

**PKS**

PUBLIC  
KNOWLEDGE  
PROJECT

**REVISTA DE GEOGRAFIA  
(UFPE)**

[www.ufpe.br/revistageografia](http://www.ufpe.br/revistageografia)

**OJS**

OPEN  
JOURNAL  
SYSTEMS

## **ARENIZAÇÃO E EROSÃO HÍDRICA NO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL: ANÁLISE DOS AGENTES CONDICIONANTES E CONSIDERAÇÕES BÁSICAS PARA INTERVENÇÕES MECÂNICO-VEGETATIVAS**

*Carmem Lucas Vieira<sup>1</sup>, Roberto Verdum<sup>2</sup>*

*1 – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Doutoranda no Departamento de Geografia/PPGG/UF RJ, email: clucasvieira@gmail.com*

*2 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geografia, Porto Alegre, RS, email: rverdum@ufrgs.br*

*Artigo recebido em 07/09/2014 e aceito em 21/12/2014*

### **RESUMO**

A arenização ocorre, predominantemente, em uma região localizada a sudoeste do estado Rio Grande do Sul/Brasil, em um perímetro que abrange 11 municípios da Campanha gaúcha, Bioma Pampa. O processo de arenização se apresenta na forma sedimentos inconsolidados depositados sobre a superfície ou como áreas desprovidas de vegetação e solo exposto à ação direta de agentes erosivos. De modo associado ao processo de arenização verifica-se a ocorrência de ravinas e voçorocas, havendo uma grande carência quanto à geração de tecnologias destinadas ao seu controle e estabilização. O emprego de técnicas mecânico-vegetativas se constitui em uma alternativa menos onerosa, de menor impacto na paisagem e maior viabilidade socioambiental. A estabilização de processos erosivos em áreas rurais e urbanas pode prevenir não somente a ocorrência de desastres naturais, como a rápida e crescente perda de área agrícola em propriedades rurais.

**Palavras-chave:** processos erosivos; solos; estabilização; espécies nativas; Bioma Pampa.

## **ARENIZATION AND WATER EROSION IN THE SOUTHWEST PORTION OF RIO GRANDE DO SUL: ANALYSIS OF CONDITIONING AGENTS AND BASIC CONSIDERATIONS TO MECHANICAL-VEGETATIVE INTERVENTIONS**

### **ABSTRACT**

The arenization process occurs predominantly in a region located at the southwest portion of Rio Grande do Sul state, Brazil, in a perimeter that encompasses 11 municipalities of the gaúcha campaign, Pampa Biome. The process of sandy desertification is in the form of unconsolidated sediments deposited on the surface or as areas devoid of vegetation and exposed to the direct action of erosive agents soil. Associated to sandy patch process there is the occurrence of ravines and gullies, and there is a great need as the generation of technologies for its control and stabilization. The use of mechanical and vegetative techniques constitutes a less costly alternative, with less impact on the landscape and greater environmental sustainability. The stabilization of erosive processes in rural and urban areas can not only prevent the occurrence of natural disasters, such as the rapidly increasing loss of farmland in rural properties.

**Keywords:** erosion processes; soils; stabilization; native species; Pampa Biome.

## INTRODUÇÃO

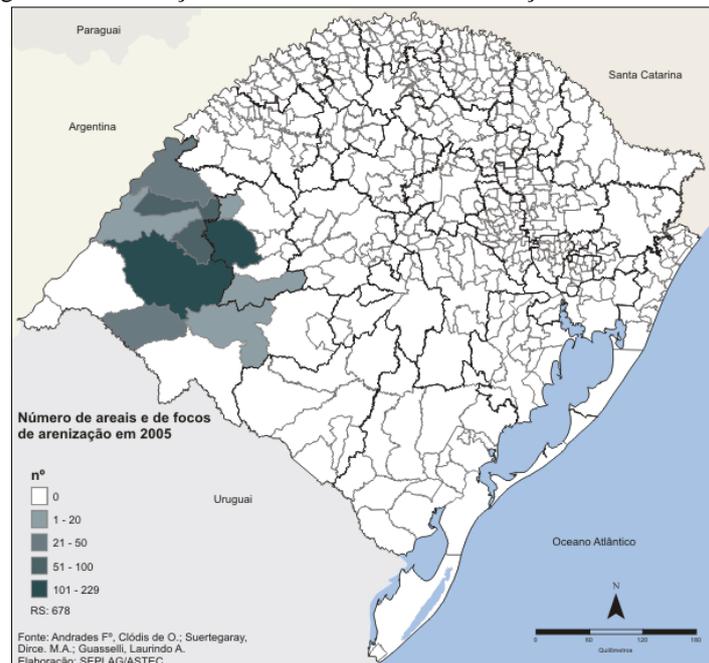
O processo de arenização no Rio Grande do Sul tem sua ocorrência verificada, predominantemente, na região sudoeste do estado (Figura 1), em áreas cujo substrato sedimentar constitui-se pelas Formações Guará e Botucatu. A compreensão da dinâmica de agentes erosivos que atuam sobre estes depósitos arenosos de origem fluvial e eólica datados do Pleistoceno e Holoceno, e associados a fatores como topografia, clima, relevo e atividades agrícolas são pontos fundamentais para o entendimento do processo de arenização. Os estudos acerca de sua conceituação, dinâmica evolutiva, processos erosivos associados, possibilidades de intervenção e controle têm seu registro em diversos trabalhos, como os publicados por Cordeiro e Soares (1975), Souto (1985), Suertegaray (1987; 1995; 1998), Verdum (1997; 2000; 2003; 2004) e Suertegaray *et al.* (2001). Visualmente o processo de arenização se apresenta na forma de acúmulo de sedimentos inconsolidados depositados sobre a superfície, assim como áreas desprovidas de vegetação com predomínio de areia exposta, em campos anteriormente colonizados por espécies vegetais de porte herbáceo e arbustivo. A ocorrência de areais se faz comum sobre o terço médio de colinas ou rampas, em contatos que se prolongam na base das escarpas de morros testemunhos (Guasselli *et al.*, 2009).

Associado ao processo de arenização tem-se a ocorrência de ravinas e voçorocas junto a cerros areníticos de topo silicificado ou, de maneira isolada, em cabeceiras de drenagem sobre terrenos suavemente ondulados. Estas feições erosivas desenvolvem-se por meio de erosão regressiva e, também, lateral, promovendo deslocamento de sedimentos carregados pela água escoada para jusante, depositados em forma de leques e predispondo o material mineral ao retrabalhamento eólico (Suertegaray, 1987; Suertegaray, 1995; Verdum, 1997; Guasselli *et al.*, 2009).

Desde a década de setenta, órgãos técnicos públicos, prefeituras, produtores rurais e universidades têm se dedicado ao tema da arenização no sudoeste no Rio Grande do Sul, com enfoque no controle de sua expansão sobre os campos da Campanha gaúcha. A partir da revisão bibliográfica, no entanto, percebe-se que a tentativa de controle de expansão dos areais esteve, de modo geral, associada ao termo desertificação e focada no controle dos processos erosivos causados pelo agente eólico. Isso se deve, em grande parte, aos resultados obtidos a partir do Plano Piloto de Alegrete desenvolvido em 1978 e implantado no deserto de São João, neste município, quando foram então avaliados o emprego e o cultivo de espécies arbóreas nativas e exóticas com potencial para produção de madeira, celulose e fruticultura, bem como espécies de leguminosas e gramíneas com potencial forrageiro, utilizadas como cobertura do solo

(Souto, 1985). No trabalho mencionado verificou-se que as plantações florestais de pinus (*Pinus* sp.) e eucalipto (*Eucalyptus* sp.) demonstraram melhor adaptação às condições edafoclimáticas em relação às outras espécies arbóreas utilizadas no projeto. Posteriormente, verifica-se o estabelecimento de empresas direcionadas ao cultivo florestal, principalmente eucalipto, na região de ocorrência dos areais. A fitofisionomia na região caracteriza-se, naturalmente, pela predominância de espécies vegetais campestres, com destaque para as gramíneas (Boldrini *et al.*, 2010).

Figura 1: Localização dos areais e focos de arenização asudoeste do RS.



Fonte: SEPLAG/ASTEC, 2005.

A mudança na paisagem com conversão de campo em áreas destinadas a florestamentos de arbóreas exóticas, cuja finalidade está centrada na produção de celulose e madeira, vai ao encontro de recomendações que têm como premissa básica o controle da dispersão de sedimentos pelo vento, principalmente com a ação de quebra-ventos. Este posicionamento norteou as intervenções técnicas, até então, promovendo uma grande carência quanto à geração de tecnologias destinadas ao controle da erosão hídrica e à estabilização de ravinas em propriedades com ocorrência do processo de arenização.

Como premissa básica para o desenvolvimento das técnicas de estabilização no presente trabalho partiu-se do entendimento de que os sedimentos arenosos são primeiramente disponibilizados para movimentação eólica após terem sido desagregados, transportados e depositados a jusante das ravinas pela ação de escoamentos concentrados (Suertegaray, 1987; Suertegaray, 1995; Verdum, 1997; Verdum e Basso, 2000).

Dessa forma, se torna imperativo desenvolver técnicas que evitem a mobilização de sedimentos pela ação da água da chuva em escoamento, prevenindo-se que seja disponibilizado material para remobilização eólica e a geração/expansão de areais sobre os campos. A partir do controle da ação erosiva do agente hídrico pode-se, efetivamente, contribuir para a estabilização de ravinas e reduzir a geração de novos focos de arenização.

Como objetivo geral foi proposto o desenvolvimento de uma tecnologia alternativa que contribuísse para a estabilização de um processo erosivo avançado classificado por Vieira (2012), como ravina, localizada em uma propriedade rural no município de São Francisco de Assis, sub-bacia hidrográfica do arroio Inhacundá, e tendo como base o emprego de técnicas mecânico-vegetativas para a estabilização do solo.

Como objetivos específicos, foram propostas três linhas de ações fundamentais:

1. Avaliar os fatores ambientais e agentes erosivos determinantes quanto à predisposição do meio à formação de feições morfológicas do tipo ravina em áreas que apresentam o processo de arenização.
2. Gerar um programa de monitoramento capaz de demonstrar a dinâmica erosiva e de colonização por espécies nativas nas áreas interna e superficial ao entorno da ravina, de modo a contribuir para a elaboração de técnicas destinadas a estabilizar o processo erosivo avançado.
3. Desenvolver e implantar técnicas que demonstrem uma boa resposta no controle da erosão hídrica, e que se configurem como alternativas promissoras à proposta de estabilização de ravinas empregando-se uma tecnologia de baixo custo, rápida execução e fácil difusão local e regional, sendo viáveis técnica-ambiental-social e economicamente.

A metodologia de trabalho e desenvolvimento do projeto foi embasada no tripé: caracterização da área e objeto de trabalho, diagnóstico e proposições.

## **CONCEITOS BÁSICOS**

### **2.1 A arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul**

Compreender o fenômeno dos areais ou o processo de arenização que ocorre no Sudoeste do Rio Grande do Sul (RS) envolve pensarmos na ação contínua de agentes de intemperismo atuando no tempo e no espaço sobre um substrato rochoso composto por Formações Areníticas, de modo a transformá-lo e gerar como produto final depósitos arenosos

prontamente suscetíveis à erosão hídrica e à deflação. Suertegaray (1987) desenvolveu um conceito pioneiro sobre o processo de arenização em sua tese de Doutorado a partir de uma abordagem histórica, com ênfase na análise climática. Segundo a autora, a arenização se deve ao retrabalhamento de depósitos areníticos pouco consolidados ou arenosos não consolidados por processos hídricos e eólicos. Em função da intensa mobilidade dos sedimentos há uma grande dificuldade de fixação da vegetação na superfície, deixando-a descoberta e predisposta à ação dos agentes erosivos.

A arenização no sudoeste do RS destaca-se como um processo para o qual fatores naturais como temperatura, precipitação, vegetação, solo, substrato rochoso, relevo e depósitos arenosos recentes contribuem de forma determinante para o desencadeamento e o avanço deste fenômeno sobre a Campanha gaúcha. A uma condição recente de maior umidificação do clima (Ab'Saber, 1995; Suertegaray, 1987; Suertegaray, 1995; Suertegaray, 1998; Verdum, 1997; Verdum 2003) associou-se a exposição do substrato arenítico pouco consolidado alçado por eventos neotectônicos, o que propiciou uma condição favorável à instalação de processos erosivos hídricos e eólicos na região (Fujimoto *et al.*, 2010). Dessa forma, houve uma denudação sucessiva da superfície soerguida, com recuo das escarpas, rebaixamento da superfície regional com formação de pediplano e feições residuais (Klamt e Schneider, 1995). Os relevos residuais são compostos por basalto, escarpas areníticas de topo silicificado ou com topos preservados por carapaças ferruginosas. Nas encostas destes relevos observam-se depósitos coluviais areníticos e nas planícies sedimentos arenosos não consolidados holocênicos, altamente suscetíveis à erosão e à arenização.

De acordo com Suertegaray (1995; 1998), a heterogeneidade dos arenitos da região constitui diferentes graus de susceptibilidade à erosão. As ações humanas e atividades agrícolas sobre áreas ambientalmente frágeis, somadas a um substrato fortemente suscetível à arenização, podem potencializar os fatores que dão início e contribuem à evolução deste processo (Suertegaray, 1987; Suertegaray, 1995; Suertegaray, 1998; Verdum, 1997; Verdum, 2003).

### **1.1 Formação de Ravinas e Voçorocas**

Verdum (1997; 2003), em seu estudo preliminar do potencial climático do sudoeste rio-grandense, destaca o fato de a região apresentar uma precipitação média anual de 1400 mm, com episódios de chuva intensa e concentrada em determinadas épocas do ano (de até 150 mm/dia e até 400 mm/mês), o que contribui de forma significativa ou positiva para a geração de processos erosivos oriundos do escoamento concentrado da água. Segundo o mesmo autor, a ação do pisoteio do gado associada ao uso e ao preparo inadequado do solo para atividades

agrícolas pode intensificar o processo de arenização na região. Ou seja, o impacto do uso e manejo do solo com emprego de novas tecnologias, inadequadas para os frágeis solos da Campanha, pode se constituir como um dos principais fatores de contribuição para o surgimento de novos focos de arenização no contexto atual do sudoeste do RS.

A erosão, do ponto de vista geológico-geomorfológico, configura-se como um processo natural de desgaste da superfície terrestre. Para que ocorra o desgaste da superfície terrestre o processo de meteorismo ou intemperismo das rochas em superfície ou próxima desta deve ocorrer. O intemperismo pode se desenvolver tanto superficial como atuar em profundidade, e apresentar caráter químico, físico e/ou biológico, de acordo com o elemento predominante no processo de desintegração mecânica e de decomposição química da rocha. Agentes erosivos como a água da chuva, água dos rios, ventos, variações bruscas de temperatura, gelo, correntes, a cristalização de sais e a ação águas marítimas podem atuar de modo a retirar, transportar e depositar material na forma de fragmentos, soluções e coloides até o nível de base de erosão. O nível de base representa o ponto menor energia e o sítio transitório ou definitivo de acúmulo do material mobilizado pelos agentes erosivos, pela ação da gravidade. O transporte de sedimentos de um local original para outro ocasiona não somente a perda de material mineral, mas também, a perda de nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, como cálcio e fósforo, além do aumento nos níveis de acidez do solo, com conseqüente redução no crescimento de espécies vegetais nativas ou exóticas.

De modo geral, quanto maior a rugosidade superficial e porosidade de um solo haverá maior retenção de água, com menor escoamento, e maior taxa de infiltração e percolação no perfil. Partindo-se de uma perspectiva de diferenciação processual, os escoamentos superficiais classificam-se em laminares, difusos e concentrados (em sulcos). Como escoamento laminar define-se um contínuo filme de água que ao escoar sobre a superfície do solo se assemelha a um fino lençol de água a cobri-la uniformemente, sem formar canais definidos, se configurando com uma feição erosiva planar. Este tipo de escoamento geralmente disponibiliza um grande aporte de material fino a ser depositado em cursos de água em pontos mais a jusante causando assoreamento, além de se apresentar como um processo erosivo lento e de difícil percepção imediata. Os escoamentos difusos ou lineares se caracterizam por escoamentos que adquirem trajetória de linhas anastomosadas, formando pequenos canálculos efêmeros. O escoamento concentrado ou sulco se forma a partir de uma trajetória preferencial da água escoada sobre a superfície, escavando canais que podem evoluir de pequeno porte a processos erosivos avançados de grandes dimensões, como ravinas e voçorocas (Figura 2). Os escoamentos do tipo

difuso e laminar geram processos de desgaste mais lentos da superfície, em relação ao escoamento concentrado. Quando a água escoar de modo concentrado em filetes seguindo pequenos canalículos sobre o terreno denomina-se erosão em sulcos.

A erosão em sulcos pode evoluir desde o escoamento sobre pequenos canais gerados a partir de trilhas de formigas e macroporos biogênicos, por exemplo, até canais com grande profundidade que impedem o tráfego de máquinas agrícolas. Nesse estágio os processos erosivos já se encontram bastante avançados, sendo conhecidos por ravinas e/ou voçorocas. Falhamentos de encosta, trilha do gado, abertura de estradas, atividade de mineração, remoção da cobertura vegetal original e cultivos em relevos íngremes sem curvas de nível são alguns dos agentes condicionadores de processos erosivos avançados, degradação dos solos e dos recursos hídricos.

Figura 2: Erosão junto a cerro arenítico, município de São Francisco de Assis, sudoeste do estado do RS.



Foto: C.L.Vieira (05/05/2011).

De acordo com Guerra (2011), erosões do tipo ravinas e voçorocas ocorrem quando a água passa a fazer incisões a partir de certas concentrações em seu escoamento superficial, passando de um comportamento laminar (*sheet erosion*) para concentrado (*rill erosion*). Segundo o autor, as voçorocas podem ser formadas pelo escoamento superficial da água, quando há o trabalho de escavação, ou seja, uma incisão no solo ou na rocha decomposta. Esta forma avançada de erosão também pode ser ocasionada pelo escoamento subsuperficial, quando há remoção de material mineral e sedimentos pelo fluxo de água.

Segundo Ferreira e Ferreira (2009), as voçorocas são erosões em sua fase mais avançada, complexa e destrutiva, oriundas da ação combinada das águas e sedimentos escoando em superfície sobre o solo desprotegido e seguindo canais preferenciais de porte médio a grande.

No contexto dos areais no estado do Rio Grande do Sul, no entanto, as ravinas, voçorocas e os areais podem se originar naturalmente em áreas onde não se verifica a ação

humana direta. O substrato desempenha papel preponderante neste processo devido à predominância de quartzo e quase ausência de elementos cimentantes, como argila e matéria orgânica. Esta condição predispõe, principalmente, à erosão em sulcos e é responsável pelo aparecimento de grandes sistemas e voçorocas (Robaina, 1995).

Guerra *et al.* (1999) e Guerra e Marçal (2009), ao discorrerem sobre a erosão hídrica do solo, citam como sequência da ocorrência dos fatores contribuintes ao processo erosivo causado pela água das chuvas: o efeito de salpicamento (*splash*) iniciado quando do impacto da gota de chuva nas partículas minerais e ruptura dos agregados do solo, a formação de crosta e selamento da superfície, a formação de poças, progressiva saturação do solo, início no escoamento superficial difuso (erosão em lençol ou *sheetflow*), seguindo pela concentração dos fluxos (erosão em sulcos ou *flowline*), podendo evoluir para um escoamento mais concentrado e daí para uma voçoroca (incisões mais profundas no solo), quando pode haver afloramento do lençol freático. Segundo os autores, o risco de erosão aumenta, por exemplo, quando localizado na borda de uma encosta e se estiver associado a relevos com declividade superior a 3°. Nesse cenário podem ser formadas voçorocas de grandes dimensões, com grande área superficial mobilizada. O fator de maior preocupação ambiental, neste contexto, seria o recuo das cabeceiras das voçorocas situadas nas vertentes em direção ao topo das encostas. Quanto ao estágio de evolução no processo de formação de ravinas, Guerra *et al.* (1999) descreve um mecanismo processual sequencial: escoamento em lençol (*sheetflow*), desenvolvimento de fluxo linear (*flowline*), desenvolvimento de microrravinas (*micro-rills*), formação de cabeceiras (*headcuts*) nas microrravinas e o desenvolvimento de bifurcações através dos pontos de ruptura (*knickpoints*).

As ravinas e voçorocas podem, ainda, ser originadas a partir de diferentes dinâmicas erosivas como, por exemplo, através da reativação de antigas paleodrenagens pela ação da água que precipita e escoar de forma concentrada ao longo de rupturas na encosta e forma sulcos ao atingir uma superfície descoberta, originando processos erosivos avançados. Nos areais, as ravinas e voçorocas, podem estar associadas às cabeceiras de drenagem e, também, podem ocorrer juntos aos cerros, associados às linhas de afloramentos de rocha. Estas linhas representam zonas de contato entre o arenito silicificado mais impermeável e o arenito friável, na base (Paula e Robaina, 2003).

O colapso da superfície causado pela remoção de materiais por meio de fluxos de escoamento subsuperficiais pode originar sulcos que serão o embrião de ravinas e voçorocas. Os sulcos são fruto de escoamento superficial linear, quando grande parte da água precipitada

não infiltra no perfil do solo e desloca sobre a superfície de forma concentrada. Nesta situação, o fluxo de água adquire maior competência, fixa leito e deixa marcas na superfície topográfica como as ravinas e voçorocas. A água que escoar superficialmente exerce maior importância quanto à dinâmica de ravinas, ao passo que em um processo de voçorocas o escoamento superficial tem grande influência, mas o escoamento em subsuperfície com afloramentos de água no sopé do talude (*pipping*) será muito mais significativo na dinâmica erosiva interna.

A erosão hídrica pode provocar assoreamento de corpos de água e barragens, enchentes, mortalidade de espécies da fauna e flora aquáticas, perda da biodiversidade terrestre, redução dos teores de matéria orgânica, redução das funções alimentares biológicas e dos filtros das coberturas pedológicas, reduzindo paulatinamente a quantidade de terras agricultáveis (Ferreira e Ferreira, 2009).

De acordo com os autores, a evolução dos processos de erosão hídrica causados por escoamentos concentrados iniciam, de modo geral, com a abertura de sulcos de secção transversal em ‘V’, com pouca profundidade e alargamento; passam pelo alargamento e aprofundamento dos canais com solapamento de taludes e evolução regressiva dos sulcos e finalizam com a estabilização do processo erosivo, quando este atinge o nível de base, apresenta secção em ‘U’ bem como a presença significativa de espécies vegetais colonizando o interior da feição erosiva.

Durlo e Sutili (2005) classificam o tipo de movimento de massa que dá origem às ravinas e voçorocas como um entalhamento, oriundo de processos complexos e produto de movimentos do tipo deslizamentos. Após iniciado o entalhamento do relevo, seguem-se os deslizamentos e os desmoronamentos dos taludes pela remoção do material no sopé provocado pelo escoamento concentrado de água no canal (Figura 3). O entalhamento do relevo corresponde à erosão em sulco, e está normalmente associado a precipitações intensas, ao substrato, à topografia, à presença de cobertura vegetal e ao movimento da água em superfície e subsuperfície.

## **1.2 Técnicas mecânico-vegetativas**

O emprego de práticas mecânico-vegetativas tem destaque entre as diversas técnicas empregadas no controle da erosão hídrica. Material vegetal vivo ou inerte é utilizado de forma prioritária para proteger o solo da ação erosiva da chuva e do vento. Estas práticas podem ser implantadas em vários locais, como em taludes, estradas, campos, áreas urbanas, entre outros. Além do resgate estético da paisagem degradada, o emprego de estruturas de caráter mecânico-vegetativo preconiza uma intervenção menos severa na paisagem com uso de técnicas que

priorizam o uso de espécies vegetais, solo e materiais orgânicos inertes, em detrimento aos tradicionais métodos empregados a estabilização de áreas instáveis, baseados em concreto, aço e materiais sintéticos de difícil incorporação ou lenta decomposição no ambiente.

Figura 3: Desmoronamento de material no terço superior de um talude instável em ravina localizada no município de São Francisco de Assis/RS.



Foto: C.L.Vieira (20/07/2010)

Intervenções técnicas em processos erosivos hídricos têm como premissa básica diminuir a energia de impacto da água da chuva que incide diretamente sobre as partículas minerais, assim como a redução da velocidade e a dispersão do fluxo que escoam sobre a superfície do solo (D'Agostini, 1999). Este objetivo pode ser alcançado por meio da implantação de barreiras físicas, mecânicas e/ou vegetativas que diminuam o comprimento de rampa, promovam a retenção de sedimentos, auxiliem na difusão de fluxos concentrados e permitam o reordenamento da drenagem superficial. Entretanto, a recuperação de áreas degradadas deve considerar as relações entre o sistema solo-planta-atmosfera, bem como, a atuação de equipes multidisciplinares (Casagrande e Soares, 2007) no planejamento e execução das intervenções técnicas.

De acordo com Galetti (1984), além das intervenções em superfície destinadas ao isolamento da área, retenção de sedimentos e à redução na velocidade da água da chuva que escoam, tais como: cercamento, construção de paliçadas, construção de terraços e barragens de terra; deve-se realizar intervenções que promovam a estabilização do processo erosivo dentro

da voçoroca, como a construção de anteparos para retenção de sedimentos e a dissipação de energia no canal escoadouro, reforço físico nos sopés dos taludes, estabelecimento de vegetação nos taludes, entre outras.

Os estudos desenvolvidos até o momento sobre a temática da arenização se constituem em uma fonte de dados fundamental ao estabelecimento de indicadores ambientais e como base teórico-prática ao desenvolvimento de planos destinados ao monitoramento ambiental e às intervenções técnicas na região. Fatores como a declividade do relevo e o comprimento de rampa são elementos que contribuem, mas não determinam o desencadeamento do processo de erosão, exceto quando se têm a força da gravidade como único elemento físico presente e capaz de imprimir movimento e velocidade de deslocamento a uma massa de água que escoar sobre a superfície do solo.

Klamt e Schneider (1995) listam uma série de considerações a serem feitas, quando de um projeto para controle de processos erosivos, como: manutenção da cobertura vegetal nas encostas, revegetação de áreas sem cobertura vegetal, construção de canais divergentes e escoadouros das águas precipitadas, isolamento das áreas a serem recuperadas, aumento de infiltração em áreas degradadas pela compactação do solo, construção de quebra-ventos, utilização de espécies vegetais adaptadas às condições de estresse do ambiente, manejo e uso adequado do solo.

Ferreira e Ferreira (2009) afirmam que em um projeto de contenção de grandes voçorocas (maior do que quatro hectares) deve ser contemplado o disciplinamento das águas superficiais e subsuperficiais, a estabilização dos taludes e a reabilitação do ecossistema florestal. Dando prosseguimento à sua argumentação, os autores afirmam que a partir do momento em que se faz o cercamento para proteção da voçoroca contra o gado e as queimadas, bem como, para o controle e o disciplinamento das águas, já se começa um processo de estabilização natural. Dessa forma, a proteção da área, o controle da água, a implantação de estruturas de contenção de encostas, o manejo da vegetação e a divulgação das técnicas e metodologias conservacionistas envolvidas são ações decisivas a um projeto de estabilização de ravinas e voçorocas.

O manejo e a recuperação de áreas degradadas por ravinas e voçorocas têm sido, no entanto, uma questão bastante problemática no contexto brasileiro. Parte disso se dá em função da falta de informação, conhecimento e envolvimento da população com as variáveis ambientais. Muitas vezes, a falta de conexão da população com os recursos naturais, as

dinâmicas do meio e a paisagem na qual está inserida acaba por gerar descaso ou ações que potencializam a degradação.

### **1.3 A importância da vegetação**

Trindade (2003) aponta a vegetação natural como um elemento importante na reversão e prevenção ao processo de arenização, controle de sua expansão, prevenção ao surgimento de novos focos de arenização e revegetação nos areais. De acordo com o autor, a geração de um programa de revegetação dos areais deve valorizar as alternativas locais a partir da identificação de espécies vegetais nativas, das comunidades que persistem na colonização destas áreas e do papel que estas desempenham na dinâmica do processo de arenização e no sistema de produção.

O aproveitamento de algumas características da vegetação nativa, associado a técnicas mecânico-vegetativas, pode se configurar como estratégia fundamental quanto à prevenção na geração de novos focos bem como à expansão dos núcleos de arenização. A cobertura vegetal contribui para redução da taxa de escoamento da água precipitada tanto na forma de serrapilheira como na forma de cobertura viva, reduzindo o impacto direto da chuva e a desagregação de partículas sobre a superfície de erosão. Da mesma forma, a presença de cobertura vegetal sobre solo contribui para uma condição de infiltração mais efetiva e mais lenta ao longo do perfil do solo, tanto pela barreira física, quanto pela retenção de partículas minerais e infiltração de água pelas raízes.

A utilização de barreiras vivas de modo complementar aos anteparos mecânicos pode ser feita por meio do plantio e/ou semeadura de espécies vegetais de ciclo perene ou semi-perene em espaçamentos horizontais determinados. Estas fileiras contínuas têm a finalidade de reduzir a velocidade das águas de escoamento e proporcionar a retenção do solo, formando um efetivo obstáculo ao livre curso da água sobre a superfície do solo. As espécies vegetais selecionadas devem apresentar características específicas como: adaptação ao clima e solo do local, crescimento rápido e denso, não ser invasora, possuir atributos estéticos, tolerância aos fatores de estresse ambiental do local, capacidade de atuar na redução do processo erosivo, fácil obtenção e baixo custo, entre outros.

Durlo e Sutili (2005), tratando da estabilidade de taludes fluviais, afirmam que as plantas geralmente atuam de modo a interceptar a água das chuvas, aumentam a evapotranspiração, adicionam peso, ancoram o talude, produzem o efeito alavanca sobre este e promovem aumento progressivo na cobertura do solo pelo acúmulo de serrapilheira na superfície. Algumas destas

características podem ser positivas e similares no contexto dos areais, como a interceptação da água das chuvas, cobertura por serrapilheira e ancoragem (reforço mecânico por meio o sistema radicular) do talude. A adição de peso e o aumento da evapotranspiração, no entanto, não seriam desejáveis em uma área com arenização, pois colaborariam para a instabilidade do substrato e a uma maior susceptibilidade deste à ação erosiva das águas escoadas sobre a superfície.

Torna-se imperativo o monitoramento e a compreensão da dinâmica erosiva previamente a uma intervenção técnica que preconize o emprego de organismos vegetais. Da mesma forma, o conhecimento mais amplo acerca das espécies nativas que englobe a composição florística, a dinâmica fitossociológica, os hábitos de crescimento, as características reprodutivas, os limites de tolerância a fatores de estresse ambiental, a arquitetura do sistema radicular, o potencial para propagação vegetativa, a atração de avifauna, a presença de óleos essenciais, entre outros são de extrema relevância quanto à seleção e ao emprego de espécies vegetais para estabilização de áreas instáveis e a proposição de práticas conservacionistas ou de estabilização do solo. A recomendação de emprego de espécies vegetais com potencial ornamental, medicinal ou com presença de óleos essenciais consorciadas àquelas que comprovadamente demonstrem potencial para a estabilização e controle de processos erosivos pode ser um argumento determinante junto ao produtor rural. Isto se justifica pela possibilidade de retorno econômico a médio e em longo prazo, ao se investir na recuperação de uma área degradada.

Freitas *et al.* (2006) sugerem algumas espécies com efetiva viabilidade para utilização em áreas atingidas pelo processo de arenização no sudoeste do RS, tendo como base características como: maior ocorrência, maior velocidade de cobertura dos areais, potencial ornamental, propriedades medicinais, adaptação às condições de estresse local, entre outras. Entre as espécies relacionadas, se destacam: *Paspalum nicorae*, *Paspalum stellatum*, *Acanthospermum australe*, *Portulaca* sp., *Portulaca grandiflora*, *Echinopsis oxygona* e *Parodia ottonis*.

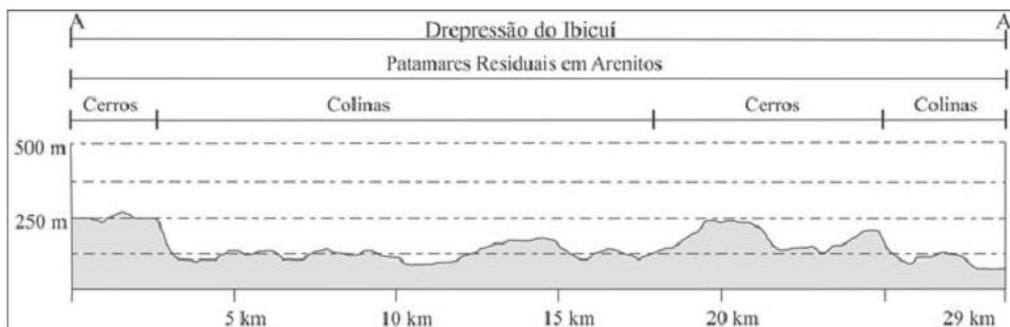
Para a região dos areais localizada no extremo sul do Brasil a época ideal para plantio de espécies vegetais nativas é no final do inverno e início da primavera, de agosto a outubro, quando há maior umidade disponível no solo, aumento da radiação solar e ocorrência de temperaturas mais amenas para o desenvolvimento da vegetação. Verdum *et al.* (2004) mencionam como destaque para a região de estudo a carência de pesquisas em relação à adaptação de espécies de gramíneas nativas às condições naturais do meio, assim como resistentes à pressão exercida pelo desenvolvimento de atividades agrícolas, enfatizando a necessidade de aprofundar pesquisas com estas espécies e com pastagens cultivadas.

## FEIÇÃO EROSIVA E MONITORAMENTO

O processo erosivo relacionado ao trabalho de pesquisa se desenvolveu sobre um relevo ondulado de colina, a partir do ponto de contato entre a base de uma Formação arenítica e os sedimentos arenosos inconsolidados depositados na vertente (Figuras 4, 5 e 6).

De modo prático, pode-se admitir que a presença de alcovas de regressão, dutos de convergência e *demoiselles* (pedestais) nas seções iniciais da ravina permite deduzir que haja o predomínio de mobilização dos sedimentos pela ação do agente hídrico, em relação à mobilização, transporte e sedimentação ocasionado pela ação da gravidade ou vento. Dessa forma, se confirma a necessidade de uma intervenção de caráter físico-mecânico e vegetativa, no sentido de redirecionar os fluxos de água da chuva e os escoamentos concentrados de superfície, reduzindo seu potencial erosivo no terço inicial da ravina, principalmente.

Figura 4: Perfil do relevo dos Patamares Residuais em Arenitos da Depressão do Ibicuí.



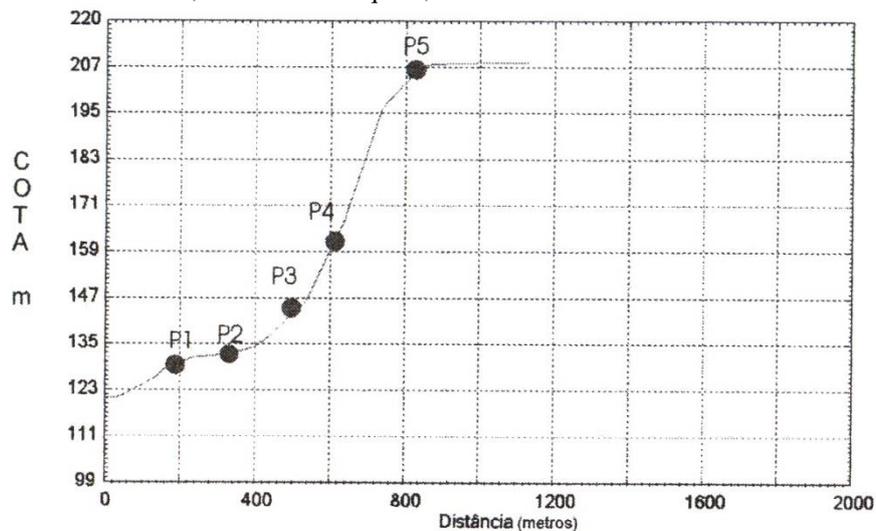
Fonte: Adaptado de Robaina *et al.*, 2010.

Figura 5: Transecto e localização dos diferentes compartimentos geomorfológicos na área de estudo, no Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS.



P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matacões e P5: topo do cerro. (Fonte: Adaptado de Silva, 2009).

Figura 6: Perfil topográfico com a localização dos diferentes compartimentos geomorfológicos na área de estudo, no Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS.



P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matações e P5: topo do cerro. (Fonte: Adaptado de Silva, 2009).

A demarcação da área de estudo foi feita com treze estacas de bambu de um metro de comprimento. As estacas de 1 a 5 e de 9 a 13 foram posicionadas paralelamente, em margens opostas, distantes 5,5 metros uma da outra. As estacas 6, 7 e 8 foram posicionadas de modo a formar uma triangulação na porção inicial, situada a montante da ravina. As estacas alinhadas de 1 a 7 e de 7 a 13 contemplaram 33 metros de extensão em cada lado do processo erosivo, em superfície (Figura 7). O estabelecimento destas estacas teve como objetivo principal o monitoramento da ação erosiva do escoamento da água da chuva na área de contribuição da ravina, bem como verificar a movimentação nos taludes, o alargamento das margens da feição morfológica e a redução na proximidade de cada margem com sua estaca correspondente. As estacas foram referenciadas com uso de GPS de navegação, sendo a profundidade de enterrio diferente para cada uma, em função maior ou menor facilidade de fixação no substrato. Procurou-se não causar excessivo distúrbio com movimentações no entorno do processo erosivo, de modo a não interferir demasiadamente em sua dinâmica.

Classificou-se a ravina em seções longitudinais e setores transversais para melhor identificação dos locais colonizados pela vegetação nativa e monitoramento da dinâmica erosiva. Como seções, têm-se três divisões principais (Figura 7A):

- 1ª seção – ponto inicial da ravina: 10 metros, partindo do ponto inicial de aprofundamento do sulco, situado a 2 metros do cerro e de modo adjacente a um grande fragmento rochoso situado à margem direita da ravina.
- 2ª seção – ponto de enrocamento: compreendeu 23 metros, sendo formado por uma sucessão de degraus de arenito expostos pela remoção de material inconsolidado, anteriormente depositados sobre os mesmos.

- 3ª seção – canal principal e taludes livres: início ao final do enrocamento perfazendo 11 metros no sentido montante-jusante da feição erosiva.

Figura 7: Detalhe esquemático da ravina com o posicionamento e a numeração das estacas, sentido montante-jusante.

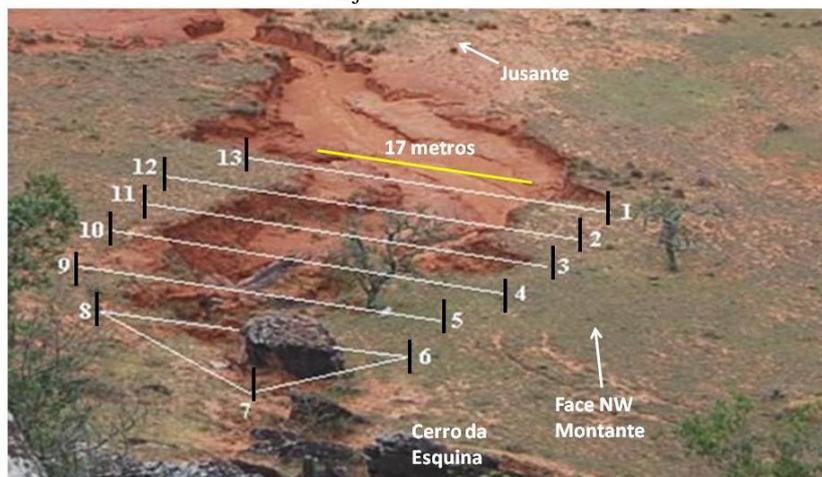


Foto: C.L.Vieira (05/01/2012).

Figura 7. A: Vista aérea da ravina e suas três seções.



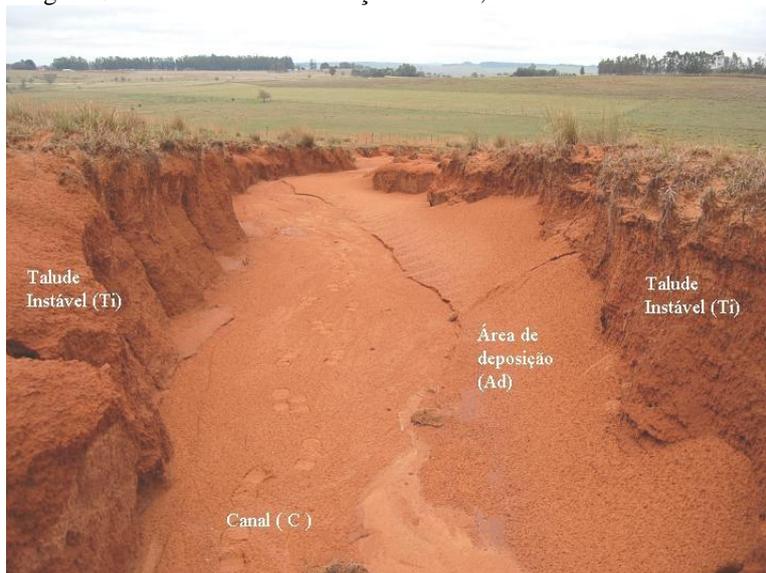
1. Detalhe da localização da seção inicial; 2. Seção com enrocamento; 3. Seção com canal principal e taludes livres. Fotos: Carmem Lucas Vieira (05/01/2012).

Para fins de uniformização em relação à classificação, os setores no interior da ravina foram denominados como: Área de Contribuição Superficial (Ac); Taludes Estáveis (Te); Taludes Instáveis (Ti); Áreas de Deposição (Ad) e Canal (C), segundo metodologia de Ferreira e Ferreira (2009), adaptada (Figura 8).

Ao longo do canal foram monitorados pontos de um em um metro contemplando 11 metros de extensão como forma de verificar a deposição e o transporte de material proveniente dos taludes, assim como, a presença de degraus internos.

O monitoramento da profundidade de enterrio das estacas e distância à margem foi realizado com uso de trena, objetivando-se verificar a dinâmica erosiva da água em superfície. Foram realizadas aferições para monitoramento do acúmulo de sedimentos junto às estacas, sendo estes carregados pelo escoamento superficial difuso advindo do deslocamento da água da chuva sobre o solo.

Figura 8: Detalhe interno da feição erosiva, demonstrando os setores.



Talude instável (Ti), Área de deposição (Ad) e Canal principal de escoamento da água (C). Foto: C.L.Vieira (05/01/2012).

O deslizamento de material dos taludes para o interior da ravina foi verificado em aferições de monitoramento, sendo registrada a variação na distância de cada estaca em relação à margem adjacente.

Para o traçado da seção transversal da ravina optou-se por amarrar cordões a 0,2 m de altura do solo nas estacas paralelas, de modo a permitir aferições por tomadas de pontos de uma margem a outra e internamente. Dessa forma, foi possível obter dados de profundidade e largura de uma margem à outra da ravina, sendo realizado desenho esquemático em folha milimetrada para melhor visualização de seu perfil.

Fez-se a coleta, herborização e identificação das espécies vegetais com colonização mais frequente na área de contribuição e nos taludes da ravina (Trindade, 2003; Freitas, 2006; Freitas, 2010; Boldrini *et al.*, 2010), relacionando locais de colonização predominante, época de floração e sementação, potencial paisagístico, características do sistema radicular entre

outras. Foram realizadas coletas de material vegetal no interior e na área de contribuição da feição erosiva, tendo como critério aquelas que visualmente apresentavam maior colonização e distribuição sobre a área.

De modo complementar, observou-se a ocorrência de outras feições erosivas, como pedestais ou *demoiselles*, dutos de convergência e alcovas de regressão, visando contribuir para a definição dos pontos prioritários destinados a intervenções técnicas planejadas para o controle do processo erosivo.

### **INTERVENÇÕES NA FEIÇÃO EROSIVA**

O trabalho de campo contemplou uma área com ocorrência de areal, ravinas e voçorocas em uma propriedade rural com 92 hectares, estabelecida na localidade de Esquina, ao norte da sede urbana do município de São Francisco de Assis, sub-bacia hidrográfica do Arroio Inhacundá. Dentre os 92 hectares que compõem a propriedade, 87 hectares são formados por campos e coxilhas e cinco hectares estão cobertos por relevos tabulares residuais de arenitos silicificados. O areal está associado a uma série de ravinas que costeiam um relevo arenítico testemunho de topo plano, onde se verificam grandes depósitos de tálus na média vertente e depósitos arenosos na baixa vertente. A área de trabalho se encontra junto à face noroeste do cerro da Esquina, onde se verifica menor densidade de vegetação, em relação à face sulsudoeste, mais sombreada com declividade média de 4%. A feição erosiva selecionada para o trabalho foi a primeira de uma sequência de ravinas e voçorocas que cortam a superfície na forma de rampa, de modo adjacente e transversal ao contorno da escarpa arenítica, partindo-se do sentido NW-SE (Figura 9).

Figura 9. Detalhe da feição erosiva, sentido montante-jusante.



Foto: C.L.Vieira (10/11/2011).

Um conjunto com nove anteparos mecânicos composto por paliçadas e retentores orgânicos de sedimentos foi instalado no interior e na área de contribuição da ravina em sentido transversal ao escoamento, complementados com o plantio de mudas de *Elyonurus* sp. (capim-limão), espécie nativa abundante na propriedade. As paliçadas foram confeccionadas com uso de varas de taquara nativa (*Bambusa taquara*) extraídas e cortadas na propriedade. Cada conjunto de paliçadas foi dimensionado de acordo com o local de instalação, apresentando diferentes larguras de vão. Sua fixação no solo foi em torno de 1/3 do comprimento total e por vezes muito difícil, principalmente em alguns pontos na seção do enrocamento. Paliçadas fixadas nas extremidades de modo vertical e compostas por um feixe disposto de modo horizontal (área de obstáculo ao movimento de partícula) podem se tornar mais frágeis em relação às paliçadas formadas somente por estacas dispostas verticalmente, lado a lado. No entanto, a dificuldade em fixar as varas de bambu tanto na área superficial quanto no interior da ravina tornou o primeiro modelo mais viável à implantação na área de estudo. As varas de bambu foram amarradas com cordão de sisal, sendo mantida uma distância de cerca de 2 – 3 cm entre elas, de modo que, depois de cobertas por manta de fibra de juta não opusessem demasiado bloqueio a passagem do vento, o que poderia contribuir para a sua desestabilização e o aumento do turbilhonamento na região a sotavento, com maior mobilização eólica de partículas inconsolidadas.

Os retentores de sedimentos foram assentados em um leito de palha, junto à face frontal inferior das paliçadas, variando para cada estrutura a quantidade deles que foi utilizada. Optou-se por utilizar somente material orgânico de fácil decomposição na confecção dos retentores de sedimentos, como folhas e ramos finos de taquara, ramos secos encontrados no campo, folhas secas e inflorescências de capim-limão, esterco seco e folhas de papel jornal, envoltos em juta e atados com sisal (Figura 10).

Colocou-se réguas de bambu para monitoramento do acúmulo de sedimentos na face frontal das paliçadas, posicionando-as no centro, entre os retentores e o feixe horizontal de varas, efetuando-se uma marca no ponto de sua inserção rente a superfície do solo (Figura 11). Barreiras de pedra foram implantadas na superfície, em pontos onde o escoamento superficial da água da chuva que desce a encosta do cerro encontra o substrato arenoso exposto, sem cobertura vegetal. Esta dinâmica causa grande distúrbio na área de contribuição e nas margens da ravina. Em três pontos distintos localizados junto ao vértice, na margem esquerda e direita, foram construídos anteparos físicos com fragmentos de rocha e fibras vegetais (juta e capim-

limão). Estas foram intercaladas às camadas de material mineral para recondução de escoamentos superficiais e a promoção de aumento na infiltração da água retida pela estrutura.

Figura 10: Coleta de material orgânico e confecção de retentores.



Foto: C.L.Vieira (10/11/2011).

Figura 11: Conjunto paliçada nº 1 + biorretentores de sedimento + plantio de mudas de *Elyonurus* sp.

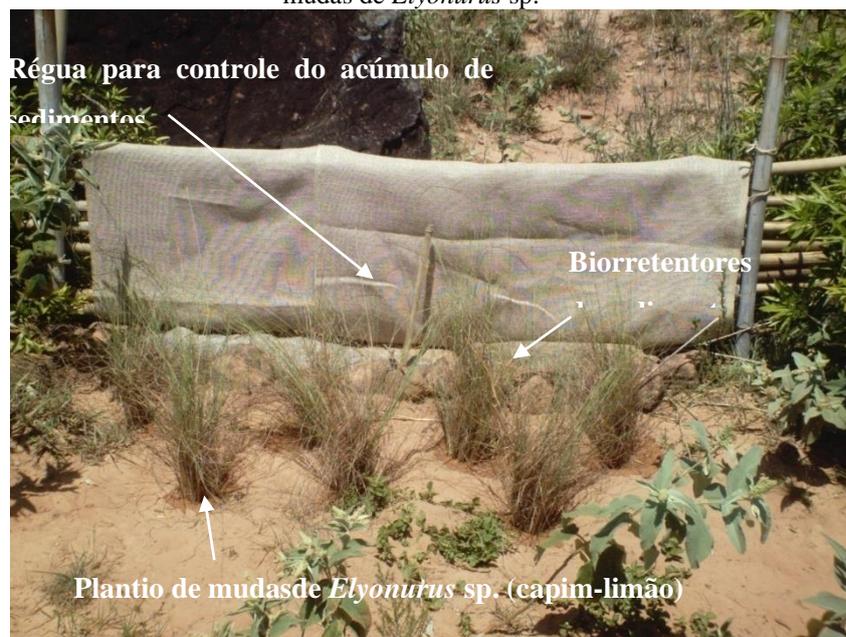


Foto: C.L.Vieira (10/11/2011).

## RESULTADOS

De acordo com os monitoramentos da dinâmica erosiva, foi possível concluir que:

- a. A maior mobilidade de sedimentos ocorreu nos taludes e ao longo do canal da ravina, sobre a ação do escoamento difuso e concentrado das águas da chuva;
- b. Na área de contribuição ao processo erosivo, a mobilização de sedimentos proveniente do escoamento da água em superfície foi pouco significativa. Isso se

deve, possivelmente, pelo fato de as manchas de solo descoberto não serem contínuas e, sim, de modo disperso e desconectadas umas das outras, havendo cobertura vegetal entre elas;

- c. O terço inicial da ravina apresentou maior mobilização de sedimento devido, principalmente, ao frequente trânsito animal;
- d. O terço final da ravina apresentou maior deslizamento de material proveniente dos taludes na margem esquerda, mais ensolarada. Este fato pode estar relacionado a um maior ressecamento das partículas minerais, predispondo-as à ação direta do vento e da chuva;
- e. Os bancos de areia localizados na margem esquerda junto ao sopé dos taludes foram formados, principalmente, a partir de material deslizado dos taludes, somado ao material mineral carreado através do canal, não apresentando comportamento estático após a sua deposição. A escassa coesão entre as partículas carreadas e depositadas em diferentes pontos no interior da ravina permite que estas estejam sujeitas a uma dinâmica frequente de desagregação, transporte e deposição, ocasionada pela incidência direta de fluxos concentrados.
- f. Após três meses de instalação das paliçadas e dos retentores de sedimentos o acúmulo de material mineral junto às estruturas foi bastante significativo, atingindo mais de 10 cm em alguns pontos. Houve rápida e significativa colonização de espécies vegetais nativas sobre os material arenoso retido pelas estruturas (Figura 12).

No que diz respeito à quantificação de material retido pelas paliçadas em conjunto com os retentores, o cálculo foi realizado com referência a uma área triangular de acúmulo de sedimentos sobre os retentores, excluindo-se a área da circunferência destes e multiplicando o valor pela largura de cada paliçada. A área calculada para os retentores foi de 0,00985 m<sup>2</sup> (circunferência de referência - 35 cm). Obteve-se, desta forma um volume estimado de acúmulo de material em cada conjunto, formado por uma associação de paliçadas e retentores. Conjunto 1 - volume: 0,01625 m<sup>3</sup>; conjunto 1.a – volume: 0,00473 m<sup>3</sup>; conjunto 2 – volume: 0,00719 m<sup>3</sup>; conjunto 3 – volume: 0,00512 m<sup>3</sup>; conjunto 4 - volume: 0,00709 m<sup>3</sup>; conjunto 5 – volume: 0,01103 m<sup>3</sup>; conjunto 6 – volume: 0,01123 m<sup>3</sup>; conjunto 7 – volume: 0,00709 m<sup>3</sup>; conjunto 8 – volume: 0,01123 m<sup>3</sup>. Total de sedimentos retidos nas nove estruturas após três meses de instalação: 0,08096 m<sup>3</sup>. Ou seja, em um trimestre foram retidos cerca de 0,1 m<sup>3</sup> de material carreado pela água da chuva, correspondendo a aproximadamente a 100 litros de sedimentos

(400 litros/ano) para uma área de 500 m<sup>2</sup>, relativa ao perímetro compreendido pelas intervenções mecânico-vegetativas.

Figura 12: Conjunto paliçada nº 4, após três meses de sua instalação.



Os biorretentores foram cobertos por sedimentos carregados de montante, sendo estes posteriormente colonizados por espécies ruderais nativas, após a fixação do sedimento na base das estruturas.

Foto: C.L.Vieira (06/02/2012).

## CONCLUSÕES

O projeto se desenvolveu sobre um caráter experimental, de acordo com a proposta de gerar alguma metodologia ou técnica que apresentasse a possibilidade de emprego imediato, fácil apreensão, adaptação ao meio e viabilidade para a difusão na comunidades local. Recomendamos, entretanto, que ao se tratar com processos erosivos de grandes magnitudes, seja feita uma intervenção mais criteriosa, cuidadosa e especializada, com profissionais habilitados para esta tarefa.

Quanto à implantação dos conjuntos de paliçadas a campo, verificou-se que o custo total de implantação das técnicas foi extremamente baixo, se comparado a técnicas que utilizam materiais como geomantas, telas sintéticas, concreto, mix com sementes de espécies exóticas, entre outras. Dessa forma, fazendo uma análise comparativa, do tempo necessário, mão de obra empregada, quantidade e tipo de material requerido com os resultados preliminares obtidos, o conjunto de paliçadas e barreiras de pedras se mostrou realmente viável como uma proposta inicial de estabilização de ravinas em áreas com arenização. O bambu, no entanto, deve ser colhido em época adequada, seco e tratado para aumentar a sua durabilidade a campo. O uso de toras de madeira teria se consolidado em uma melhor alternativa quanto à durabilidade das paliçadas. Para determinar melhor a resistência das paliçadas recomendamos que sejam realizados cálculos para estimar velocidade de escoamento da água da chuva e o volume de

sedimentos carregados pela água e que irão incidir diretamente sobre as mesmas, de acordo com as características pluviométricas e a área de solo exposto.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A estabilização de processos erosivos em áreas rurais e urbanas pode, em um determinado contexto, assumir um caráter prioritário quanto à necessidade de uma intervenção técnica mais imediata, tanto pelo aspecto de conservação da natureza quanto pelo fator social envolvido. Dessa forma, pode-se prevenir não somente a ocorrência de desastres naturais, como a rápida e crescente perda de área agrícola em propriedades rurais.

Planejar uma intervenção técnica em processos erosivos causados pela ação da água sobre os areais do estado do Rio Grande do Sul envolve uma ampla gama de variáveis e dinâmicas ambientais complexas, para a qual o presente trabalho se configurou como uma contribuição inicial, estimulando a geração de propostas exequíveis no contexto dos areais e viáveis à comunidade local.

### **REFERÊNCIAS**

- AB'SABER, A.N. A revanche dos ventos: derruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. In: *Ciência e Ambiente*. Santa Maria, n. 11, p. 7 – 32, jul./dez, 1995.
- BOLDRINI, I.I.; FERREIRA, P.M.A.; ANDRADE, B.O.; A.A.S.; SETUBAL, R.B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E.M.F. *Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica*. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010. 64 p: il.
- CASAGRANDE, J.C.; SOARES, M.R. Recuperação de Solos Degradados: Interação Solo – Planta. In: *Anais do 58º Congresso Nacional de Botânica. A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais*. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil. 2007. 680 p.
- CORDEIRO, C.A. e SOARES L.C. A Erosão nos solos arenosos da região sudoeste do Rio Grande do Sul. (1975). *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro: Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, SUPREN da Diretoria Técnica do IBGE. vol. 4, nº 39, p. 32 – 50, 1975.
- D'AGOSTINI, L.R. *Erosão: o problema mais que o processo*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 131 p.
- DURLO, M.A. e SUTILI, F.J. *Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água*. Porto Alegre: EST Edições, 2005. 189 p.: il.
- FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M. *Apostila Técnica de Estabilização de Voçorocas*. Nazareno: Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável, 2009, 20 p.
- FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M. *Maria de Barro Tecendo a Rede Voçorocas*. Nazareno: Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável, 2009, 84 p.

- FREITAS, E.M. Arenização e Fitossociologia da Vegetação de Campo no Município de São Francisco de Assis, RS. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- FREITAS, E.M. Campos de Solos Arenosos do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Aspectos Florísticos e Adaptativos, RS. 2010. 171 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- FREITAS, E.M.; TREVISAN, R.; SCHNEIDER, A.A.; BOLDRINI, I.I. Floristicof sandy soil grasslands in southwestern Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 112-130, jan./mar, 2010.
- FUJIMOTO, N.S.V.M.; GONÇALVES, F.S.; ZANCANARO, C. Caracterização das Formas de Relevo em Degraus de Abatimento nos Municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis, Região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, nº 11, p.69-74, 2010.
- GALETI, P.A. Práticas de Combate à Erosão. Campinas: Instituto Campineiro de ensino Agrícola, 1984, 278 p. il.
- GUASSELLI, L.A.; EVERS, H.; OLIVEIRA, M.G.; SUERTEGARAY, D.M.A. Definições dos padrões de formas das vertentes relacionadas com a ocorrência de areais, através de dados geomorfométricos, em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí-RS. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, 2009, p. 3867 -3874.
- GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.: il.
- GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M.S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009, 190 p.: il.
- GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 648 p.: il.
- KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: *Revista Ciência e Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul*. Santa Maria, n. 11, 71-80, jul/dez, 1995.
- PAULA, P.M.; ROBAINA, L.E.S. Mapeamento de Unidades Geológicas-Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande/RS. São Paulo: UNESP, Geociências, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2003.
- ROBAINA, L.E.S. Degradação Ambiental no Centro-oeste do Rio Grande do Sul. In: *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, n. 11, jul./dez. 1995.
- ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.W.; VERDUM, R.; NARDIN, D. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010.

SOUTO, J.J.P. Deserto, uma ameaça? Estudo dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do RS. Porto Alegre: DRNR – Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1985. 169 p.

SILVA, D.L.M. Microclima e bioindicadores paleoclimáticos em paisagens com ocorrência de areais em São Francisco de Assis, RS, Brasil. Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2009. <http://hdl.handle.net/10183/17407>. Acesso em 05/01/2015.

SUERTEGARAY, D.M.A. A Trajetória da Natureza: Um estudo Geomorfológico sobre os Areais e Quaraí – RS. 1987. 243 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUERTEGARAY, D.M.A. O Rio Grande do Sul descobre seus “desertos”. In: Revista Ciência e Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul. Santa Maria, n. 11, p. 33 – 52, jul/dez. 1995.

SUERTEGARAY, D.M.A. Deserto Grande do Sul: Controvérsia. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS, 1998. 109 p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. Atlas da Arenização – sudoeste do Rio Grande do Sul. 01. ed. Porto Alegre: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e meteorologia e governo do Rio Grande do Sul, 2001. 84 p.

TRINDADE, J.P.P. Processos de degradação e regeneração da vegetação campestre do entorno de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul. 2003. 161 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, PPG em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VERDUM, R. Approche géographique des “deserts” dans les communes de São Francisco de Assis et Manoel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil. 1997. 210 f. Tese (doutorado) – Université de Toulouse Le Mirail, UFR de Géographie et Aménagement, Toulouse.

VERDUM R., BASSO L. A. Arenização na campanha gaúcha: mudanças na produção e degradações dos solos e das águas superficiais. In: X Congresso Mundial de Sociologia Rural e XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural. Rio de Janeiro, 2000, 9 p.

VERDUM R. Un cas spectaculaire du grand ravin Oliveira. In: GAZELLE F. (Org.) Mélanges des Études Hydrologiques. Toulouse: Geodee Office International de l'Eau, 2003, p. 94-106.

VERDUM R. Depressão Periférica e Planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: VERDUM R., BASSO L.A., SUERTEGARAY D.M.A. (Orgs.). Rio Grande do Sul - paisagens e territórios em transformação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004, 1 ed., v. 1., p. 39-57.

VIEIRA, C.L. Emprego de técnicas mecânico-vegetativas em ravinamento no areal em São Francisco de Assis - sudoeste do Rio Grande do Sul. 2012. 163 f. il. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.