



---

---

**EROSÃO EM TÚNEIS E RECONHECIMENTO DE ROTAS DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL CONCENTRADO NO CENTRO, SUL E CENTRO-OESTE  
DO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL)**

**Gisele Camargo (\*)**

**Mauricio Camargo Filho (\*\*)**

**Marcelo Accyoli Teixeira de Oliveira (\*\*\*)**

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

**RESUMO** - Levantamentos efetuados nas regiões central, sul e centro-oeste do estado do Paraná (Brasil) mostraram que a erosão em túneis, com formação de estruturas de abatimento, ocorre tanto em solos oriundos da decomposição de rochas sedimentares, como em solos originados de rochas basálticas. Observações de campo, reconhecimento de rotas de fluxo concentrado de água em túneis através de geofone e, levantamento de seções estratigráficas em paredes de voçorocas demonstraram que as rotas de escoamento subsuperficial em algumas encostas afetadas por erosão em túneis podem estar em desacordo com a drenagem superficial.

Palavras-chave: erosão em dutos, rotas de fluxo, fluxos subsuperficiais pretéritos.

## **INTRODUÇÃO**

As formas erosão por voçorocas e em túneis estão, no âmbito do sul do estado do Paraná (Brasil), relacionadas com a expansão de cabeceiras de drenagem e constituem processos naturais de erosão relacionadas principalmente com a ação da água de subsuperfície (CAMARGO, 1998).

Regionalmente a erosão em túneis, com formação de estruturas de abatimento, confere ao terreno uma topografia pseudo-cárstica. Essas feições são bastante difundidas, tanto no Segundo, quanto no Terceiro Planalto do Paraná (Brasil).

A fotointerpretação foi fundamental para o cadastramento das formas de erosão. Em visitas ao campo reconheceu-se que as encostas concentram processos e formas erosivas bem características. Túneis subterrâneos, estruturas de abatimento e subsidência da superfície estão presentes nas encostas, ao longo do eixo de drenagem, evidenciando uma relação dinâmica entre si. O eixo de drenagem é materializado por uma sucessão de depressões no terreno, onde se formam estruturas de abatimento e, através das quais, observam-se os dutos subterrâneos. Trata-se de formas relacionadas, principalmente, à ação do fluxo de água em subsuperfície. Contudo, em duas encostas constatou-se que a rota dos túneis está orientada transversalmente à drenagem superficial da encosta. Isso pode ser



identificado através de levantamentos com uso de geofone, reconhecimento de estruturas de dutos preenchidos em paredes laterais de voçorocas e orientação de sucessões de depressões e estruturas de abatimento na encosta.

## **METODOLOGIA**

A proposta deste trabalho concentrou-se no cadastramento macro-regional de erosão em túneis no âmbito dos terrenos sedimentares do Segundo Planalto e superfícies basálticas do Terceiro Planalto Paranaense e na caracterização das propriedades do fluxo. Para tal elegeu-se 4 encostas afetadas por erosão em túneis e estruturas de abatimento e subsidência da superfície. Nessas áreas foi efetuado levantamento topográfico das encostas e reconhecimento de rotas de fluxo concentrado em subsuperfície através de geofone. Seções estratigráficas foram efetuadas com vistas à identificação de estruturas de túneis pretéritos preenchidos com material sedimentar.

O geofone manual é um aparelho similar a um estetoscópio, no qual duas auriculares estão conectadas por um par de tubos plásticos à duas placas cilíndricas de cobre de 20 centímetros de diâmetro. Os cilindros possuem base plana de cobre, a qual é sobreposta por uma placa de chumbo e esta por outra placa de cobre. O princípio está centrado na repercussão da vibração do som através das camadas de solo. Dessa forma o fluxo de água concentrado que flui de forma turbulenta dentro do túnel é captado e sentido em diversas magnitudes.

## **ÁREA DE ESTUDO**

O sistema de erosão de túneis é representado pelo próprio túnel e por um conjunto de estruturas de abatimento ativas ou estabilizadas. As estruturas estabilizadas apresentam vegetação em suas paredes e na base. As estruturas de abatimento ativas apresentam as paredes bem verticais e desprovidas de vegetação, a água no duto flui com maior velocidade, pois, não encontra a resistência da vegetação e este aspecto contribui para a evolução do processo erosivo por ação mecânica da água sobre as paredes do túnel.

O Segundo Planalto do Paraná é representado por rochas sedimentares paleozóicas, a área de estudo neste setor inclui os municípios de Lapa, Porto Amazonas, Palmeira, Ponta Grossa e Prudentópolis. A litologia da porção sul deste setor é



representada por rochas sedimentares do Grupo Itararé, formadas por arenitos, siltitos e arenitos sílticos-conglomeráticos. Na porção central, em Ponta Grossa e Prudentópolis, predominam rochas sedimentares do Grupo Campos Gerais, representadas por arenitos da Formação Furnas e folhelhos da Formação Ponta Grossa e por arenitos e argilitos do Grupo Passa Dois.

A porção Centro-Oeste, onde se incluem os municípios de Guarapuava, Pitanga e Laranjeiras do Sul, é formada por basaltos da Formação Serra Geral.

O clima da região é úmido com média pluviométrica de 1.1655 mm na Lapa, de 1.500. mm em Ponta Grossa e 1850 mm em Guarapuava. As chuvas são bem distribuídas o ano todo, sem a presença de estação seca ou chuvosa. A cobertura vegetal nativa era representada por campos limpos e mata de araucárias.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através de fotointerpretação foi possível identificar nas encostas a ocorrência de estruturas de abatimento, em visitas ao campo pudemos reconhecer o grau de atividade do processo e algumas transformações que se operaram ao longo do tempo.

As fotografias aéreas revelam que a erosão em túneis e a formação de estruturas de abatimento são bastante freqüentes nas regiões Centro, Sul e Centro-Oeste do estado do Paraná. Elas podem ser percebidas numa observação mais acurada por meio de estereoscópio de espelho e, com maior detalhe, com o uso de binoculares.

O túnel (*pipe*) é a forma de erosão resultante de processos de desprendimento e remoção de partículas de solo pela ação da água que circula em subsuperfície. Regionalmente o comprimento do túnel é, em geral, de uma ou duas centenas de metros e a largura e a altura variam de poucos milímetros a 1,5 metros (Figura 1).

De acordo com Swanson et al.(1989), seu desenvolvimento envolve três estágios: 1) eluviação lateral de argilas (*soil piping*); 2) desenvolvimento de um conduto subsuperficial no qual o fluxo concentrado erode suas paredes (*tunneling*) e 3) expansão do túnel até o ponto em que ocorre o colapso do teto. O desabamento de forma descontínua da superfície do solo localizada acima do teto do túnel dá origem a cavidades circulares descritas inicialmente por Rodrigues (1984) como estrutura abatimento. Trabalhos desenvolvidos por Camargo (1998), no centro e sul do Segundo Planalto do Paraná, indicam que a erosão em túneis ocorre na maioria das vezes associada com erosão em



voçorocas. Numa mesma encosta podem funcionar ativos a voçoroca e o sistema de túneis e estruturas de abatimento; eles podem ocorrer de forma independente ou apresentar uma clara conexão si.

Regionalmente a erosão por fluxo subsuperficial dá origem a subsidência de parte da superfície do solo. Isso se materializa na encosta por uma sucessão de áreas deprimidas, de forma circular ou elíptica. Elas estendem-se longitudinalmente na vertente. Oliveira e Camargo (1996), com base em Musy e Soutter (1991), propuseram que a perda de volumes de solos organo-terrígenos e hidromórficos gerados pela alteração estrutural do solo após liberação de drenagem impedida pode dar origem a subsidência da superfície.



**Figura 1** – Aspecto de túnel e estrutura de abatimento em terreno oriundo da decomposição do basalto (Laranjeira do Sul-PR).  
Foto de Aldori J. Dirksen em outubro de 1997

Através do cadastramento da erosão em túneis (*tunnel erosion*) nesta porção do Paraná, foi possível reconhecer que este processo de erosão não se restringe aos terrenos sedimentares do Segundo Planalto do Paraná, uma vez que eles ocorrem igualmente em solos oriundos de rochas basálticas do Terceiro Planalto, no oeste e sudoeste do estado.

As estruturas de abatimento identificadas no cadastramento, têm formato circular; as paredes são verticais e fundo é plano. Uma vez que elas estão conectadas aos túneis subterrâneos, são sempre úmidas; isso cria, ao longo do tempo, um ambiente favorável ao desenvolvimento de um núcleo mais denso de vegetação, desde que a erosão não esteja ativa. Quando isso ocorre, os mecanismos erosivos atuam de acordo com as características do solo e da intensidade e volume da precipitação (CAMARGO, 1998).



A água de subsuperfície que flui através de macroporos ou cavidades fissurais pode resultar na formação de túneis ou dutos. Os menores, com poucos centímetros de diâmetro, geralmente são visíveis nas paredes das voçorocas e servem para dar vazão a uma dada descarga de água subterrânea. Os dutos maiores, ou setores dos dutos com mais de 0,50 m de diâmetro geram maiores fluxos de água: a superfície com face livre para exfiltração da água é maior. São nessas porções, onde o diâmetros dos dutos aparentemente são maiores, que se desenvolvem as estruturas de abatimento, cujas dimensões variam de 0,2 a 3 metros de diâmetro e profundidade que varia de 0,5 a cerca de 4 metros. Associada a estas estruturas ocorre a subsidência da superfície do terreno criando depressões topográficas ao longo do eixo de drenagem da encosta (CAMARGO, 1998).

As estruturas de abatimento podem ter suas dimensões ampliadas pelos mesmos mecanismos de água de exfiltração que aflora nas paredes da voçoroca e também, pela água que flui nos dutos após as chuvas, podendo assumir um caráter turbilhonar após os episódios de alta precipitação.

Esses aspectos conferem ao terreno uma topografia pseudo-cárstica, onde são identificados incisões em canais, túneis subterrâneos e estruturas de abatimento. Regionalmente algumas estruturas de abatimento se mantêm na forma original por tempo suficientemente longo para permitir a instalação de vegetação arbórea ou arbustiva no seu interior. As condições topográficas e hidrológicas da encosta favorecem essa situação. As estruturas de abatimento indicam linhas de fluxo subterrâneo ao longo do perfil longitudinal da encosta.

Camargo (1998) reconheceu que os atributos do terreno, como cavidades circulares, depressões topográficas, textura diferenciada da vegetação, permitiram o tratamento de aerofotos com falsa-cor. Foram realçadas as pequenas diferenças de níveis de cinza da imagem monocromática. Considerando que a imagem materializa-se pela diferença de reflectância dos materiais ou ambientes, a falsa-cor realçou na encosta o ambiente com cobertura vegetal mais densa ou com maior capacidade clorofiliana. No presente caso essa situação é condicionada pela maior umidade das unidades superficiais do solo.

Na Figura 2 observa-se as estruturas dispersas pela encosta, orientadas em cinco rotas que convergem diretamente para os depósitos aluviais do rio Iguaçu. Neste caso, apesar da alta densidade de estruturas de abatimento, o canal erosivo não se formou.



**Figura 2-** Imagem com estruturas de abatimento em uma encosta à margem direita do rio Iguaçu - Porto Amazonas - PR (vôo 1980).

Nesta situação as estruturas de abatimento aparentemente dão vazão a uma dada quantidade de água que circula no túnel e não se integram para formar um canal contínuo.

### **Rotas de fluxo superficial e subsuperficial**

O levantamento de rotas de escoamento concentrado em túneis foi efetuado com geofone e mostrou que os fluxos superficiais concentrados e em dutos coincidem com a topografia do terreno. As depressões formadas pela subsidência do solo criam e definem rotas para o escoamento superficial concentrado. Entendemos que nestes casos a perda de material fino e a expansão de macroporos definem, no interior do solo, a orientação dos dutos. Estes três aspectos associados antecedem e favorecem a formação de depressões, materializando na superfície do terreno a presença de dutos em subsuperfície.

Na encosta Porteira (Lapa-PR) isto está muito claro através da sucessão de estruturas de abatimento que evidenciam a presença de túneis em subsuperfície. A direção desses túneis na encosta foi reconhecida através do geofone.

Na encosta São Bento (Lapa-PR) ocorrem, de forma muito ativa, processos de voçorocamento, erosão em túneis e formação de estruturas de abatimento. O monitoramento da erosão nesta encosta a partir de 1995 por Camargo e Oliveira (1996) e



Camargo (1998), mostrou sinergia de mecanismos e processos de erosão que geraram perdas anuais de 177 m<sup>3</sup> de solo. O levantamento de rotas de fluxo subsuperficial mostrou que a partir da média encosta, as rotas se bifurcam. Uma segue em direção à cabeceira da voçoroca, sendo seu curso formado por seis estruturas de abatimento, sugerindo que a erosão tende a integra-las num canal contínuo. A segunda rota de túneis segue inicialmente paralela à primeira, a uma distância média de 5 metros. Neste caso não houve a formação de voçoroca, contudo as estruturas de abatimento podem atingir profundidade de até 5 metros e diâmetro de 6 metros.

As estruturas de abatimento presentes na encosta localizam-se a montante da cabeceira da voçoroca e lateralmente a ela; neste último caso ocorrem associadas a um sistema complexo de escoamento superficial e subsuperficial independentes do processo de erosão do canal maior. Este sistema é evidenciado pela subsidência do terreno, que isolou depressões ao longo da encosta e dentro destas formam-se as estruturas de abatimento.

Na encosta Prudentópolis, existe uma série de cinco estruturas de abatimento. O levantamento com geofone colocou em evidência que as rotas do fluxo de água concentrado em túneis está em desacordo com o eixo de drenagem superficial da encosta e com a própria topografia do terreno. Neste caso a rota do túnel segue transversalmente ao eixo de drenagem atual da encosta.

Na encosta Monjolo (Lapa-PR), em duas voçorocas ativas, constatamos a presença de antigos dutos que foram preenchidos por material sedimentar (Figura 3). Estas estruturas estão localizadas em paredes laterais das voçorocas ativas, o que sugere que os dutos, como processo erosivo, são recorrentes na região, ou seja, eles já estiveram ativos em tempo geológico recente, tendo sido posteriormente preenchidos por sedimentos. As estruturas são encontradas em profundidades de 1,63 m e 1,24m. As posições dos dois dutos indicam que a rota pretérita também era diferente do eixo de drenagem da atual. Sua posição é aproximadamente transversal ao eixo de drenagem ativo nos dias de hoje.

### **A importância do fluxo subsuperficial na instalação e desenvolvimento da erosão**

A migração de água no interior do solo é controlada pelo volume e intensidade de precipitação, pelas propriedades físicas, químicas, mecânicas e hidráulicas do solo, pela natureza da cobertura vegetal e pelas características de declividade e morfológicas das encostas (FERNANDES, 1990).



**Figura 3** - Estrutura de túnel preenchido localizado em parede de voçoroca na encosta Monjolo (Lapa-PR)

Foto de Maurício Camargo Filho em outubro de 1999.

A infiltração e o armazenamento da água no solo são influenciados pela distribuição dos poros em relação as suas estruturas e textura (DUNNE e LEOPOLD, 1978 apud FERNANDES, 1990). De acordo com Dietrich e Dunne (1993), os dutos estão relacionados às fraturas de tensão, rede de raízes de plantas ou cavidade de animais. Para Thomas, (1994) eles estão associados a contrastes texturais que reduzem a permeabilidade a uma dada profundidade do solo e à presença de uma zona do solo potencialmente dispersiva.

A importância dos dutos subsuperficiais (*pipes*, ou túneis) está no fato de eles serem responsáveis por diversos processos de erosão que eventualmente evoluem para canais em superfície (DIETRICH e DUNNE, 1993).

Com a remoção contínua dos materiais ao longo dos túneis, estes se tornam mais largos e quando perdem a sustentação da superfície de solo acima do teto podem evoluir para canais contínuos, dando origem a um novo ramo de erosão em voçorocas (THOMAS, 1994; ZACHAR, 1982; MORGAN, 1986; SWANSON *et al.*, 1989).

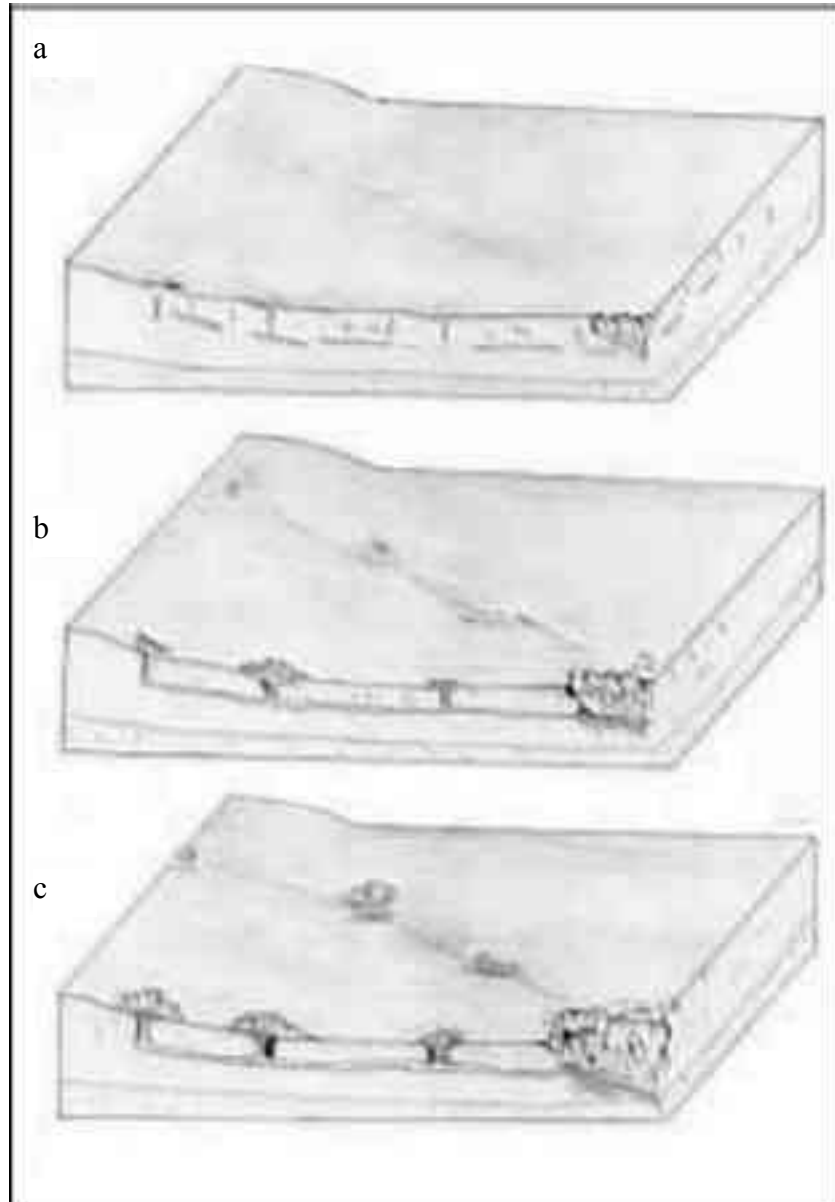
De forma simplificada Camargo (1998) prevê a evolução da erosão de encosta afetada por erosão em túneis conforme Figura 4.

Inicialmente a rede de canais formada por erosão em túneis apresenta estruturas de abatimento distantes umas das outra, porém se o substrato for solúvel ou dispersivo, a erosão avança rapidamente.





A erosão nas estruturas de abatimento tende a evoluir de forma remontante, por ação da água de exfiltração na parede da estrutura, pela ação mecânica da água concentrada no duto e por ação da água de escoamento superficial. A forma inicialmente circular evoluiu para elíptica.



**Figura 4** - Hipótese de evolução da erosão em dutos e formação de estruturas de abatimento.

As estruturas de abatimento indicam linhas de fluxo subterrâneo ao longo do perfil longitudinal da encosta. Swanson et al.(1989) identificaram através de aerofotos o comportamento diferenciado da vegetação sobre a superfície onde ocorrem os dutos, ou seja, as linhas de fluxo subsuperficial podem condicionar uma vegetação diferenciada ao



longo da encosta. Camargo (1998) reconheceu em fotografias aéreas ampliadas e tratadas com falsa-cor, o adensamento da vegetação gerado pela maior umidade na estrutura de abatimento na encosta. Quando a vegetação ocupa a cavidade erosiva, esta tende a estabilizar. Nesta situação as estruturas de abatimento aparentemente dão vazão a uma dada quantidade de água que circula no túnel e não se integram para formar um canal contínuo.

## Conclusão

O trabalho de cadastramento tem demonstrado que a erosão em túneis com formação de estruturas de abatimento é muito comum nos terrenos sedimentares e basálticos do Segundo e Terceiro Planaltos do Paraná, respectivamente. Observa-se que as rotas de fluxo concentrado em túneis, nem sempre coincidem com as rotas dos fluxos superficiais concentrados. Estruturas de túneis preenchidos por material sedimentar sugerem que este processo de erosão é recorrente na região e suas rotas também não coincidem com os eixos de drenagem das encostas estudadas. Entendemos que estes resultados preliminares podem ser interpretados como rotas de fluxo pretéritas, definidas por atributos do terreno, diferentes dos atuais.

## Referências bibliográficas

CAMARGO, Gisele. Processo de erosão no Centro e Sul do Segundo Planalto Paranaense: evolução de encosta e influência da erosão subterrânea na expansão de voçorocas. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998, 210p.

CAMARGO, G. ; OLIVEIRA, M. A. T. de. Análise tridimensional de volumes de solo e evolução de encosta em área afetada por erosão em voçorocas e em túneis no sul do Segundo Planalto paranaense. **Geosul**, v. 14, n. 27, p. 430-437. nov. 1998.

DIETRICH, W. E.; DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M. J. (Ed): **Channel Network Hydrology**. John Willey & Sons Ltd, 1993, p.175-219.

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

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Longman Group, Inglaterra, 1986, 298p.

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



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.

RODRIGUES, J. E. Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas). In: IV Congresso Brasileiro de Geografia Física. **Anais ...**, 1984, p. 169-182.

SWANSON, M, L.; KONDOLF, G. M.; BOISON, P. J. An example of rapid gully initiation and extention by subsurface erosion: Coastal San Mateo County, Califórnia. **Geomorphology**, n. 2, p. 393-403, 1989.

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