J. J. Adoção de uma nova abordagem para a recuperação de área degradada pela mineração. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (PPGEC), Florianópolis, p. 247. 2007.

BECHARA, F. C. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo – USP (ESALQ), Piracicaba. 2006.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, E. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 3, p.555-560. 2001.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S.; LIMA, L. D. M.; SANTOS, J. R. C.; SOUZA, U. D. V.; CORREIA, F. P. C.; GUERRA, T. T. Geomorfologia aplicada à reabilitação de áreas degradadas por voçorocamento, utilizando geotêxteis produzidos com fibra do buriti na área urbana de São Luís – MA. *Anais do 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão dos Solos*, v. 1, São Paulo. 2008.

BRASIL. Resolução nº 5, de 04 de maio de 1994, que estabelece definições e parâmetros mensuráveis para análise de sucessão ecológica da Mata Atlântica no Estado de Santa Catarina. 1994. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0494.html>> Acesso em: 10 Set. 2012.

CAPRA, F. A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cutrix, p. 256. 1996.

CASTRO, J. M. G.; SOBREIRA, F. G.; GOMES, R. C.; GOMES, G. J. C. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto – BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, p. 58-66. 2012.

CHAZDON, R. L. Change and determinism in tropical forest succession. CARSON, W. P.; SCHINITZER, S. A. (Eds.) *Tropical Forest Community Ecology*. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, p. 384-408. 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo, Editora Edgard Blücher, p. 236. 1996.

COSTA, B. G. Efeito de translação do centro de rotação na análise de muros de suporte gravíticos fundados em terrenos compressíveis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Especialização em Geotecnia – FEUP, Portugal. p. 128. 2010.

DALBEN, A. D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um cambissoloháplico em floresta nativa e de *Pinus taeda*. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, v. 6, n. 1, p. 29-37. 2008.

Defesa Civil Blumenau; Universidade Regional de Blumenau (Furb); Prefeitura Municipal de Blumenau (PMB); CEOPS. (2012) “Cota-enchente de Blumenau”. Disponível em: <http://ceops.furb.br/cotas/Relatorio_Final_Cotas_Enchentes-09-11-2012.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2012.

DUARTE, R. M. R.; BUENO, M. S. G. Fundamentos ecológicos aplicados à RAD para as matas ciliares do interior paulista. Barbosa, L. M. (Coord.) *Manual para Recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo – Matas ciliares do interior paulista*. Guaratinguetá: Instituto de Botânica, p. 30-41. 2006.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2009.

FILGUEIRAS, T. S.; BROCHADO, A. L.; NOGUEIRA, P. E.; GUALLA II, G. F. Caminhamento – Um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. Caderno Geociência – IBGE, p. 39-43. 1994.

FINEGAN, B. Pattern and process neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Tree*, v. 11, n. 3, p. 119-124. 1996.

FINEGAN, B. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Ecology Management*, v. 47, p. 295-321. 1992.

FORSYTHE, W. Física de suelos: manual de laboratório. San José Internacional de Ciências Agrícolas, p. 209. 1975.

GRIFFITH, J. J.; TOY, T. J. O modelo físico-social da recuperação ambiental. *Revista Brasil Mineral*, v. 22, n. 242, p. 166-174. 2005

GRIMSHAW, R. G. Vetiver Grass. *The Hedge: Against*, p. 78. 1990.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. O. Manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos. Virginia, USA: USGS. RESTON8. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Manuais Técnicos em Geociências. 2. ed., n.1, p. 271.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) do Estado de São Paulo S. A. Ocupação de Encostas. Mário Angelieri (Org). São Paulo: IPT. p. 216. 1991.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. Sucessão secundária, estrutura, genética e plantação de espécies arbóreas nativas. IPEF. Piracicaba. 1989.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas. São Paulo, BASF Brasileira S.A. 2. ed, p. 603. 1997.

KLEIN, R. M. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues. 1978.

KLEIN, R. M. Ecologia da Flora e Vegetação do Vale do Itajaí. *Sellowia*, Itajaí, v. 32, n. 32. 1980.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259-263. 2006.

MARTINS, S. V. Restauração ecológica de ecossistemas degradados, Viçosa, Minas Gerais, Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, p. 164-369. 2012.

O'CONNOR, I. M. *The art of system thinking: essencial skills for creativity and problem solving*. London: Thorsens. p. 264. 1997.

ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan. 1988.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Classificação das fitofisionomias da América do Sul cisandina tropical e subtropical: proposta de um novo sistema – prático e flexível – ou uma injeção a mais de caos? *Rodriguésia*, v. 60, p. 237-258. 2009.

RICHARDSON, D. M.; PYSEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M. G.; PANETTA, F. D.; WEST, C. J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, v. 6, p. 93–107. 2000.

Santa Catarina. Atlas de Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Florianópolis: GAPLAN/SUEGI, p. 173. 1986.

SCHEIBE, L. F. A geologia de Santa Catarina – Sinopse provisória. *Geosul*, v. 1, p.7-38. 1986.

SCHORN, L. A. Estrutura e dinâmica de estágios sucessionais de uma floresta ombrófila densa em Blumenau, Santa Catarina. p. 192. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, Paraná. 2005.

SEVERO, D. A meteorologia do desastre. FRANK, B.; SEVEGNANI, L. Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política. Blumenau: Agência da Água do Vale do Itajaí. 2009.

SIEBERT, C. Resiliência urbana: planejando as cidades para conviver com fenômenos climáticos extremos. VI Encontro Nacional da Anppas – Belém - PA – Brasil, 2012.

SIMINSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S.; FANTINI, A. C. Sucessão florestal secundária no município de São Pedro de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 21-33. 2004.

SIMINSKI, A. A floresta do futuro: conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no estado de Santa Catarina. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis. 2009.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo – Brasil). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, n. 2, p. 239-250. 1999.

TROPPEMAIR, H. Biogeografia e meio ambiente. Rio Claro: Divisa, p. 206. 2006.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, v. I. Diversidade e conservação dos remanescentes florestais. Blumenau. Edifurb. 2012.

VIVIN, J. L. Agricultura e florestas: princípios de uma interação vital. Guaíba: Agropecuária, p. 207. 1998.

WALTER, B. M. T.; GUARINO, E. S. G. Comparação do método de parcelas com o “levantamento rápido” para amostragem da vegetação arbórea do cerrado sentido restrito. *Acta bot. bras.*, v. 20, n. 2, p. 285-297. 2006.

NOTAS

1. Processo cíclico natural, não decorrente de modificações no uso do solo, como as inundações.
2. Solo com presença acentuada de argila. Sua ocorrência está relacionada a relevos acidentados e dissecados, com superfícies suaves. Possuem baixa fertilidade e acidez, altos teores de alumínio e suscetibilidade à erosão.
3. Solos constituídos por material mineral de alta heterogeneidade. São solos com boa drenagem.

4. Solos constituídos por material mineral e/ou material orgânico pouco espesso; variam em saturação por bases, acidez e possuem altos teores de alumínio e de sódio.
5. Complexo geológico que ocorre predominantemente em áreas de bases a topos de morro, situando-se preferencialmente no norte da Bacia do Itajaí. Composto por rochas metamórficas de alto grau de intemperismo.
6. Rochas de composição quartzo-feldspática, com tonalidades esverdeadas e azuladas.
7. Mata perenifolia (sempre-verde) com dossel de até 40 m e árvores emergentes de até 40 m de altura. Possui densa vegetação arbustiva, composta por arborescentes, palmeiras, trepadeiras, epífitas e samambaias.
8. Conjunto de programas computacionais que integra dados, equipamentos e pessoas para coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados (sistema de coordenadas).