

Propriedades físicas e químicas de cobertura superficial em encosta com erosão em túneis, Guarapuava (PR)

Physical and chemical properties of surface coverage in hillslope with tunnel erosion, Guarapuava (PR)

Wellington Barbosa Silva^{1(*)}

Marga Eliz Pontelli²

Gisele Pietrobelli³

Cleverson Holocheski⁴

Rafael Adriano Castro⁵

Resumo

Em baixa encosta, a margem direita do rio das Pombas em Guarapuava (Paraná), foram identificados processos de erosão em túneis (*pipes*). Tratam-se de processos subsuperficiais de erosão que apresentam feições típicas, tais como, subsidência do teto do túnel e estruturas de abatimento, que tendem a evoluir para feições superficiais. Procurou-se com o presente trabalho reconhecer as propriedades físicas e químicas da encosta que apresenta o processo de erosão em túneis, com ênfase à textura, macroporosidade, densidade, porosidade e mineralogia de argilas. Foram realizadas análises granulométricas, de densidade aparente, real e porosidade total e análises químicas de difração de raios-X. Os resultados indicaram que o material que recobre o setor de baixa encosta, onde aparecem os túneis, apresenta textura arenosa devido às propriedades de microagregação gerada pelo argilomineral gibbsita, deixando o material com porosidade alta, favorecendo assim a circulação de água em subsuperfície. Os fluxos gerados tendem a ser exfiltrados para uma superfície de exposição, o que provoca a remoção de pequenas partículas de material (erosão por vazamento). Com a abertura de pequenos canais em subsuperfície, os

1 MSc.; Licenciado em Geografia; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Endereço: Rua Coronel Saldanha, 3291, Santa Cruz, CEP: 85015-250, Guarapuava, Paraná, Brasil; (*) Autor para correspondência.

2 Dra.; Geógrafa; Professora Adjunta da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Francisco Beltrão; Endereço: Rua Maringá, 1200, Vila Nova, CEP: 85605-010, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil; Caixa-postal: 371; E-mail: mepontelli@hotmail.com

3 Dra.; Geógrafa; Revisora técnica da Revista *Perspectiva Geográfica*; Professora da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, UNICENTRO; Endereço: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Batel, CEP: 85040-080, Guarapuava, Paraná, Brasil; Caixa-postal: 3010; E-mail: gipietrobelli@hotmail.com

4 MSc.; Geógrafo; Trabalha na Secretaria de Estado da Educação, SEED; Endereço: Rua Juvenal Caldas, 215, Guarapuava, Paraná, Brasil; E-mail: c_holocheski@hotmail.com

5 Licenciado em Geografia; Bacharelado em Geografia na Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, UNICENTRO; Endereço: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Batel, CEP: 85040-080, Guarapuava, Paraná, Brasil; E-mail: rafael_cvx@hotmail.com

fluxos tendem a se concentrar (escoamento por túnel) e conseqüentemente ampliar os canais subsuperficiais pela ação mecânica da água. As características físicas e químicas encontradas na baixa encosta demonstram que a cobertura superficial é determinante para a instalação da erosão subsuperficial em túneis na área.

Palavras-chave: erosão subsuperficial; macroporosidade; gibbsita.

Abstract

In lower hillslope, on the right bank of rio das Pombas, Paraná state, processes of tunnel erosion (pipes) were identified. These are subsuperficial erosion processes with typical features, such as subsidence of the tunnel roof and rebate structures, which tend to evolve to superficial features. With emphasis on texture, macroporosity, bulk density, porosity and clay mineralogy, this work aimed at recognizing the physical and chemical properties of the slope that shows the erosion process in tunnels. Analysis of size, apparent density, real and total porosity, as well as chemical analyzes of X-ray diffraction were performed. The results indicated that the material that covers the lower slope sector, where tunnels appear, is of a sandy texture because of the micro-aggregation properties generated by the clay mineral gibbsite, leaving the material with high porosity, thereby facilitating the movement of subsurface water. The generated flows tend to be exfiltrated to a ditch wall-like surface that causes the removal of small particles of matter (seepage). With the opening of small channels in the subsurface, flows tend to concentrate (tunnel scour) and, thus, expand the channels by the mechanical action of subsurface water. The physical and chemical characteristics that were found in the lower slope show that the surface coverage is crucial for the installation of subsurface erosion in tunnels in the area.

Key words: subsuperficial erosion; macroporosity; gibbsite.

Introdução

Morfoestruturalmente, o Terceiro Planalto Paranaense pode ser interpretado como resultante de vários setores chamados por Santos et. al. (2006) de subunidades esculturais. A subunidade Planalto de Guarapuava/Palmas se caracteriza, na região de Guarapuava, por apresentar morfologia de platôs com setores de blocos planálticos dissecados pela drenagem. As áreas altas e planas constituem os chamados platôs de Guarapuava, Entre Rios e Três Pinheiros (TRATZ, 2009).

No setor correspondente ao Planalto de Dissecação, foi verificada numa encosta vegetada, margem direita do rio das Pombas, feições erosivas tipo túneis (*pipes*). Esses túneis podem se formar pelo carreamento de pequenos grãos do solo, partículas de argila e colóides, ou mesmo pela remoção dos componentes do solo por solução (AUGUSTIM; ARANHA, 2006).

Com a retirada de materiais, seja por processos mecânicos ou químicos, constituem-se rotas preferenciais de fluxos de água em subsuperfície responsáveis por diversos mecanismos de erosão. O mesmo

processo erosivo foi observado em paisagens naturais e antropogênicas, em diferentes climas, litologias e depósitos, bem como em diferentes usos do solo e coberturas vegetais (ROMERO DÍAZ et. al., 2007). Thomas (1994) buscou entender como se dá o início dos processos erosivos em subsuperfície, mas não há ainda consenso sobre o assunto, mesmo porque, existem muitas variáveis que podem dar origem a esses processos.

Os túneis resultam da exfiltração de água, gerando uma força associada a um gradiente de potencial hidráulico que atua sobre um grão ou sobre um grande volume de rocha/solo (FERNANDES, 1990). É uma forma específica de erosão subsuperficial, que foi descrita pela primeira vez por Richthofen, em 1872, na China (ZACHAR, 1982). Para Selby (1982), os fatores possíveis para o surgimento da erosão em túneis são: oscilações na precipitação, solo propenso ao surgimento de gretas de contração em períodos de seca, redução na cobertura vegetal, camada relativamente impermeável no perfil, existência de gradiente hidráulico e camada dispersiva no solo.

Os túneis podem ser importantes vias de circulação de água em subsuperfície e podem entrar em colapso gerando sulcos no solo (SELBY, 1982), sendo o colapso do teto do túnel e o posterior voçorocamento do solo o estágio final da erosão em túneis (ZACHAR, 1982). Estudos realizados por Camargo (1998) no Segundo Planalto Paranaense confirmam essa afirmação, indicando que os túneis encontrados na região passam a constituir rotas preferenciais do fluxo de água e são responsáveis por diversos mecanismos de erosão que eventualmente evoluem para canais em superfície.

Essa forma de erosão também pode ser atribuída a fluxos concentrados através

de macroporos no solo, fendas de dissecação ou fraturas nas rochas (ROMERO DÍAZ et. al., 2007). É considerado como um processo limitado a determinados tipos de materiais, particularmente em regiões áridas (BRYAN; JONES, 1997), tendo uma maior ocorrência em solos arenosos e argilosos (RICHLEY, 2000).

Faulkner (2007), estudando o alto da bacia do ribeirão Alkali localizado dentro da Floresta Nacional de 'White River' no Planalto de Colorado (Estados Unidos da América), também identificou o erosão em túneis como sendo um processo gerado pelo comportamento dispersivo da translocação do sódio ou esmectita de forma vertical no solo. Romero Díaz et. al. (2007) discutem a presença de sódio, potássio e magnésio em solos da região próxima ao rio Mula na província de Murcia, sudeste da Espanha.

A ocorrência de erosão em túneis é usualmente associada com alterações nas condições hidrológicas do solo, que resultam numa frequente saturação de argilas (RICHLEY, 2000). Altos valores de sódio no solo, somados a níveis muito altos de carbonatos de cálcio, facilitam a dispersão de argilas pelo sódio e o transporte de material em suspensão (ROMERO DÍAZ et. al., 2007). O efeito de dispersão dos solos é a deflocação da fração argila, quando a água é adicionada, enfraquecendo as ligações químicas entre as partículas por troca iônica ou por lixiviação (SELBY, 1982). Gutiérrez et. al. (1997), estudando o noroeste da Espanha, na bacia do Rio Ebro, constatou que os solos da área têm argilas compostas de illita, que apresentam altas concentrações de sódio, provocando desse modo a quebra das estruturas do solo e a dispersão da argila. Higgins e Schoner (1997) indicam que o sódio trocável é um

indicador eficaz de dispersividade de argila, sendo o sódio um agente dispersor no solo, alterando a estabilidade dos agregados.

Gutiérrez et. al. (1997) explicam que a quebra do solo possa ser explicada pela pressão osmótica produzida quando a concentração de íons, principalmente de sódio, no solo são maiores do que na solução de água. Isso faria com que a água se movimentasse no solo para reduzir a diferença de concentração dos íons, aumentando assim a concentração de água no solo e, conseqüentemente, ampliando os canais gerados pelos pontos onde houve a quebra.

Estudos efetuados por Toniolo et. al. (2009) em Caribou-Poker, Alaska, Estados Unidos da América, demonstram que o processo de erosão em túneis também pode ser provocado pelo rápido descongelamento dos solos (permafrosts). Segundo os autores, o rápido derretimento do gelo confinado no solo gera fluxos capazes de mobilizar grande quantidade de sedimentos, ocasionando subsidências nos solos antes congelados. Essas subsidências são geradas ao longo dos canais subsuperficiais até pontos do terreno com declives mais suaves, tendo seus canais rapidamente entulhados por sedimentos.

Outra forma de erosão é dada pela água de exfiltração, que carrega o solo ou rocha, de acordo com o fluxo constante e emergente em meio poroso, sendo ainda denominado de seepage erosion ou erosão por vazamento (COELHO NETTO, 1998). Para o surgimento da erosão em túneis e seu desenvolvimento, o solo deve ser coeso o suficiente para manter as paredes do túnel, mas suscetível ao processo erosivo em si (DUNNE, 1990). Bryan e Jones (1997) simplificam o assunto explicando que em cada caso específico, a erosão em túneis

reflete a interação crítica entre as condições climáticas, características do solo/regolito e características locais dos gradientes hidráulicos.

Um sistema de túneis e suas várias feições dão ao relevo, em escala reduzida, uma característica pseudocárstica (ZACHAR, 1982). Oliveira e Camargo (1996) propuseram que as depressões topográficas estão relacionadas à subsidência do terreno, sendo este, um fenômeno de rebaixamento da superfície ou redução do nível do terreno, devido à remoção de suporte subterrâneo (SANTOS, 2005). Quando o túnel sofre ação direta da corrosão de suas paredes e principalmente do material em seu teto, surgem em superfície aberturas circulares chamadas de estruturas de abatimento por Rodrigues (1984).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar a composição granulométrica e química da cobertura superficial do setor de baixa encosta que apresenta processo erosivo em túneis, na bacia do rio das Pombas dentro da bacia do rio das Pedras na região do município de Guarapuava, Paraná.

Área de Estudo

No município de Guarapuava, Paraná, afloram rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral, sendo que no domínio das ácidas ocorrem desde os tipos dacitos, latitos, quartzo-latitos, riocacitos e riolitos, e entre o domínio das básicas, são relacionados os basaltos tabulares maciços, basalto lobados, basaltos hipovítreos e basaltos fácies Campo Erê (TRATZ, 2009).

A área de estudos está inserida na bacia do rio das Pedras, situada na unidade litoestratigráfica de basalto tabular maciço e na

unidade de planalto dissecado, apresentando grande densidade de falhas e fraturas, que são aproveitadas pela rede de drenagem configurando vales em forma de “v” (TRATZ, 2009). Na sub-bacia do rio das Pombas, bacia do rio das Pedras, afloram basaltos tabulares maciços (JKSG-2) caracterizados por apresentar textura equigranular fina com coloração que varia do cinza ao cinza escura. Mineralogicamente são compostos, em média, por 45% de plagioclásio (hábito tabular), 45% de clinopiroxênio (cristais prismáticos), 5% de óxidos de ferro e 5% de clorita como mineral secundário (TRATZ, 2009).

Em campo, observa-se predomínio de estrutura amidoloidal nos afloramentos rochosos da alta e média encosta. Na baixa encosta não se observa essa característica, uma vez que, os afloramentos mostram-se com características de textura maciça.

A cobertura pedológica da bacia é marcada pela presença de cambissolos húmicos aluminicos (CHa 6) e hálpicos distróficos (Cxbd 30), neossolos litólicos distro-úmbricos (RLdh) e regolíticos húmicos (RRh 1), bem como nitossolos (Nbd 2) e latossolos LBd 2), ambos distróficos (SANTOS et. al., 2006), predominando, segundo Müller e Pott (2004), as classes dos latossolos e nitossolos.

Segundo classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, subtropical mesotérmico – úmido sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado. A pluviosidade apresenta-se bem distribuída ao longo do ano, com precipitações médias anuais em torno de 1961 mm, apresentando variações extremas consideráveis.

A vegetação natural da região, segundo Silva (2004), corresponde a Floresta Ombrófila Mista (FOM), sendo que atualmente na área, o setor médio da encosta

apresenta-se desmatado e com presença de pastagem para animais de pequeno e médio porte. No setor de baixa encosta, a margem direita do rio das Pombas, onde aparece o processo erosivo em túneis (Figura 1), há presença de mata secundária composta por árvores de médio porte, com troncos finos e tortuosos, forrada por gramíneas e por plantas rasteiras adaptadas a solos com umidade constante.

Metodologia

A fim de reconhecer as propriedades físicas e químicas do setor de baixa encosta, foram aplicadas análises de densidade aparente, real e de porosidade total, granulométricas pelo método convencional proposto pela EMBRAPA (1997) e também análises granulométricas pelo método sugerido por Carolino de Sá et al. (modificado, 1999), além de análises de difratometria de raios-X.

Todas as amostras foram retiradas de duas seções abertas na baixa encosta, uma na parte final do sistema de túneis, denominada trincheira 1 e uma dentro de uma área de subsidência no início do sistema, denominada de trincheira 2. Dessa forma, utilizou-se enxada e cortadeira para a abertura das trincheiras e facão para a limpeza das seções abertas.

As análises de densidade aparente e real, propostas no manual EMBRAPA (1997), buscam indicar se há compactação ou algum possível horizonte de impedimento num perfil da cobertura superficial através do uso de anéis volumétricos para retirada das amostras. A porosidade total visa indicar, através de cálculos utilizados com os resultados obtidos das análises de densidades, qual a capacidade do material em permitir



Figura I. Localização dos túneis na encosta do rio das Pombas (área de estudo)

que a água circule entre os poros, tendo uma classificação que varia de baixa até muito alta.

Já a análise granulométrica proposta pelo manual EMBRAPA (1979) quantifica as frações que compõe o material através do peneiramento de certa quantidade de amostra desagregada e pesada, sendo que o material mais fino que não pode ser quantificado via peneiramento é posteriormente tratado e quantificado através de pipetagem (via úmida).

Análise granulométrica sugerida por Carolino de Sá et al. (1999) visa à desagregação com o uso de ultrassom (sonificação), para que possíveis agregados não mascarem a verdadeira composição granulométrica do material. Essa técnica não destrói grãos minerais e concreções sendo útil quando é notada a baixa dispersibilidade do material em água.

A difratometria de raios-x (DR-X) é essencial para a caracterização mineralógica dos argilominerais e de outros constituintes cristalinos presentes nas frações granulométricas mais finas dos solos, como silte e argila (CALDERANO, 2009). Essa informação é importante para entender o comportamento dos materiais, podendo

revelar argilominerais com comportamento dispersivo ou de agregação.

Resultados e Discussão

Com a análise dos resultados das densidades, constatou-se que a densidade dos materiais diminuiu conforme as amostras se aproximam da superfície (Tabela 1), apresentando valores, respectivamente de, 0,84g/cm³ e 0,82g/cm³, nas coletas das duas trincheiras. Próximo a rocha, a densidade aumentou nas duas trincheiras, com valores de 1,28g/cm³ na trincheira 1 e 1,33g/cm³ para a 2.

A densidade real sofreu variações dos seus valores ao longo do setor de baixa encosta, nas duas trincheiras. Os resultados das análises de densidade real apresentaram valores com variação entre 2,40g/cm³ e 2,22g/cm³, respectivamente na trincheira 1. Na trincheira 2 ocorreu uma variação maior, entre 2,73g/cm³ e 2,22g/cm³.

A porosidade do material estudado pode ser considerada de alta para muito alta (Tabela 2), sendo os seus resultados compatíveis à textura encontrada no setor, que se apresentou como arenosa.

Tabela 1. Resultados dos ensaios para densidade aparente, real e porosidade total pelo método do anel volumétrico

Anel Volumétrico	Profundidades (cm)	Peso (g)	Densidade (g/cm ³)		Porosidade total %	
			Aparente	Real		
Trincheira 1	AV 4	15-0	78,94	0,84	2,35	64,26
	AV 3	32-15	89,75	0,95	2,22	57,21
	AV 2	44-32	101,22	1,07	2,40	55,42
	AV 1	63-44	120,58	1,28	2,38	46,22
Trincheira 2	AV 4	10-0	77,45	0,82	2,25	63,55
	AV 3	29-10	92,64	0,98	2,22	55,86
	AV 2	55-29	102,66	1,09	2,37	54,12
	AV 1	77-55	125,43	1,33	2,73	51,28

Tabela 2. Relação entre porosidade, índice de vazios e sua denominação

Porosidade (%)	Índice de vazios	Denominação
Maior que 50	Maior que 1	Muito alta
50 – 45	1,0 – 0,8	Alta
45 – 35	0,8 – 0,55	Média
35 – 30	0,55 – 0,43	Baixa
Menor que 30	Menor que 0,43	Muito baixa

Fonte: laeg, 1974 apud Fiori & Carmignani, 2001.

Ainda que esses resultados mostrem que dentro do volume há variações de densidade, não se pode considerar que há horizonte de impedimento ao longo do corte em nenhuma das trincheiras, indicando assim, uniformidade na drenagem no sentido vertical da cobertura superficial por todo o setor onde aparecem os túneis. A porosidade encontrada também demonstra as características dos materiais, que estão sob a forma de areias, sendo classificada como muito alta em todas as amostras.

Os dados referentes às análises granulométricas dos materiais retirados de dentro das trincheiras e analisados segundo ensaio por via seca e úmida (convencional), proposto pela EMBRAPA (1979), podem ser vistos na tabela 3.

Nas duas seções analisadas, os percentuais de areia foram significativamente maiores em todas as amostras (61,09% a

85,13%). Na sequência a granulação silte varia com percentuais de 11,99% a 29,85%. A fração argila apresentou os percentuais mais baixos variando entre 0,45% a 9,06%. Os percentuais médios da fração areia foram de 82%, de silte 11% e de argila 5%.

Na trincheira 2, ocorreu diminuição na quantidade de areias e aumento três vezes maior da fração silte, em comparação com a primeira trincheira e grande variação do teor de argilas. Esses dados também estão representados nos gráficos 1 e 2.

Os resultados granulométricos obtidos através da sonificação foram diferentes daqueles obtidos pelo método da via seca e via úmida. Desse modo então, foi utilizado o mesmo material da trincheira 1 e 2, sendo submetido ao agitador eletromagnético e ao ultrassom (sonificação). A composição granulométrica obtida através da sonificação está contida na tabela 4.

Tabela 3. Composição granulométrica de unidades de cobertura superficial em baixa encosta obtida por via seca e via úmida (convencional)

Amostras deformadas	Profundidade (cm)	Areias (%)	Siltes (%)	Argilas (%)	
Trincheira 1	AD3	32-0	81,44	12,99	5,57
	AD2	44-32	85,13	11,34	3,53
	AD1	63-44	82,19	12,47	5,34
Trincheira 2	AD3	29-0	77,11	20,80	2,09
	AD2	55-29	70,02	29,53	0,45
	AD1	77-55	61,09	29,85	9,06

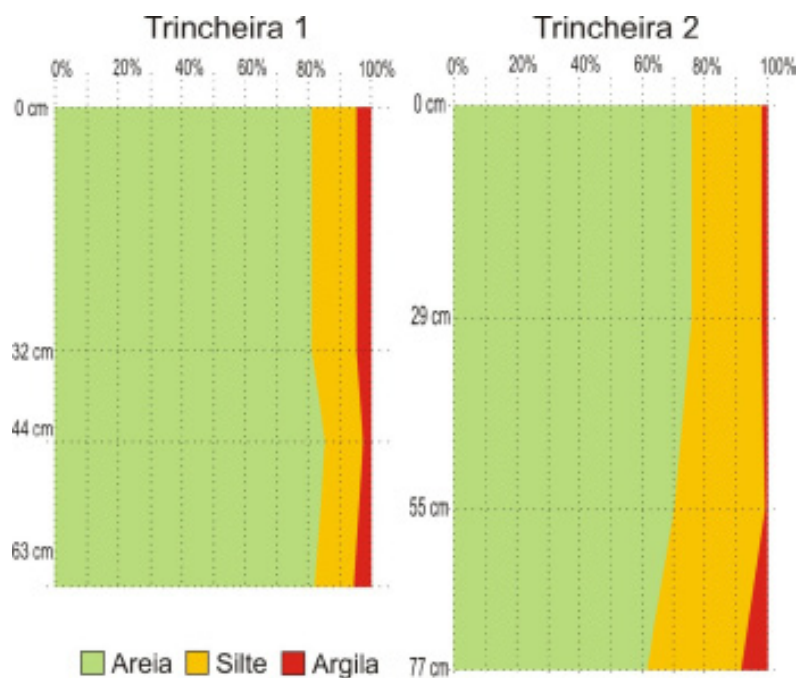


Gráfico I. Granulometria das amostras da Trincheira 1

Gráfico I. Granulometria das amostras da Trincheira 2

Tabela 4. Composição granulométrica de unidades de cobertura superficial em baixa encosta obtida por sonificação

Amostras deformadas	Profundidade (cm)	Areias (%)	Siltes (%)	Argilas (%)
Trincheira 1	AD3 32-0	14,52	16,97	68,51
	AD2 44-32	13,5	15,36	71,14
	AD1 63-44	2,97	36,57	60,46
Trincheira 2	AD3 29-0	9,44	23,85	66,71
	AD2 55-29	11,12	11,98	76,90
	AD1 77-55	11,12	26,16	62,72

Comparado com a técnica convencional, a sonificação apresentou variações importantes nos resultados de cada fração granulométrica. Com a sonificação foi possível verificar elevação importante nos percentuais de argila e queda nos percentuais de areia. Os teores de silte foram os que tiveram maior variação dentro de sua própria fração no perfil (gráfico 3 e 4).

A alteração da rocha basáltica gera materiais de granulometria mais fina, tornando o solo mais coeso e menos susceptível a processos erosivos. Com a sonificação foi possível demonstrar que o material analisado das duas trincheiras, apresenta comportamento de areia, porém não se trata de material granulometricamente mais arenoso, mas sim, de material argiloso agregado. No

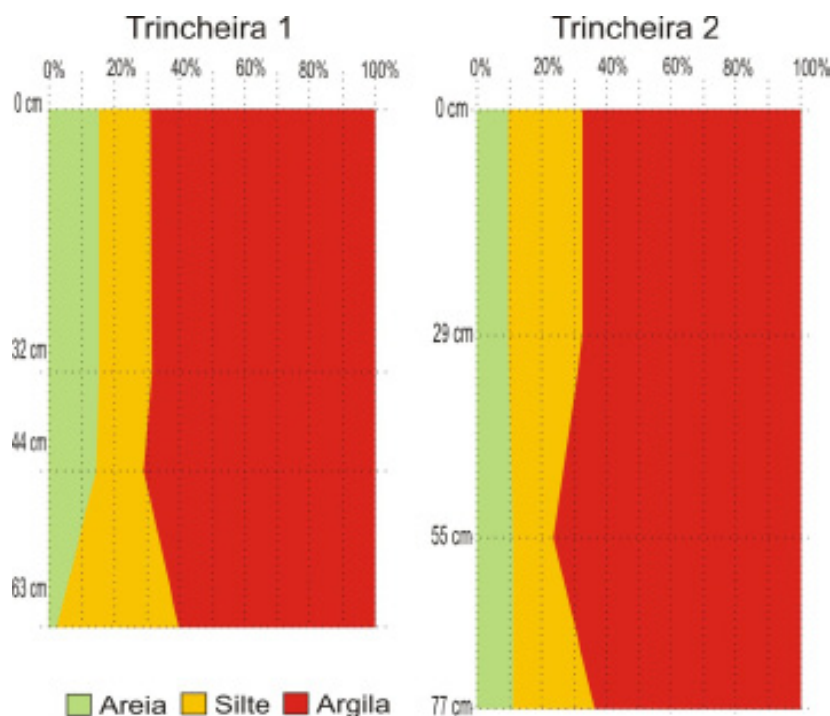


Gráfico 3. Granulometria com sonificação das amostras da Trincheira 1

Gráfico 3. Granulometria com sonificação das amostras da Trincheira 2

material que foi gerado após o peneiramento, foram encontradas grandes quantidades de grãos de quartzo, principalmente nas frações areia fina e muito fina. Esses grãos estavam envoltos por material fino, uma vez que não foram encontrados em grande quantidade nos materiais sobressalentes do ensaio convencional.

Nos materiais correspondentes a trincheira 1, foram identificados argilominerais do tipo caulinita, vermiculita, quartzo, anatásio, goethita e rutilo (Quadro 1 e Figura 2). Verticalmente não há importantes variações entre os argilominerais presentes na seção à exceção do rutilo que aparece exclusivamente na base da trincheira 1 (posição 26,62).

Quadro 1. Os argilominerais identificados na trincheira 1

Amostras de ocorrência (DRX)	Nome dos componentes	Fórmula química
1,2,3	Caulinita ¹	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
1, 2, 3	Quartzo ²	SiO ₂
1, 2, 3	Gibbsita ²	Al(OH) ₃
1, 2, 3	Goethita ²	Fe+3 O (OH)
1, 2, 3	Anatásio ²	TiO ₂
3	Rutilo ²	TiO ₂

Nota: 1 Argilomíneral (grupo) identificado por comparação das distâncias interplanares em diferentes condições de tratamento (amostra seca ao ar, solvatada com etilenoglicol e calcinada a 550° C); 2 Mineral identificado por comparação com os padrões do Joint Committee on Powder Diffraction Standards (International Centre for Diffraction Data).

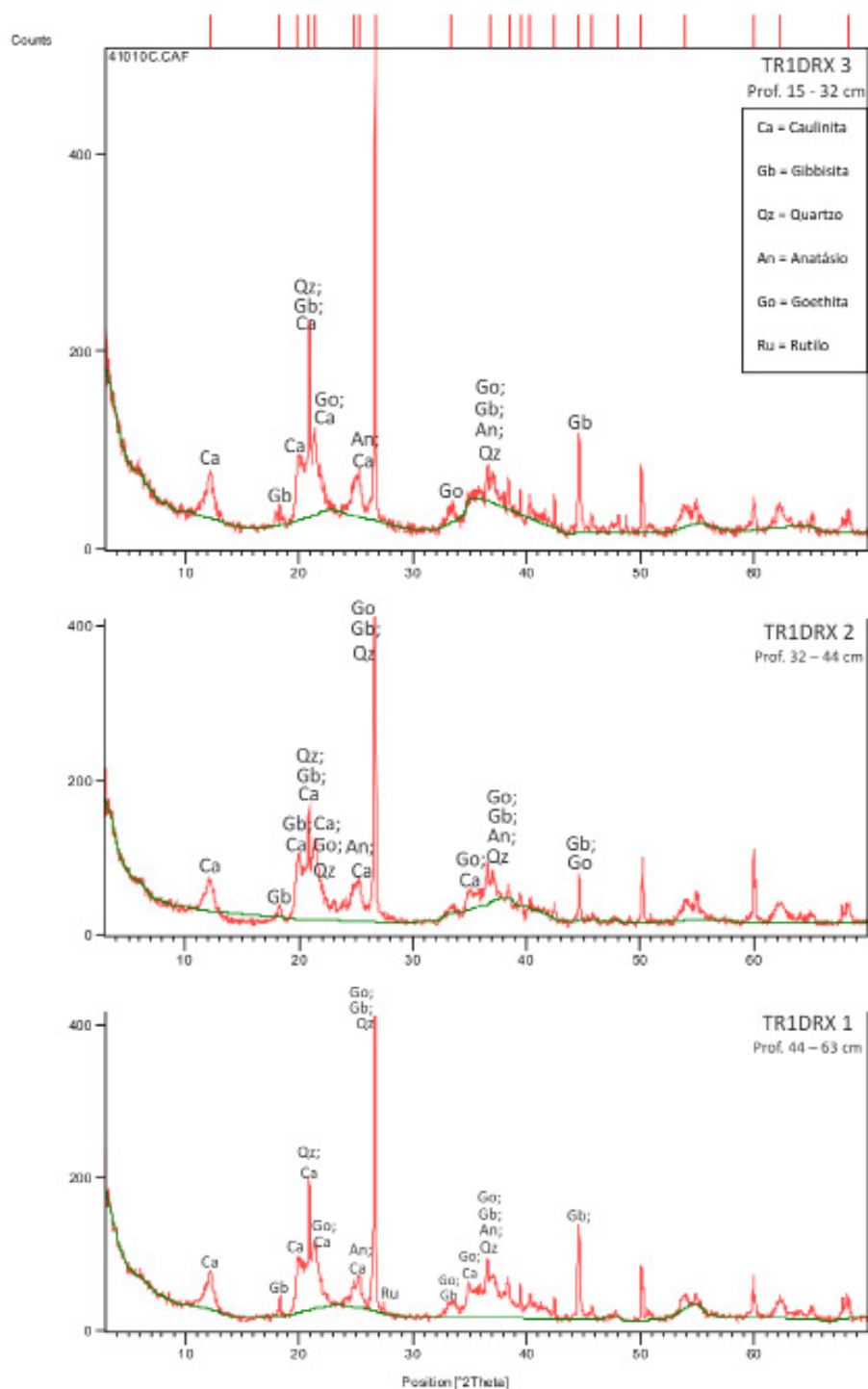


Figura 2. Gráficos de DRX da trincheira

A intensidade dos reflexos mais importantes da amostra TR1 DRX3 ocorre com a caulinita, gibbsita, quartzo e goethita (posições 12,22, 18,30, 20,31 e 21,94). Na amostra intermediária, TR1 DRX2, há diminuição dos picos de quartzo, gibbsita e caulinita (posição 21,26) e de goethita e gibbsita (posição 45,75). A amostra da base, TR1 DRX1, apresentou aumento no pico com quartzo, gibbsita e caulinita (posição 21,36) e pico de goethita (posição 33,42).

Nos materiais referentes à trincheira 2, setor de início de aparecimento dos túneis, os argilominerais identificados foram: caulinita, gibbsita, quartzo, anatásio e goethita (Quadro 2 e Figura 3).

Esses argilominerais aparecem de forma relativamente uniformes na seção,

com um aumento dos reflexos de gibbsita (posições 18,28 e 44,59) na base. Variações verticais entre esses picos mostram-se pouco significativas, havendo apenas uma ligeira redução geral das intensidades dos argilominerais na amostra intermediária (TR2 DRX2). Nesta seção nota-se aumento nos reflexos de gibbsita em comparação com os da trincheira 1.

Na área, predominam as classes dos latossolos (MÜLLER; POTT, 2004) e o predomínio de gibbsita na fração argila desses latossolos favorece maior agregação (SILVA et al., 1998). A gibbsita tem a propriedade de agregação dos finos, dando ao material estrutura granular e conferindo um comportamento de areia aos materiais.

Quadro 2. Os argilominerais identificados na trincheira 2

Amostras de ocorrência (DRX)	Nome dos componentes	Fórmula química
1, 2, 3	Caulinita ¹	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$
3	Vermiculita ¹ (<i>provável presença</i>)	$(Mg, Fe^{++}, Al)_3 (Al, Si)_4 O_{10} (OH)_2$
1, 2	Vermiculita ¹	$(Mg, Fe^{++}, Al)_3 (Al, Si)_4 O_{10} (OH)_2$
1, 2, 3	Quartzo ²	SiO_2
1, 2, 3	Gibbsita ²	$Al(OH)_3$
1, 2, 3	Goethita ²	$Fe+3 O (OH)$
1, 2, 3	Anatásio ²	TiO_2

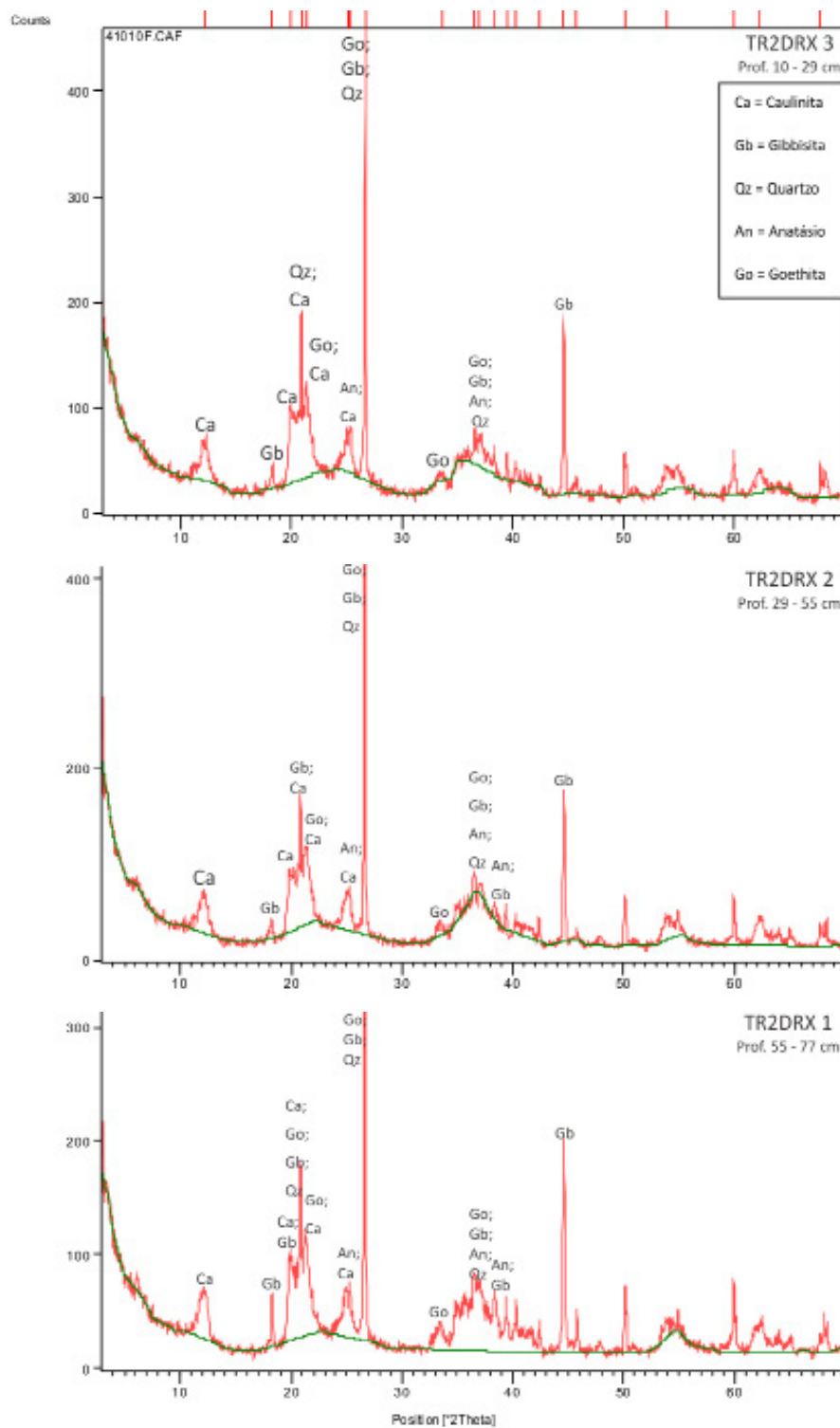


Figura 3. Gráficos de DRX da trincheira 2.

Conclusão

De acordo com os resultados da análise de porosidade total, foi possível identificar que a cobertura superficial da encosta possui grande permeabilidade, o que favorece a circulação de água, promovendo dessa forma a mobilização das frações mais finas do material encontrado entre os macroporos. Nas faces expostas, pelo efeito de exfiltração da água (seepage), os finos são destacados e carregados, gerando assim os túneis. O estudo de túneis, o comportamento do material influi diretamente na instalação do processo erosivo. Nos difratogramas

os reflexos de caulinita foram menores do que o de gibbsita, demonstrando quimicamente que a cobertura superficial tem maior favorabilidade de agregação do que de dissolução. A caulinita apresenta o solo maior densidade e menor estabilidade de agregados em água, de macroporosidade e de permeabilidade, quando comparados a latossolos gibbsíticos. Sobre a formação de agregados, os finos só foram dispersos e quantificados após a sonificação. A ausência de minerais primários tais como feldspatos, olivinas e piroxênios presentes na rocha matriz evidencia elevado grau de alteração da cobertura superficial na baixa da encosta.

Referências

- AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. *Piping* em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Belo Horizonte, a. 7, n. 1, p. 9-18, 2006.
- BRYAN, R. B.; JONES, J. A. A. The significance of soil piping process: inventory and prospect. **Geomorphology**, v. 20, n.3-4, p. 209-218, 1997.
- CALDERANO, S. B.; DUARTE, M. N.; GREGORIS, G. **Análise mineralógica das frações finas do solo por difratometria de raios-X**: Revisão e atualização da metodologia e critérios usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009. 9 p. Comunicado Técnico 53, (INFOTECA-E).
- CAMARGO, G. **Processo de erosão no Centro e Sul do Segundo Planalto Paranaense**: evolução de encosta e influência da erosão subterrânea na expansão de voçorocas. 1998. 210 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- CAMARGO, G.; CAMARGO FILHO, M. SILVA, W. B.; BAZZOTTI, D. M.; BINDA, A. L. Processo de erosão em túneis e mecanismos associados: estudo de caso em Guarapuava (PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 12., 2007, Natal. **Anais...** Natal: CCHLA/UFRN, 2007.
- CAROLINO DE SÁ, M. A.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p.525-531, 1999.
- COELHO-NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de Bases e Conceitos. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. cap. 3, p. 93-148.

CORTEZ, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PELUCO, R. G.; PEREIRA, G. T.; CAMARGO, L. A. Relações espaciais entre caulinita e gibbsita e a estabilidade dos agregados de latossolo. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS. 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SGeA, 2009. p. 1-5.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. In: HIGGINS, C. G.; COATES, D. R. (Ed.). **Groundwater Geomorphology**. Geological Society of America Special Paper 252, 1990. p. 1-28.

EMBRAPRA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1979.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FAULKNER, H. Improvements to the dispersion status of piped gully soils following reworking and stabilization by vegetation. **Catena**, v. 70, n.3, p.410-415, 2007.

FERNANDES, N. F. **Hidrologia subsuperficial e propriedades físico-mecânicas dos "complexos de rampa"- Bananal (SP)**. 1990. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 1990.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p. 507-514, 1999.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. Curitiba: UFPR, 2001. 550p.

GUTIÉRREZ, M.; SANCHO, C.; BENITO, G.; SIRVENT, J.; DESIR, G. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. **Geomorphology**, v.20, n.3-4, p. 237-253, 1997.

HIGGINS, C. G.; SCHONER, C. Sinkholes formed by piping into buried channels. **Geomorphology**, v.20, n.3-4, p. 307-312, 1997.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 CD-ROM.

MÜLLER, M. M. L.; POTT, C. A. Cobertura pedológica na bacia do rio das Pedras, Guarapuava/PR. In: BATTISTELLI, M.; CAMARGO FILHO, M.; HEERDT, B. (Org.). **Proteção e Manejo na Bacia do Rio das Pedras**: relato de experiências. Guarapuava: B&D Ltda, 2004. p. 51-59.

OLIVEIRA, M. A. T.; CAMARGO, G. Integração de estruturas de abatimento e erosão por voçorocas. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.8, n.15, p.117-120, 1996.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.

RICHLEY, L. Treatment of tunnel erosion in Tasmania. **Natural Resource Management**, v.3, n.2, p. 31-34, 2000.

RODRIGUES, J. E. Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 4., Belo Horizonte, **Anais...** São Paulo: ABGE, 1984. p.169-182.

ROMERO DÍAZ, A.; SANLEANDRO, P. M.; SORIANO, A. S; SERRATO, F. B.; FAULKNER, H. The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. **Catena**, v. 69, p.282-293, 2007.

SANTOS, S. M. **Investigações metodológicas sobre o monitoramento da subsidência do solo devido à extração de água subterrânea** – caso da região metropolitana de Recife. 2005. [S.I.]. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SANTOS, H. G.; BHERING, S. B.; BOGNOLA, I. A.; CÚRCIO, G. R.; MANZATTO, C. V.; CHAGAS, C. S. **Solos**: atualização do mapa de solos do Estado do Paraná. SIBCS, 2006.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University Press, 1982.

SILVA, D. W. A vegetação da bacia do rio das Pedras. In: BATTISTELLI, M.; CAMARGO FILHO, M.; HEERDT, B. (Org.). **Proteção e Manejo na Bacia do Rio das Pedras**: relato de experiências. Guarapuava: B&D Ltda, 2004.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N., LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. **Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho adubo verde**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Brasília, v.33, n.1, p. 97-103, 1998.

THOMAZ, M. F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. England: John Wiley & Sons Ed. Wichester, 1994.

TONIOLO, H.; KODIAL, P.; HINZMAN, L. D.; YOSHIKAWA, K. Spatio-temporal evolution of a thermokarst in Interior Alaska. **Cold regions Science and Technology**, v.56, n.1, p. 39-49, 2009.

TRATZ, E. B. **As rochas vulcânicas da província magmática do Paraná, suas características de relevo e sua utilização como recurso mineral no município de Guarapuava-PR**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, UFSC, Florianópolis, 2009.

ZACHAR, D. **Soil Erosion**. Bratislava: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982.