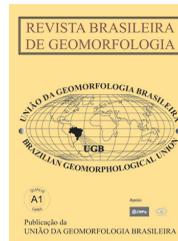




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 3 (2013)



# ESTUDO DA FRAGILIDADE DO RELEVO-SOLO ATRAVÉS DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE ESTACA EM ARGISSOLOS E NEOSSOLOS

## STUDY OF THE FRAGILITY OF THE RELIEF-SOIL RESISTANCE TO PENETRATION BY A STAKE IN ULTISOLS AND ENTISOLS

**Renata Huber**

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Laboratório de Geomorfologia e Percepção da Paisagem - Av. Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1009 - CEP: 97105-900 - Campus da UFSM, Camobi, Santa Maria, RS  
E-mail: huber.renata@gmail.com*

**Bernardo Sayão Penna e Souza**

*Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Laboratório de Geomorfologia e Percepção da Paisagem - Av. Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1009 - CEP: 97105-900 - Campus da UFSM, Camobi, Santa Maria, RS  
E-mail: bernardosp@yahoo.com.br*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
15/06/2012

Data de Aprovação:  
30/10/2013

### Palavras-chave:

Resistência à penetração de estaca; fragilidade do relevo-solo; erosão superficial

### Keywords:

Resistance to penetration;  
fragility of relief-soil; superficial erosion.

### Resumo

O presente trabalho visou analisar experimentalmente a fragilidade do relevo-solo através da comparação da resistência que diferentes classes de solo apresentam à penetração de estaca, notadamente Argissolos (quatro tipos) e Neossolo (um tipo). A área escolhida para tal estudo foi o município de São Pedro do Sul, localizado na porção central do Rio Grande do Sul, zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-riograndense e a porção sul da unidade geomorfológica denominada Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná. Os materiais utilizados foram: Penetrômetro de Impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, com haste de penetração de 70 cm; cartas topográficas (escala 1:50.000); mapa semi-detalhado de solos (escala 1:40.000); clinômetro de bolso; GPS de navegação; e máquina fotográfica digital. Da análise dos dados resultaram duas situações: na primeira estão os solos que apresentam suscetibilidade à erosão por apresentarem maior compactação, evidenciada pelos maiores valores de resistência à penetração ( $r_p$ ); na segunda incluem-se os solos que são altamente suscetíveis à erosão, devido à sua fraca estruturação ou gradiente textural abrupto. As classes de solos avaliadas apresentaram uma curva de resistência à penetração semelhante, o que leva a concluir que, ao se analisar esses tipos de solos (Argissolos e Neossolos), com texturas areia franca, franco arenosa, franca e franca argilosa (até 70 cm de profundidade), sob as mesmas condições de declividade (10 a 20%), umidade e cobertura vegetal, obtêm-se respostas semelhantes de resistência à penetração. Entretanto, os maiores valores de  $r_p$  medidos em situação de umidade ótima foram apresentados pelo Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupto (PVAa), devido à maior quantidade de argila presente no horizonte A1 em relação aos demais tipos de solo, acrescido do fato de o seu uso ser preferencialmente destinado à criação de bovinos. Sob as condições técnicas e metodológicas adotadas nesta pesquisa foi possível relacionar os atributos físicos do solo e sua hidrodinâmica com a resistência à penetração de estaca. Foi possível verificar, a partir do uso do penetrômetro de percussão, se o solo está ou não compactado; se, sendo argiloso, está com pouca ou muita umidade; e, se o tipo de uso do solo tem afetado sua estrutura.

## Abstract

This study aims to examine experimentally the fragility of the relief-soil resistance by comparing the different types of soil present to stake penetration, especially Ultisols (four types) and Entisol (one type). The area chosen for this study was the city of São Pedro do Sul, located in the central portion of Rio Grande do Sul, the transition zone between the Peripheral Depression Southern Riograndense and southern portion of the geomorphological unit called Plateaus and Chapadas (tablelands) of the Paraná Sedimentary Basin. The materials used were: impact penetrometer, model IAA/Planalsucar-Stolf, rod penetration of 70 cm; topographic maps (scale 1:50,000) map semi-detailed soil (scale 1:40,000); pocket clinometer; GPS, and digital camera. Data analysis resulted in two situations: the first are the soils with susceptibility to erosion because they presented greater compaction, evidenced by high values of penetration resistance (rp), the second includes the soils that are highly susceptible to erosion, due to its weak structure and textural gradient abrupt. The soil types evaluated showed a similar curve of penetration resistance, which leads to the conclusion that when analyzing these types of soils (Ultisols and Entisols) with frank sand textures, sandy loam, frank and frank clay (up to 70 cm depth), under the same conditions of declivity (10-20%), moisture and vegetation cover, similar responses are obtained for penetration resistance. However, the highest values of rp measured in situations of optimum moisture were presented by a type of Ultisol due to the higher amount of clay present in horizon A1 in relation to other soil types, plus the fact that its use be preferentially allocated to cattle. Under the technical and methodological adopted in this research was possible to relate the physical attributes of the soil and their hydrodynamic with penetration resistance stake. It was observed from the use of penetrometer percussion, if the soil is not compacted or if, being clay, is little or too much moisture, and if the type of land use has affected its structure.

## Introdução

As diferentes formas de uso da terra têm ocorrido, preferencialmente, sem passar por uma avaliação suficientemente detalhada da condição de equilíbrio dinâmico do ambiente natural. Ou seja, a agricultura e a pecuária geralmente tendem a ser empreendidas no espaço sem que se dê atenção aos fatores que podem romper tal equilíbrio, e os limites de exploração da natureza variam em função de diversos fatores, que podem ser tanto naturais como antrópicos.

A retirada da vegetação original e a conseqüente substituição da mesma por pastagens ou cultivos, bem como a associação com outros usos e formas de manejo, tais como a pecuária extensiva, modificam a resposta do relevo-solo aos processos erosivos naturais. Sendo assim, o conhecimento adquirido em experimentos de campo pode auxiliar na compreensão das limitações impostas à utilização dos diferentes tipos de solos.

As alterações na cobertura e na estrutura dos solos devidas ao uso antrópico resultam no rompimento do equilíbrio original, o que leva o sistema à busca de nova situação de equilíbrio, através dos mecanismos de auto-regulação. A destruição da cobertura vegetal original ocasiona a perda global do potencial de fertilidade do solo (Queiroz Neto, 1986), e essa condição dificulta o desenvolvimento vegetal e pode levar à total exposição do solo aos agentes erosivos externos. Quando a estrutura do solo é afetada há repercussões no comportamento hídrico, o que altera a relação da infiltração da água com o escoamento superficial, podendo intensificar a erosão do mesmo.

Ou seja, a diminuição da cobertura vegetal pode levar à compactação do solo e, por consequência, diminuir

o processo de infiltração. Nessas condições o escoamento superficial é incrementado, fato que contribui na ocorrência da erosão superficial. A compactação pode ser medida através das seguintes variáveis do solo: resistência à penetração, densidade e umidade.

Considerando que a compactação do solo influi na sua fragilidade e, conseqüentemente, no desenvolvimento das formas de relevo, teve-se por objetivo central deste estudo estabelecer uma relação entre este aspecto da fragilidade ambiental, ou seja, entre a suscetibilidade dos solos à erosão e a sua resistência à penetração (rp) de estaca. Para tanto, foram realizados testes de resistência à penetração cujos valores obtidos foram relacionados com a suscetibilidade à erosão que estes solos apresentam.

## Caracterização da área de estudo

A pesquisa realizou-se, no município de São Pedro do Sul, localizado na porção central do estado do Rio Grande do Sul/Brasil, e situado na zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-Riograndense e a porção sul da unidade geomorfológica denominada por Ross (1985) de Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná. O referido município possui 873,6 km<sup>2</sup> de extensão superficial, uma densidade demográfica de 18,7 hab/km<sup>2</sup> (FEE, 2010), e localiza-se entre as coordenadas 29°26'24" e 29°46'12" de latitude sul e 54°30'36" e 53°56'24" longitude oeste, representado na Figura 01.

Foi escolhido o citado município como unidade de estudo devido ao fato de este possuir um mapeamento semidetalhado de solos, o que facilita a obtenção de dados pedológicos e torna o experimento pretendido mais eficaz.

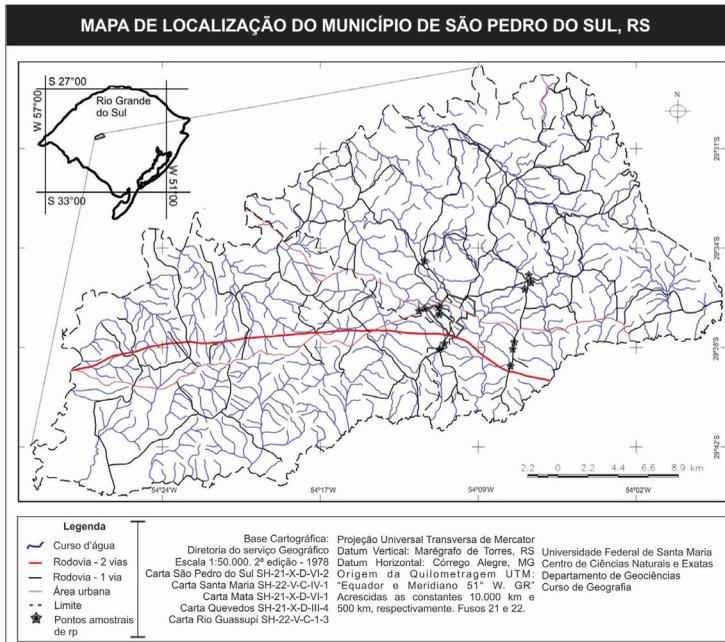


Figura 01 – Localização do município de São Pedro do Sul em relação ao estado do Rio Grande do Sul.

A economia do município tem por base a agropecuária, especialmente com a criação de bovinos e o cultivo de arroz, soja, milho e fumo (IBGE, 2010). A agropecuária é beneficiada pelo clima subtropical com verões quentes e chuvas bem distribuídas o ano todo.

O município de São Pedro do Sul, por estar localizado nas unidades morfológicas anteriormente referenciadas, possui, dentro de seus limites territoriais, feições de escarpa de planalto, entendida como a zona de transição entre o planalto e a depressão.

São Pedro do Sul apresenta, no topo dos morros residuais a predominância de rochas efusivas básicas e ácidas da Formação Serra Geral (basaltos e riolitos). No topo do planalto há predominância do basalto, também da Formação Serra Geral, considerando que na porção inferior da encosta podem ser encontrados materiais sedimentares da erosão de basalto e arenito (colúvio). Na depressão periférica verificam-se siltitos e argilitos do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, e também, materiais colúviais bastante pedregosos (Maciel Filho, 1990).

Segundo Klamt *et al* (2001), o município apresenta oito classes de solos: Argissolos, Alissolos, Nitossolos, Plintossolos, Chernossolos, Gleissolos, Cambissolos e Neossolos, conforme a classificação adotada pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999).

A área escolhida como amostragem para a obtenção dos dados de resistência à penetração (rp) foi a área centro-nordeste do município, abrangida pelo mapeamento semidetalhado realizado por Klamt *et al* (2001). Nessa área

encontram-se Neossolos, Argissolos e Cambissolos, dos quais os Argissolos e o Neossolo Quartzarênico foram submetidos a esta pesquisa. Estes Argissolos têm sua fragilidade ambiental associada à mudança textural abrupta, enquanto que o Neossolo a tem associada a sua fraca estruturação. Estes solos ocorrem na Depressão Periférica Sul-Riograndense, próximas à porção sul dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná.

**Procedimentos metodológicos**

A resistência à penetração (rp) de uma determinada unidade de solo é função da densidade, da porosidade e do teor de umidade, e também da cobertura do solo, do uso e do manejo do mesmo, além das características do relevo local, que interferem nessas propriedades. (Caputo, 1977). Sendo assim, para obter maior confiabilidade nas medições de rp, foram selecionados locais em que alguns parâmetros se mantivessem fixos para as amostragens, quais sejam: declividade do terreno de 10 a 20%, assim como o mesmo uso da terra/cobertura vegetal (pastagem/campo nativo).

Realizou-se assim, as medidas de rp em locais que atendessem a esses critérios e com o auxílio de GPS - Garmin eTrex – e Software Spring 4.3, foram localizados no mapa semi-detalhado de solos do município (Klamt *et al*, 2001). Neste caso, buscou-se realizar as medições o mais próximo possível dos locais das amostras representativas de solos que serviram para a elaboração do mapa semidetalhado de classificação dos solos do referido município. O referido mapa fora elaborado em 2001 com oito classes de solos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS – de 1999. Os locais exatos das medições de rp, bem como as classes de solo que foram usadas no experimento podem ser observados na figura 2.

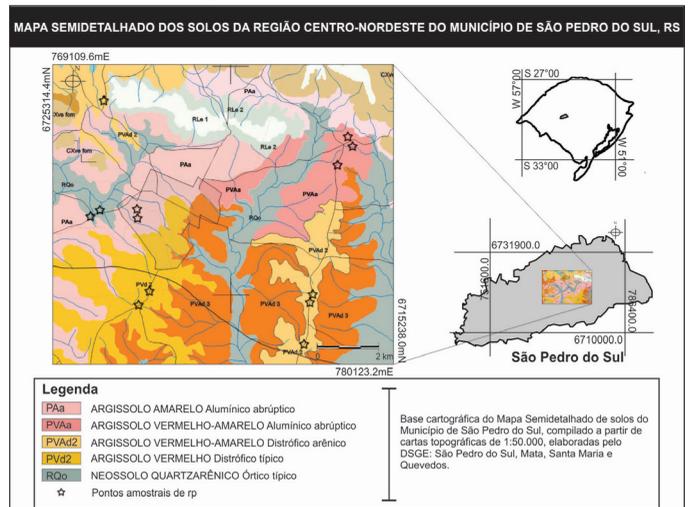


Figura 02 – Mapa semidetalhado de solos da região centro-nordeste do Município de São Pedro do Sul, RS, com a localização dos pontos amostrados. Fonte: Klamt *et al* (2001).

A resistência à penetração foi medida com o penetrômetro de percussão Modelo Stolf, que oferece duas alturas de queda do cilindro de peso constante. Foi utilizada a marca de 20 cm de queda para que as medidas fossem mais detalhadas. O procedimento de uso do penetrômetro consta em artigo escrito por seus idealizadores, Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1983). Na primeira medida abandona-se o cilindro em queda uma única vez e conta-se na haste graduada seu aprofundamento no solo. Há para isso, uma chapa de ferro com um orifício central onde se coloca a ponta do penetrômetro para iniciar os trabalhos, serve de nível para as medições. A partir daí, abandona-se o cilindro quantas vezes forem necessárias para que haja um aprofundamento da haste relativamente constante.

Segundo os autores, não é necessário ter um número de golpes fixo, pois os valores são calculados dividindo-se o número de golpes (impactos) pela variação da profundidade em centímetros. Como estes valores dão um resultado muito pequeno (um número muito pequeno), então, se multiplica o valor calculado por 10. Assim, o resultado será dado em impactos/dm. Ou seja, a resistência à penetração é dada pela seguinte expressão:

$$R_p = \text{Impactos/dm} = (\text{Impactos/variação da profundidade}) \cdot 10$$

Depois disso, cada ponto amostral tem seus valores de resistência à penetração e esses valores terão de ser retabulados para caracterizar uma classe de solo. Para tanto, é necessário transpor os valores calculados organizando-os em intervalos de classe com 2 cm de profundidade<sup>1</sup>. Posteriormente se faz a média aritmética geral de cada classe determinando os valores médios do perfil, pois em cada local amostrado fez-se 3 medidas de rp. A tabela 1 foi construída para exemplificar a medição de um ponto amostral e como proceder com os intervalos de classe.

**Tabela 01: exemplo de tabulação das medidas de resistência à penetração.**

Profundidade (cm)	Impactos	Impactos/dm*	Intervalo de classe (cm)	Impactos/dm
0 - 4	1	2,5	0 - 2	2,5
			2 - 4	2,5

\*  $\frac{1}{4} = 0,25 \cdot 10 = 2,5$

Para medir o declive da vertente, fez-se o uso do clinômetro de bolso – Yamano - e de uma haste de referência. Tal clinômetro oferece valores do declive em graus e em porcentagem.

Em trabalho de campo, os treze locais indicados na figura 2 foram submetidos aos testes de rp e seus valores médios analisados para cada classe de solo.

As classes de solo analisadas foram: Argissolo Vermelho

<sup>1</sup> Esta é a metodologia recomendada pelos idealizadores do penetrômetro de impacto Modelo IAA/Planalsucar-Stolf.

Distrófico típico (PVd2), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arenoso (PVAd2), Argissolo Amarelo Alumínico abruptico (PAAa) (SiBCS, 2006), originalmente classificado como Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico, pelo SiBCS de 1999, Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abruptico (PVAa) (SiBCS, 2006), originalmente classificado como Alissolo Crômico Húmico câmbico, pelo SiBCS de 1999, e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo). Os gráficos representativos das medidas de rp contêm medições em umidade ótima<sup>2</sup> e em menor umidade.

## Resultados e discussões

O Argissolo Vermelho Distrófico típico (PVd2) possui limitações físicas devido: à sua textura, à sua mudança textural, à espessura da camada arenosa e à declividade, fatores esses, que influem na dinâmica hídrica. Assim, dos Argissolos, estando estes sob influência da mesma declividade e possuindo o horizonte B textural na mesma proximidade com a superfície, ou seja, na mesma profundidade, o Argissolo típico é mais suscetível à erosão que um Argissolo arenoso, que por sua vez é, segundo Streck, *et al*, mais suscetível que um espessarênico (2002).

O perfil representativo deste solo em São Pedro do Sul, descrito por Klamt *et al* (2001) tem textura franco arenosa e transição plana e gradual até 55 cm de profundidade (A1: 0 a 30 cm; AB: 30 a 55 cm; e BA: 55 a 90 cm). Após, no horizonte BA, a textura é franco argilo arenosa.

Os mais elevados índices de rp (Figura 03) correspondem, à textura franco arenosa, característica de solos que possuem maior quantidade de macroporos (e baixa porosidade total, se comparados a solos mais argilosos), por conseguinte maior permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água (menor umidade que a camada localizada abaixo). Enquanto que os menores valores de rp correspondem à textura franco argilo arenosa, na qual a maior quantidade de argila diminui a velocidade de infiltração d'água, mantendo o solo mais úmido e menos compacto.

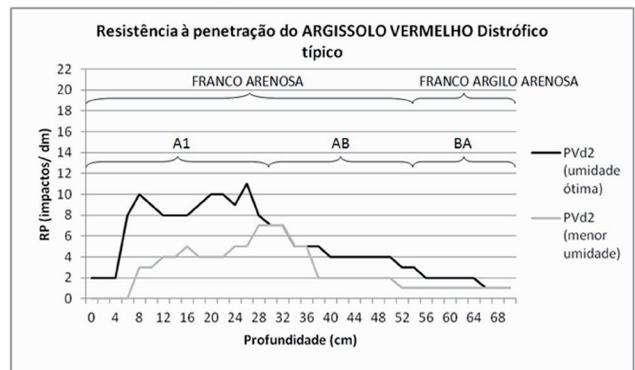


Figura 03 – Resistência à penetração do Argissolo Vermelho Distrófico típico em diferentes condições de umidade do solo.

<sup>2</sup> A “umidade ótima” é percebida quando o solo não está demasiado úmido, nem endurecido pela falta de água. Esta observação é recomendada pelos idealizadores do penetrômetro IAA/Planalsucar-Stolf.

Sua mudança textural e espessura da camada arenosa, que influem na dinâmica hídrica, são os principais fatos que fazem deste solo suscetível à erosão pela chuva (escoamento superficial e salpicamento). Os maiores valores de  $r_p$  presente no horizonte A1 refletem o Grau de Compactação característico de solos não coesivos. A literatura informa que solos mais arenosos apresentam menor porosidade total que solos argilosos, e, a acomodação dos grãos lhe confere maior compactação. O aumento do grau de compactação leva à redução linear da macroporosidade deste solo, incrementando, assim, sua resistência à penetração de estaca.

Observa-se que mesmo em diferentes condições de umidade do solo os maiores valores de  $r_p$  refletem a textura franco arenosa dos horizontes A1 e AB. Isso também é indicativo de que estes horizontes possuem uma boa condutividade hidráulica, permitindo a percolação da água para os horizontes abaixo, os quais contêm mais argila, logo, mais umidade e menores valores de  $r_p$ .

Nos locais amostrados verificou-se a presença de sulcos de erosão, sendo que próximo a essa área (porém não no local do experimento) ocorre exploração de matéria prima para fabricação de tijolos, além da presença de vegetação rasteira nas áreas estabilizadas. Nos demais locais a erosão não era aparente e sua cobertura era de vegetação rasteira (Figura 04).



Figura 04 – Local de ocorrência do Argissolo Vermelho Distrófico típico, (A e B) com presença de sulcos de erosão na localidade de Água Boa; e (C) com vegetação rasteira na estrada de saída para Dilermando de Aguiar e (D) na BR 287 próximo ao trevo de São Pedro do Sul. Na figura “B” o material que sofre erosão é o do horizonte C e o horizonte com mais argila consegue segurar um pouco a erosão, mas acaba retraído lateralmente pela erosão e se alargando sobre o horizonte C.

Na descrição representativa do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd2), feita por Klamt *et al* (2001), no município de São Pedro do Sul, consta ser este um solo profundo, bem drenado, de textura franco arenosa, ligei-

ramente duro, que transiciona plana e gradualmente para um horizonte E de textura franco arenosa e deste, abruptamente para um Bt1, igualmente franco arenoso (A: 0-35 cm; E: 35-53 cm; e Bt1: 53 a 71 cm). O material originário é composto de arenitos finos com intercalações de siltitos argilosos.

Numa profundidade de 0 a 71 cm, a textura desse solo é franco arenosa e de transição plana e gradual, porém, uma transição plana e abrupta ocorre na profundidade de 35 a 53 cm (correspondente ao horizonte E). A erosão para esse solo é do tipo laminar, segundo Klamt *et al* (2001), e sua suscetibilidade à erosão está relacionada à mudança textural abrupta, que ocorre do horizonte A (0 – 35 cm) para o horizonte E (35 – 53 cm, observar a Figura 05) e à declividade.

Em condições de mesma declividade, quanto mais próximo à superfície for o B textural, mais rapidamente se evidencia a erosão (Streck *et al*, 2002). Para essa classe, os maiores valores de  $r_p$  encontram-se em torno dos 40 cm de profundidade (Figura 05).

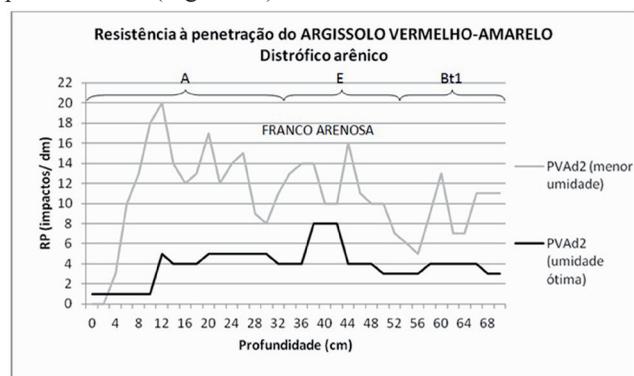


Figura 05 – Resistência à penetração do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico em diferentes condições de umidade do solo.

Tal camada (em torno de 40 cm de profundidade) referida acima corresponde ao horizonte E, o mais arenoso do perfil, pois perde argila para o horizonte seguinte, o Bt1 (com acúmulo de argila). A diminuição da  $r_p$  do solo com a profundidade coincide com o horizonte de acúmulo de argila (Bt1). A textura franco arenosa presente nos primeiros 70 cm do perfil é a principal responsável pelos valores mais altos de  $r_p$ . Nota-se, especialmente, o incremento destes valores quando na condição de menor umidade do solo. Quando seco, a consistência do horizonte A1 é dura e quando úmido, é friável.

Observa-se nos 10 primeiros centímetros de profundidade os menores valores de  $r_p$ , correspondendo à presença de matéria orgânica e de raízes, que proporcionam menor grau de compactação deste horizonte. A argila presente em Bt1 garante a permanência da água neste horizonte e o fenômeno da vasocapilaridade. Também se identifica a presença de raízes, sendo mais um fator de descompactação deste horizonte.

As medições feitas em ocasião de menor umidade demonstram maiores valores de  $r_p$  e disso depende-se maior compactação do solo. Os locais avaliados não apresentaram formas erosivas visíveis (Figura 06).



Figura 06 – Local de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, (A) ao norte da BR 287 na via que a liga com a estrada velha Santa Maria – São Pedro do Sul/RS; e (B) na estrada de saída para Toropi/RS.

O Argissolo Amarelo Alumínico abruptico (PAa) é um solo imperfeitamente drenado, fortemente suscetível à erosão devido ao gradiente textural abrupto (relativa variação de argila). A drenagem imperfeita do terreno, ou seja, dificuldade de percolação da água no perfil devido à presença de um horizonte Bt, com grande quantidade de argila em relação aos horizontes acima (sequencia A1, E e Btf), faz com que a água que passa facilmente nos horizontes A e E (devido à pouca quantidade de argila), seja barrada, pois a presença de argila dificulta a drenagem neste horizonte, o qual funciona como reservatório de água. Essa condição limita a mecanização, sendo mais recomendável a permanência do campo nativo e o uso para pastagem (Klamt *et al*, 2001).

Este solo no município de São Pedro do Sul é medianamente profundo, com seqüência de horizontes A1 (0-45 cm), E (45-65), Btf (65-102) e BC, com textura franco arenosa, imperfeitamente drenado e transição abrupta entre os horizontes E e Btf (Klamt *et al*, 2001). Possui alto teor de alumínio trocável (8,6 em Btf), sendo, por isso, prejudicial às plantas. Da mesma forma, os valores de saturação por bases denunciam um solo de fertilidade baixa ou média ( $V < 50\%$ ).

A maior  $r_p$  foi registrada na faixa de 5 a 24 cm de profundidade, o que corresponde ao horizonte A1 de textura franco arenosa (Figura 07). Embora a textura franco arenosa caracterize-se nas duas classes de solo anteriores com valores de  $r_p$  mais elevados, isto não é tão marcante nesta classe de solo e neste ponto amostral. A sua resistência à penetração pode ter sido atenuada pela presença de matéria orgânica que se distribui nos 45cm do horizonte A1. A presença de matéria orgânica confere maior porosidade ao perfil, além disso, quando seco, sua estrutura é friável, e quando úmido, é ligeiramente plástico.

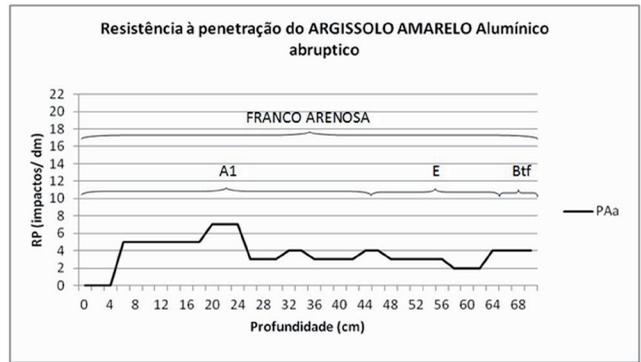


Figura 07 – Resistência à penetração do Argissolo Amarelo Alumínico abruptico em ocasião de umidade ótima.

Num dos locais em que se executaram os testes de  $r_p$  registrou-se a presença de formas erosivas (ravinas e anfiteatros erosivos com supressão do horizonte E) e noutra a presença de pastagem natural e sem erosão aparente (Figura 08). As limitações químicas e de fertilidade deste solo contribuem para uma cobertura vegetal deficiente em termos de conservação das propriedades físicas do mesmo, sendo suscetível à escassa vegetação e, logo, à compactação do solo. Esta condição é amenizada pela presença de um horizonte B textural, o qual tende a reter água nos horizontes acima. A mudança textural abrupta, bem como a presença de um horizonte E franco arenoso, põe esse solo numa condição bastante suscetível à erosão, uma vez que o horizonte E pode saturar-se rapidamente e atingir seu limite de liquidez devido à relativa impermeabilidade do horizonte Bt, logo abaixo; desencadeando, assim, uma movimentação de massa (horizontes A1 e E). A figura 08-A reflete evidências da ocorrência de erosão subsuperficial (*piping*) neste solo, e também, durante os experimentos de  $r_p$  em alguns momentos observou-se que a falta de resistência do solo à penetração da estaca indicava a existência de espaços ociosos em camadas inferiores do solo forçando a abortar o experimento naqueles locais.

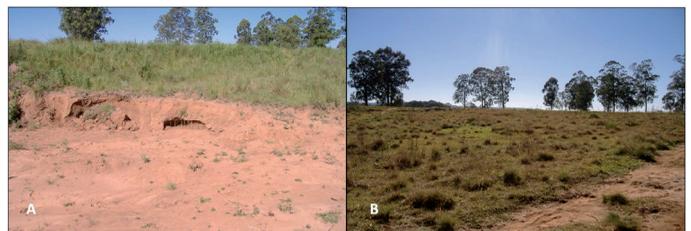


Figura 08 – Local de ocorrência do Argissolo Amarelo Alumínico abruptico, (A) com presença de formas erosivas (anfiteatros erosivos) próximo ao cemitério municipal, entre a ferrovia e a estrada velha Santa Maria – São Pedro/RS; e (B) com pastagem natural na estrada velha Santa Maria – São Pedro/RS próximo ao hospital.

Na descrição do Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminíco abrupto (PVAa) o horizonte A1 (0 a 25 cm) possui textura franco argilosa, A2 (25 a 60 cm), franco e AB (60 a 72 cm), franco argilosa, os demais horizontes são característicos Bt e BC. A suscetibilidade à erosão deste solo é moderada devido ao gradiente textural (Klamt *et al*, 2001).

As medidas de rp mostram compactação maior nos primeiros 28 cm de profundidade (Figura 09). A textura franco argilosa do horizonte A1 contém os mais elevados índices de rp, possivelmente relacionado ao uso do solo para criação de gado, o que incrementa a compactação, haja vista que o horizonte argiloso possui grande plasticidade e capacidade de se compactar sob o peso do gado, e, também, à vegetação pouco desenvolvida devido à baixa fertilidade deste solo (caráter aluminíco) e ao manejo.

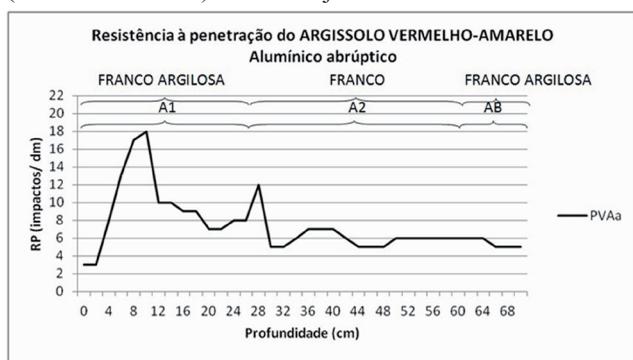


Figura 09 – Resistência à penetração do Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminíco abrupto em ocasião de umidade ótima.

Possui limitações químicas devido à alta saturação por alumínio trocável (17 e 18 em Bt e BC) e fertilidade média a baixa devido à saturação por bases inferior a 50%. Nestas condições este solo é suscetível à compactação por ser argiloso e devido ao baixo desenvolvimento de plantas, logo, possui baixa aeração do solo e baixa capacidade de retenção de água. Sua capacidade de retenção de água é aliviada pela presença de argila no horizonte Bt, a qual tende a reter água para os horizontes acima. Ou seja, a compactação é grande devido ao teor de argila presente desde o horizonte A1 e a retenção da umidade se dá, também, desde as primeiras camadas devido à presença de argila.

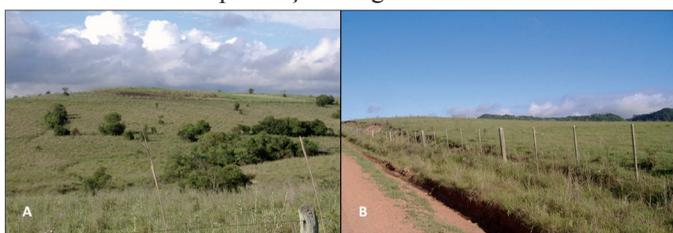


Figura 10 – Local de ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminíco abrupto com pastagem natural destinado à criação bovina. Ambas (A e B) nas imediações da igreja do Divino, São Pedro do Sul/RS.

Quanto ao Neossolo Quartzarênico Órtico típico – Rqo – este integra uma classe de solos muito frágeis devido à fraca estruturação, e apresenta alta suscetibilidade hídrica e eólica, não sendo recomendados nas áreas de pastagem devido à ação do pisoteio bovino (Klamt *et al*, 2001).

Segundo descrição realizada de um perfil representativo deste solo, em São Pedro do Sul, são solos bem drenados de textura areia franca na seqüência de horizontes A1 (0 a 90 cm), C1 e C2. A literatura recomenda práticas conservacionistas severas para este tipo de solo, especialmente, se associado à declividades maiores.

Sua rp não demonstrou grandes variações ao longo dos 70 cm de profundidade, posto que se trata do mesmo horizonte de solo, A1, de textura areia franca; sua maior resistência, entretanto, encontra-se entre 10 e 20 cm (Figura 11), o que reflete sua baixa capacidade de retenção de água ocasionada pela textura, areia franca.

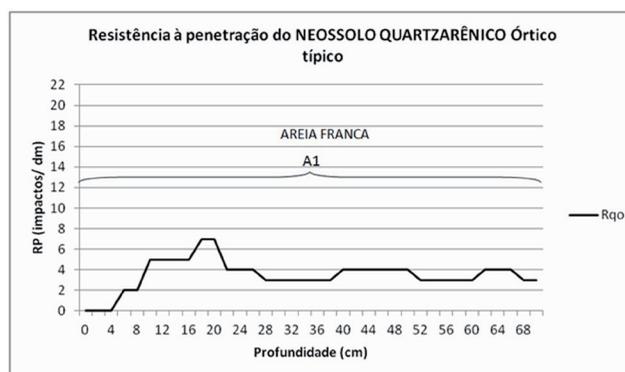


Figura 11 – Resistência à penetração do Neossolo Quartzarênico Órtico típico em ocasião de umidade ótima.

A rp deste solo reflete sua textura areia franca, a ausência de estrutura, a consistência seca macia; consistência úmida, solta; consistência molhada, não plástica; e consistência muito molhada, não pegajosa. Nas áreas dos testes verificou-se a ocorrência de pastagem natural destinada à criação de poucos bovinos. Não foram identificadas formas erosivas (Figura 12).



Figura 12 – Local de ocorrência do Neossolo Quartzarênico Órtico típico, (A e B) com pastagem natural destinado à criação bovina. Estrada de saída para o município de Mata/RS.

## Considerações finais

Todos os solos avaliados apresentam entre si a semelhança de terem os maiores valores de  $r_p$  nos primeiros 25 cm de profundidade (excetuando-se os 5 cm primeiros) e os menores valores a partir dos 40 cm. Esta camada de solo mais resistente à penetração reflete o “pé de grade”, camada de solo que sofre maior compactação pelo pisoteio bovino e maiores perdas de umidade. Em geral, notou-se que para a primeira camada de solo, nos primeiros 5 centímetros, a quantidade de matéria orgânica e as raízes das plantas influem na baixa resistência à penetração observada, pois garantem a boa estruturação do solo. A camada seguinte, mais arenosa que a primeira (com exceção do Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupto, cujo horizonte A1 é argiloso até 28 cm de profundidade) apresenta menor umidade e maiores índices de  $r_p$ . E por fim, a partir dos 40 cm em geral, há um decréscimo dos valores de  $r_p$ , pois se trata de uma camada mais argilosa que possui maior umidade devido à capacidade de armazenamento de água da argila e do fenômeno de vasocapilaridade provocado por ela.

O Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico abrupto apresentou os índices mais elevados de  $r_p$  nos primeiros 28 cm de profundidade, o que reflete o seu uso, para criação de gado e sua grande plasticidade e capacidade de se compactar devido à textura franco argilosa. O seu caráter alumínico, que é responsável pelo baixo desenvolvimento de plantas, associado à presença de argila no horizonte A1 proporcionou sua compactação a qual pôde ser percebida nos testes de  $r_p$ .

Também foi possível associar os maiores valores de  $r_p$  com a textura mais arenosa, no caso, franco arenosa. Isto se justifica porque a porosidade total de solos arenosos é inferior a solos argilosos, pois a acomodação das partículas geométricas elimina espaços vazios e a quantidade de macroporos permite uma drenagem eficiente, não sendo possível o armazenando água nesses horizontes. Assim, a compactação e o maior ressecamento neste ambiente textural são acentuados e se reflete na resistência à penetração de estaca.

Têm-se, a partir dos dados coletados, duas situações de análise: na primeira estão os solos que apresentam suscetibilidade à erosão por apresentarem maior compactação, evidenciada por apresentarem maiores valores de  $r_p$  (o que reflete maior compactação do mesmo, menor infiltração de água, aumento do escoamento superficial e consequente aumento da erosão superficial, ou perdas de solo); na segunda incluem-se os solos que são altamente suscetíveis à erosão devido à sua fraca estruturação ou gradiente textural abrupto. Este último enfoque pôde ser percebido através dos testes de  $r_p$  somente para o solo de fraca estruturação, a saber, o Neossolo Quartzarênico Órtico típico, o qual apresentou baixos valores relativos de  $r_p$  e baixa variação de  $r_p$  na camada analisada de 70 cm de espessura. Refletindo nos valores de  $r_p$  a sua característica ausência de estrutura, que dificulta a coesão deste solo.

As classes de solos avaliadas apresentaram uma curva de resistência à penetração semelhante, o que leva a concluir que ao se analisar solos de diferentes classificações (as cinco aqui analisadas), com texturas areia franca, franco arenosa, franca e franco argilosa (até 70 cm de profundidade), sob as mesmas condições (ou condições semelhantes) de relevo, ou seja, declive de 10 a 20%, umidade e cobertura vegetal, obteve-se respostas semelhantes de resistência à penetração independentemente de suas suscetibilidades à erosão.

Assim, sob as condições metodológicas e técnicas adotadas para esta pesquisa foi possível relacionar os atributos físicos do solo e sua hidrodinâmica com a resistência que eles oferecem à penetração, embora não tenha sido possível estabelecer relações entre suscetibilidade à erosão do solo, que seria o retrato da fragilidade das vertentes, com a resistência à penetração que estes solos oferecem.

Depreende-se, portanto, a partir dos resultados obtidos, e para as classes e condições adotados na presente pesquisa, que os testes com o penetrômetro de percussão foram eficientes para avaliar os solos quando relacionados aos diferentes usos, cultivos, tipos de cobertura vegetal, declives, umidades, compactação, porém, não ofereceram a mesma segurança, para avaliar as diferenças entre as diferentes classes de solos em questão.

## Referências bibliográficas

- AZEVEDO A. C. & DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente:** uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004, p. 15-52.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1977. 242 p. v. 1.
- CHRISTOFOLETTI, A.. Questões ligadas à pesquisa e ao ensino em geografia física. In: V Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1993, Rio Claro. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993, p. 21 – 29..
- COLLARES, G. L. Compactação em Latossolos e Argissolo e a relação com parâmetros de solo e de plantas. 2005. 106f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista do Departamento de Geografia – FFLCH/USP. São Paulo, 1992. n. 6. p. 45 – 60.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa, 1999, 412p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006, 306 p.

- FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **Resumo estatístico RS**. Disponível em: < [http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_municipios\\_detalhe.php?municipio=S%E3o+Pedro+do+Sul](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=S%E3o+Pedro+do+Sul) >. Acesso em: 8 nov. 2011.
- HUBER, R. **Estudo da fragilidade de vertentes através da resistência à penetração – São Pedro do Sul, RS**. 2008. 69f. Monografia. (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidade@**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> >. Acesso em 8 nov. 2011.
- KLAMT, E.; FLORES, C. A.; CABRAL, D. R. (Ed.). **Solos dos Município de São Pedro do Sul**: características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso agrícola. Santa Maria, 2001, 96 p.
- MACIEL FILHO C. L. **Carta de Unidades Geotécnicas de Santa Maria – RS**, Carta dos condicionantes à ocupação de Santa Maria – RS. Santa Maria, s. n., 1990. 1 mapa.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980, p. 83-109.
- QUEIROZ NETO, J. P. Pedologia: conceito, método e aplicações. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 3, p. 95 – 102, 1986.
- QUEIROZ NETO, J. P. Relações entre as vertentes e os solos: Revisão de conceitos. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 15 – 24, 2011.
- ROSS, J. L. S. Ensaio e experimentos na análise da fragilidade dos ambientes naturais: O Penetrômetro de Percussão. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.11, p. 57 – 66, 1997.
- ROSS, J. Relevô brasileiro: uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento de Geografia - São Paulo, 1985. n.4. p. 25-39.
- ROSS, J. L. S. & FIERZ, M. S. M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de textos, 2005. P. 69 – 84.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto, IAA/Planalsucar-Stolf.; Recomendações para o seu uso. R. STAB, Piracicaba, v. 1 n. 3, p. 18 – 26. 1983.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/ RS; UFRGS, 2002, 107 p.
- VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J. C. A. & ALBIERO, J. H. **Solos do interior de São Paulo**. São Paulo, 1993. cap. 7, p. 177-206.
- WERLANG, M. K. Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: conformação da paisagem na zona de transição da Bacia do Paraná na Depressão Central do Rio Grande do Sul. 2004. 242f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.