

Propriedades físicas de cobertura superficial em encosta com processo de erosão em túneis e voçorocamento no oeste do Paraná, Brasil

Physical properties of surface coverage in hillside erosion process in tunnels and voçorocamento in western Parana, Brazil

Diego Maikon Bazzotti¹
Gisele Pietrobelli²
Wellington Barbosa da Silva^{3(*)}

Resumo

A erosão em túneis (*pipes*) é uma forma específica de erosão subsuperficial e seu desenvolvimento está intrinsecamente relacionado aos fatores hidrológicos, topográficos e de constituição e distribuição dos materiais superficiais da encosta, os quais propiciam a instalação e evolução dos mecanismos de erosão subsuperficial. Na presente pesquisa, a área de estudo localiza-se na região oeste do estado do Paraná, no distrito de São João do Oeste, município de Cascavel. O enfoque dos trabalhos teve por objetivo compreender a relação da cobertura superficial da encosta com o processo de erosão em túneis e voçoroca. As técnicas empregadas na pesquisa foram construção de perfil geológico, de transectos e análise granulométrica dos materiais da encosta. Os resultados indicaram que o material que recobre a encosta, apresenta textura areno-argilosa. As propriedades texturais permitem a ampliação do túnel e a Unidade 3 do perfil é a que favorece a maior circulação de água na encosta. Portanto, os fatores que contribuem para instalação e evolução do túnel na encosta Bazzotti expressam a dinâmica direta na evolução da voçoroca, a qual molda o relevo ao longo dos anos.

Palavras-chave: cobertura superficial; erosão subsuperficial; erosão em túneis.

1 MSc.; Licenciado em Geografia; E-mail: dbazzotti@hotmail.com

2 Dra.; Geógrafa; Professora Adjunta do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Unicentro; Endereço: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, CEP: 85040-080, Guarapuava, Paraná, Brasil; E-mail: gipietrobelli@hotmail.com

3 MSc.; Licenciado em Geografia; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Endereço: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, CEP: 85040-080, Guarapuava, Paraná, Brasil; E-mail: w_barbosa@hotmail.com (*) Autor para correspondência.

Abstract

The erosion tunnels (pipes) is a specific form of subsurface erosion and its development is intrinsically related to the hydrological, topographical and constitution and distribution of surface materials of the slope, which provide the installation and development of subsurface erosion mechanisms. In this research the study area is located in the western region of the state of *Paraná*, in the district of St. John's West, *Cascavel*. The focus of the work aimed at understanding the relationship between the surface coverage of the slope with the erosion process in tunnels and gullies. The techniques employed in the research were building geological profile, transects and particle size analysis of the slope materials. The results indicated that the material covering the slope, has sandy-clay texture. The textural properties allow the expansion of the tunnel, Unit 3 is the profile that favors the largest circulation of water on the hillside. Therefore, the factors that contribute to the onset and progression of the tunnel in the hillside Bazzotti express the dynamics directly in the evolution of gullies, which molds the relief over the years.

Key words: cover surface; subsurface erosion; tunnel erosion.

Introdução

As formações superficiais constituem o material que recobre parcialmente ou completamente o substrato rochoso, sendo, em geral, fracamente consolidado, com espessuras variando de poucos decímetros a dezenas de metros (CAMPY; MACAIRE, 1989). Sua caracterização morfológica possibilita o reconhecimento e a interpretação dos materiais friáveis, intemperizados, e os processos pedogenéticos que nelas se instalam (CAMPY; MACAIRE, 1989). Desses materiais, é importante estabelecer a diferenciação quanto a sua gênese e evolução, distinguindo-os quanto ao caráter de autoctonia e aloctonia (MENEZES et. al., 2006).

Os materiais de origem autóctone são os que resultam da degradação física e/ou química do substrato (intemperismo)

que as sustentam, sendo denominados de alteritos autóctones ou para-autóctones. Segundo Thomas (1994), a parte superior do perfil de intemperismo pode ser interpretada como uma zona onde a fábrica da rocha é completamente destruída, acima da qual, o material transportado e a camada superficial do solo são encontrados.

Os materiais de natureza alóctone ou discordante são os materiais originados de processos geológicos sedimentares ou vulcânicos (CAMPY; MACAIRE, 1989). As formações superficiais alóctones englobam tanto aquelas, em geral depositadas ao longo de uma vertente, chamados colúvios, quanto as que têm sua gênese relacionada a um curso d'água canalizado, os alúvios.

O material coluvial aparece comumente nas porções inferior e média das vertentes, sendo menos espesso quando encontrado nas porções superiores das vertentes (THOMAS,

1994). São pouco estratificados ou não apresentam qualquer tipo de estratificação (MOUSINHO; BIGARELLA, 1965; SELBY, 1994). Já o alúvio é o termo que compreende os sedimentos selecionados ou materiais detríticos inconsolidados depositados em períodos geológicos recentes por um rio ou corpo d'água corrente, em leito de rio, planícies de inundação, delta, cone ou leque, ou ainda, na base de encostas com maior declividade (JACKSON; BATES, 1997⁴ apud CAMARGO, 2005).

Desse modo, pode-se compreender que a vertente se comporta como sistema em cascata, pois nela ocorre transferência de energia e matéria, sendo essa transferência comandada principalmente por forças gravitacionais, hidráulicas e químicas (THOMAZ; ROSS, 2006). Ainda segundo os autores, a transferência de água, sedimentos e elementos químicos na vertente ocorre por meio de diferentes fluxos, que variam no tempo e no espaço, ao longo do sistema vertente, podendo ser superficiais e subsuperficiais. Dentre os fluxos superficiais e subsuperficiais existem quatro tipos que são considerados como caminhos preferenciais da água no solo. São eles: escoamento superficial ou hortoniano (*horton overland flow*), escoamento superficial saturado (*saturation overland flow*), escoamento subsuperficial (*subsurface flow or throughflow*) e o fluxo de base (*baseflow*).

Com relação à formação e à evolução de túneis, o escoamento subsuperficial pode contribuir diretamente para o incremento rápido da vazão em canais por caminhos preferenciais de escoamento (SANTOS, 2009). Dunne (1990) propôs o termo

“*tunnel scour*” para enfatizar a diferença entre esse processo e outras formas de erosão subterrânea, indicando que elas são controladas por condições geológicas e climáticas e determinam a formação de intrincada rede subterrânea de túneis. O autor também enfatiza que o surgimento de túneis é geralmente relacionado às diferenças texturais de sequência litoestratigráficas ou de horizontes pedológicos estruturais.

Fatores como gradiente hidráulico elevado, presença de íons solúveis e períodos de seca prolongados, favorecem a ocorrência de fissuras no solo que, somados a chuvas intensas e irregulares, reativam a percolação concentrada em subsuperfície (BULL; KIRKBY, 1997).

Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região oeste do Paraná, a 27 km do trevo Cataratas, principal acesso a cidade de Cascavel. As coordenadas da área são: latitude 25°00'37"S e longitude 53° 11'51"W; possui, no topo da encosta altitude de 824 m e, na média encosta, no setor onde está o túnel, a altitude é de 775 metros em relação ao nível do mar (Figura1).

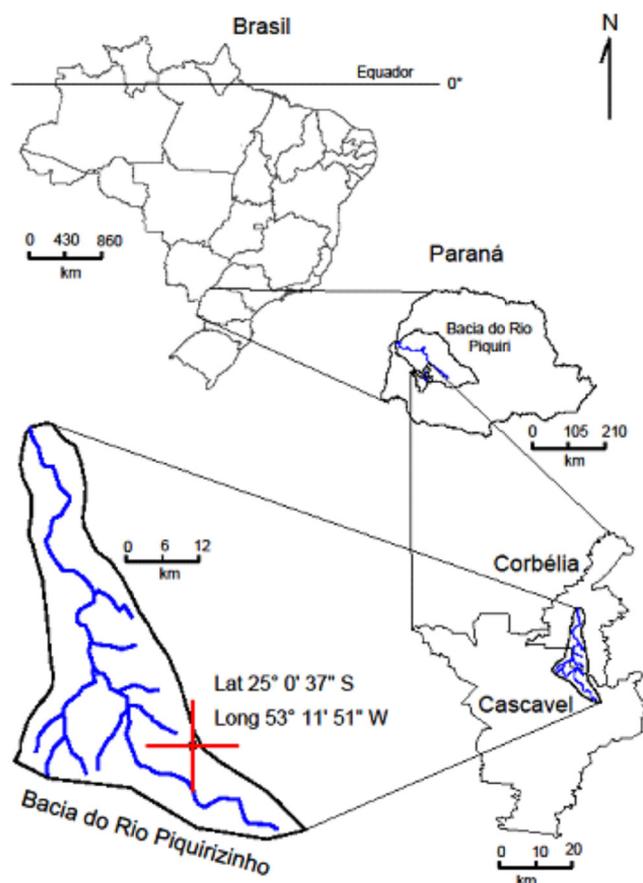
Morfoestruturalmente está inserida no Terceiro Planalto Paranaense, que apresenta substrato rochoso composto por rochas basálticas e andesitos. Morfoesculturalmente, a área está inserida no Planalto de Cascavél, que apresenta relevo associado aos padrões de drenagem e suas densidades, que resulta em topografia com maior ou menor grau de dissecação (entalhamento), originando vertentes com formas, extensões e declives variados (RUPOLO, 2008).

Material e Métodos

Os trabalhos enfocaram a caracterização das propriedades físicas da

4 JACKSON, J. A.; BATES, R. L. **Glossary of Geology**. 4. ed. Alexandria: American Geological Institute, 1997.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: IBGE, 2004.

Org.: Bazzotti, D. M.; Castro, R. 2012.

cobertura superficial da encosta Bazzotti. Foram efetuadas duas abordagens na caracterização superficial: a construção de perfil geológico na cabeceira da incisão e construção de transectos ao longo da encosta.

A construção de perfil geológico foi feita através de limpeza de seção exposta na parede da voçoroca onde ocorreu o abatimento do túnel. Para o reconhecimento da distribuição dos materiais ao longo da encosta e posterior construção de transectos transversais e longitudinais, foram efetuadas Tradagens com trado holandês. As amostras

coletadas nas Tradagens foram encaminhadas para análise granulométrica seguindo a rotina proposta pela EMBRAPA (1997).

Resultados e Discussão

Perfil geológico na cabeceira da incisão

A seção geológica foi construída na média encosta, na cabeceira da voçoroca que se formou a partir do colapso de parte do túnel. O perfil formado tem 4m de profundidade por 1m de largura (Figura 2). A partir da

Figura 2 - Exposição do regolito e destaque para a desembocadura do túnel, em 06/08/2011



Fonte: os autores.

exposição do perfil foram individualizadas 3 unidades de materiais (solo e alterita), totalizando 12 amostras, de acordo com as observações em campo, após análises de laboratório e interpretação dos dados, os resultados estão sintetizados no quadro 1 e descritos na sequência:

A unidade 2 situa-se entre 1m e 3.08m de profundidade; pertence ao horizonte B latossólico; apresentou características de material desenvolvido com altos teores de argila e cerosidade. As unidades apresentam colorações tipicamente avermelhadas, dentro dos matizes 2,5YR e 10R e textura areno-argilosa. A transição entre as unidades

era gradual, ocorrendo concentrações de pequenas concreções ferruginosas em locais distintos, entre 1,63 e 2,65 m de profundidade. A Densidade aparente manteve-se constante ao longo de sua unidade e a média da porosidade total não ultrapassou 57,84%, demonstrando maior coesão entre partículas.

Ao longo da unidade 3, ocorreu a diminuição da densidade aparente com média de 0,98 g/cm³ e aumento da porosidade total com 62,48%. Nessa unidade, foi evidenciada a camada de alterita, diferenciado das demais pela concentração de mosqueamentos de 20% nas cores de 10R3/6 e 10R4/8. O aumento do mosqueamento conferiu caráter variegado ao material, nas cores 10R3/6 7,5YR5/8 e 7,5YR5/6. As três últimas, amostras, apresentaram plasticidade baixa, fragmentos de rocha e concreções de ferro de 5mm (nesta unidade identificado o túnel).

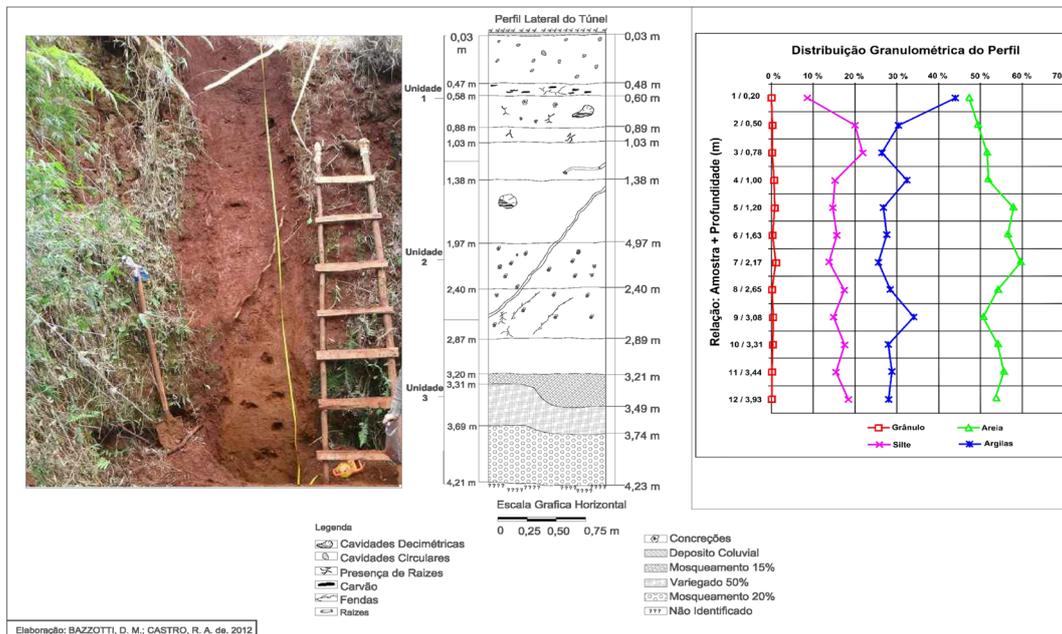
A representação do perfil está contida na figura 3, apresentando as características das unidades. A unidade 1 abrangeu a espessura de 1,20m, agrupando as cinco primeiras amostras; a cor alternou entre 10R3/6 a 2,5YR3/6; ocorreu, no seu topo, acúmulo de matéria orgânica apresentando alta umidade; em nível intermediário entre 0,50 a 0,78 m apresentaram perda de umidade com início de pequenas concreções entre 1 e 2mm. Nesta mesma, unidade identificou-se presença de cavidades, raízes e carvão.

A transição da unidade 1 para a subjacente (2) foi identificada pelas características da porosidade total, passando de 60,07% para 57,77%, pelo incremento na umidade da amostra e a presença de concreções de ferro. Nesse nível, as amostras apresentaram plasticidade média a alta. As raízes superficiais estavam presentes nessa unidade.

Quadro 1 – Subdivisão das unidades

Classe textural	Unidades	Amostragens	Prof. (m)	Grânulo %	Areia %	Silte %	Argila %	Cor	Mosqueamento	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade	Características adicionais
ARENO-ARGILOSAS	1	S1A1	0 – 0,20	0,04	47,32	7,04	45,60	10R3/6	-	-	-	-	Acumulação de matéria orgânica.
		S1A2	0,20 – 0,50	0,24	49,42	8,74	41,60	2,5YR3/4	-	1,03	2,63	60,83	Alta umidade; grumos de 5 mm; plasticidade alta.
		S1A3	0,50 – 0,78	0,18	51,62	10,20	38,00	2,5YR3/6	-	1,31	2,63	50,19	Perda de umidade; argila; perda da plasticidade; presença de carvão; presenças de raízes.
	2	S1A4	0,78 – 1,00	0,52	51,86	10,42	37,20	2,5YR3/6	-	1,09	2,73	60,07	Camada mais úmida que a anterior; pouquíssimos quartzos.
		S1A5	1,00 – 1,20	0,62	57,94	10,64	30,80	2,5YR3/6	-	1,14	2,70	57,77	Concreções de ferro 1-2 mm; mantém umidade anterior.
		S1A6	1,20 – 1,63	0,24	56,52	10,44	32,80	2,5YR4/6	-	1,14	2,66	57,14	Unidade média para altas argilo – arenoso.
		S1A7	1,63 – 2,17	0,96	59,68	9,36	30,00	2,5YR4/6	-	1,14	2,66	57,14	Unidade alta; plasticidade alta em relação à subjacente; cerosidade, estrutura granular.
		S1A8	2,17 – 2,65	0,16	54,06	10,58	35,20	5YR4/6	-	1,07	2,63	59,31	Unidade média; plasticidade baixa; concreções; estrutura granular; arenoso com presença de ferro.
		S1A9	2,65 – 3,08	0,40	50,74	11,66	37,20	7,5YR5/8	10R3/6 - 50%	1,03	2,70	61,85	Unidade baixa; plasticidade baixa; estrutura granular; concreções de ferro.
	3	S1A10	3,08 – 3,30	0,36	54,18	10,26	35,20	7,5YR5/8	10R3/6 - 15%	0,96	2,66	63,90	Estrutura em grumos; concreções de ferro 0,5 mm; arenosa.
		S1A11	3,30 – 3,44	0,16	55,64	10,60	33,60	10YR6/8	10R3/6 - 50%	0,98	2,53	61,26	Plasticidade baixa; unidade média.
		S1A12	3,44 – 3,61	0,06	53,62	10,72	35,60	7,5YR5/6	10R4/8 - 20%	0,96	2,59	62,93	Plasticidade baixa; unidade alta; arenosa.

Figura 3 – Perfil de solo na lateral do túnel e suas características



A classificação textural de todas as amostras do perfil foi areno-argilosa. A distribuição granulométrica, evidenciada na figura 3, mostra que as mais importantes mudanças ocorreram nas profundidades correspondentes à amostra 3, com acréscimo da fração silte em torno de 21,8 % e diminuição da porcentagem de argila de 26,4%; na amostra 4 a argila retomou acréscimo em sua fração de 32,4 %, próximo a base do perfil. A amostra 9 apresentou acréscimo da fração argila com 34%.

Ao longo do perfil, os valores médios de densidade real ficaram em 2,40 e a densidade aparente em 1,07 g/cm³. A porosidade média total do perfil foi de 73,93%.

No perfil, a fração argila variou de 30 a 45,6%. A distribuição granulométrica evidenciou variações importantes que contribuíram para a definição das unidades

principais de material de alteração presentes nesse ponto da encosta. A densidade real e aparente acompanharam as variações de textura, pois, com a diminuição da argila em profundidade (média de 34,20%, Quadro 1, Unidade 3), os valores da densidade aparente diminuíram progressivamente. A média não ultrapassou os 0,96, conseqüentemente, promoveu o aumento da porosidade total (média de 62,69%).

Transectos longitudinal e transversal

Os transectos 1 e 2, construídos a partir das tradagens, mostram as diferenças das unidades de cobertura superficial que cobre a encosta. A posição dos transectos e das tradagens estão representados nas figuras 4 e 5. A linha azul nos desenhos representa a variação do nível do freático durante as tradagens.

Figura 4 - Análise da transecto 1, com nível do freático marcado em azul

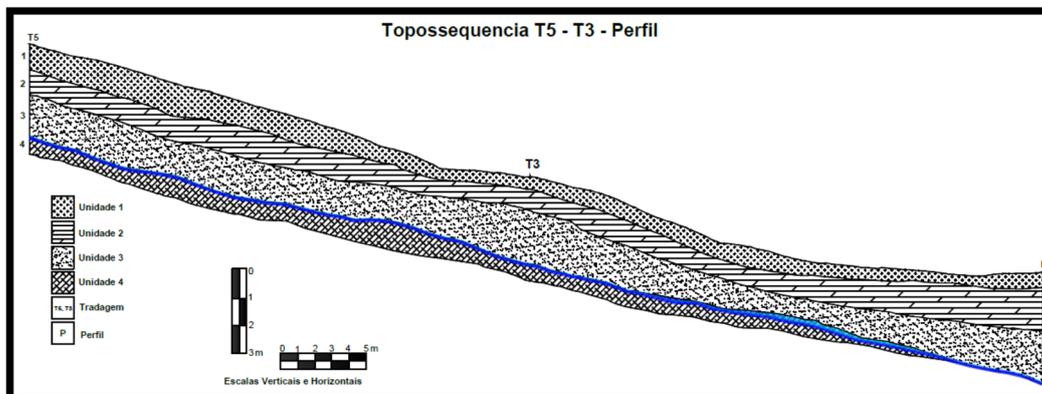
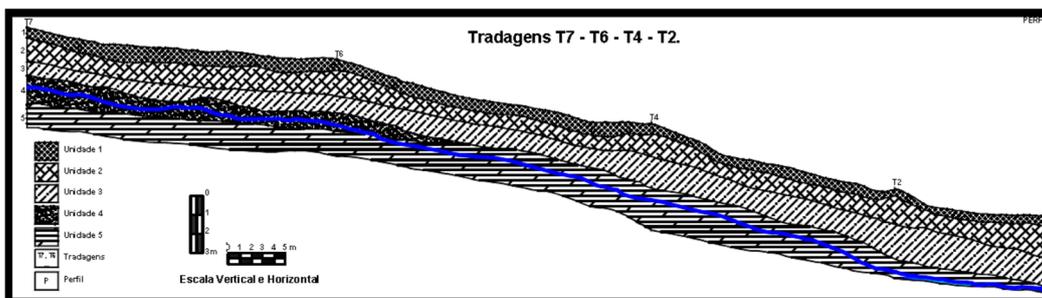


Figura 5 - Análise da transecto 2, com nível do freático marcado em azul



Transecto I

O transecto 1 foi efetuado longitudinalmente em relação ao eixo da encosta, que envolveu as tradagens T3, T5 e perfil, o qual possuía 60,27 metros de comprimento e variação de profundidade entre 3,95 m a 4m.

As tradagens T5 e T3 foram efetuadas em meio à pastagem, no setor médio da encosta. As análises granulométricas mostraram pequena variação dos percentuais das frações na sondagem T5, o que se evidenciou nas porcentagens de argila em 43,20% (Quadro 2).

Quadro 2 – Resultado das análises granulométricas T5

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T5	Am1	0 – 1,04	0,96	47,30	8,54	43,20	Areno-Argilosas
		Am2	1,04 – 1,20	0,02	44,84	9,14	46,00	
		Am3	1,20 – 3,50	0,06	45,76	8,58	45,60	
		Am4	3,50 – 3,80	0,44	46,90	9,06	43,60	
		Am5	3,80 – 4,00	0,62	54,48	7,92	37,60	

Entre 1,20 m e 3,50 m de profundidade, foi identificado um túnel. Ocorreu um vazio no solo de 2,30m, entretanto, não foi verificado fluxo ou concentração de água na feição. A 4m de profundidade, foi observado aumento da umidade do material. Na mesma sondagem foi identificado cruzamento das frações argila e areia.

No quadro 3, são apresentados os resultados das análises granulométricas

da sondagem T3, com 11 amostragens e profundidade máxima de 3,70 m. Observou-se a manutenção dos percentuais de argila entre 30,40% a 36,40%. Essa sondagem foi efetuada no eixo de drenagem principal da encosta, onde ocorre o alinhado do eixo com o túnel. Nessa sondagem, a variação mais importante ocorreu na diminuição das frações areia e argila e incremento da fração silte em 10,02%.

Quadro 3 – Resultado das análises granulométricas T3

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T3	Am1	0 – 0,45	0,52	54,20	8,88	36,40	Areno-Argilosas
		Am2	0,45 – 0,66	0,46	55,50	9,64	34,40	
		Am3	0,66 – 1,00	0,06	56,24	10,10	33,60	
		Am4	1,00 – 1,30	0,38	54,26	9,76	35,60	
		Am5	1,30 – 2,10	0,62	55,76	8,98	35,20	
		Am6	2,10 – 2,30	0,00	54,46	8,74	36,80	
		Am7	2,30 – 2,50	0,00	53,36	9,44	37,20	
		Am8	2,50 – 2,83	0,00	55,98	10,02	34,00	
		Am9	2,83 – 3,10	0,00	54,18	9,82	36,00	
		Am10	3,10 – 3,20	0,00	58,60	8,60	32,80	
		Am11	3,20 – 3,70	0,00	60,40	9,20	30,40	

Fonte: os autores.

As variações dos percentuais das frações granulométrica, mostradas na figura 4, da sondagem T3 foram poucas expressivas, demonstrando uma relativa diminuição em profundidade da argila, em consequência aumento da fração areia. O silte permaneceu uniforme em toda a sondagem.

Transecto 2

O transecto 2 possui 89,40 m de comprimento e variação de profundidade entre 4,70 m a 5,82 m, sendo construído

transversalmente na encosta, abrangendo as tradagens T2, T4, T6, T7 e perfil geológico. A cobertura superficial que recobre o setor médio da encosta foi formada por cinco diferentes unidades, quatro das quais estão inseridas no transecto 1. A sondagem T2 atingiu 4,70m de profundidade, cuja distribuição granulométrica permaneceu relativamente homogênea em todo o seu conjunto. Grânulos ocorreram entre 0 a 1,80 m, não ultrapassando 1% do total (Quadro 4).

As porcentagens de areia apresentaram aumento em profundidade, entre 1,67 m

Quadro 4 – Resultado das análises granulométricas T2

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T2	Am1	0 – 0,20	0,42	56,84	10,74	32,00	Areno-Argilosas
		Am2	0,20 – 0,40	0,84	56,94	9,82	32,40	
		Am3	0,40 – 0,62	0,42	58,46	9,52	31,60	
		Am4	0,62 – 0,86	0,98	55,44	8,78	34,80	
		Am5	0,86 – 1,19	0,62	53,68	10,08	36,00	
		Am6	1,19 – 1,49	0,74	58,90	10,36	30,00	
		Am7	1,49 – 1,67	0,34	63,58	9,28	26,80	
		Am8	1,67 – 1,80	0,30	55,52	12,18	32,00	
		Am9	1,80 – 1,98	0,00	55,36	9,44	35,20	
		Am10	1,98 – 2,24	0,00	51,72	11,88	36,40	
		Am11	2,24 – 2,53	0,00	56,58	11,02	32,40	
		Am12	2,53 – 2,85	0,00	55,42	9,78	34,80	
		Am13	2,85 – 3,20	0,00	59,94	10,06	30,00	
		Am14	3,20 – 3,47	0,00	58,18	9,82	32,00	
		Am15	3,47 – 3,70	0,00	61,06	9,74	29,20	
		Am16	3,70 – 4,10	0,00	58,86	11,14	30,00	
		Am17	4,10 – 4,35	0,00	61,56	10,04	28,40	
		Am18	4,35 – 4,60	0,00	63,26	8,74	28,00	
		Am19	4,60 – 4,70	0,00	63,14	8,86	28,00	

Fonte: os autores.

e 4,35 m. Os percentuais de argila não ultrapassaram os 36%.

O comportamento granulométrico da sondagem T2 deixa clara a direta proporcionalidade da relação entre as frações, principalmente entre a argila e a areia. Notou-se que o pico mais acentuado de variação ocorreu na amostra Am7, onde ocorreu diminuição significativa da argila, apresentando 26,80%, no entanto, a resposta da fração areia apresentou 63,58% do total. Com isso, remete-se àquilo que foi discutido anteriormente, a fração areia acompanha a oscilação da fração argila.

O transecto foi formado por cinco unidades da cobertura superficial, quatro das

quais ocorreram no transecto 1. Na sondagem 4, em direção à baixa encosta, identificou-se a quinta unidade, caracterizando-se por material mais coeso formado por ruptura entre a unidade 4, a qual não foi identificada no transecto 1, devido a profundidade não ultrapassar os 4m.

A sondagem T4, efetuada na média encosta, em meio à mata residual, demonstrou aumento dos percentuais de grânulos e areia em algumas das amostras dispersas na sondagem (Quadro 5). Entre elas, os que mais concentraram grânulos de 1 a 2 mm foram as amostras Am13 entre 3,20 - 3,50 metros e Am17 entre 4,20 - 4,42 metros, com os seus respectivos valores 2,04 % e 1,26%.

Isso ocorreu, em função de as amostras, em sequência Am14 e Am18 terem aumento significativo de argila, gerando um nível de impedimento de percolação no regolito.

Da mesma forma que a sondagem T2, a sondagem T4 não apresenta a unidade 4, o que confirma que as unidades destas amostras estão condizentes com os resultados obtidos

Quadro 5 – Resultado das análises granulométricas T4

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T6	Am1	0 – 0,20	0,06	51,58	8,76	39,60	Areno-Argilosas
		Am2	0,20 – 0,53	0,02	58,36	8,42	33,20	
		Am3	0,53 – 0,90	0,32	60,62	11,86	27,20	
		Am4	0,90 – 1,43	0,66	59,54	10,20	29,60	
		Am5	1,43 – 1,79	0,62	59,42	11,38	29,20	
		Am6	1,79 – 1,87	0,00	62,50	8,70	28,80	
		Am7	1,87 – 2,25	0,00	55,38	11,82	32,80	
		Am8	2,25 – 2,39	0,10	61,02	8,48	30,40	
		Am9	2,39 – 2,55	0,00	60,64	8,56	30,80	
		Am10	2,55 – 2,74	0,00	62,02	9,58	28,40	
		Am11	2,74 – 2,90	0,54	63,66	8,60	27,20	
		Am12	2,90 – 3,20	0,00	63,32	9,08	27,60	
		Am13	3,20 – 3,50	2,04	64,56	8,60	24,80	
		Am14	3,50 – 3,69	0,10	59,30	9,40	31,20	
		Am15	3,69 – 3,91	0,00	60,22	8,98	30,80	
		Am16	3,91 – 4,20	0,00	63,44	8,56	28,00	
		Am17	4,20 – 4,42	1,26	60,92	8,22	29,60	
		Am18	4,42 – 4,96	0,00	60,98	8,62	30,40	
		Am19	4,96 – 5,25	0,24	63,06	10,30	26,40	
		Am20	5,25 – 5,82	0,16	57,44	10,80	31,60	

Fonte: os autores.

em laboratório pelas análises granulométricas, havendo, nesse setor da unidade 3, a maior infiltração vertical.

Na sondagem T6, a profundidade atingiu 3,76 metros. Essa sondagem foi

efetuada próxima a uma ravina provocada pelo fluxo superficial da estrada rural, a qual estava encaixada no eixo de drenagem secundário da encosta e apresentou diminuição de argila do topo para a base da sondagem (Quadro 6).

Quadro 6 - Resultado das análises granulométricas T6

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T6	Am1	0 – 0,24	0,40	39,66	15,94	44,00	Areno-Argilosas
		Am2	0,24 – 0,36	0,60	47,92	10,28	41,20	
		Am3	0,36 – 0,48	0,46	52,78	9,96	36,80	
		Am4	0,48 – 0,60	0,54	57,34	10,12	32,00	
		Am5	0,60 – 1,12	0,62	55,16	8,56	35,20	
		Am6	1,12 – 1,22	0,70	53,86	12,64	32,80	
		Am7	1,22 – 1,50	1,26	58,28	11,26	29,20	
		Am8	1,50 – 1,88	0,92	57,88	8,80	32,40	
		Am9	1,88 – 1,97	0,72	62,46	4,82	32,00	
		Am10	1,97 – 2,26	0,26	63,00	9,94	26,80	
		Am11	2,26 – 2,55	0,36	61,18	11,26	27,20	
		Am12	2,55 – 2,79	0,30	59,84	13,86	26,00	
		Am13	2,79 – 2,90	0,04	58,82	10,74	30,40	
		Am14	2,90 – 3,05	0,02	56,80	11,98	31,20	
		Am15	3,05 – 3,28	0,00	61,22	7,98	30,80	
		Am16	3,28 – 3,38	0,00	58,86	8,34	32,80	
		Am17	3,38 – 3,76	0,58	61,34	9,68	28,40	

Fonte: os autores.

A variação granulométrica da sondagem T6, representada no transecto 2, demonstrou pequena variação de padrão entre as demais tradagens, pois, analisando a amostra Am8 e Am9, visualizou-se a diminuição na fração silte, respectivamente, 8,80% e 4,82%, ao contrário da argila e da areia que apresentaram elevação pouco expressiva. Ocorreu, também, pequeno aumento na fração dos grânulos nas amostras Am7, Am8 e Am9, não ultrapassando 1,26%.

Na sondagem T6 do transecto 2, foram identificadas cinco unidades de cobertura superficial. A unidade 4 foi a única que não apresentou a unidade contínua devido às características do material. As análises granulométricas da sondagem T7 apresentaram contínua diminuição em profundidade das argilas (Quadro 7). Sua profundidade máxima não ultrapassou 5,25 metros.

Na sondagem T7, observou-se diminuição constante da argila em

Quadro 7 – Resultado das análises granulométricas T7

Setor	Sonda-gem	Amostras	Prof. (m)	Grânulos (%)	Areias (%)	Silte (%)	Argilas (%)	Classe textural
Média Encosta	T7	Am1	0,00 – 0,38	0,40	48,98	11,82	38,80	Areno-Argilosas
		Am2	0,38 – 0,55	0,46	49,66	12,28	37,60	
		Am3	0,55 – 0,66	0,56	53,02	9,62	36,80	
		Am4	0,66 – 1,09	0,04	53,50	10,46	36,00	
		Am5	1,09 – 1,39	0,62	57,42	10,30	32,00	
		Am6	1,39 – 1,43	0,04	60,00	9,96	30,00	
		Am7	1,43 – 1,66	0,22	56,06	10,92	32,80	
		Am8	1,66 – 1,89	0,02	54,84	11,14	34,00	
		Am9	1,89 – 2,00	0,28	58,28	10,24	31,20	
		Am10	2,00 – 2,24	0,38	57,24	9,58	32,80	
		Am11	2,24 – 2,55	0,42	57,44	11,34	30,80	
		Am12	2,55 – 2,80	0,54	58,82	9,84	30,80	
		Am13	2,80 – 3,10	0,30	52,46	12,44	34,80	
		Am14	3,10 – 3,22	0,06	57,82	9,72	32,40	
		Am15	3,22 – 3,45	0,02	58,60	11,38	30,00	
		Am16	3,45 – 3,72	0,62	56,82	12,16	30,40	
		Am17	3,72 – 3,90	0,04	59,58	10,38	30,00	
		Am18	3,90 – 4,04	0,00	56,78	11,62	31,60	
		Am19	4,04 – 4,17	0,02	62,44	8,74	28,80	
		Am20	4,17 – 4,78	1,12	63,08	9,00	26,80	
		Am21	4,78 – 5,02	0,00	60,60	11,80	27,60	
		Am22	5,02 – 5,25	1,04	64,49	9,52	24,75	

Fonte: os autores.

profundidade, em oposição ao aumento da fração areia. Destacou-se, na amostra Am13, aumento das frações silte 12,44% e argila 34,80%, e diminuição de areia para 52,46%, a que ocorreu também nas demais Tradagens.

A unidade 4 desse transecto ocorreu lateralmente de forma descontínua, desaparecendo nos furos T4 e T2. As

características principais foram semelhantes à unidade 3 do transecto 1, onde englobou os furos T5 e T3. Esta unidade apresentou porosidade maior, facilitando a saturação da unidade, conseqüentemente mais friável, portanto, sugerindo que isso se deva às condições topográficas da encosta que, neste setor, apresentou maior umidade, e maior complexidade em perfil dos materiais.

Conclusão

As variações texturais em perfil na encosta Bazzotti indicam uma variação em porcentagem das argilas em profundidade entre 30 a 45,6%, em média. A presença de concreções de ferro confere aos materiais textura areno-argilosa. As concreções ferruginosas são formadas a partir de dissoluções de minerais primários e agrupam-se em pequenos grânulos, provocando impacto na textura do solo, pois comportam-se de forma a incrementar a porcentagem da fração areia, promovendo textura mais friável e destoando das porcentagens normais para solos argilosos.

As mudanças nos valores de densidade real e aparente acompanham a variação textural, pois, com a diminuição das porcentagens de argila em profundidade, média de 34,20%, os valores da densidade aparente (média de 0,96 g/cm³) e real (média de 2,59 g/cm³) diminuíram progressivamente, promovendo, conseqüentemente, o aumento da porosidade total (média de 62,69%).

A cobertura superficial é constituída por cinco diferentes unidades com características físicas muito semelhantes entre si. Quatro dessas unidades ocorrem nos dois transectos. As diferenças identificadas foram a partir das classes texturais da plasticidade dos mosqueamentos, presença de concreções e coloração das amostras.

Ao longo do perfil exposto na cabeceira da voçoroca, são observadas fraturas atravessando as 3 unidades basais, macroporos alongados de 5 a 10 cm de diâmetro e uniformidade de materiais, sendo difícil a individualização das unidades, mesmo com essas características. Assim, entende-se que a cobertura superficial é constituída por material eluvial que mantém ainda as características estruturais da rocha.

No topo do perfil, há ocorrência de heterogeneidade de materiais, seixos soterrados e carvão indicando presença de material coluvial.

O túnel ocorre na unidade 3, entre 3,20 a 4 m de profundidade, com materiais apresentando baixa plasticidade e maiores percentuais de areia. Entende-se que essas características favoreceram a instalação da erosão. O diâmetro do túnel é de 0,85 m e o local de onde foi retirada a amostra Am9 foi a zona mais impermeável e consolidada pela presença maior de argila. Nas demais, Am10, Am11 e Am12 ocorreu diminuição da argila com incremento da silte e elevação da areia, o que torna a camada do regolito mais friável de fácil desagregação. Como o local é zona de exfiltração, essa camada está sempre úmida, possibilitando desprendimentos de placas no interior do túnel, ou mesmo pequenos movimentos de massa, promovendo retenção de material no túnel.

Referências

BULL, L.J.; KIRKBY, M.J. Gully processes and modelling. **Progress in Physical Geography**, v. 21, n. 3, p. 354-374, 1997.

CAMARGO, G. **O significado paleoambiental de depósitos de encosta e de preenchimento de canal no município de Lapa no sul do Segundo Planalto Paranaense**. 2005. 297 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CAMPY, M.; MACAIRE, J. J. **Geologie des formations superficielles: geodynamique – fácies – utilization**. Paris: Marron, 1989.

DEWOLF, Y. **Proposition pour une définition, une typologie et une cartographie des formations superficielles**. USP, Dep. Geogr., Col. Est. Cart. Form. Sup. e Aplic. reg. trop., v. 1, p.433-445, 1983.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

MENEZES, M. L.; CARVALHO, V. L. CRUZ, L. O.; VALADÃO, R. C. Caracterização das formações superficiais em uma vertente do córrego do Quebra – Depressão de Gouveia/MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY. 6., Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: 2006.

MOUSINHO, M. R.; BIGARELLA, J. J. Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16/17, p. 43-84, 1965.

RUPOLO, E. L. **As propriedades do solo e o desmoronamento de fossas em Marechal Cândido Rondon – PR**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1.222 p.

SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SELBY, M. J. Hillslope sediment transport and deposition. In: PYE, K. (Ed.). **Sediment transport and depositional processes**. London: Blackwell Scientific Publications, 1994. p.397.

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

THOMAZ, E. L.; ROSS, J. L. S. Processos hidrogeomorfológicos em vertente com solos argilosos rasos em Guarapuava-PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, n. 2, 2006.