

**CONTROLE DE VOÇOROCA EM
ARGISSOLO VERMELHO EM SÃO VALENTIM-RS¹**
GULLY CONTROL IN RED CLAY SOIL IN SÃO VALENTIM, RS

Rafaela Pohlmann Velasquez² e Afranio Almir Righes³

RESUMO

A crescente expansão das atividades agropecuárias sem manter a sustentabilidade, causa a degradação do solo com impacto direto no seu uso e manejo. O aumento do escoamento superficial causa erosão do solo que, se não for adequadamente controlada, pode causar grandes voçorocas, prejudicando as atividades agropecuárias. O presente trabalho tem como objetivo determinar as características físicas e químicas do solo que interferem na estabilidade de agregados e priorizar as técnicas de controle de voçoroca de acordo com as condições climáticas e edafológicas do local. Os resultados contribuirão com a sociedade, especialmente com relação aos proprietários de terras que apresentam tal processo erosivo. De igual forma, proporcionará aos profissionais envolvidos a oportunidade de adotarem o melhor método de estabilização e recuperação da área degradada. Foram realizadas determinações a campo e em laboratório para a obtenção de parâmetros, que orientam a seleção das melhores técnicas de controle. Dentre essas, se destacam o cercamento da área, obras de dreno de contorno, revegetação dos taludes e paliçadas.

Palavras-chave: estabilização do solo, infiltração de água, processo erosivo.

ABSTRACT

The expansion of agricultural activities without concern for sustainability may cause soil degradation with a direct impact on its use and management. Surface runoff causes soil erosion that, if not properly controlled, can cause large gullies that hamper agricultural activities. The present work has as objective to determine the soil physical and chemistry characteristics that interfere on the stability of aggregates and to prioritize the techniques to control gullies by also considering the soil and climatic conditions. This research may contribute to society, especially with regard to landowners under such conditions as an erosive process. Likewise, the study may instruct the professionals involved on how to adopt the best method of stabilization and recovery of the degraded area. Field and laboratory determinations were used to obtain the parameters that contributed to the selection of the best techniques for control, among which the following should be highlighted: enclosure of the area, contour and drainage work, vegetation planting on embankments and palisades.

Keywords: erosive process, soil stabilization, water infiltration.

¹ Trabalho de Iniciação Científica.

² Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Franciscana. E-mail: rafaelapohlmann.velasquez@gmail.com

³ Orientador. Docente no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Franciscana. E-mail: afranio.righes@gmail.com

INTRODUÇÃO

O processo de erosão hídrica tem início quando a intensidade das precipitações ultrapassar a taxa de infiltração básica de água no solo. Do volume total de chuva, parte é interceptada pela vegetação e o restante atinge a superfície do solo, umedecendo os agregados reduzindo suas forças coesivas. Com aumento da intensidade da precipitação, velocidade e tamanho das gotas, em sistemas de cultivo que mantem o solo desprotegido a quantidade de solo desestruturado aumenta. Ainda, o impacto da gota da chuva no solo provoca a liberação de partículas que obstruem os poros do solo, adensando-o. Esse processo de adensamento ocasiona redução da macroporosidade e da taxa de infiltração de água no solo. O selamento superficial do solo bloqueia a conectividade de parte dos poros e se dá pela orientação e empacotamento de partículas dispersas previamente desintegradas por desagregação superficial, causada pelo impacto das gotas da chuva. A quantidade de água infiltrada pode ser temporariamente ampliada com o aumento da macroporosidade do solo ocasionada pelo rompimento mecânico das camadas superficiais seladas (BAMBERG, 2012). Ainda, o selamento superficial interfere nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e também na emergência das plantas contribuindo para o aumento do escoamento superficial, o que favorece a erosão.

No instante em que a precipitação atinge o solo com intensidade menor do que a taxa de infiltração, toda a água penetra no solo ocasionando progressiva redução da própria capacidade de infiltração. Sabendo que a taxa de infiltração é a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo em determinado intervalo de tempo, quando a precipitação persiste, a partir do intervalo de tempo, a taxa de infiltração fica constante e denomina-se taxa de infiltração básica. Logo, a partir do momento que a intensidade da chuva ultrapassa a capacidade de infiltração no solo, inicia o processo de escoamento superficial causando o desprendimento das partículas de solo. A água da enxurrada transporta nutrientes solúveis e adsorvidos aos sedimentos. A concentração de nutrientes no escoamento superficial da erosão hídrica varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelo tipo de solo, pelas adubações e pelo tipo de manejo empregado (LEITE *et al.*, 2009).

O fator determinante para a facilidade que o solo transmite água é denominada condutividade hidráulica (MESQUITA; MORAES, 2004), sendo assim, parâmetro importante a ser analisado quando trata-se de infiltração de água no solo. A condutividade hidráulica do solo expressa a facilidade com que a água nele se movimenta (velocidade), sendo de extrema importância ao uso agrícola e, conseqüentemente, à produção das culturas e à preservação do solo e do ambiente (GONÇALVES; LIBARDI, 2013). Uma vez que a condutividade hidráulica depende do sistema poroso, podendo variar de um local a outro ou nas diferentes orientações do solo, pode-se concluir que a macroporosidade é fator de grande influência na condutividade hidráulica, pois quanto menor forem os macroporos, menor será a condutividade hidráulica saturada. Então, a condutividade hidráulica tem estreita ligação com o manejo adequado na estrutura do solo. Quando o manejo do solo é inadequado, pode ocorrer

o processo de compactação do solo, reduzindo a aeração e a taxa de infiltração de água, visto que, o escoamento superficial de água pode aumentar e o crescimento das plantas ser reduzido em virtude da restrição imposta ao crescimento de raízes, da diminuição da disponibilidade de água e aeração deficiente (REICHERT *et al.*, 2007). Esse aumento do escoamento superficial, se não controlado, provoca o início da erosão do solo pela velocidade do fluxo superficial de água.

Segundo Pereira (2003), a erosão hídrica ocorre no momento em que há ruptura do equilíbrio natural existente no solo, e as forças conseqüentes de fatores climáticos, como a chuva e o vento, passam a ser suficientes para desequilibrar esse sistema. Associadas a outros fatores relativos às condições do terreno sobre o qual a chuva incide, essas forças determinam a intensidade do processo erosivo. Dentre os fatores relacionados às condições do terreno que interferem no processo erosivo, destacam-se a declividade, a capacidade de infiltração de água no solo, a distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, resistência do solo à ação erosiva da chuva e a percentagem de cobertura do solo existente à época da ocorrência da chuva.

As áreas agrícolas juntamente com solo exposto possuem importantes fatores na aceleração dos processos erosivos, pois o solo desprotegido recebe o impacto direto das gotas de chuva, desagregando-o, da forma que as gotas de chuva juntam-se rapidamente formando filetes de água com força suficiente para arrastar as partículas desagregadas (ANDRES; WERLANG, 2006). Quando os filetes de água escoam encosta abaixo seguem lavando a superfície como um todo, pela lâmina de água, denominando-se erosão laminar. Os filetes podem juntar-se formando enxurradas, que podem resultar em erosão por escoamento concentrado, a qual possui capacidade de arrancar novas partículas e transportar grandes volumes de material desagregado, formando os sulcos e ravinas, que podem evoluir para voçorocas.

Quando ocorre a desagregação do solo, diminui as condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e o predispõe ao aumento da erosão hídrica. A rotação de culturas e o manejo correto do solo são atividades que amenizam esses problemas e agem como restauração da agregação (COUTINHO *et al.*, 2010).

A matéria orgânica está entre os principais agentes de formação e estabilização de agregados e a redução de sua quantidade no solo pelo cultivo é uma das maiores causas de degradação da estrutura do solo (WENDLING *et al.*, 2005). Reinert *et al.* (2006) relatam que é a partir da agregação, de forma indireta, que são afetadas as demais características físicas como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água. A influência da matéria orgânica na agregação do solo é processo dinâmico e benéfico para o solo, pois intensifica a atividade microbiana, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilidade dos agregados. Portanto, estes efeitos benéficos sobre essa agregação são resultantes da atividade conjunta dos microrganismos, da fauna e da vegetação (ROZANE, 2010).

Com a desagregação do solo, a consistência do solo fica prejudicada. Sabe-se que a consistência do solo determina o comportamento do solo sob a ação de determinadas tensões e deformações.

O grau de consistência do solo exerce influência sobre o regime de água no mesmo, afetando a condutividade hidráulica e permitindo fazer-se inferências sobre a curva característica de água no solo. Além disso, é determinante na resistência do solo à penetração e na compactação e seu conhecimento possibilita a determinação do momento adequado do uso de técnicas que favoreçam bom manejo do solo, proporcionando assim, melhor conservação do mesmo, além de diminuir a demanda energética nas operações mecanizadas.

As voçorocas representam o estágio mais avançado da erosão, pois os fluxos superficiais e os sub superficiais, bem como, os diversos tipos de movimentos de massa podem atuar de forma isolada ou juntos na sua formação e evolução. Com a presença da voçoroca, o solo acaba perdendo a sua função de substrato de sustentação para vegetação e fertilidade. Ainda, a área que está sob tal processo está predisposta aos processos de deslizamento de grandes massas de solo e como consequência, a perda de interesse econômico da área. Logo, é preciso ações que conservem a área e técnicas de controle da voçoroca para conter o avanço do processo erosivo.

O processo de recuperação de voçorocas, geralmente é lento e oneroso, pois dependendo da magnitude pode se tornar em investimento muito alto. O controle das voçorocas equivale à estabilização da voçoroca, ou seja, consiste no processo de conter a sua evolução, assim o desvio do fluxo de água é a primeira medida a ser praticada, pois impedirá o aumento da voçoroca. O controle da velocidade e do volume de água que flui em sua cavidade é outra alternativa caso não seja realizado o desvio do fluxo da água (ANDRADE; PORTOCARRERO; CAPECHE, 2005). Segundo a EMBRAPA (2002), para que haja soluções eficazes para a minimização dos processos erosivos acentuados, o primeiro passo é o isolamento da área afetada. O isolamento mantém os processos de regeneração natural das vegetações pré-existentes além de diminuir os riscos relacionados às ações antrópicas. Segundo Brandão (1985), quando a perturbação cessa ou reduz, espécies nativas são capazes de colonizar áreas descontínuas nesses ambientes, permitindo também o retorno da fauna adaptada ao gradiente vegetacional, contribuindo assim para a auto sustentabilidade e recuperação do ambiente. Assim, existem várias técnicas de controle de voçorocas que podem ser utilizadas tanto isoladas quanto juntas como a revegetação, obras dreno, retaludamento e terraceamento.

A **revegetação** como estratégia de conservação, é fundamental para a melhoria dos atributos físicos e químicos dos solos, além de fornecer pela cobertura vegetal, a proteção necessária para diminuir a perda de sedimentos por erosão, principalmente por erosão hídrica (PEREIRA, 2010). Com a presença da cobertura vegetal no solo, além de protegê-lo contra o impacto das gotas de chuva, permite melhor estruturação do solo em função de seu papel agregador da matéria orgânica presente.

Além do conhecimento de que é importante a presença da cobertura vegetal no solo, é também necessário ter o conhecimento básico pertinente ao manejo do solo e dos mecanismos de sucessão ecológica relacionados à capacidade das espécies de se estabelecerem em locais degradados. A escolha dessas espécies, principalmente aquelas que reiniciarão a sucessão local obrigatoriamente deverá

atender os quesitos associados às condições edáficas locais com máximo grau de interação com a biota (CARPANEZZI, 1998).

Segundo Ferreira (2015), as espécies sugeridas para o plantio são: Capim gordura (*Melinis minutiflora*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), milheto (*Pennisetum americanum*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) nos interiores e bordas das voçorocas. Para o enriquecimento florístico consistirá em espécies arbóreas, arbustivas e frutíferas. Essas espécies geralmente obedecem à determinada proporcionalidade, que varia com o comportamento ecológico, a finalidade e utilidade para a fauna. Essa proporcionalidade engloba 50% de espécies pioneiras (nativas), 45% de espécies secundárias e climáticas e 5% de árvores frutíferas. Ainda, segundo Streck *et al.* (2008), em áreas degradadas recomenda-se que o corretivo seja incorporado antes da adoção do sistema de plantio direto. No inverno é aconselhável que o cultivo seja intercalado com plantas protetoras e recuperadoras de solo, bem como, aveia, nabo forrageiro e ervilhaca. E no verão, recomendam-se cultivos intercalados ou consorciados com crotalária, feijão de porco, feijão miúdo, mucuna, em rotação com outras culturas ou com pastagens. Ainda, é aconselhável a intercalação com plantas protetoras e recuperadoras do solo.

Outra técnica bastante utilizada são as **paliçadas**. São estruturas de arrimo formadas por sequência de estacas posicionadas próximas umas das outras. Esse tipo de solução é indicado quando se pretende implantar uma contenção em terreno relativamente instável, construindo-se com segurança, a partir da superfície. Uma vez construída a cortina, deve escavar de um lado sem haver perigo de deslizamento do terreno (MENEZES, 2002). As paliçadas servem para quebrar a força da enxurrada e reter os sedimentos carreados pelo fluxo de água. Representam boa alternativa de solução para recuperação de voçorocas em termos técnicos e econômicos, pois atingem os objetivos de estabilizar as encostas de solo, oferecem resistência, apresentam custo compatível e condições de implantação viáveis para o local (FERREIRA, 2015).

Também, existem as **obras de dreno** para controlar as voçorocas. São marcações do terreno, acompanhando as curvas de nível num tipo de sulco ou canal, interceptando as águas das enxurradas e conduzindo o excesso de água pelo canal, pois é necessário que haja a drenagem da água, forçando a infiltração e desviando os fluxos de água da erosão (TEIXEIRA; GUIMARÃES, 2012). As obras de dreno têm como finalidade principal de desviar os fluxos de superfície que causam erosão reduzindo o escoamento superficial da água e facilitar a infiltração da água. O **retaludamento** consiste em obra de movimentação de terra, visando a diminuição da inclinação das encostas da voçoroca, de modo a aumentar a estabilidade dos taludes e evitar o avanço da erosão. Tem função de diminuir a inclinação da encosta da voçoroca, aumentando a estabilidade de modo a impedir a evolução da voçoroca (FERREIRA, 2007).

E por fim, utiliza-se também a técnica de **terraceamento**. Esta técnica consiste em sulcos ou valas e são construídos na direção de maior declive, aumentando a penetração de água no solo e controlando a área erodida. Tem como função diminuir as perdas de solo, a velocidade, volume das

enxurradas e aumentar a infiltração de água no solo, reduzindo assim, o pico de descarga dos cursos d'água e amenizar a topografia e melhorar as condições de mecanização das áreas agrícolas (TEIXEIRA; GUIMARÃES, 2012).

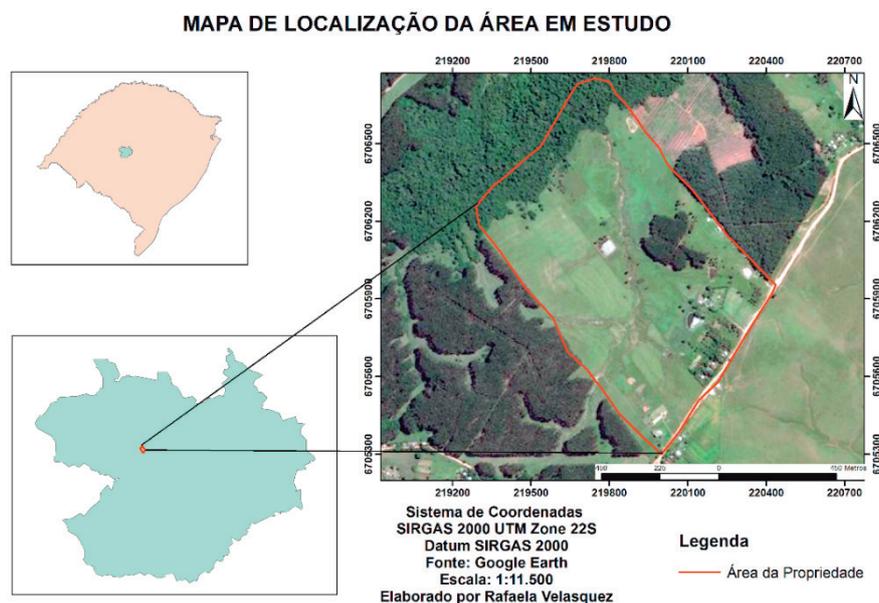
Assim sendo, o presente trabalho teve por objetivo determinar as características físicas e químicas do solo que interferem na estabilidade de agregados e priorizar as técnicas de controle de voçoroca para as condições de clima e de solo do local.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA A SER ESTUDADA

A área está localizada no 2º Distrito de Santa Maria, conforme mostra figura 1, denominado São Valentim, cujos limites são os distritos de Boca do Monte, Pains, Santa Flora, Sede, e o município de Dilermando de Aguiar, distante da sede 12 km, na região central do estado do Rio Grande do Sul e a área do local é de 133,38 km².

Figura 1 - Mapa de Localização da área.



Fonte: Google Earth (2018).

TIPO DE SOLO E CLIMA

O solo pertence a unidade de mapeamento São Pedro, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS, 2014). O clima da região, segundo Köppen (1918), é classificado como Cfa, subtropical úmido sem secas

(KUINCHTNER; BURIOL, 2001), clima temperado chuvoso e quente, mês mais quente com temperatura média maior que 22°C e mês mais frio com temperatura média superior a 3°C. Ainda, segundo estudo realizado por Silva *et al.* (2016), a normal climatológica de precipitação anual é aproximadamente 1.600 mm.

DETERMINAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO

No local da voçoroca foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada na superfície da voçoroca em sacos plásticos para determinação químicas visando a correção da fertilidade do solo como: pH, matéria orgânica, N, P e K. As determinações foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), seguindo a metodologia tradicional utilizada em análises de rotina (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

DETERMINAÇÕES FÍSICAS DO SOLO

Condutividade hidráulica

Seguindo metodologia em Donagema *et al.* (1997), foi determinada a condutividade hidráulica pelo método do Permeômetro de carga constante, conforme figura 2.

Figura 2 - Amostras no Permeômetro de Carga Constante.



Fonte: Dos autores (2018).

Este processo foi continuado até o momento em que obteve-se três leituras de volumes aproximadamente iguais. O cálculo da Condutividade hidráulica saturada, foi realizado pela equação 1.

$$Q = k_{(0)} \cdot \frac{h_2 - h_1}{z_2 - z_1} \cdot A \cdot t, \quad (1)$$

em que: Q é o volume de água percolado por unidade de tempo (cm^3); $K_{(o)}$ condutividade hidráulica saturada (cm/h); $(h_2 - h_1)$ carga hidráulica (cm); $(z_2 - z_1)$ altura da amostra (cm); A área do cilindro de Uhland (cm^2); e t o intervalo de tempo entre as determinações (h);

Densidade do solo

Determinada pelo método do anel volumétrico e calculada pela equação 2:

$$Ds = \frac{Ms}{V}, \quad (2)$$

em que: Ds é densidade do solo (g cm^{-3}); Ms a massa de solo seco a 105°C até massa constante (g); V o volume total do anel (cm^3).

Densidade de partículas

Determinada pelo método do balão volumétrico com álcool aplicando-se a equação 3:

$$Dp = \frac{Ms}{Vs}, \quad (3)$$

em que: Dp é a densidade de partículas (g cm^{-3}); Ms a massa do solo seco a 105°C (g); e Vs o volume de sólidos (cm^3).

Porosidade total

Calculada pela relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas, conforme equação 4.

$$Pt = 100 - \frac{100.Ds}{Dp}, \quad (4)$$

em que: Pt é a porosidade total (% vol.); Ds é a densidade do solo; Dp densidade de partículas.

Microporosidade (Mi)

A microporosidade foi determinada em mesa de tensão, seguindo metodologia descrita por Oliveira (1961), aplicando-se a tensão de 6 kPa (60 cm de coluna de água) durante 48 horas. Concluída a operação, foi determinado o conteúdo de água volumétrico de cada amostra, conforme equação 5:

$$Ug = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100 \cdot Ds, \quad (5)$$

em que: Ug é o conteúdo volumétrico de água (% volume) equivalente a microporosidade do solo (Mi); Mu massa de solo úmido após aplicar a tensão de 6 kPa (g); Ms massa de solo seco em estufa a 105°C (g); Ds densidade do solo (g cm⁻³).

Macroporosidade (Mp)

Calculada pela equação 6:

$$Mp = Pt - Mi, \quad (6)$$

em que: Mp é a macroporosidade (%Vol.); Pt porosidade total (%Vol.); Mi a microporosidade (% Vol.)

Estabilidade de agregados em água

Determinado pelo método de Kemper e Chepil (1965), as amostras de solos das diferentes profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m) foram passadas nas peneiras de diâmetros de malhas 8 e 4,76 mm quebrando os torrões úmidos de modo que passaram pela peneira de 8 mm e ficaram retidos na peneira de 4,76mm. Após a secagem das amostras, foram pesadas 4 amostras (duas de cada profundidade) de 25 g e mais 2 para conteúdo de água. Assim, as amostras foram colocadas no conjunto de peneiras pela ordem: 4,76; 2,00; 1,00 e 0,21mm.

Colocou-se água no aparelho de oscilação vertical até a borda inferior da peneira de 4,76mm. Assim, foi ajustado o nível da água de modo a cobrir o fundo da peneira de 4,76mm, ficando aproximadamente 1cm a cima da tela. Os agregados ficaram submersos por 10 minutos para o umedecimento, e na sequência, o aparelho foi acionado por mais 10 minutos.

A seguir, o conjunto de peneiras foi retirado da água e determinada a massa seca em estufa a 105 °C. O segundo processo foi determinar a quantidade de areia retida em cada peneira, então, foi passado o solo de cada lata para a respectiva peneira utilizando jato d'água. A peneira foi imersa com solo em solução com hidróxido de sódio, agitando por 1 minuto. Após, foram lavadas novamente com jato de água e transferidas as areias que restaram para a lata de alumínio novamente.

E, após secagem em estufa, foi determinada a massa seca de areia. A porcentagem de agregados por classe de tamanho e DMG, foram calculados pelas equações 7 e 8:

$$Agri (\%) = \frac{mAGRi}{\sum_{n=1}^n Agri}, \quad (7)$$

em que: $mAgri$ é a massa de agregados da classe i (varia conforme tamanho); $\sum_{n=1}^n Agri$ é a massa total de agregados.

$$DMG = EXP \left[\sum_{N=1}^N \frac{AGri \times LN(ci)}{\sum_{n=1}^n Agri} \right], \quad (8)$$

em que: DMG é o diâmetro médio geométrico; LN é o logaritmo neperiano; ci é o valor médio de classe de agregados i .

Declividade do sulco e do talude da voçoroca

Determinadas pelo levantamento topográfico usando o equipamento Estação total, marca SANDING e, após o processamento dos dados, utilizou-se a Equação 9 e para passar para graus, utilizou-se a Equação 10.

$$i = \frac{DN}{DH} \times 100, \quad (9)$$

$$i(\text{graus}) = \tan^{-1} \frac{i(\%)}{100}, \quad (10)$$

em que: i é a declividade (%); DN a distância entre as cotas; DH a distância horizontal.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar as médias dos parâmetros físicos e hídricos das determinações, utilizou-se o teste “t” de Student é o teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não a hipótese de nulidade quando a estatística de teste segue a distribuição t de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A propriedade com 8 hectares é explorada com agricultura e pecuária. Este uso da terra associado às características de relevo e do solo causou erosão hídrica com formação da voçoroca. Esse processo iniciou com o escoamento das águas superficiais nos trilhos dos animais deixando a superfície do solo desprotegida (Figura 3). A falta de cobertura vegetal pelo trânsito de animais, associada aos altos índices pluviométricos desencadeou o início do processo erosivo dando origem a formação da voçoroca.

Figura 3 - Pecuária no local e formação de sulcos devido ao pisoteio do gado.



Fonte: Dos autores (2018).

Devido ao fato da textura do solo ser arenosa, há uma rápida infiltração da água que logo diminui no próximo horizonte (B) pela sua menor permeabilidade. Por consequência, quanto menor for a espessura dos horizontes, mais rápida será a saturação dando início ao escoamento superficial. Logo, pode-se concluir que os Argissolos possuem alta suscetibilidade à erosão e degradação. Além disso, a saturação por períodos longos na camada superficial prejudica o desenvolvimento de culturas, podendo causar a sua morte devido à falta de oxigênio. As principais limitações nas características químicas dos Argissolos distróficos é a baixa fertilidade (Tabela 1), sendo necessário a correção do pH e da fertilidade do solo para viabilizar a revegetação dos taludes, destacando-se a baixa capacidade de troca catiônica (CTC), Fósforo (P) e o Potássio (K).

Tabela 1 - Análises químicas da parede do talude da voçoroca e da camada de 0 a 0,20 m do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, para definir as recomendações para correção da acidez e adubação (Santa Maria, 2018).

	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
	cmol _c dm ³					Al	Bases		
Talude	6,8	7,8	0,8	0,0	1,1	8,8	0,0	88,7	7,2
0-0,20	5,0	1,0	0,3	1,4	6,9	2,8	50,0	16,6	5,6

Talude	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C total	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm ³		g.k.g ⁻¹	cmol/dm ³		Mg/dm ³
0-0,20	0,1	14,0	4,0	3,4	8,3	X	0,113	9,9	44,0
	1,3	14,0	4,0	5,8	1,8	X	0,061	8,3	24,0

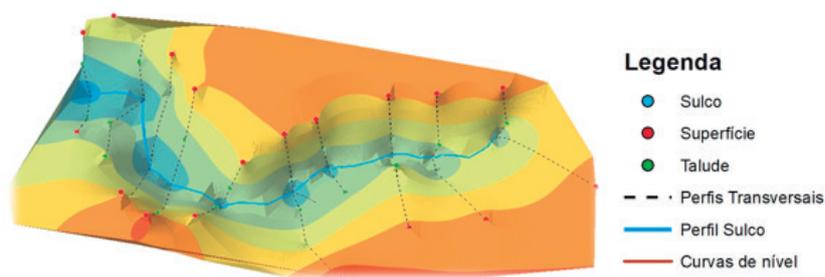
Talude	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm ³						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
0-0,20	0,38	1,12	0,1	X	X	X	9,6	76,70	0,038
	0,51	2,84	0,2	X	X	X	3,4	21,60	0,053

A área que compreende a voçoroca corta lateralmente a propriedade e como já descrito, impede a mecanização em boa parte da área, além de carrear o solo em grande quantidade, contribuindo com o

assoreamento de mananciais. A declividade do sulco principal da voçoroca é, por sua vez, o fator determinante para o carreamento das partículas desagregadas. Esse comportamento aprofunda o sulco erodindo os taludes aumentando o ângulo que causa instabilidade do solo provocando o colapso dos taludes, e assim, o processo reinicia. A declividade aumenta a força erosiva do fluxo de água no sulco, favorecendo o carreamento das partículas de solo, contribuindo para o processo erosivo (Figura 4 e Tabela 2).

A medida do ângulo de estabilidade do talude é de 45 graus, passado deste limite, os taludes perdem a estabilidade e em períodos de altas precipitações o solo perde a coesão e os blocos de solo deslizam para o fundo da voçoroca aumentando a erosão, conforme figura 5.

Figura 4 - Declividade do sulco da voçoroca.



Fonte: Dos autores (2018).

Tabela 2 - Declividade em cada ponto do sulco da voçoroca.

PONTOS	DECLIVIDADE (graus)	PONTOS	DECLIVIDADE (Graus)
1	6,22	8	8,12
2	7,6	9	5,7
3	12,40	10	38,65
4	4,9	11	45
5	11,30	12	11,30
6	8,53	13	9,09
7	50,19	14	5,71

Figura 5 - Ângulo de estabilização da voçoroca.



Fonte: Dos autores (2018).

Na tabela 3 estão dispostos os resultados da análise da estabilidade dos agregados em água, em diferentes tamanhos de peneiras, bem como 4,76 mm, 2mm, 1mm e 0,21mm.

Tabela 3 - Estabilidade de agregados do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico unidade de mapeamento São Pedro (Santa Maria, 2018).

Prof. (m)	Fator F	DMG (mm)	DMP (mm)	Agreg. Classe1 (%)	Agreg. Classe2 (%)	Agreg. Classe3 (%)	Agreg. Classe4 (%)	Agreg. Classe5 (%)
0-20	1,01	3,33	4,02	41,27	27,69	29,97	0,16	0,91
0-20	1,01	3,79	4,48	52,29	23,84	22,58	0,61	0,68
Média	1,01	3,56	4,25	46,78	25,76	26,75	0,38	0,79
20-40	1,00	1,13	2,20	4,47	51,67	1,86	20,07	21,93
20-40	1,00	1,65	3,40	33,96	33,75	0,78	9,52	21,98
Média	1,00	1,39	2,8	19,21	42,71	1,32	14,79	21,95

Na tabela 4 estão os valores dos parâmetros físicos e hídricos do solo da área em estudo, bem como, as respectivas médias com os resultados das análises estatísticas.

Tabela 4 - Parâmetros físicos e hídricos e resultados das análises estatísticas das médias obtidas para o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico em São Valentim-RS.

Camada de solo Profundidade (m)	Repetição	Densidade do(e)		Porosidade (% vol.)			Condutividade hidráulica saturada (mm h ⁻¹)
		Solo	Partículas	Total	Micro	Macro	
0 a 0,20	1	1,53	2,59	40,92	31,83	9,09	23,32
	2	1,56	2,77	43,68	31,96	11,72	13,82
	3	1,50	2,50	40,00	33,58	6,42	12,56
	4	1,52	2,61	41,76	30,61	11,15	43,60
	Média	1,52 a	2,61 a	41,6 a	32,0 a	9,6 a	23,32 a
0,20 a 0,40	1	1,55	2,66	41,72	36,61	5,11	3,76
	2	1,55	2,50	38,00	36,70	3,76	13,81
	3	1,59	2,59	38,61	35,79	2,82	3,76
	4	1,52	2,58	41,08	37,71	3,37	10,05
	Média	1,55 a	2,58 a	39,9 a	36,7 b	3,8 b	7,8 b

* Médias seguidas de mesma letra na vertical não apresentam diferenças estatística pelo teste "t" (p ≤ 0,05)

Observa-se diferença entre os valores da condutividade hidráulica saturada pelo fato da existência de prováveis canais deixados no solo pela decomposição da matéria orgânica (raízes, formigas, etc) passando dessa forma maior volume de água pela amostra o que explica a grande variação entre repetições. Ainda, o solo apresenta baixos índices de macroporos, com baixa condutividade hidráulica principalmente na segunda camada.

TÉCNICAS DE CONTROLE DE VOÇOROCAS

a) **Cercamento da área:** para evitar o deslocamento de animais e impedir a formação de novas trilhas (sulcos) pelo pisoteio do gado em *áreas de fragilidade do solo* expondo a superfície do solo com baixa estabilidade de agregados ao fluxo da água (Figura 3; Tabela 3).

- b) **Dreno de contorno vegetado:** As obras de dreno têm como finalidade básica desviar o fluxo de água na superfície do solo reduzido a enxurrada do escoamento superficial e facilitar a infiltração da água. A redução do volume de água reduzirá também a força erosiva da enxurrada reduzindo assim, o arraste de partículas do solo que por sua vez reduzirá o aumento do ângulo dos taludes. Esta ação contribuirá para aumentar a estabilidade dos taludes minimizando os desmoronamentos e com isso estabilizando a voçoroca.
- c) **Revegetação:** Os taludes da voçoroca devem ser cultivados com espécies como: mucuna e aveia preta (STRECK *et al.*, 2008). A revegetação do talude além da proteção do solo contribuirá na melhor estruturação do solo em função de seu papel agregador da matéria orgânica. Entretanto é necessário a correção da fertilidade (Tabela 1).
- d) **Paliçadas:** Nos pontos do leito da voçoroca que apresentam altos valores de declividade (Tabela 2), podem-se utilizar as paliçadas para reduzir a velocidade do fluxo de água. Assim, reduzindo a velocidade do fluxo ao limite que não ocorra o carreamento das partículas de solo podem-se estabilizar os taludes evitando-se novos desmoronamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo-se como base a caracterização topográfica da voçoroca, juntamente com os resultados das análises dos parâmetros físicos, hídricos e químicos do solo, pode-se concluir:

- a) **Em relação a formação da voçoroca:** O fator inicial da formação da voçoroca é a eliminação da cobertura vegetal pelo trânsito de animais (formação de trilhos), associada à declividade e ao regime de precipitações que aumentam a velocidade da água, ocasionando erosão do solo com carreamento das partículas desagregadas. Com o aumento do ângulo dos taludes e pela instabilidade dos agregados à água ocorre novos desmoronamentos aprofundando a voçoroca. Outro fator determinante no processo erosivo é a baixa macroporosidade do solo que reduz a condutividade hidráulica saturada aumentando o escoamento superficial.
- b) **Em relação às técnicas de estabilização e controle recomenda-se:** cercamento da área da voçoroca; abertura de dreno de contorno; revegetação dos taludes; redução da velocidade da água no fundo da voçoroca com paliçadas em locais que apresentam altos valores de declividade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. G. de; PORTOCARRERO, H.; CAPECHE, C. L. **Práticas Mecânicas e Vegetativas para Controle de Voçorocas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

ANDRES, J.; WERLANG, M. K. A influência do uso da terra nos processos erosivos: correlação entre os índices de concentração de nascentes (ICN) e de voçorocas (ICV) no oeste do município de Pirapó, RS. **Ciência e Natura**, v. 28, n. 1, p. 35-44, 2006.

BAMBERG, Adilson Luís *et al.* Infiltração de água em Planossolo Háplico cultivado com soja (*Glicine max.* L.) em sistema de preparo convencional e plantio direto. *In: XIX REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 19, Lages, 29 de julho a 03 de agosto de 2012. **Anais**. Viçosa/MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

BRANDÃO, M. Plantas Invasoras de Pastagens no município de Cantagalo-RJ. *In: XXXVI CONGRESSO DE BOTÂNICA*, Curitiba, 1985. **Anais**. Curitiba: Sociedade de Botânica do Brasil, 1985.

CARPANEZZI, A. A. Talhões pioneiros para a recuperação de ecossistemas florestais degradados. *In: SEMINÁRIOS ASPECTOS ECOLÓGICOS DE MATAS MESÓFILAS SEMIDECÍDUAS*, 1991, Rio Claro. **Texto de apoio...** Rio Claro: UNESP, 1991. p. 94-104. (versão 1).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p. : il.

COUTINHO, F. S. *et al.* Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Rev. Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* (org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relatório técnico e plano de monitoramento do projeto de recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002.

FERREIRA, R. R. M. **Recuperação de Voçorocas de Grande Porte**. 2015. Disponível em: <https://bit.ly/31Wpi6z>. Acesso em: 13 jun. 2018.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**, v. 37, n. 5, p. 1174-1184, 2013.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. *In*: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Part I. Madison, Wisconsin: ASA, 1965. p. 499-510.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, Série: Ciências Exatas, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LEITE, M. H. S. *et al.* Perdas de solo e nutriente num latossolo vermelho-amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 33, n. 33, 2009.

MENEZES, S. M. **Geotecnia aplicada a projetos: estrutura de contenção em taludes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

MESQUITA, M. G. B. F.; MARQUES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Rev. Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.

OLIVEIRA, L. B. **Coefficiente de permeabilidade de dois tipos de solo (aluvial) da Estação Experimental do Curado**. Série: Boletim Técnico, 16. Recife: IPEANE, 1961.

PEREIRA, M. M. *et al.* Determinação da condutividade hidráulica saturada em permeâmetro de carga constante. *In*: XXV CONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 08 a 13 de novembro de 2015, UFS - São Cristóvão/SE. **Anais...** São Cristóvão/SE, 2015.

PEREIRA, J. S. *et al.* O processo de revegetação como alternativa para recuperação de paisagens características de áreas degradadas inseridas no domínio dos cerrados. *In*: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12 a 16 de setembro de 2010, Recife/PE. **Anais...** Recife, 2010.

PEREIRA, S. B. *et al.* Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J. et al. Qualidade física dos solos. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16, 23 a 27 de julho de 2006, Aracaju/SE. **Anais**. Aracaju/SE, 2006.

ROZANE, D. E. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

SANTOS, H. G. dos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. E-book: il. color.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater-RS/Ascar, 2008.

TEIXEIRA, N. C.; GUIMARÃES, C. D. de C. Métodos de contenção e estabilização de processos erosivos avançados e voçorocas no Brasil. **Saberes Interdisciplinares**, v. 5, n. 10, p. 73-92, dez. 2017.

WENDLING, B. J. I. *et al.* Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, maio 2005.

