



CORRELAÇÕES ENTRE MORFOMETRIA DE ENCOSTAS E ESTRUTURA GEOLÓGICA E PROCESSOS DE VOÇOROCAMENTO NO CENTRO E SUL DO SEGUNDO PLANALTO PARANAENSE

Gisele Camargo (*)

Mauricio Camargo Filho ()**

Marcelo Accyoli Teixeira de Oliveira (*)**

(*) Doutoranda PPGG-UFSC – Prof. Univ. Est. Centro-Oeste – UNICENTRO - gicamargo@unicentro.br (**) Doutorando PPGG-UFSC – Prof. Univ. Est. Centro-Oeste – UNICENTRO - mauricio@unicentro.br (***) Prof. Dr. do Dep. Geociências – UFSC - marcaccioly@hotmail.com.

RESUMO – Este trabalho se baseia na identificação e caracterização de processos de erosão no centro e sul do Segundo Planalto do Paraná. O levantamento de dados deu-se através de medições sistemáticas das variáveis morfométricas das encostas e das incisões erosivas, efetuadas em campo e através de aerofotos. Buscou-se avaliar através de análises de correlação a influência da geometria das encostas e das características estruturais do terreno sobre a instalação e desenvolvimento da erosão em voçorocas.

Palavras-chave: voçorocas, morfometria de encosta, análise de correlação

1. Introdução

Análises de correlação foram efetuadas para compreender as relações dinâmicas entre parâmetros morfométricos de encostas e de dimensões dos canais erosivos. Para complementar a compreensão de alguns elementos naturais responsáveis pela instalação da erosão na região buscou-se identificar as relações entre as direções preferenciais de lineamentos tectônicos e as direções dos canais erosivos.

Com a finalidade de avaliar a influência da morfometria das encostas na evolução da erosão por voçorocas do Segundo Planalto paranaense, buscamos identificar as correlações existentes entre os parâmetros morfométricos da encosta e as dimensões de 19 voçorocas cadastradas na região. A área de estudo compreende os municípios de Ponta Grossa, Palmeira, Porto Amazonas e Lapa, localizados na porção Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense.

As litologias são representadas por sedimentos paleozóicos do Subgrupo Itararé e das Formações Furnas e Ponta Grossa, marcados por lineamentos estruturais com direções preferenciais NW e NE. O relevo apresenta-se fracamente a moderadamente dissecado.

A análise dos fatores responsáveis pela instalação da erosão acelerada do solo, exceto o fator água, indica que eles estão relacionados fundamentalmente ao tipo de solo, à configuração do relevo e, de modo indireto, ao substrato rochoso. A configuração geométrica das encostas, ao mesmo tempo que resulta da ação dos processos erosivos e/ou deposicionais pretéritos, atua como condicionante da distribuição espacial desses mesmos processos no presente (OLIVEIRA e MEIS, 1985; COELHO NETTO, 1994). Nessa perspectiva, o comprimento e a declividade da encosta podem atuar, juntamente com as características da chuva e propriedades do solo, para a maior ou menor resistência à erosão.

2. Objetivos e metodologia



Este trabalho teve como objetivo identificar a relação dos parâmetros morfométricos de encosta e o processo de erosão por voçoroca, considerando suas variáveis dimensionais - comprimento e área levantados em campo. Os trabalhos de campo consistiram no cadastramento da voçoroca, no qual se incluem levantamento dos componentes dimensionais das voçorocas e construção de perfil de encosta. Os trabalhos de gabinete constituíram na fotointerpretação para obtenção da área de drenagem localizada a montante da cabeceira da incisão.

Os componentes dimensionais das voçorocas constituem comprimento, largura e profundidade. Tais medições foram efetuadas em campo com o auxílio de trena e metro. As medições de largura e profundidade foram tomadas em vários pontos ao longo do canal. A construção de perfil de encosta foi efetuada a partir do ponto mais baixo da encosta junto à desembocadura do canal erosivo até o divisor de drenagem através de levantamento expedito com trena, mira e clinômetro. A orientação de lineamentos tectônicos e de incisões em voçorocas foi obtida a partir de uma amostragem de 64 voçorocas e 170 lineamentos estruturais identificados em fotografias aéreas da porção Sul do Segundo Planalto paraense. As direções de cada uma das voçorocas foram plotadas em gráfico do tipo radar com intervalo de classe de 10°. Trata-se de uma análise qualitativa que indica direções preferenciais das categorias avaliadas.

3. Os parâmetros morfométricos das encostas e as dimensões das voçorocas

As variáveis dimensão e parâmetros morfométricos estão representados no Quadro 1.

A extensão da voçoroca representa o comprimento da incisão medido em campo durante a execução do perfil de encosta. Trata-se de incisões com dimensões variadas, cujo valor médio de comprimento é de 101,51 metros, sendo que a menor mede 17,4m enquanto a maior tem 273,42m de comprimento. As voçorocas mais extensas apresentam as porções de sua extremidade inferior estabilizadas, bem como, as paredes laterais e o fundo do canal que se apresentam cobertas por vegetação. As voçorocas menores apresentam cabeceira, canal e paredes laterais ativas. A incisão pode constituir um dígito de uma voçoroca maior e mais antiga, caso no qual foi considerada a distância entre a cabeceira da incisão e sua confluência com o canal central da incisão maior, nos demais casos foi considerado o comprimento total da incisão.

A distância compreendida entre a cabeceira da incisão e o divisor de drenagem foi medida em campo, procurando seguir o eixo de drenagem neste setor da encosta.



Voçoroca	Categoria: Conectada (C)/ Desconectada (D)	Área da voçoroca em m ² 1995	Extensão da incisão (m ²)	Distância cabeceira/divisor (m)	Comprimento da encosta (m)	Área de drenagem acima da cabeceira (m ²)	Declividade no setor da voçoroca (%)	Declividade média da encosta (%)
1	C	1813,86	112,04	79	191,04	19375	16,83	16,8
2	D	117,4	101,135	122,09	223,225	17500	13,36	14,42
3	D	6088	273,42	156,5	429,92	16250	13	17,16
4	D	3375	223,48	101,185	324,665	30625	7,5	9,22
5	C	1414,35	132,71	162,18	687,54	18500	11,4	13,5
6	C	318,24	43,89	447,17	701,72	42350	19,08	14,4
7	D	924,21	119,95	246,21	366,16	40625	8,54	11,96
8	C	4364	207,42	237,5	444,92	55625	6,17	7,36
9	C	408,6	48,74	275,47	324,21	25625	9,44	10,56
10	C	481,56	38,67	250,7	289,37	30000	10,43	12,34
11	C	124,84	30,06	350,61	380,67	50000	11,24	14,82
12	C	700,2	71,97	597	668,97	71875	6,46	6,21
13	C	545,32	42,42	550,86	593,28	73750	10,16	10,54
14	C	769,34	74,18	248,37	322,55	40000	20,1	17,8
15	C	749	71,03	227,42	298,45	36875	17,41	17,61
16	C	1216,5	99,36	250	349,36	32500	19,33	16,35
17	D	1278,24	134,21	139	273,21	30625	17,77	15,94
18	D	1385,44	86,66	174,63	261,29	90625	21,34	16,08
19	C	29,72	17,4	352,19	369,59	32500	6,58	7,85

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos de encosta e as dimensões das 19 voçorocas cadastradas no Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense.

O comprimento da encosta representa a distância entre o divisor de drenagem e o nível de base local, a extremidade inferior junto ao fundo de vale ou canal.

As encostas estudadas em geral são longas, com um comprimento médio de 394,74 metros, a maior delas tem comprimento de 701,72 metros e a menor 191,04 metros.

Em geral as encostas apresentam baixa declividade, com inclinação média de 13,21%, sendo que o maior valor de declividade encontrado foi de 17,80% de inclinação e o menor valor foi de 6,21%. As encostas estudadas apresentam relação inversa com a declividade, ou seja, há uma tendência de encostas mais extensas apresentarem declividades menores.

Ao considerarmos as declividades da encosta no setor onde se desenvolveu o canal, os valores médios são 12,95%.

Entendemos que a declividade da encosta assume um papel importante na instalação e desenvolvimento de incisões erosivas, uma vez que ela condiciona a velocidade da água de escoamento sobre a superfície e, por conseguinte o volume de material a ser destacado e movimentado encosta abaixo. Em trabalhos desenvolvidos em Bananal (SP), OLIVEIRA (1990) identificou as encostas curtas e com declividade acentuada, como favoráveis a incisão em canais por concentração de fluxo superficial



hortoniano, ao passo que as encostas longas e com declividades menores tendem a determinar a evolução de voçoroca por fluxo subsuperficial.

Dentre as 19 incisões cadastradas na área, 13 são conectadas à rede de drenagem e 6 são desconectadas da rede de drenagem. De acordo com OLIVEIRA e MEIS (1985), as voçorocas conectadas à rede de drenagem têm sua evolução comandada preferencialmente pelos fluxos subsuperficiais, enquanto as desconectadas evoluem principalmente pela ação dos fluxos superficiais. Na seqüência são apresentados os resultados de análise de correlação.

4. Correlações entre parâmetros morfométricos de encosta e de dimensão voçorocas

A análise de correlação entre duas variáveis, como recurso estatístico, permite identificar o grau de associação entre elas. Dessa forma, as variáveis selecionadas neste trabalho constituem: comprimento da incisão, área da incisão, distância entre a cabeceira da incisão e o divisor de drenagem, comprimento da encosta, área de drenagem acima da cabeceira da incisão, declividade média da encosta e declividade da encosta no setor onde se desenvolveu a incisão. Estas variáveis estão representadas na estrutura de correlação indicada na Figura 1.

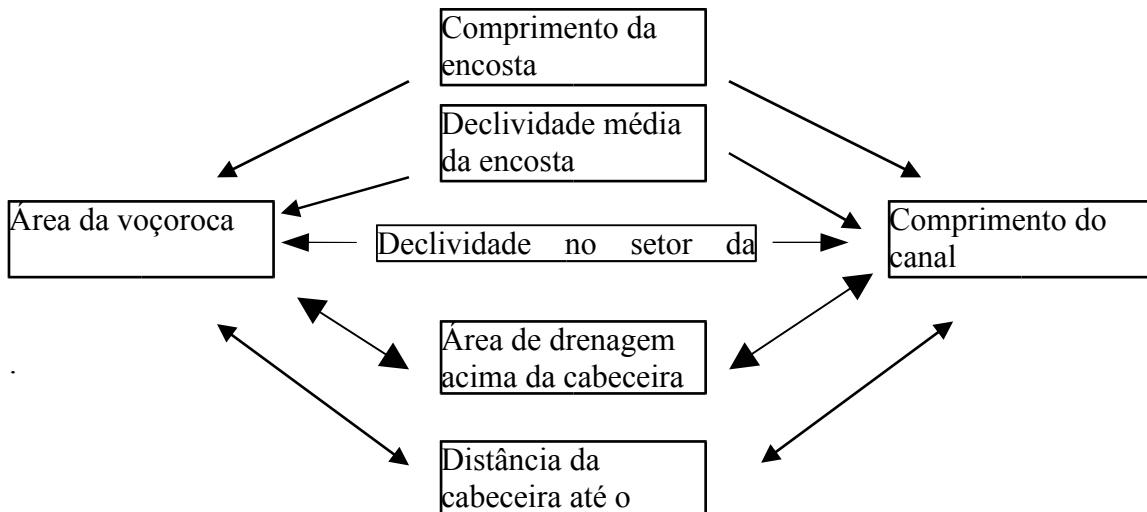


Figura 1. - Estrutura de correlação das variáveis morfométricas de encosta e dimensionais das voçorocas

A análise de correlações entre essas variáveis foi efetuada considerando-se a categoria de voçorocas conectadas à rede de drenagem, voçorocas desconectadas da rede de drenagem e todas as voçorocas indistintamente. Os índices de cada categoria estão contidos no Quadro 2.



	TODAS		CONECTADAS		DESCONECTADAS	
	Comprimento	área	Comprimento	área	Comprimento	área
Distância cabeceira/divisor	-0,55	-0,40	-0,46	-0,39	-0,31	-0,19
comprimento da encosta	-0,06	nula	+0,05	-0,04	+0,77	-0,80
área de drenagem acima da cabeceira do canal	-0,28	-0,16	-0,06	+0,05	-0,54	-0,30
declividade no setor da voçoroca	-0,12	-0,14	-0,05	-0,16	-0,46	-0,22
declividade média da encosta	+0,04	+0,01	-0,10	-0,18	-0,08	+0,15

Quadro 2 - Índices de correlação entre parâmetros morfométricos de encosta e dimensionais de voçorocas do Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense.

Ao se considerar todo universo amostrado, as correlações apresentam-se baixas ou nulas, à exceção, das correlações entre a distância da cabeceira da incisão até o divisor com o comprimento do canal.

O índice de correlação, de todas as incisões, entre o comprimento do canal e a distância entre a cabeceira da incisão e o divisor é de -0,55. A tendência negativa indica uma relação inversa entre esses dois parâmetros (Figura 2).

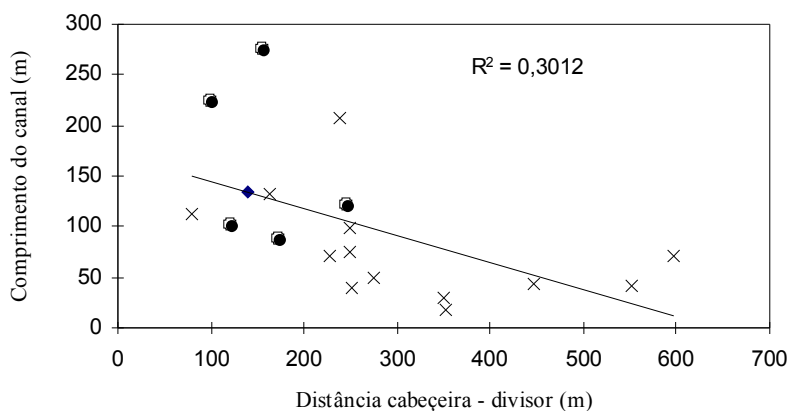


Figura 2 - Gráfico de correlação entre o comprimento do canal e a distância entre a cabeceira da incisão e o divisor de drenagem. (Os "x" representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).



A distância entre a cabeceira da incisão e o divisor de drenagem poderia revelar-se determinante na evolução de canais erosivos na medida em que quanto maior a distância entre a cabeceira e o divisor, maior seria a eficiência na movimentação de água de escoamento superficial.

Em se tratando de voçorocas conectadas e desconectadas da rede de drenagem, o índice de correlação foi de - 0,46 para as primeiras e de - 0,31 para as segundas. Nas duas categorias de incisão os índices revelam uma tendência inversa para esses dois parâmetros.

A declividade da encosta no setor compreendido pela incisão apresentou uma correlação nula ou muito baixa com o comprimento das voçorocas, tanto para as conectadas à rede de drenagem ($r=-0,05$) como para o conjunto geral de voçorocas ($r=-0,12$), como mostra a Figura 3. Quando se considera as voçorocas desconectadas da rede de drenagem a correlação salta para -0,46. Entende-se então que para esta categoria de incisão, os canais mais extensos tendem a se alojar em setores com menores declividades das encostas. Para a categoria de incisões conectadas à rede de drenagem esse parâmetro morfométrico não assume nenhum significado.

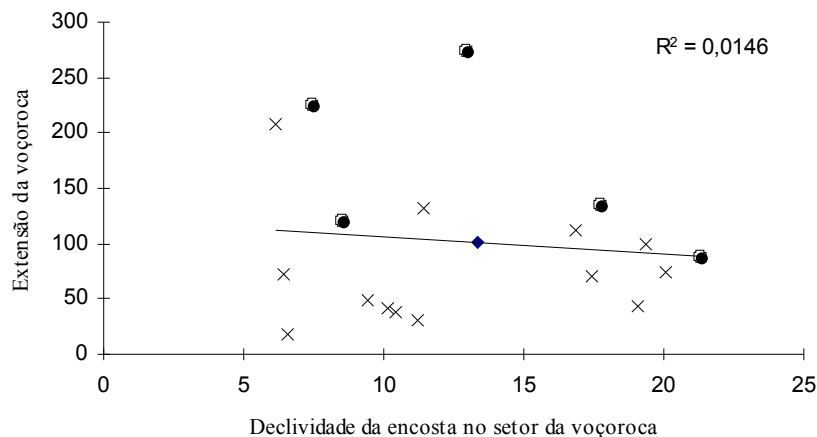


Figura 3 - Gráfico de correlação entre o comprimento do canal e a declividade da encosta no setor onde se desenvolveu a voçoroca. (Os “x” representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).

A área de drenagem acima das cabeceiras dos canais apresenta em geral uma correlação inversa, porém muito baixa ($r=-0,28$) com o comprimento da incisão (Figura 4).

De acordo com OLIVEIRA et al. (1994), citando HORTON (1945) e DUNNE (1980), a área de drenagem localizada acima da cabeceira dos canais, deveria teoricamente, reduzir em função do crescimento e conseqüente expansão do canal para montante. Nesta perspectiva, haveria uma forte relação inversa. OLIVEIRA et al. (1994) apontam ainda que a medida que os canais se estendessem em direção ao divisor de drenagem, menor seria a área de contribuição fundamental para sustentar a evolução dos canais.

A correlação inversa entre essas duas variáveis mostrou-se mais elevada entre as voçorocas desconectadas da rede de drenagem ($r = - 0,54$) e nula entre as voçorocas conectadas à rede de drenagem ($r = - 0,06$).

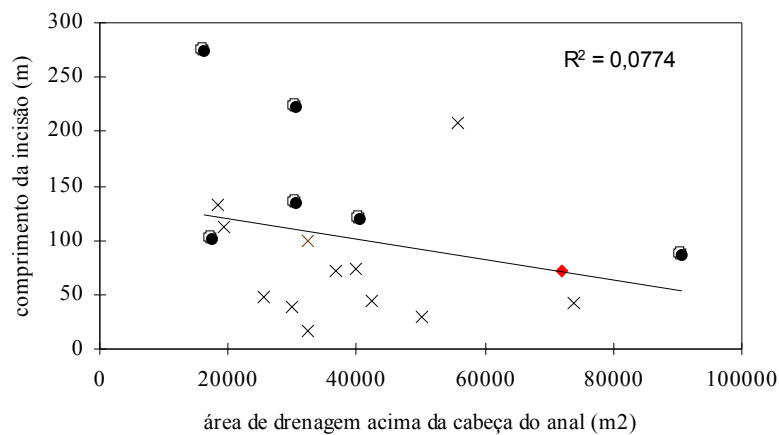


Figura 4 - Gráfico de correlação entre o comprimento do canal e a área de drenagem localizada acima da cabeceira do canal. (Os “x” representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).

Ao se considerar a declividade média de toda a encosta e o comprimento da incisão, as correlações são muito baixas para as duas categorias de voçorocas, conectadas ($r = -0,10$) e desconectadas ($r = -0,08$), como pode ser visto na Figura 5. O conjunto total das voçorocas apresentou correlação de $+0,04$.

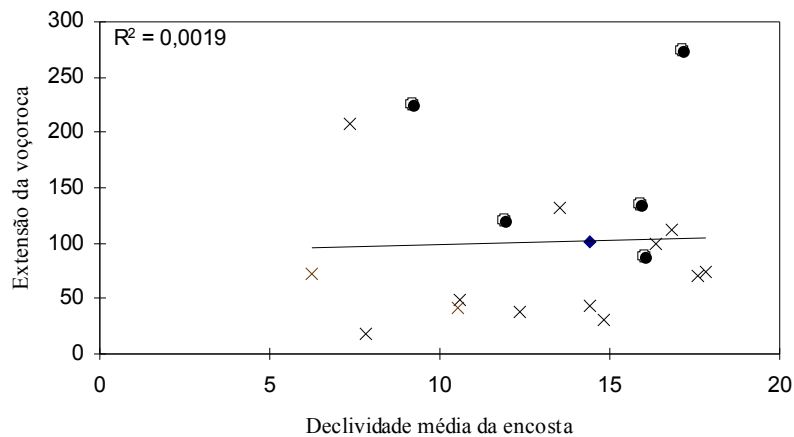


Figura 5 - Gráfico de correlação entre o comprimento do canal e a declividade média da encosta. (Os “x” representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).

Ao considerarmos parâmetros como declividade da encosta e área de drenagem acima da cabeceira do canal, a correlação mostrou tendência negativa e baixa ($r = -0,28$) como mostra a Figura 6.

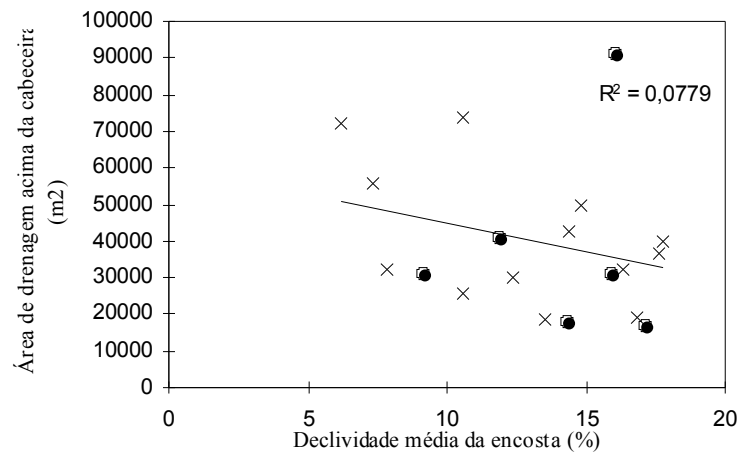


Figura 6 - Relação entre a declividade média da encosta e a área de drenagem acima da cabeceira do canal. (Os “x” representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).

MONTGOMERY e DIETRICH (1988) encontraram fortes correlações entre esses dois parâmetros para três áreas distintas dos Estados Unidos. O significado desta forte correlação indicaria que a área de contribuição acima da cabeceira do canal tende a diminuir com o aumento da declividade da encosta. OLIVEIRA et al. (1994) estudando incisões erosivas no estado de São Paulo identificaram que quanto menor o gradiente médio da encosta, menor é a área total necessária para o desenvolvimento do canal.

Entretanto, regionalmente, o tamanho das áreas fontes não está fortemente relacionado com a declividade média da encosta, podendo aquelas ser mais uma função da forma e do perfil da encosta e não da declividade média.

O comprimento da encosta se correlacionou de forma muito baixa ou nula com a extensão das voçorocas conectadas à rede de drenagem e com o conjunto total das voçorocas. Entretanto a correlação com as voçorocas desconectadas à rede de drenagem se mostrou forte e positiva (+ 0,77) (Figura 7). As maiores incisões tendem a concentrar-se em encostas longas.

Todos os resultados apresentados e discutidos se referem aos índices de correlação das variáveis de morfometria de encosta e do comprimento da incisão. Ao se considerar a área da erosão, os índices de correlação são igualmente baixos, como mostra o Quadro 2.

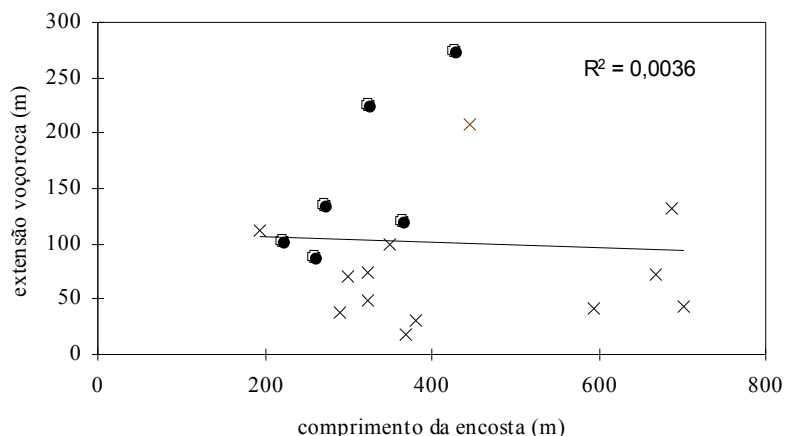


Figura 7 - Gráfico de correlação entre o comprimento do canal e o comprimento da encosta. (Os “x” representam voçorocas conectadas à rede de drenagem e os círculos as desconectadas).

Entendemos que os parâmetros morfométricos da encosta podem assumir um papel importante na instalação e desenvolvimento de incisões erosivas, uma vez que eles condicionam a velocidade e a carga de água de escoamento sobre a superfície, por conseguinte o volume de material a ser destacado e movimentado encosta abaixo. Nesta perspectiva, as voçorocas que têm sua evolução controlada pela ação do fluxo superficial concentrado apresentam correlações mais significativas do que aquelas controladas pelo fluxo subsuperficial. De fato entendemos que para esta última categoria de incisão as correlações fracas indicam que outras características ou particularidades do ambiente determinam a instalação e evolução da erosão nas encostas. Por essa razão, na seqüência buscamos identificar qual a influência das feições estruturais, como falhas e fraturas, na erosão por voçorocas na porção Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense.

5. Direções preferenciais de feições estruturais e voçorocas do Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense

Segundo AGUIAR NETO et al. (1977), existem na região dois sistemas de falhamentos principais, um com orientação NW e outro com orientação NE. As estruturas com orientação NW são sistemas de falhas e fraturas oriundas de fenômenos de distensão a partir de epirogênese gerada por grande movimento de fundo ocorridos no Jurássico-Cretáceo. A maioria das linhas tectônicas está relacionada com o Arco de Ponta Grossa, elas orientaram a formação de diques e sils de material básico presentes hoje nos terrenos do Segundo Planalto. O sistema de falhas com orientação NE, de acordo com AGUIAR NETO et al. (1977) resulta da reativação de lineamentos estruturais preexistentes, materializada nas rochas Devonianas e Permo-carboníferas.

Os lineamentos estruturais apresentaram orientação N10-30E; N50-70E e N40-70W, as direções preferenciais das incisões erosivas são N20-30E e N50-70E. A correspondência de orientação preferencial pode ser identificada através da Figura 8.

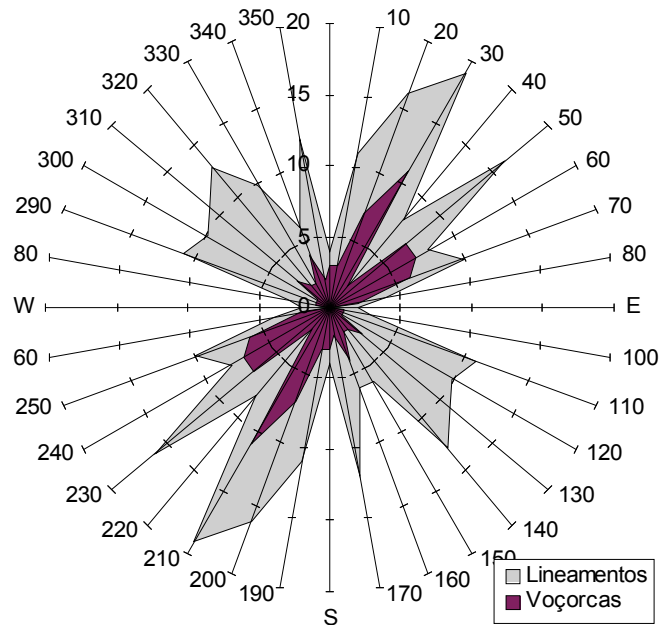


Figura 8 - Principais direções dos lineamentos tectônicos e das voçorocas do sul do Segundo Planalto paranaense.

O gráfico da Figura 8 mostra as direções coincidentes dos lineamentos estruturais e das voçorocas. Há de fato um controle estrutural ditando o desenvolvimento dessas incisões, principalmente no sentido NE. A incidência de voçorocas com orientação NW é muito pequena.

6. Conclusão

A análise de correlação entre variáveis morfométricas de encosta e dimensionais das voçorocas mostrou que as incisões desconectadas da rede drenagem apresentaram índices mais elevados de correlação para algumas variáveis morfométricas, em comparação com as voçorocas conectadas a rede de drenagem, que apresentam índices baixos de correlação entre as variáveis. Com isso entendemos que as características morfométricas das encostas condicionam a velocidade e carga de água e sedimento sobre a superfície.

As fracas correlações das voçorocas conectadas à rede de drenagem com as variáveis morfométricas das encostas foram fundamentais para compreender que a incisão da erosão é controlada por outros fatores, entre os quais podem ser destacados a circulação de água em subsuperfície e o encaixamento da erosão em feições estruturais.

Esse aspecto parece contribuir para as características morfológicas das voçorocas da região. Dentre as 19 voçorocas cadastradas 8 delas apresentam-se retilíneas por longas distâncias e com rocha no leito do canal. Em duas delas o leito rochoso desdobra-se em três degraus estruturais.

Assim, para análise regional da erosão acelerada do solo na expansão de cabeceiras de drenagem, não devem ser negligenciados os aspectos de caráter geológico e estrutural e de circulação de água em subsuperfície.



Referências bibliográficas

AGUIAR NETO, A.; COLANERI, S.; BATOLLA JÚNIOR, F. **Projeto Leste do Paraná**. Relatório Geológico Final. Folha Ponta Grossa - SG. 22-X-C-II-2. São Paulo: DNPM/CPRM, 1977.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, Antônio J. T.; CUNHA, Sandra B da (Orgs.): **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 93-148.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Source area, drainage density and channel incision. **Water resources research**, v.25, n. 8, p. 1907-1918, 1989.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Slope geometry and gully erosion development: Bananal, São Paulo, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.34, n. 4, p. 423-434, 1990.

OLIVEIRA, M. A. T. de.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. de S. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 9-23, 1994.

OLIVEIRA, M. A. T. de.; MEIS, M. R. M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão acelerada (Bananal, SP). **Geociências**, São Paulo, n. 4, p. 211-238, 1985.