



Fundação

CECIERJ

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Geomorfologia Continental

Volume Único

Otavio Miguez Rocha Leão

Leonardo B. Brum



GOVERNO DO
Rio de Janeiro

SECRETARIA DE CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**UNIVERSIDADE
ABERTA DO BRASIL**

Ministério da
Educação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA

Apoio:



FAPERJ

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua da Ajuda, 5 – Centro – Rio de Janeiro, RJ – CEP 20040-000

Tel.: (21) 2333-1112 Fax: (21) 2333-1116

Presidente

Carlos Eduardo Bielschowsky

Vice-presidente

Masako Oya Masuda

Coordenação do Curso de Geografia

UERJ – Gláucio José Marafon

Material Didático

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Otávio Miguez Rocha Leão

Leonardo B. Brum

DIREÇÃO DE DESIGN INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

COORDENAÇÃO DE DESIGN

INSTRUCIONAL

Bruno José Peixoto

Flávia Busnardo da Cunha

Paulo Vasques de Miranda

SUPERVISÃO DE DESIGN

INSTRUCIONAL

Renata Vittoretti

DESIGN INSTRUCIONAL

Cecília Peixoto

Karin Gonçalves

COORDENAÇÃO

DE PRODUÇÃO

Fábio Rapello Alencar

ASSISTENTE

DE PRODUÇÃO

Bianca Giacomelli

REVISÃO LINGUÍSTICA

E TIPOGRÁFICA

Beatriz Fontes

José Meyohas

Lícia Matos

Marcelo Bastos

Paulo César Alves

ILUSTRAÇÃO

Jefferson Caçador

Vinicius Mitchell

CAPA

Vinicius Mitchell

PROGRAMAÇÃO

VISUAL

Maria Fernanda Novaes

Ricardo Polato

Sanny

PRODUÇÃO GRÁFICA

Patrícia Esteves

Ulisses Schnaider

Copyright © 2016, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

L433g

Leão, Otávio Miguez Rocha.

Geomorfologia Continental: volume Único / Otávio Miguez Rocha

Leão, Leonardo B. Brum. – Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2016.

364 p.; il. 19 x 26,5 cm.

ISBN: 978-85-458-0069-9

1. Geomorfologia. 2. Geomorfologia cárstica. 3. Geomorfologia do quaternário. 4. Relevo. 5. Planejamento. II. Brum, Leonardo B. 1. Título.

CDD: 551.41

Referências bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.

Texto revisado segundo o novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador
Luiz Fernando de Souza Pezão

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação
Gustavo Tutuca

Universidades Consorciadas

CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
Diretor-geral: Carlos Henrique Figueiredo Alves

IFF - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE
Reitor: Luiz Augusto Caldas Pereira

UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
Reitor: Luis César Passoni

UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO
Reitor: Ruy Garcia Marques

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Reitor: Luiz Augusto Caldas Pereira

UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO
Reitor: Roberto Leher

UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO
Reitora: Ana Maria Dantas Soares

UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Reitor: Luiz Pedro San Gil Jutuca

Geomorfologia Continental

SUMÁRIO

Volume Único

- Aula 1** – Como evoluem as formas de relevo da superfície terrestre? As respostas de Davis, Penck e King _____ 7
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 2** – Teorias geomorfológicas: as contribuições de Gilbert, de Hack e a concepção probabilística _____ 31
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 3** – A abordagem de sistemas em geomorfologia e os sistemas geomorfológicos _____ 51
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 4** – Dinâmica de vertentes: processos e formas ____ 77
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 5** – Processos erosivos nas encostas: o *splash* e a erosão laminar _____ 97
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 6** – Processos erosivos nas encostas: erosão linear _____ 119
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 7** – Os movimentos de massa _____ 139
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 8** – Geomorfologia fluvial: por que os rios transbordam e inundam _____ 167
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum
- Aula 9** – As intervenções antrópicas que atuam na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos canais fluviais _____ 187
Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum

Aula 10	– A morfometria e a análise geomorfológica de bacias hidrográficas _____	207
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Aula 11	– Aula prática sobre morfometria: subsídios para análise geomorfológica das bacias hidrográficas _____	235
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Aula 12	– Geomorfologia cárstica _____	247
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Aula 13	– Geomorfologia do Quaternário _____	265
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Aula 14	– A importância do relevo para a formação do solo: relações entre a geomorfologia continental e a pedologia _____	293
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Aula 15	– Geomorfologia e planejamento ambiental _____	323
	Otavio Miguez Rocha Leão Leonardo B. Brum	
Referências	_____	347

Aula 1

Como evoluem as
formas de relevo
da superfície
terrestre?
As respostas de
Davis, Penck e King

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Metas da aula

Apresentar e discutir os modelos de evolução da paisagem de William Morris Davis, Walter Penck e Lester King.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. reconhecer a importância das teorias geomorfológicas;
2. diferenciar os modelos evolutivos do relevo de Davis, Penck e King;
3. identificar, em paisagens variadas, elementos que remetam a diferentes teorias evolutivas em Geomorfologia.

INTRODUÇÃO

Na história da ciência geomorfológica, é consenso que as formas da superfície terrestre evoluem e que se modificam a partir da combinação de forças internas e externas.

Em relação às forças internas, basta imaginarmos, por exemplo, a quantidade de energia empregada em uma erupção vulcânica, como a do monte Santa Helena (**Figura 1.1**), que provocou danos ambientais em uma área de 550 km², e suas consequências na superfície terrestre.



Figura 1.1: Erupção do monte Santa Helena (EUA), em 1980.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MSH80_eruption_mount_st_helens_05-18-80-dramatic-edit.jpg

Em outro caso, podemos relacionar as mudanças nas formas de relevo aos eventos extremos de chuva, como as que ocasionaram uma série de movimentos de massa na região serrana do Rio de Janeiro (**Figura 1.2**), também modificando a superfície terrestre (forças externas).



Figura 1.2: Movimentos de massa na Região Serrana do Rio de Janeiro (janeiro, 2011).
Fonte: Foto dos autores.

Neste sentido, antes mesmo do século XIX, quando as ciências modernas e, nesse caso, a Geomorfologia, foram sistematizadas, diversos foram os estudiosos que especularam sobre as diferentes feições que ocorrem na paisagem da superfície terrestre. Na Grécia Antiga, por exemplo, vários filósofos já buscavam compreender a origem e a evolução dos vales fluviais, a permanência de água em um rio e as feições deltaicas (**Figura 1.3**), devido a sua intrínseca relação com o desenvolvimento das sociedades.



Deltas são depósitos aluviais que aparecem na foz de certos rios, avançando como um leque na direção do mar. Essa deposição exige certas condições, como: ausência de correntes marinhas intensas, fundo raso, abundância de detritos etc. A denominação *delta* vem da forma da foz do rio Nilo (Egito), que lembra a quarta letra do alfabeto grego (Δ). Os geógrafos passaram então a considerar todas as fozes de rios, que apresentassem semelhança com a do Nilo, como sendo do tipo deltaico (GUERRA; GUERRA, 2011).



Figura 1.3: Delta do Nilo, visto do espaço, imagem da NASA.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Nile_River_and_delta_from_orbit.jpg

Agora, aproveitando o “gancho”, vamos lançar um desafio: observando a fotografia a seguir (**Figura 1.4**), você seria capaz de identificar diferentes feições continentais? Pense: será que sempre foram assim? Em apenas alguns pontos, identificamos ocupação humana, por quê?



Figura 1.4: Serra do Mar – Paraná, Brasil.

Fonte: Foto dos autores.

Teoria

Conjunto de conceitos e regras que condicionam o trabalho científico. São das teorias que se criam os modelos. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Como vimos, há acordo em considerar que a paisagem geomorfológica está sempre em evolução, entretanto, até onde vai essa evolução? De que maneira ocorre? Quais as condições iniciais e finais desse processo? Ao campo da Geomorfologia que busca responder a essas inúmeras indagações chamamos de **teorias** geomorfológicas.

Iremos então, no decorrer desta aula, estudar algumas dessas teorias.

Teorias geomorfológicas

Segundo Christofolletti (1980),

cada teoria proposta tenta elucidar os fatos, e com tal finalidade, emprega uma linguagem composta de um vocabulário específico. Muitas vezes, o mesmo termo, em função de teorias variadas, expressa noções diferentes [...] uma mesma teoria pode possibilitar a construção de vários modelos, que possuem uma função lógica dentro delas, porque são elaborados dedutivamente e permitem que as mesmas sejam testadas.

Neste sentido, é importante conhecer profundamente as teorias geomorfológicas e suas bases conceituais, que por sua vez, expressam o conhecimento filosófico de uma época. O geomorfólogo deve adotar uma teoria, que permitirá nortear seu trabalho e desenvolver seu modelo sobre a evolução da paisagem.



A metodologia científica

O conhecimento científico precisa ser sistematizado, a fim de que a comunidade científica possa reproduzi-lo, testá-lo e comprová-lo, daí a necessidade do método.

Método dedutivo: parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e inquestionáveis (premissa maior); o pesquisador estabelece relações com uma proposição particular (premissa menor) para, a partir de raciocínio lógico, chegar à verdade daquilo que propõe (conclusão).

Método indutivo: parte de questões particulares até chegar a conclusões generalizadas.

A literatura geomorfológica trabalha com quatro principais teorias ou modelos:



Nesta aula, analisaremos a teoria do Ciclo Geográfico e a Teoria da Pedimentação/Pediplanação.



Atende ao objetivo 1

Pense e responda:

Você foi contratado(a) por uma empresa para realizar o estudo ambiental de uma grande bacia hidrográfica. Que importância as teorias geomorfológicas teriam na realização deste estudo?

Resposta comentada

As diversas teorias elaboradas desde o início da Geomorfologia são importantes para a compreensão da formação do relevo e das suas relações com o homem e sua capacidade de alterar o meio. Ao entender a evolução do relevo, pode-se entender e, de certa maneira, “prever” os processos que poderão vir a ocorrer na superfície terrestre.

Teoria do ciclo geográfico (1899)

O ciclo geográfico, idealizado por William Morris Davis na segunda metade do século XIX (1899), foi o primeiro conjunto de concepções que podia descrever e explicar, de forma completa e coerente, a formação e evolução das formas de relevo existentes na superfície terrestre.



William Morris Davis (1850-1934)

Geólogo e geógrafo norte-americano, nascido na Filadélfia, criador da moderna Geografia Física. Graduado na Universidade de Harvard, trabalhou no Observatório Nacional Argentino (1870-1873). Lecionando em Harvard, sistematizou o estudo da Geografia e revolucionou seu ensino nos Estados Unidos, criando a moderna Geografia Física. Aposentou-se de Harvard e tornou-se professor emérito (1912). Ainda lecionou em Berlim e Paris, fundou e presidiu (1904/1905/1909) a Associação de Geógrafos Americanos e presidiu também a Sociedade Geológica da América (1906-1911). Escreveu *Physical Geography* (1898) e *Geographical Essays* (1906). Além de ser sócio de várias instituições científicas pelo mundo, ganhou o título de *Honoris Causa* da Cape of Good Hope University (1905), Greifswald University (1906), Christiana University de Oslo (1911) e Melbourne University (1914), além de ter sido agraciado como Cavaleiro da Legião de Honra da França (1912). Davis morreu em Pasadena, Califórnia, USA.



Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Morris_Davis.png

Devido a este pioneirismo, Davis desponta como o principal nome a ser lembrado na história da Geomorfologia. As designações de ciclo geomórfico e ciclo de erosão são empregadas como sinônimos.

Cabe ressaltar que o modelo foi considerado moderno para a época, pois já incorporava a noção de evolução para as formas de relevo, conceito capturado da Biologia, além de utilizar, para fins de legitimação, a linguagem matemática, um requisito básico da ciência.

A teoria davisiana foi desenvolvida em área temperada úmida e, segundo Christofolletti (1980), assim como na vida dos seres organizados, em que há funções e aspectos que se sucedem invariavelmente do nascimento até a morte, o modelado terrestre também passaria por uma sequência de fases sucessivas designadas de juventude, maturidade e senilidade.

A fase de juventude tem início quando uma região aplainada, devido a um movimento rápido, tectônico ou **eustático**, ou seja, pela ação das forças internas, é uniformemente soerguida em relação ao nível de base, que é o nível do oceano no qual desembocam os cursos fluviais. Como a declividade foi subitamente aumentada, porque ampliou a diferença altimétrica, os rios encaixam-se e, a partir da embocadura, a vaga erosiva remontante espalha-se pelo curso principal e seus afluentes (CHRISTOFOLETTI, 1980) (**Figura 1.5**). A erosão remontante, nesse caso, é a que se verifica no leito de um rio, sendo o trabalho de desgaste de jusante para montante, da foz para as cabeceiras.

A fase de maturidade é um estágio em que a erosão está suficientemente desenvolvida, a rede de drenagem perfeitamente organizada e o trabalho das forças harmoniosamente combinado. (**Figura 1.5**)

O último estágio, a fase de senilidade, é caracterizado por um rebaixamento de sua topografia, principalmente nas vertentes em que o ritmo evolutivo é mais intenso. Qualquer que tenha sido o

Eustasia

É um termo usado para designar o processo que se traduz no movimento eustático, ou seja, na variação global relativa do nível do mar. A eustasia traduz-se em nível planetário por uma alteração do nível das águas do mar em relação ao nível da terra firme, causada por variações do volume de água no oceano global ou por variação do volume global das bacias oceânicas.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Eustasia>

desnível entre a superfície primitiva e o nível de base, está destinada a desaparecer no fim do ciclo de erosão. Criaria dessa forma uma superfície aplainada, os **peneplanos**. (**Figura 1.5**)

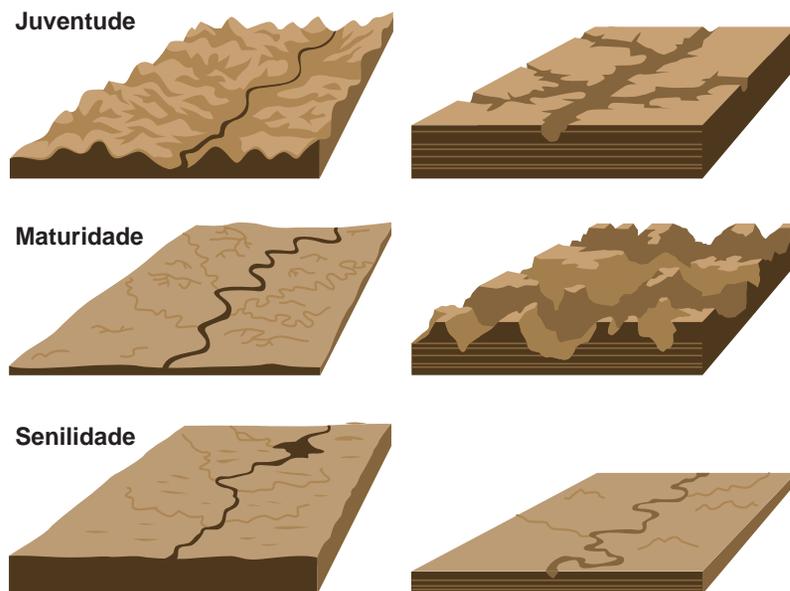


Figura 1.5: Estágios de evolução do relevo, proposto por Davis.

Cabe comentar que, neste modelo, só existia um nível de base (na literatura é o que chamamos de nível de base geral), que, para Davis, em linhas gerais, corresponde ao nível dos oceanos, no qual todas as formas de relevo que estão acima deste nível estariam destinadas a sofrer erosão. Neste modelo, a evolução morfológica ocorria verticalmente, de cima para baixo (*wearing-down*).

Acompanhando a **Figura 1.6**, a seguir, que representa os três estágios propostos por Davis, as fases de **denudação** do relevo caracterizam-se por: entalhamento dos canais; abertura dos vales; rebaixamento e destruição dos divisores (declividades); bem como formação de extensos fundos de vales entulhados de sedimentos, com a presença de rios meandranes (sinuosos).

Peneplano

Superfície plana ou levemente ondulada, resultante de um ciclo geomorfológico cujo trabalho realizou-se até a extrema senilidade (GUERRA; GUERRA, 2011).

Denudação

É o arrasamento das formas de relevo mais salientes, pelo efeito conjugado dos diferentes agentes erosivos. (GUERRA; GUERRA, 2011).

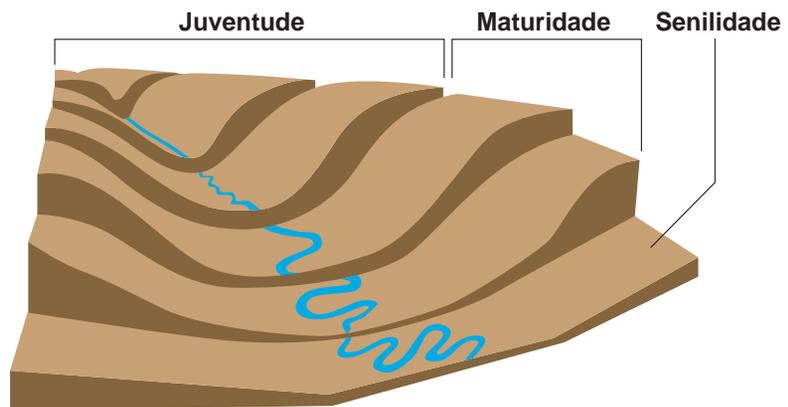


Figura 1.6: Ciclo ideal com um relevo real moderado.

A partir disso, um novo soerguimento daria lugar a um novo ciclo erosivo. Da fase inicial à final, o relevo vai sendo remodelado, caracterizando sucessivos momentos evolutivos, como na vida orgânica, passando o relevo novamente pelas fases da juventude, maturidade e senilidade.

O modelo de Davis originou algumas críticas, pois sua aplicação não foi possível em diversas paisagens do globo terrestre. Entre os principais questionamentos, podemos destacar:

- o fato de o modelo ser concebido para áreas de clima temperado úmido;
- a necessidade de um rápido soerguimento do relevo, seguido por um período muito longo de estabilidade tectônica;
- a colocação das condições de equilíbrio como resultado a ser obtido no final do ciclo. (MARQUES, 1994).

Apesar das inúmeras objeções, esse modelo de evolução do relevo conheceu ampla difusão até a metade do último século.

Teoria da pedimentação/pediaplanação

Os modelos evolutivos relacionados com a pedimentação e a pediaplanação apresentam os mesmos princípios teóricos que o modelo cíclico davisiano. As distinções maiores entre ambos residem na maneira pela qual as vertentes evoluem e na definição do nível de base. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O modelo de Walter Penck (1924)

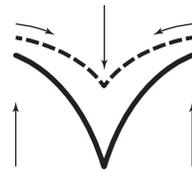
Walter Penck foi um grande crítico do modelo de William Morris Davis, principalmente da forma como ocorria o desgaste das superfícies. Para Penck, os processos de soerguimento e de erosão do relevo eram concomitantes (simultâneos). Criticava os pressupostos de Davis, negando a possibilidade de ocorrer um rápido soerguimento do relevo, devido a ações de forças internas, para, só então, iniciar a erosão dentro de um longo período de estabilidade tectônica. Dentro do modelo de Penck, a emergência do relevo e a denudação são atividades lentas e simultâneas, com intensidade variada pela ação tectônica.

Penck, em seu modelo, buscou relacionar o entalhamento do **talvegue** e os efeitos denudacionais em função do comportamento da crosta (movimentos de soerguimento), que, manifestando-se de forma intermitente e com intensidade variável, geraria reflexos na geometria das vertentes (vertentes convexas, retilíneas ou côncavas), conforme modelo explicitado na **Figura 1.7**, a seguir:

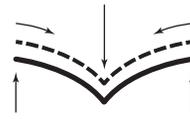
Talvegue

A linha formada pela interseção das duas superfícies, formadoras das vertentes de um vale. É o local mais profundo do vale, onde correm as águas de chuva, dos rios e riachos.

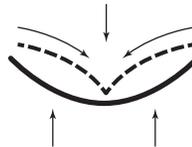
Fonte: <http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Talvegue>



A) Predominância do entalhamento do talvegue em relação à denudação, responsável pelo desenvolvimento de vertentes convexas (aumento do ângulo da vertente).



B) Equilíbrio entre soerguimento-denudação, com formação de vertentes retilíneas (manutenção do ângulo da vertente).



C) Predomínio do entalhamento do talvegue que implica na concavização da vertente (redução do ângulo da vertente).

LEGENDA		INTENSIDADE	
↑	Soerguimento	Forte	→
↓	Entalhamento	Moderada	→
↙	Desnudação	Fraca	→

Figura 1.7: Geometria das vertentes (vertentes convexas (a), retilíneas (b) ou côncavas (c).

Ainda na **Figura 1.7**, caso ocorresse um forte soerguimento da crosta, ocorreria uma incisão do talvegue, que, em razão do aumento do gradiente das vertentes, implicaria uma maior intensidade dos processos denudacionais, gerando as vertentes convexas (**1.7a**). No caso de equilíbrio entre as forças de soerguimento e denudação, a resposta seria vertentes retilíneas (**1.7b**). E por fim, quando a ascensão da crosta fosse pequena, ocorreria um fraco entalhamento do talvegue, sendo a denudação superior o que propiciaria o desenvolvimento de vertentes côncavas (**1.7c**).

Enquanto no modelo de Davis o relevo evoluía de cima para baixo (*wearing-down*), no modelo de Penck, a evolução dava-se pelo recuo paralelo das vertentes ou pelo desgaste lateral das vertentes (*wearing back*), conforme observamos na ilustração a seguir (**Figura 1.8**):

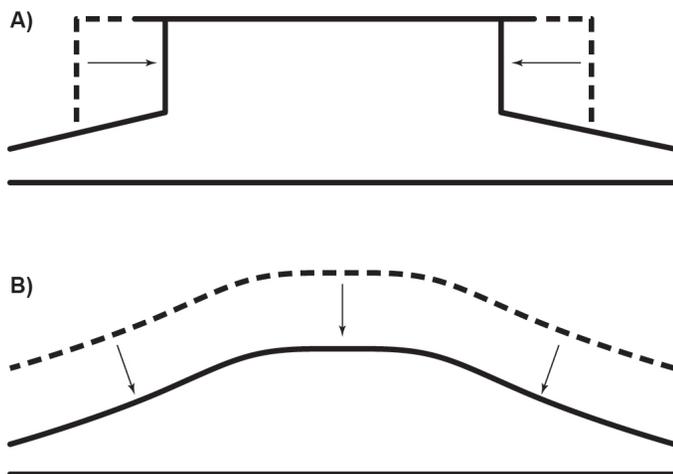


Figura 1.8: (a) Proposta de Penck (b) Proposta de Davis.

Diferente da teoria de Davis, em que o processo evolutivo era comandado pelo nível de base geral, para Penck as vertentes evoluem em função do nível de base local.



O nível de base de erosão corresponde ao mais baixo nível a que um grupo de agentes exodinâmicos pode reduzir determinada superfície. O nível de base de erosão é, por conseguinte, o limite inferior, abaixo do qual não pode haver mais erosão. O nível do mar, isto é, o nível zero, é o nível de base geral, o que comanda toda a erosão das áreas continentais. Além deste nível geral, temos de considerar os níveis de base locais. É em função desses níveis locais que se formam, por exemplo, os patamares suspensos, também chamados de planícies de montanhas ou, ainda, planícies locais. (GUERRA; GUERRA, 2011).

O modelo de Lester C. King (1953)

O modelo de King baseou-se no modelo evolucionista davisiano e na concepção penckiana de desgaste lateral das vertentes. A ideia de períodos rápidos e intermitentes de soerguimento da crosta, separados por longos períodos de estabilidade tectônica, baseou o sistema apresentado por King (1953). Ajusta o conceito de estabilidade tectônica proposto por Davis e considera o recuo paralelo das vertentes, como forma de evolução do relevo.

O material erodido, devido ao recuo das vertentes, promove o entalhamento das áreas mais baixas, originando os denominados pedimentos (**Figura 1.9**). Assim, enquanto Davis chamava as grandes extensões horizontalizadas na senilidade de “peneplanos”, King considerava-as como “pediplanos”, com formas residuais denominadas **inselbergs** (**Figura 1.10**).

Inselberg

Também conhecido como monadnock ou morro testemunho. Formação rochosa típica de clima semiárido, como o do Nordeste brasileiro, com presença de morros residuais. Compreende uma elevação topográfica que se destaca isoladamente em uma superfície de aplainamento como um relevo residual.

Fonte: <http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Inselberg>



Figura 1.9: Destruição dos pontos elevados por recuo (desagregação mecânica) e conseqüente entalhamento de depressões (com elevação do nível de base), proporcionando a pediplanação.

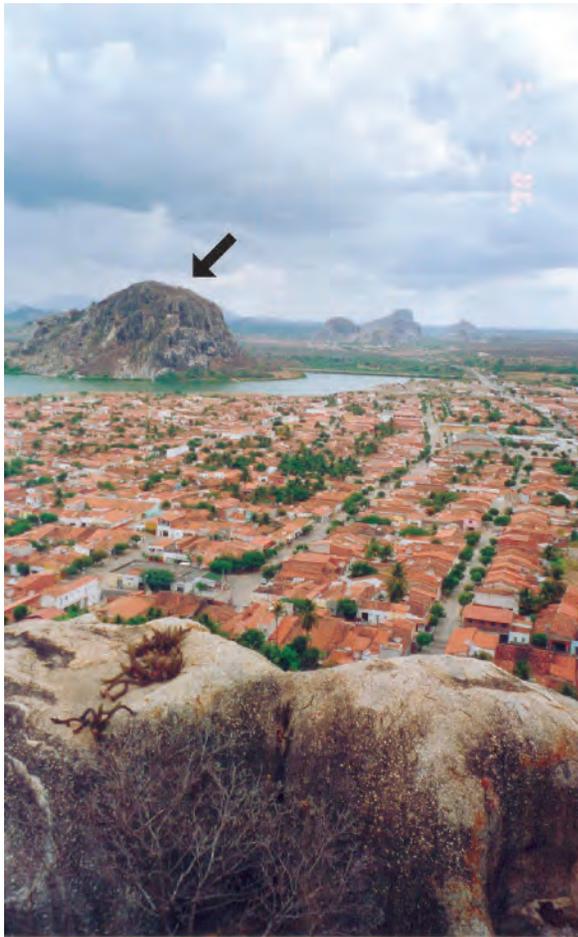


Figura 1.10: *Inselbergs* em Quixadá, Ceará.

Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inselbergs_quixada.JPG



Atende ao objetivo 2

Em relações aos três modelos de evolução da superfície terrestre apresentados nesta aula, complete o quadro-síntese com as características solicitadas:

Características	W. M. Davis	W. Penck	L. C. King
Relação soerguimento – denudação			
Evolução morfológica			
Estágio final			

Resposta comentada

○ quadro-síntese já está completo? Então, vamos checar?

Em relação ao processo de soerguimento-denudação, para o modelo de Davis, ocorreria um movimento rápido, tectônico ou eustático, para depois iniciar o processo de denudação. Para Penck, o soerguimento e a erosão eram concomitantes e intermitentes. Já no modelo de King, prevaleceriam rápidos soerguimentos e longos períodos de estabilidade tectônica, porém concomitantes à denudação.

Quanto à evolução morfológica, no entendimento de Davis, processava-se verticalmente, de cima para baixo, já nos modelos de Penck e King, esta evolução dar-se-ia lateralmente pelo recuo paralelo das vertentes.

○ estágio final, ou seja, de equilíbrio, para Davis seriam os peneplanos (aplainamento total), enquanto para Penck e King, devido à atuação da erosão paralela das vertentes, os pediplanos ou superfícies de aplainamento.

CONCLUSÃO

Observamos nesta aula, que os três modelos apresentados aproximam-se ao apresentarem comportamentos unidirecionais, evolutivos e cíclicos. Apesar de muitas críticas ao modelo de Davis, sua importância está no pioneirismo de um modelo completo de evolução das paisagens e na criação de um sistema evolutivo com etapas predeterminadas.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

A partir das imagens 1, 2 e 3, busque descrever (relacionar) determinada forma de relevo, tendo como base as teorias geomorfológicas apresentadas nesta aula. Observe bem, releia as contribuições de cada modelo de evolução.

Imagem 1



Fonte: Foto dos autores.

Imagem 2



Fonte: Foto dos autores.

Imagem 3



Fonte: Foto dos autores.

Resposta comentada

Tudo respondido? Vamos conferir?

Na imagem 1, observamos o entalhamento do talvegue, que segundo Penck, com os efeitos denudacionais em função do comportamento da crosta (movimentos de soerguimento), manifestando-se de forma intermitente e intensidade variável, geraria reflexos na geometria das vertentes (vertentes convexas, retilíneas ou côncavas)

A imagem 2 é a que mais se aproxima de uma evolução morfológica processada verticalmente, de cima para baixo (*wearing-down*), formando as superfícies aplainadas, modelo apresentado por Davis.

A última imagem (3) podemos relacionar com as contribuições dos modelos de Penck e King, que apresentam a evolução do relevo pelo recuo paralelo das vertentes ou desgaste lateral das vertentes (*wearing back*).

RESUMO

Com o objetivo de encontrar uma explicação e uma significação para as diferentes paisagens da superfície terrestre, e até mesmo para torná-las mais adequadas para o processo de ocupação humana, surgem as teorias geomorfológicas, que se modificam conforme as épocas. A literatura geomorfológica trabalha com quatro principais teorias, no entanto, analisamos nesta aula apenas duas: a teoria do ciclo geográfico e a teoria da pedimentação/pediplanação.

A teoria do ciclo geográfico foi idealizada por William Morris Davis e foi desenvolvida em áreas temperadas úmidas e baseia-se no fato de que o modelado terrestre passaria por uma sequência de fases sucessivas, designadas de juventude, maturidade e senilidade. A fase da juventude tem início quando uma região aplainada é uniformemente soerguida em relação ao nível de base e, então, os rios se encaixam. A fase de maturidade seria um estágio em que a erosão está suficientemente desenvolvida, a rede de drenagem perfeitamente organizada e o trabalho das forças harmoniosamente combinado, e a senilidade é caracterizada por um rebaixamento de sua topografia, principalmente nas vertentes em que o ritmo evolutivo é mais intenso, gerando uma superfície aplainada (peneplanos).

Na teoria da pedimentação/pediplanação a distinção entre ambos reside na maneira pela qual as vertentes evoluem e na definição do nível de base. Segundo o modelo de Penck, um grande crítico da teoria de Davis, a emersão do relevo e a denudação são atividades lentas e simultâneas, com intensidade variada pela ação tectônica. Já o modelo de Lester C. King, baseou-se no modelo evolucionista davisiano e na concepção penckiana de desgaste lateral das vertentes. A ideia de períodos rápidos e intermitentes de soerguimento da crosta, separados por longos períodos de estabilidade tectônica, baseou o sistema apresentado por King.

Atualmente, os peneplanos, que representam o estágio final do modelo de evolução do relevo de William Morris Davis, são relacionados a superfícies aplainadas sob climas úmidos. Já os

pediplanos, que seriam o produto final da evolução da paisagem para os modelos de Penck e King, podem ser relacionados a superfícies aplainadas em contato com climas secos, devido à atuação da erosão paralela das vertentes.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, continuaremos a estudar as teorias geomorfológicas. Apresentaremos o modelo de evolução da paisagem geomorfológica de Grove Karl Gilbert e de John Tilton Hack – teoria do equilíbrio dinâmico e, por fim, a concepção de evolução do relevo dentro da teoria probabilística.

Aula 2

Teorias geomorfológicas: as contribuições de Gilbert, de Hack e a concepção probabilística

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar ao aluno o modelo de evolução da paisagem geomorfológica de Grove Karl Gilbert e John Tilton Hack, e a concepção de evolução do relevo dentro da teoria probabilística.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. relacionar a contribuição de Gilbert ao modelo evolutivo da paisagem proposto por Hack.
2. identificar a influência da teoria probabilística na geomorfologia.
3. avaliar a evolução e as diversas contribuições teóricas da geomorfologia ao longo do tempo.

INTRODUÇÃO

Nesta segunda aula, continuaremos a estudar as teorias geomorfológicas. Só para relembrar, entendemos teoria como um conjunto de conceitos e regras que norteiam a trabalho científico e, que a partir disso, são criados os modelos. E você já deve ter percebido que discutir as teorias é, também, resgatar a própria história da ciência geomorfológica.



Figura 2.1: Estudar as diversas teorias é como resgatar a própria história da geomorfologia.

Observamos na última aula que os três modelos de evolução do relevo apresentados, – o de William Morris Davis, o de Walter Penck e o de Lester C. King – aproximam-se ao apresentarem comportamentos unidirecionais, evolutivos e cíclicos.

Nesta aula, apresentaremos então concepções diferentes das anteriores, abordando a evolução da superfície terrestre a partir de modelos acíclicos e processos multivariados. Primeiro discutiremos as ideias de Gilbert e Hack e, por fim, analisaremos o modelo probabilístico na ciência geomorfológica.

Teoria do equilíbrio dinâmico: Gilbert (1877) e Hack (1960; 1975)

A contribuição de Gilbert

O geólogo norte-americano Grove Karl Gilbert foi o primeiro a desenvolver uma concepção teórica da evolução do modelado terrestre em termos de equilíbrio dinâmico. Esses trabalhos de Gilbert seriam, posteriormente, resgatados, discutidos e ampliados por John Tilton Hack.



Grove Karl Gilbert (1843-1918)



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Grove_Karl_Gilbert.jpg

Geólogo norte-americano que, por sua contribuição, é considerado o pai da geomorfologia moderna. Foi premiado com a medalha Wollaston pela Sociedade Geológica de Londres, em 1900. Teve também duas crateras nomeadas em sua honra, uma em Marte e outra na lua. Recebeu como homenagem um prêmio em seu nome que é laureado anualmente, o Prêmio G. K. Gilbert. Este prêmio é concedido anualmente pela Divisão de Geologia da Sociedade Geológica da América.

Fonte: Adaptado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Grove_Karl_Gilbert.

Os trabalhos de Gilbert apresentam sua maior contribuição quando buscam entender a relação entre os **processos morfogenéticos** e a resistência dos materiais na ação de modelagem do relevo (conforme esquema a seguir):

Evolução do relevo =
energia x resistência
(mudança na forma)

Se o produto dessas duas forças (processos e resistência dos materiais) apresentarem uma intensidade semelhante, as formas dos materiais (superfície) continuam estáveis, sem alterações abruptas. Entretanto, se o equilíbrio for rompido, ocorrem alterações no modelado terrestre, apresentando em sua concepção uma relação de causa-efeito na explicação da esculturação das paisagens.

Dessa maneira podemos afirmar que Gilbert deu início a uma importante tradição da geomorfologia, que é a de tratar de questões relacionadas à estabilidade e à instabilidade das paisagens geomorfológicas. O entendimento de eventos catastróficos, como aqueles observados na região serrana do estado do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, são exemplos da importância dessas contribuições teóricas.

Processos morfogenéticos

São responsáveis pelo modelado do relevo. Estes processos agem conjuntamente e da intensidade de seus diferentes tipos é que vão depender as várias formas de relevo. (GUERRA; GUERRA, 2011).



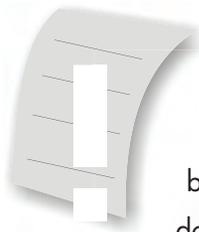
Vladimir Platonov/Abr

Figura 2.2: Resultado das chuvas de verão em Teresópolis – 2011.

Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FOTOREPORTERDSCF2211.jpg>

Merece destaque, ainda, que, nos dias atuais, a geomorfologia continental propõe-se a mapear áreas de risco para ocupação territorial, utilizando para tanto metodologias inspiradas, dentre outras teorias, nas contribuições teóricas de Gilbert e Hack.

Percebe-se que, antes mesmo da difusão da Teoria Geral dos Sistemas (século XX) na geomorfologia, Gilbert já apresentava o princípio do equilíbrio dinâmico – noções de elementos interconectados (sistemas) e reajustes nas feições das paisagens, devido à atuação de forças endógenas e exógenas (internas e externas). Essa noção visionária de Gilbert em pleno século XIX faz deste autor um dos maiores teóricos da geomorfologia.



A Teoria Geral dos Sistemas (também conhecida pela sigla, TGS) surgiu com os trabalhos do biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy, publicados entre 1950 e 1968. Tal teoria define sistemas como conjuntos de elementos que se relacionam entre si, com certo grau de organização, procurando atingir um objetivo ou uma finalidade.

O modelo de Hack

Ao aplicar essa concepção do equilíbrio dinâmico aos estudos nos sistemas fluviais, relação canal-vertente (geomorfologia fluvial), Hack desenvolveu ainda mais as ideias de Gilbert, apresentando novas abordagens.

A teoria do equilíbrio dinâmico proposta por Hack considera o modelado terrestre como um **sistema** aberto, isto é, um sistema que mantém constante troca de matéria e energia como os demais sistemas adjacentes.

Na teoria do equilíbrio dinâmico, as formas não são estáticas. Qualquer alteração no fluxo de energia (forças internas e externas) que chega ao sistema tende a responder por manifestações no comportamento da matéria, gerando alterações morfológicas. Como exemplo, uma mudança climática ou um evento tectônico produzem alterações no fluxo da matéria, gerando um reajustamento dos componentes do sistema (CASSETI, 1994). (**Figura 2.3**).

Sistema

Do grego *sietemiun*, é um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado.

É uma definição que acontece em várias disciplinas, como Biologia, Medicina, Informática e Administração.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema>

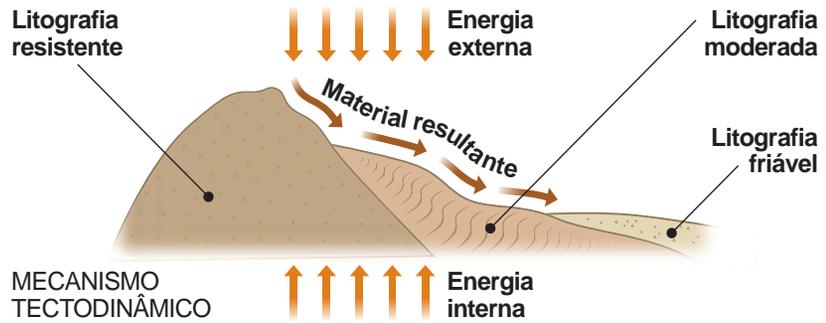


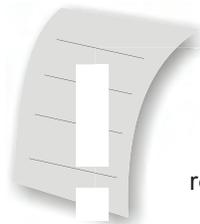
Figura 2.3: Exemplo de equilíbrio dinâmico em relevos com materiais de resistência diferentes.

Segundo Christofoletti (1980), a teoria hackiana do equilíbrio dinâmico considera uma paisagem como resultante do comportamento balanceado entre os processos morfogenéticos e a resistência das rochas, e também leva em consideração as influências **diastrofismo** atuando na região. Onde as rochas forem mais resistentes (quartzitos, por exemplo), as declividades das vertentes serão relativamente mais acentuadas que as verificadas em rochas de menor resistência (folhelhos e xistos, por exemplo).

Diastrofismo

O mesmo que tectonismo ou tectônica, é um termo geral relativo a todos os movimentos da crosta terrestre com origem em processos tectônicos.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Tectonismo>



Quartzito: rocha metamórfica composta essencialmente por quartzo. Os quartzitos são rochas muito resistentes ao intemperismo químico e físico e tendem a se destacar no relevo, dando origem a serras e morros.



Figura 2.4: Quartzito.

Fonte: http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Imagem:Quartzite_2.jpg.jpg

Folhelho: rocha sedimentar finamente laminada, não metamórfica, constituída de material muito fino (GUERRA; GUERRA, 2011).

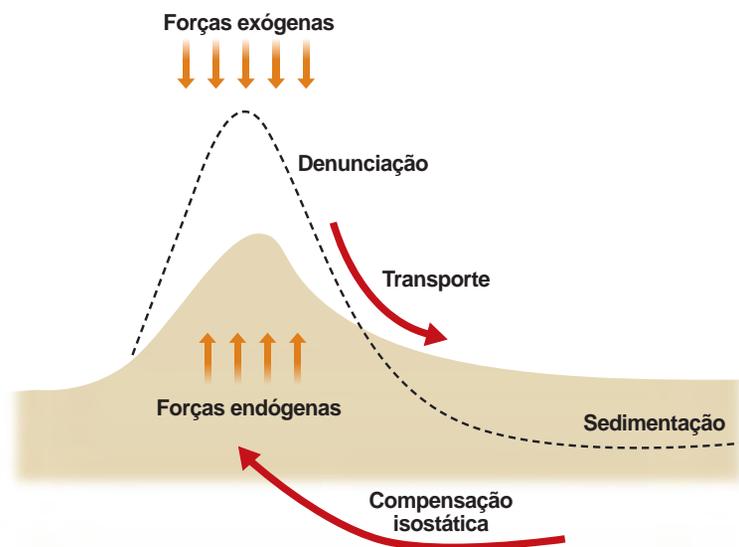


Figura 2.5: Modelo de evolução proposto por Hack.

A figura anterior representa o modelo proposto por Hack, que prevê uma evolução acíclica do relevo, sendo que este não necessariamente atinge o estágio de superfície aplainada. A resistência diferencial de materiais derivada dos condicionantes lito-estruturais define a morfologia dos terrenos numa análise conjugada entre processos endógenos e exógenos.



Atende ao objetivo 1

Com base nas informações contidas até aqui, assinale a opção INCORRETA:

- a) () Gilbert pode ser considerado o pioneiro na compreensão do relevo como uma estrutura dinâmica e sujeita a constantes processos de ajustamento.
- b) () A principal contribuição de Gilbert foi procurar entender as relações existentes entre os processos morfogenéticos e a resistência diferencial dos materiais na esculturação do relevo da superfície terrestre.
- c) () Embora a teoria do equilíbrio dinâmico, proposta por Hack, tenha surgido algumas décadas após as contribuições de Gilbert, podemos relacioná-las, pois ambas se fundamentam na existência de ajustes nas variáveis responsáveis pelo modelado do relevo.
- d) () As ideias de Gilbert e Hack basearam-se na Teoria Geral dos Sistemas, que também influenciou diversas outras disciplinas.

Resposta comentada

A alternativa errada é a última, pois, embora possamos identificar alguns princípios sistêmicos na obra de Gilbert, a teoria Geral dos Sistemas só foi plenamente elaborada e aplicada à geomorfologia décadas após o seu falecimento.

Aplicações da teoria do equilíbrio dinâmico na geomorfologia

Foi fácil compreender a teoria do equilíbrio dinâmico? Vamos acompanhar o esquema a seguir, que sintetiza os pressupostos desta teoria.

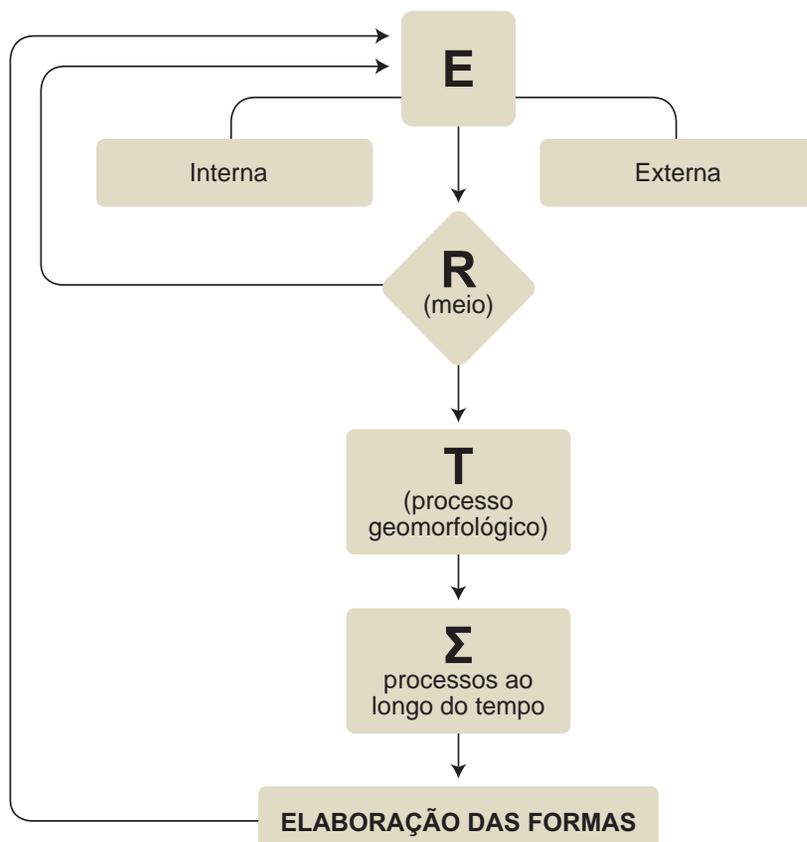


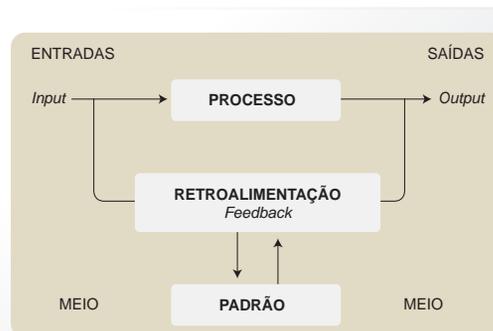
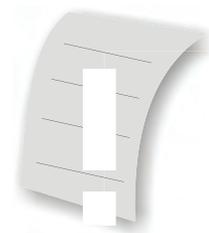
Figura 2.6: Teoria do equilíbrio dinâmico.

A energia (E) entra nos sistemas geomorfológicos, advinda de forças endógenas e exógenas. Essa energia varia de acordo com a intensidade e frequência dos eventos internos (ex. tectonismo, vulcanismo) e externos (ex. ação das chuvas, dos ventos, dos organismos etc.)

A resistência (R) dá-se de acordo com as características do meio, como, por exemplo, a composição das rochas e o uso do solo.

O trabalho (T) corresponde à relação entre a energia empregada no sistema (*input*) e a resistência desse sistema. O trabalho é a ação, ou seja, são os processos geomorfológicos, que, em relação ao tempo, produzem formas e feições variadas, não tendendo, por exemplo, ao aplainamento, como proposto por Davis e estudado na Aula 1.

As formas elaboradas pelos processos geomorfológicos apresentam novas resistências com o passar do tempo e, com os novos *inputs* de energia, vão apresentando novas respostas, gerando um reajuste contínuo dessas relações, o que chamamos de “retroalimentação” (*feedback*).



Retroalimentação, realimentação ou *feedback* são os nomes dados ao procedimento através do qual parte do sinal de saída de um sistema (ou circuito) é transferida para a entrada deste mesmo sistema, com o objetivo de diminuir, amplificar ou controlar a saída do sistema.

Quando a retroalimentação diminui o nível da saída, fala-se de retroalimentação negativa e, quando a retroalimentação amplifica o nível da saída, fala-se de retroalimentação positiva.

A retroalimentação pode também ter um efeito variável (às vezes positivo, às vezes negativo), de acordo com as condições, o tempo de transmissão e a inércia do sistema, o que pode provocar efeitos variados.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Retroalimentacao>

Bem, com o que foi exposto até agora, podemos ter uma ideia de como é complicado o processo de formação de uma paisagem, mas será que podemos prever a evolução de uma paisagem, considerando as inúmeras variáveis nela envolvidas? Vamos conhecer então a concepção probabilística.

Concepção probabilística

Luna Bergere Leopold e Walter B. Langbein (1962) foram na década de 60 do último século, os pioneiros em se apropriar de conceitos probabilísticos para análises geomorfológicas. Essa tendência surge em trabalhos de geomorfologia fluvial desenvolvidos por esses autores. Estes buscaram utilizar essa concepção na abordagem evolutiva das paisagens com um todo.

Imagine, por exemplo, a evolução da paisagem em uma área ampla (**Figura 2.7**). A partir desse exercício, fica fácil percebermos o quanto deve ser complexa e complicada a inter-relação dos elementos envolvidos nessa evolução. É dentro desse contexto que Leopold e Langbein vão apropriar-se de conceitos probabilísticos. Essa teoria baseia-se na existência de inumeráveis fatores atuantes na evolução do modelado terrestre.

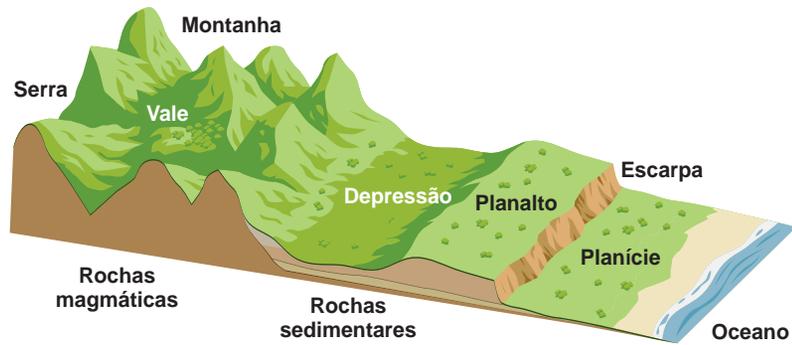
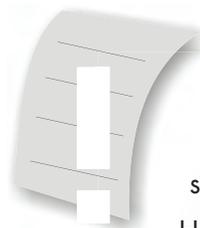


Figura 2.7: Exemplo de uma ampla paisagem.

As paisagens são respostas a um complexo de processos. Na esculturação das formas de relevo, essa complexidade é descrita pelas inúmeras variáveis envolvidas, existindo entre elas interação, interdependência e mecanismos de retroalimentação. O mecanismo de cada processo e suas consequências pode ser perfeitamente conhecido de maneira determinística. Mas as interações e os mecanismos de retroalimentação, autorregulando a ajustagem das respostas, fazem com que as combinações entre tais conjuntos de processos ocorram de maneira estocástica (aleatória).

No comportamento aleatório, a repetição não leva aos mesmos resultados, sendo o evento individual imprevisível. Todavia, tais eventos apresentam certa regularidade estatística. Na natureza, cada caso é único pois é produto da realização histórica de um processo, que facilmente poderia ter produzido outros resultados, a partir das mesmas variáveis, conforme as probabilidades que lhe são relacionadas (CHRISTOFOLETTI, 1980).



Nos padrões determinísticos, os resultados oriundos dos eventos individuais são previsíveis, se são conhecidas as condições iniciais atuantes. Há o conhecimento de suas causas, sua intensidade (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Padrões estocásticos são aqueles que têm origem em processos não determinísticos, com origem em eventos aleatórios. Por exemplo, o lançar de dados resulta num processo estocástico, pois qualquer uma das seis faces do dado tem iguais probabilidades de ficar para cima quando de seu arremesso.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Estocastico>

A teoria probabilística fundamenta-se no conceito de entropia, advindo da termodinâmica, que é a distribuição de respostas a entradas de energia em um sistema. Quanto maior a entropia, que nesse caso, é a distribuição de energia num sistema geomorfológico (ex. sistema fluvial), menor a quantidade de energia disponível para realizar algum trabalho mecânico de esculturação da superfície. O entendimento do comportamento e a mensuração da entropia através de modelagem matemática é o objeto central dessa teoria.

Dentro dessa concepção, não seria possível prever os resultados que uma forma de relevo irá apresentar ao longo do tempo, a não ser em termos de probabilidade.

Para Leite (2011), essa abordagem probabilística em geomorfologia apresenta dois méritos: o primeiro refere-se à quantificação propriamente dita das informações, já que os modelos evolutivos até então conhecidos eram teóricos, sem nenhuma base de dados adquirida diretamente no local de ocorrência dos fenômenos; o segundo seria o uso da ferramenta estatística na análise dos dados, possibilitando questionamentos quanto à representatividade dos processos estudados.



Atende aos objetivos 1 e 2

Após ler atentamente à "Concepção probabilística", podemos afirmar que:

- a) () Não existem diferenças significativas entre as concepções determinísticas e estocásticas para o desenvolvimento de modelos evolutivos do relevo.
- b) () A concepção estocástica, por ser fundamentada na existência de eventos aleatórios na natureza, não se aplica ao entendimento da dinâmica do relevo da superfície terrestre.
- c) () Não existem limitações para a utilização da concepção determinística na construção de modelos evolutivos do relevo da superfície terrestre.
- d) () A teoria do equilíbrio dinâmico compreende o relevo como um sistema aberto, que apresenta fluxos de energia e matéria entre os componentes do sistema e com os sistemas adjacentes.

Resposta comentada

As três primeiras afirmativas estão erradas, visto que existem diferenças significativas entre as concepções determinísticas e estocásticas para o desenvolvimento de modelos evolutivos do relevo. Nos padrões determinísticos, os resultados oriundos dos eventos individuais são predizíveis, enquanto os estocásticos têm origem em processos não determinísticos, com base em eventos aleatórios. Entretanto, com limitações, ambos os modelos podem ser aplicados no desenvolvimento de modelos evolutivos do relevo. A quarta afirmativa é a correta, pois considera o modelado terrestre como um sistema aberto, que mantém constante troca de matéria e energia com os sistemas adjacentes, pressuposto da teoria do equilíbrio dinâmico.

CONCLUSÃO

Para concluir esta aula, cabe destacar que a teoria do equilíbrio dinâmico, proposta por Hack (1960), causou grande impacto na geomorfologia, pois trouxe alguns princípios da abordagem sistêmica para o entendimento das formas e dos processos relacionados à evolução do relevo.

Resgatando as ideias de Gilbert, essa teoria encara o relevo como um sistema aberto que apresenta trocas constantes de energia e matéria e permite uma alternativa aos modelos evolutivos de caráter cíclico presentes nas contribuições de Davis e Penk.

Importante ressaltar ainda as contribuições de Luna Bergere Leopold e Walter B. Langbein (1962), que introduziram os modelos probabilísticos nas análises geomorfológicas. Esses modelos se baseiam na existência de inumeráveis fatores atuantes na evolução do modelado terrestre e permitem a introdução de técnicas estatísticas nas pesquisas em geomorfologia.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Após a leitura dos conteúdos desta aula, podemos afirmar que são verdadeiras ou falsas as seguintes afirmações:

- a) () Não é possível estabelecer relações entre as ideias de Gilbert e a teoria do equilíbrio dinâmico
- b) () A teoria do equilíbrio dinâmico influenciou fortemente a geomorfologia a partir da década de 1960, trazendo uma concepção sistêmica para o entendimento da evolução do modelado do relevo.

- c) () Não existem diferenças significativas entre modelos evolutivos cíclicos de Davis e Penk, e acíclicos, de Hack.
- d) () Os modelos probabilísticos foram descartados pela geomorfologia devido à impossibilidade de predição de processos evolutivos do relevo.

Resposta comentada

A primeira afirmação é falsa, pois existem inúmeras relações entre a teoria do equilíbrio dinâmico e as ideias pioneiras de Gilbert.

A segunda afirmação é verdadeira, pois foi a partir da obra de Hack, na década de 1960, que foram introduzidas concepções sistêmicas nas análises geomorfológicas.

A terceira afirmação é falsa, pois existem diferenças fundamentais entre as teorias de Davis, Penk e Hack sobre a modelagem do relevo da superfície terrestre.

A quarta afirmação é falsa, pois os modelos probabilísticos não foram descartados nas análises geomorfológicas. Na natureza, cada caso é único pois é produto da realização histórica de um processo, que facilmente poderia ter produzido outros resultados, a partir das mesmas variáveis, conforme as probabilidades que lhe são relacionadas.

RESUMO

A teoria do equilíbrio dinâmico considera o modelado terrestre como um sistema aberto, ou seja, mantém constante troca de matéria e energia com os sistemas adjacentes. Considera a paisagem como produto do comportamento balanceado entre os processos morfogenéticos e a resistência da superfície terrestre. Se o produto dessas duas forças (processos e resistência dos materiais) apresentarem um estado de equilíbrio, as formas dos materiais (superfície) continuam estáveis, sem alterações. Entretanto, se o equilíbrio for rompido, ocorrem as alterações no modelado terrestre.

Na concepção probabilística, as paisagens são respostas a um complexo de processos e essa complexidade é descrita pelas inúmeras variáveis envolvidas, existindo entre elas interação, interdependência e mecanismos de retroalimentação. Não é possível prever os resultados que uma forma de relevo irá apresentar ao longo do tempo, a não ser em termos de probabilidade (métodos estatísticos), devido às inúmeras variáveis envolvidas na esculturação das paisagens.

É importante destacar que cada teoria e modelo apresentado, nesta e na última aula, representa importante contribuição na construção do pensamento geomorfológico e que, de certa forma, todas refletem, com maior ou menor intensidade, nos trabalhos realizados pelos geomorfológicos nos dias atuais.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, iremos destacar a importância da abordagem sistêmica na geomorfologia continental. Serão apresentados os vários tipos de sistemas, com especial atenção para aspectos relacionados a sua estrutura e funcionamento. Serão destacadas as características mais fundamentais da abordagem sistêmica e sua relevância para o desenvolvimento de metodologias voltadas ao entendimento da dinâmica do relevo, sobretudo em áreas com ocupação humana.

Aula 3

A abordagem de sistemas em geomorfologia e os sistemas geomorfológicos

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar a importância da abordagem sistêmica para o reconhecimento dos processos e das formas do relevo relacionados pela geomorfologia, destacando a estrutura e a dinâmica de funcionamento dos sistemas geomorfológicos nas áreas continentais, bem como suas respostas às intervenções humanas.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. reconhecer as principais características da abordagem sistêmica na geomorfologia e suas aplicações para a avaliação dos processos geomorfológicos e das formas de relevo presentes nas áreas continentais;
2. identificar os diferentes tipos de sistemas (morfológico, sequência, processos-resposta) e sua relevância para a compreensão da dinâmica de funcionamento dos sistemas geomorfológicos;
3. compreender a importância dos sistemas controlados e dos mecanismos de ajuste nos sistemas geomorfológicos frente aos processos de ocupação humana.

Introdução

Agora, que já vimos algumas das principais teorias sobre a evolução do relevo da superfície terrestre, vamos abordar as aplicações da Teoria Geral dos Sistemas na geomorfologia continental. Veremos que os sistemas geomorfológicos são, de maneira geral, sistemas abertos, com trocas constantes de energia e matéria com outros sistemas.

A abordagem sistêmica permite uma análise integrada dos vários elementos que compõem os sistemas geomorfológicos e suas relações de interdependência. As aplicações da abordagem sistêmica trouxeram uma série de novas possibilidades para a investigação dos processos geomorfológicos e das formas de relevo presentes na superfície terrestre.

Veremos, nesta aula, os diferentes tipos de sistema que se aplicam à geomorfologia e também as respostas sistêmicas dos processos e das formas às intervenções humanas na paisagem. Qual o comportamento de uma encosta, de um rio ou mesmo de uma bacia hidrográfica quando o homem promove mudanças em função de suas atividades? Esperamos que, após esta aula, você seja capaz de responder a essas e outras questões relacionadas ao comportamento dos sistemas geomorfológicos, especialmente aqueles em que a presença humana modificou sua dinâmica natural.

A abordagem sistêmica na geomorfologia continental

Como vimos nas duas primeiras aulas desta disciplina, diversos modelos teóricos foram propostos ao longo do tempo na tentativa de compreender a dinâmica evolutiva das formas de relevo. A partir dessas contribuições, chegou-se ao entendimento de que as formas presentes no relevo da superfície terrestre encontram-se em contínua

evolução, apresentando um dinamismo relacionado à ação dos variados processos geomorfológicos.

Entende-se, portanto, que o modelado das formas do relevo é condicionado por um conjunto de processos geomorfológicos que atuam sobre os materiais presentes na superfície terrestre e são resultantes da ação combinada da dinâmica externa, relacionada às condições climáticas, e das forças internas de origem geotectônica.

Agregando as contribuições teóricas de autores clássicos das teorias da geomorfologia, surge, a partir da década de 60, uma abordagem sistêmica na geomorfologia, utilizando conceitos advindos da Teoria Geral dos Sistemas e aplicando o conceito de Equilíbrio Dinâmico proposto por Hack (1960). Na disciplina de Geomorfologia Geral, você observou que, a partir desse momento, aparece uma série de contribuições relacionadas à abordagem sistêmica, que ajudam no entendimento dos processos geomorfológicos atuantes nos sistemas fluviais e de encostas.

Conceitos como estabilidade, equilíbrio dinâmico, retroalimentação, dentre outros, passaram a fazer parte das abordagens teóricas sobre os problemas geomorfológicos. Desde então, cada vez mais o foco da geomorfologia continental encontra-se no entendimento da dinâmica de funcionamento dos sistemas geomorfológicos, envolvendo as relações entre processos, formas e materiais e os ajustes desses sistemas às alterações induzidas pelas atividades humanas.

As primeiras aplicações da abordagem sistêmica na geomorfologia fluvial permitiram um entendimento dos mecanismos de ajustes entre os distintos componentes do sistema fluvial. Dessa maneira, foram estabelecidas por Chorley (1962) as relações entre largura, declividade e profundidade dos canais e as resultantes dessas interações para as características hidrológicas do fluxo fluvial. Surge então uma nova possibilidade de tratamento metodológico para as questões relacionadas à erosão, transporte e deposição de sedimentos pelo escoamento da água dos rios e, logo em seguida,

essa abordagem sistêmica das questões geomorfológicas é aplicada na investigação da dinâmica geomorfológica das encostas, da rede de drenagem e das bacias hidrográficas.

O entendimento de que os vários componentes dos sistemas geomorfológicos encontram-se num contínuo processo interativo, e de que as modificações advindas de flutuações nos fluxos de energia e matéria no sistema se propagam a partir de mecanismos de retroalimentação, permitiu a avaliação quantitativa de diversos processos geomorfológicos, alimentando modelos interpretativos da dinâmica evolutiva do relevo em distintas condições climáticas e litoestruturais.



As condições litoestruturais são relativas aos tipos de rochas (litologia) e às estruturas geológicas (fraturas, falhas e dobras). Quando relacionamos esses dois aspectos do substrato geológico, podemos entender suas relações com os processos de modelagem do relevo, pois essas características influenciam os processos de intemperismo, erosão e deposição.

Como na modelagem do relevo em áreas continentais temos a ação da dinâmica climática, que promove a meteorização das rochas e afeta os processos de intemperismo, erosão e deposição, sobre distintas condições litoestruturais do embasamento geológico, a adoção da abordagem sistêmica tornou-se fundamental para possibilitar uma análise integrada dos condicionantes da evolução do relevo.

Na fotografia a seguir, temos um exemplo de como podemos utilizar a abordagem sistêmica na geomorfologia continental.

A foto revela formas de relevo promovidas pela dissecação da rede de drenagem em um sistema hidrográfico sob forte controle litoestrutural localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro. No alto curso do rio Macaé, o canal principal e os principais tributários estão orientados segundo os sistemas de fraturamentos regionais, e a rede de drenagem se encaixa em um embasamento cristalino com graus diferentes de resistência à incisão fluvial.



Figura 3.1: Interações sistêmicas entre os condicionantes litoestruturais e o desenvolvimento da rede de drenagem, promovendo a ocorrência de vales tributários suspensos em relação ao canal principal.

Fonte: Foto dos autores.

Essa resistência diferencial do embasamento aos processos de dissecação fluvial pode manter vales tributários suspensos em relação ao canal principal, separados destes por grandes desnivelamentos topográficos. Esse controle litoestrutural se propaga pelo sistema geomorfológico, influenciando a dinâmica erosiva e deposicional das vertentes e dos canais fluviais (DANTAS et al., 1995).

Portanto, para o entendimento dos processos geomorfológicos relacionados à dinâmica das vertentes e canais fluviais, dos processos de dissecação promovida pela rede de drenagem e da dinâmica hidrológica, erosiva e deposicional dos rios e das encostas, torna-se fundamental a interpretação das interações sistêmicas entre os distintos componentes dos sistemas geomorfológicos continentais, quer sejam eles relacionados à dinâmica interna ou aos fatores climáticos.

As características dos sistemas geomorfológicos

A Teoria Geral dos Sistemas pode ser aplicada a diversos fenômenos manifestados na superfície terrestre e, como vimos, a geomorfologia foi fortemente influenciada pela abordagem sistêmica a partir da segunda metade do século XX. Segundo Christofletti (1999), um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos e das relações entre si e entre os seus atributos, sendo que os elementos são considerados as unidades básicas dos sistemas.

Os sistemas geomorfológicos estão inseridos em um **universo**, pois não atuam de maneira isolada, fazendo parte de conjuntos maiores e possuindo em seu interior subsistemas ou elementos que o compõem. Por exemplo, segundo Christofletti (1980), um rio pode ser visto como um elemento (ou subsistema) da bacia hidrográfica e, ao mesmo tempo, pode ser visto como um sistema particular composto por vários elementos. Nos sistemas geomorfológicos, temos a articulação entre vários subsistemas relacionados aos aspectos geológicos, climáticos, biológicos e antrópicos que interagem na sua composição. A composição de um sistema pode ser identificada pela relação entre **matéria**, **energia** e **estrutura**.

Segundo a Teoria Geral dos Sistemas, na natureza, eles podem ser divididos em *sistemas isolados* e *não isolados*, sendo que os isolados, dadas as condições iniciais, não apresentam mais trocas de energia, nem de matéria com outros sistemas. Esses sistemas isolados são raros na natureza e dificilmente observados nos sistemas

Universo

Definido como o conjunto de todos os fenômenos que influenciam o sistema, bem como todos aqueles que são afetados por ele.

Matéria

Corresponde ao material mobilizado pelo sistema, através das entradas e saídas relacionadas às interações sistêmicas entre os elementos que o formam.

Energia

Definida como sendo a força responsável pela mobilização dos materiais pelo sistema, podendo ser dividida em energia cinética e energia potencial.

Estrutura

Formada pelos elementos constituintes do sistema e as formas de interação entre eles, envolvendo o tamanho, a correlação e a causalidade. O tamanho refere-se ao número de elementos (ou variáveis) que formam o sistema. A correlação expressa a forma de relação entre os elementos do sistema e a causalidade estabelece as relações de interdependência entre os elementos.

focalizados pela geomorfologia. Os sistemas não isolados (aqueles que apresentam trocas com outros sistemas) são os mais comuns e podem ser divididos em *sistemas fechados* e *sistemas abertos*.

Os sistemas não isolados fechados apresentam trocas de energia, mas não de matéria, com os outros sistemas que compõem o seu universo. Já os sistemas não isolados abertos apresentam trocas de energia e matéria com outros sistemas e são observados com maior frequência na abordagem geomorfológica.

Um bom exemplo de um sistema não isolado fechado é o ciclo hidrológico, pois a matéria – no caso, a água –, não sai do sistema, apenas circula internamente entre seus subsistemas terrestres e atmosféricos. No entanto, a energia que movimenta o ciclo é proveniente de um outro sistema, no caso, o sistema solar, que emite radiações que transferem energia para o sistema hidrológico terrestre. Portanto, o sistema do ciclo hidrológico apresenta trocas de energia com outros sistemas, mas não de matéria, pois a água circula internamente no sistema.

Os sistemas não isolados abertos são os mais comuns na natureza, apresentando trocas constantes de energia e matéria com outros sistemas. Numa bacia hidrográfica, por exemplo, a matéria entra no sistema pela precipitação (que é a água da chuva fornecida pelo sistema atmosférico) e sai na forma de vazão fluvial na foz do rio principal da bacia, direcionando-se para outra bacia hidrográfica ou algum sistema costeiro. Portanto, a água, matéria que circula no sistema, está constantemente sendo trocada com outros sistemas que configuram suas entradas e saídas.

A mesma abordagem pode ser utilizada para a análise das encostas, que são vistas como sistemas não isolados abertos. No caso, as entradas são referentes às chuvas, e as saídas são relacionadas à infiltração (que fornece entradas de água para o sistema de águas subterrâneas) e pelo escoamento superficial, que fornece água diretamente aos canais fluviais.

O monitoramento e a quantificação das entradas e saídas de matéria dos sistemas geomorfológicos não isolados e abertos

Resposta comentada

Os sistemas geomorfológicos são aqueles que envolvem os processos, as formas e os materiais presentes na superfície terrestre e que, de algum modo, estão relacionados com a modelagem do relevo. Seus componentes fundamentais estão ligados a fatores exógenos e endógenos, que são, respectivamente, associados à dinâmica climática e às forças internas de origem geotectônica. Esses componentes envolvem subsistemas meteorológicos, geológicos, hidrológicos, biológicos e antrópicos que, num processo interativo, promovem os processos responsáveis pela modelagem das formas do relevo. Os sistemas geomorfológicos são sistemas não isolados que podem ser fechados (raros) ou abertos (comuns). A diferença entre eles é que, nos fechados, só existe permuta de energia com outros sistemas, com a matéria circulando somente no seu interior; nos sistemas abertos, as trocas com outros sistemas envolvem permutas de matéria e energia. Por exemplo, um sistema geomorfológico fluvial (rio) pode ser considerado um sistema não isolado aberto, pois possui entradas de água relacionadas ao escoamento pluvial das vertentes e saídas relacionadas à sua vazão na foz. O rio pode ainda armazenar momentaneamente parte dessa matéria recebida (água) em planícies de inundação, que serão posteriormente direcionadas para uma saída, que pode ser a vazão na foz ou a evaporação para o sistema atmosférico.

Os tipos de sistema aplicados à geomorfologia

Com o desenvolvimento cada vez maior de pesquisas de cunho sistêmico nas distintas áreas da geomorfologia, foi estabelecida, por Chorley e Kennedy (1971), uma tipologia de sistemas para dar conta dos diversos objetivos da investigação geomorfológica. Nesse estudo pioneiro, foi determinado que a imensa maioria dos sistemas geomorfológicos eram sistemas não isolados e abertos, com trocas constantes de energia e matéria com outros sistemas.

Partindo dessa tipologia de sistemas sugeridos pelos autores mencionados acima, foi compreendido que, para o entendimento da dinâmica evolutiva do relevo e das relações entre formas, processos e materiais, são fundamentais os seguintes tipos de sistema: morfológico, processo-resposta, em sequência e controlado. Veremos agora, segundo Christofolletti (1999), as principais características desses sistemas e suas aplicações mais relevantes para a geomorfologia continental.

Os sistemas morfológicos

Podem ser considerados os sistemas menos complexos presentes nas estruturas naturais, pois levam em conta apenas os aspectos morfológicos (forma) dos fenômenos geomorfológicos. Representam a associação entre as propriedades físicas das formas do relevo, como a geometria e a composição das formas presentes na superfície terrestre. Neles são estabelecidas correlações entre distintas propriedades morfológicas, como altura, comprimento, largura, declividade etc.

Essas correlações indicam os mecanismos de ajuste entre essas variáveis e demonstram a estrutura desses sistemas. Por exemplo, em um canal fluvial, podemos correlacionar a largura do canal com a declividade do leito. Quanto maior for o gradiente de declividade, maior será a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, maior será o seu potencial de aprofundamento do leito pela erosão fluvial, produzindo canais mais estreitos e profundos. De fato, ao observarmos um trecho de um rio, podemos notar que as partes que apresentam maior declividade no leito apresentam menor distância entre as margens, ou seja, a largura do canal reflete as características da declividade do leito.



Figura 3.2: Variações de largura e declividade num canal fluvial.

Fonte: Foto dos autores.

Da mesma forma, os trechos mais largos do canal provocam uma redução na velocidade do escoamento, pois o mesmo volume de água se espalha em uma área maior. Conseqüentemente, o potencial erosivo do fluxo é diminuído e temos como reflexo uma redução na incisão vertical e na declividade do leito.

Os sistemas morfológicos foram utilizados também para o entendimento das formas das vertentes através de correlações entre comprimento de vertente, declividade e profundidade do manto de alteração, dentre outros. Por exemplo, em uma encosta, os trechos de maior declividade possuem uma capacidade menor de manter estáveis os materiais inconsolidados, devido à atuação da força gravitacional nesses depósitos. De maneira geral, quanto maior a declividade, menor a estabilidade da vertente, sendo favorecidos os processos de remoção dos materiais e influenciando na espessura dos depósitos de encosta.

O comprimento da vertente também se articula com as demais propriedades morfológicas, pois quanto maior o comprimento, maior será a zona de contribuição de fluxos de água (área de captação de chuva) e, conseqüentemente, maior será o volume de escoamento pluvial e mais intensa a dinâmica hidroerosiva que modela essas vertentes.

Os sistemas morfológicos são muito utilizados para estabelecer correlações entre duas variáveis de um sistema e permitem o prognóstico do comportamento dessas variáveis em relação às modificações naturais ou antrópicas nos elementos, às quais estão correlacionados.

Ao promover alterações morfológicas num trecho de um rio (por exemplo, retificação, canalização e barragens), as ações humanas podem ser consideradas dentro de uma perspectiva sistêmica, indicando os ajustes previsíveis entre as propriedades morfológicas desses sistemas. Tal fato permite a elaboração de um prognóstico sobre os efeitos das ações antrópicas na dinâmica de funcionamento dos sistemas geomorfológicos.

Os sistemas em sequência

São os sistemas vistos a partir de suas interações com outros sistemas que estão articulados numa cadeia de processos em cascata. São definidos vários subsistemas, cada qual com seus mecanismos de regulação dos fluxos de energia e matéria que circulam entre os subsistemas considerados. Dessa maneira, todos os subsistemas são considerados sistemas abertos e apresentam sistemas antecedentes e subsequentes, nos quais interagem através de trocas de energia e matéria. Os sistemas antecedentes são aqueles que *influenciam* um dado sistema, e os subsequentes são aqueles que são *influenciados* pelos sistemas.

Por exemplo, se considerarmos a dinâmica de funcionamento de um rio como um sistema em sequência, temos que admitir que os subsistemas das vertentes são antecedentes, pois influenciam nas características do sistema fluvial. Se ocorrerem processos erosivos nas encostas, os sedimentos serão direcionados para os rios, alterando seu comportamento em função de um *input* (entrada) de matéria proveniente dos subsistemas antecedentes das encostas. Devemos, portanto, admitir que o sistema fluvial sofreu influência de um subsistema antecedente. Se o sistema fluvial focalizado transmitir

esses materiais provenientes das encostas para os subsistemas localizados nos ambientes costeiros, estará promovendo um *output* (saída), influenciando esses subsistemas subsequentes e promovendo o efeito cascata no sistema em sequência.

Cabe ainda destacar que cada subsistema de um sistema em sequência pode ser individualizado e possui mecanismos próprios que regulam os fluxos de energia e matéria que circulam pelo seu interior. Os subsistemas podem armazenar os *inputs* de energia e matéria originados em seus subsistemas antecedentes ou transmitir esses fluxos para seus subsistemas subsequentes.

Por exemplo, se uma grande quantidade de chuva se precipita nas encostas, parte dessa água pode ser armazenada na própria vertente, nos poros localizados nos solos e nas rochas, e parte pode ser transmitida imediatamente para o subsistema subsequente (no caso, um sistema fluvial). Nesse caso, o subsistema meteorológico é encarado como um sistema antecedente, pois influencia o sistema focalizado, que é o sistema das encostas.

A resposta dos subsistemas às entradas de energia e matéria, seus mecanismos reguladores e sua capacidade de absorver ou transmitir esses fluxos para seu sistemas subsequentes constituem-se nas principais características dos sistemas em sequência e permitem a articulação entre os vários componentes de um sistema geomorfológico.

O entendimento dos processos hidrológicos numa bacia hidrográfica é um ótimo exemplo da aplicação dessa abordagem. Numa bacia hidrográfica, temos os seguintes subsistemas: meteorológico, das vertentes, dos lençóis de água subterrânea e dos canais fluviais. As entradas de chuvas promovidas pelo subsistema antecedente meteorológico podem seguir diferentes rotas em direção à foz do canal principal da bacia. Essas rotas dependem da estrutura do sistema que regula as formas de armazenamento e transmissão da água em direção às saídas do sistema. Nas bacias hidrográficas,

sua estrutura direciona os fluxos de água recebidos por três rotas hidrológicas, que são o **escoamento superficial**, o **escoamento subterrâneo** e a **evapotranspiração**.

Os sistemas processos-respostas

São sistemas muito utilizados na investigação dos fenômenos geomorfológicos manifestados nas áreas continentais, pois conjugam, numa mesma abordagem, os sistemas morfológicos e os sistemas em sequência vistos acima. Através dos sistemas processos-respostas, busca-se o entendimento integrado das formas e dos processos atuantes na modelagem do relevo da superfície terrestre e suas relações de interdependência.

Os sistemas morfológicos referem-se apenas às formas, enquanto os sistemas em sequência referem-se aos processos, mas, em muitos casos, os processos e as formas interagem de maneira sistêmica, com modificações nos processos, produzindo mudanças nas formas e vice-versa. Isso ocorre porque as mudanças nos processos promovem estímulos nos sistemas morfológicos, que sofrem ajustes para atingirem um novo estado de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Por exemplo, se a dinâmica hidrológica de uma vertente for modificada, as formas da vertente também serão alteradas, buscando um novo estado de equilíbrio que se ajuste às modificações nos processos. Por outro lado, mudanças morfológicas nas encostas podem modificar os processos hidrológicos através dos ajustes promovidos pelo sistema processos-respostas.

Dessa maneira, esse tipo de sistema permite a investigação dos ajustes entre processos e formas, demonstrando os mecanismos de retroalimentação que governam sua dinâmica de funcionamento.

Como os sistemas geomorfológicos são sistemas não isolados e abertos, e apresentam trocas constantes de energia e matéria com outros sistemas através de suas entradas e saídas,

Escoamento superficial

Refere-se à parte da precipitação que não consegue infiltrar-se no solo, fluindo superficialmente sobre a superfície do terreno. As taxas de escoamento superficial são fortemente controladas pela declividade da vertente, pelas propriedades do solo, pelas características da precipitação e pelo tipo de cobertura vegetal.

Escoamento subterrâneo

O escoamento subterrâneo tem como origem as chuvas que se precipitam nas encostas e se infiltram no solo e são armazenadas nos lençóis de águas subterrâneas, de onde se direcionam para os canais fluviais.

Evapotranspiração

Processo de transferência de água, na forma de vapor, da superfície terrestre para a atmosfera. Envolve a evaporação, que é um fenômeno físico, e a transpiração, que é um fenômeno biológico.

são constantemente sujeitos a flutuações nesses fluxos, que podem desencadear uma série de ajustes em busca do equilíbrio. Quando esses ajustes se dão entre dois elementos específicos de um sistema, através de um relacionamento direto do tipo ida e volta, temos a *retroalimentação direta*. Portanto, se considerarmos duas variáveis de um sistema geomorfológico que se ajustam entre si – e na qual a variável modificada recebe um estímulo de retorno, temos a retroalimentação direta.

Vejamus uma situação em que duas variáveis interagem entre si numa vertente. Nas encostas, o volume de escoamento superficial depende, dentre outros fatores, da profundidade do solo, pois quanto mais profundo for o pacote de materiais inconsolidados, mais espaço teremos para absorver os fluxos de infiltração, minimizando, dessa forma, a geração do escoamento superficial. Se alguma alteração promover o aumento do escoamento superficial, teremos como resposta o aumento da erosão, com a consequente redução da profundidade do solo. A redução na profundidade do solo vai promover um aumento no escoamento superficial, devido à diminuição da espessura do pacote, com redução dos espaços disponíveis para absorção dos fluxos de infiltração. Dessa maneira, podemos perceber que as duas variáveis (escoamento superficial e profundidade do solo) se autoinfluenciam mutuamente.

Quando essas relações de retroalimentação envolvem mais de duas variáveis, temos uma retroalimentação em circuito, que são as mais comuns nos sistemas geomorfológicos. Seguindo o exemplo anterior, podemos imaginar que o aumento do escoamento superficial na encosta tenha ocorrido devido ao desmatamento da vegetação. Temos agora três variáveis num circuito de retroalimentação, que são a cobertura vegetal, o escoamento superficial e a profundidade do solo. O desmatamento promove o aumento do escoamento superficial que, por sua vez, promove a diminuição da profundidade do solo devido à erosão. Logo, teremos a influência na redução da profundidade do solo, afetando a cobertura vegetal, fechando a retroalimentação em circuito.

Christofolletti (1980) aponta para a retroalimentação em circuito, causada pelo frio, que promove a precipitação em forma de neve, e esta, ao formar geleiras, intensifica ainda mais o frio.

Finalmente, cabe destacar que esses mecanismos de retroalimentação podem ser positivos (quando a alteração inicial se propaga pelas outras variáveis, intensificando a modificação inicial) ou negativos (quando os ajustes entre as variáveis minimizam e acabam absorvendo a modificação inicial).

Os dois exemplos citados acima representam mecanismos de retroalimentação positivos, pois os ajustes atuam no sentido de intensificar as modificações iniciais. No primeiro caso, o escoamento superficial fica cada vez maior, pois os ajustes no sistema levaram ao surgimento de solos menos profundos e com menos vegetação, que são aspectos que favorecem ainda mais o escoamento superficial. Se a tendência não for invertida, podemos chegar a um ponto em que todo o solo será removido pela erosão causada pelo escoamento e a vegetação será eliminada do sistema. No caso do frio, os ajustes no sistema promoveram a formação de geleiras que intensificaram ainda mais o frio.

Vejamos, então, agora, um exemplo de retroalimentação negativa num sistema processo-resposta, ou seja, uma série de ajustes no sistema que atuam no sentido de absorver as mudanças, minimizando as alterações iniciais. Por exemplo, se ocorrer um deslizamento numa encosta florestada, teremos a abertura de uma clareira na vegetação. Essa modificação inicial vai propagar uma série de ajustes relacionados à chegada da luz solar ao nível do solo, coisa que não acontecia antes do deslizamento que ocasionou a abertura da clareira.

A chegada da luz solar em grande quantidade no solo possibilita a germinação de sementes de espécies pioneiras, que rapidamente podem recobrir o solo e minimizar a atividade erosiva. Com o crescimento dessas novas árvores, o sistema vai gradualmente se recuperando e, passados alguns anos, a cobertura vegetal volta a apresentar uma estrutura florestal, ou seja, o sistema possui mecanismos de retroalimentação negativa que garantem o retorno à condição original, mantendo sua estabilidade mesmo com a ocorrência de eventuais distúrbios.

Outro exemplo de ajustes nos sistemas geomorfológicos através de mecanismos de retroalimentação negativa seria o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica em função de um evento extremo de precipitação. Quando o índice pluviométrico é muito alto, o sistema responde através de modificações no leito e na vazão fluvial, aumentando o volume escoado durante um determinado período. Esses ajustes podem envolver, inclusive, eventuais transbordamentos do leito com as águas ocupando as planícies de inundação. Passado o evento de chuva, lentamente o sistema retorna às condições originais com o retorno das águas ao leito e a diminuição gradativa da vazão fluvial até atingir os valores registrados antes da chuva que desencadeou todos esses ajustes.

Os sistemas controlados e a ação humana nos sistemas geomorfológicos

Os sistemas controlados são aqueles em que a identificação de uma variável-chave permite uma previsão dos mecanismos de ajuste entre as variáveis do sistema que são controladas por ela. São, na realidade, tipos específicos de sistemas processos-respostas, onde a ação humana promove alterações que desencadeiam mecanismos de retroalimentação que podem ser prognosticados.

Assim, se um sistema é alterado pela ação humana de uma determinada maneira, temos a capacidade de prever sua dinâmica evolutiva. Essa previsibilidade engloba toda a cadeia subsequente de ajustes nas variáveis controladas pela variável-chave, que é a variável que sofreu interferência humana e promove a modificação inicial no sistema.

Os sistemas controlados se prestam, portanto, para identificar as possíveis respostas que um sistema apresenta quando submetido a alguma modificação relacionada à ação humana. Sua aplicação é fundamental para o planejamento da ocupação territorial e para identificar aspectos relacionados à degradação ambiental. Constitui-se numa importante ferramenta metodológica para a investigação das relações entre a geomorfologia e os processos de

ocupação do solo, servindo de subsídio ao planejamento ambiental em áreas urbanas e rurais.

Por exemplo, numa bacia hidrográfica, a cobertura vegetal pode ser vista como uma variável-chave, pois controla uma série de processos subsequentes que afetam as vertentes e os canais fluviais. Uma modificação na cobertura vegetal (variável-chave) se propaga nos sistemas subsequentes (encosta e canais), pois a modificação na dinâmica hidrológica e erosiva afeta e controla diretamente essas variáveis. A retirada da cobertura florestal (desmatamento) intensifica a dinâmica erosiva nas vertentes e os sedimentos carregados pela erosão nas encostas se depositam em determinados trechos dos canais. Esse processo erosivo mais acelerado nas vertentes promove o assoreamento do leito pela deposição desses sedimentos no canal, envolvendo uma série de ajustes morfológicos deste (mudanças na profundidade, largura e sinuosidade).

Da mesma maneira, mas num raciocínio invertido, podemos prever as modificações promovidas na bacia, se ocorrerem medidas de reflorestamento. Nesse caso, a reintrodução de árvores nas encostas favorece a infiltração da água da chuva, minimizando os processos erosivos relacionados ao escoamento superficial. Tal fato reduz a quantidade de sedimentos fornecidos pelas vertentes, reduzindo as taxas de deposição e modificando as variáveis morfológicas dos canais. Portanto, a abordagem dos sistemas controlados é fundamental para refletirmos sobre as consequências da ação humana na dinâmica geomorfológica das bacias hidrográficas.

Essa abordagem pode ser utilizada em qualquer sistema geomorfológico que esteja sob intervenção humana. Vejamos um caso em que a extração de areia para fins comerciais promova modificações na profundidade do canal. Essas mudanças serão refletidas em uma série de variáveis morfológicas do canal que, por sua vez, irão desencadear mudanças nos processos hidrológicos, que geram outras mudanças morfológicas (por exemplo, a erosão nas margens). É uma retroalimentação em circuito que é controlada pela ação humana e, portanto, para evitar problemas erosivos nos

sistemas fluviais, a intervenção humana (extração de areia) deve ser pensada no conjunto de suas interações sistêmicas.

Perguntas como “Quanto de areia pode ser retirado do leito?” “Quais os limites da intervenção para evitar processos indesejáveis na dinâmica fluvial?”, “Como evitar a propagação de efeitos nas variáveis dependentes?” são exemplos de como essa abordagem é importante para subsidiar o planejamento da ação humana nos sistemas ambientais.

Agora que já vimos os vários tipos de sistemas que são utilizados pela geomorfologia, podemos entender como essas abordagens podem ser utilizadas para o entendimento e o prognóstico do comportamento dos sistemas geomorfológicos quando os mesmos sofrem alterações induzidas pelas atividades humanas. Antes de concluirmos esta aula, responda à seguinte atividade.



Atende aos objetivos 2 e 3

Assinale se as afirmações abaixo sobre as tipologias de sistemas utilizados na geomorfologia continental são verdadeiras ou falsas:

1. Os sistemas morfológicos enfatizam as interações entre os processos atuantes num sistema. ()
2. As variáveis relacionadas à geometria das formas de relevo podem ser investigadas pelos sistemas morfológicos. ()
3. Os sistemas em sequência podem ser utilizados quando investigamos os sistemas isolados. ()

4. As relações entre vários subsistemas que compõem um determinado sistema só podem ser plenamente reconhecidas pelo sistema morfológico. ()
5. Os sistemas em sequência possibilitam a investigação das relações entre os distintos subsistemas que compõem a estrutura de um determinado sistema. ()
6. Num sistema em sequência não existem diferenças significativas entre os sistemas antecedentes e os sistemas subsequentes. ()
7. Os sistemas do tipo processos-respostas são ideais para verificação das relações entre processos e formas, associando de certo modo os sistemas morfológicos e em sequência. ()
8. Independentemente do sistema focalizado, os mecanismos de retroalimentação positivos e negativos possuem o mesmo significado. ()
9. Um sistema controlado pode ser definido como um sistema onde a ação humana sobre uma variável-chave provoca uma série de ajustes previsíveis no sistema. ()
10. O sistema controlado é uma aplicação dos sistemas processos-respostas a sistemas com ação humana em variáveis-chave. ()

Resposta comentada

1. Falso. Pois os sistemas morfológicos enfatizam as interações entre as formas atuantes num sistema.
 2. Verdadeiro.
 3. Falso. Pois os sistemas em sequência podem ser utilizados quando investigamos os sistemas não isolados.
 4. Falso. Pois as relações entre vários subsistemas que compõem um determinado sistema só podem ser plenamente reconhecidas pelos sistemas em sequência e processos-respostas.
 5. Verdadeiro
 6. Falso. Pois, num sistema em sequência, existem diferenças fundamentais entre os sistemas antecedentes e os sistemas subsequentes.
 7. Verdadeiro
 8. Falso. Pois, independentemente do sistema focalizado, os mecanismos de retroalimentação positivos e negativos possuem significados diferentes.
 9. Verdadeiro.
 10. Verdadeiro.
-

CONCLUSÃO

Após a apresentação das características mais importantes da aplicação da abordagem sistêmica na geomorfologia, podemos concluir que a Teoria Geral dos sistemas significou uma importante contribuição teórica para a geomorfologia continental. Os principais sistemas geomorfológicos, como aqueles relacionados às vertentes, aos canais fluviais e às bacias hidrográficas passaram a ser vistos como sistemas não isolados abertos, com trocas constantes de energia e matéria com outros sistemas.

Podemos também concluir que os diferentes tipos de sistemas (morfológicos, sequência e processos-respostas) apresentam aplicações distintas nos vários campos da geomorfologia que investigam fenômenos específicos relacionados à modelagem do relevo. Cabe ainda destacar que a abordagem de sistemas controlados permite uma previsibilidade das consequências das intervenções humanas nos sistemas geomorfológicos, gerando subsídios fundamentais para o planejamento ambiental.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Com os conhecimentos adquiridos nesta aula, responda às questões abaixo:

1. Quais as principais características dos sistemas processos-respostas?
2. Como os sistemas controlados podem auxiliar na previsão das consequências da ação humana nos sistemas geomorfológicos?

RESUMO

Nesta aula, vimos como se deu a aplicação da abordagem sistêmica na geomorfologia e suas implicações para a investigação dos fenômenos geomorfológicos nas áreas continentais. Os sistemas geomorfológicos são sistemas não isolados abertos (com trocas de energia e matéria com outros sistemas) e podem ser classificados em uma tipologia que envolve os sistemas morfológicos, em sequência, processos-respostas e controlados. Vimos que cada um deles se aplica em situações específicas.

Os sistemas morfológicos dão conta das correlações entre os componentes geométricos (forma) dos elementos do sistema, não envolvendo a abordagem de processos. Os sistemas em sequência referem-se a sistemas que interagem numa cadeia de subsistemas interdependentes e permitem a incorporação dos processos na análise sistêmica. Nesse tipo de sistema, podemos definir os subsistemas antecedentes (que geram influências no sistema focalizado) e os subsistemas subsequentes (que são influenciados pelo sistema focalizado).

Se os ajustes envolverem mecanismos de retroalimentação, com duas ou mais variáveis se autorregulando, teremos a abordagem dos sistemas processos-respostas, que possibilitam o entendimento das formas de propagação de alterações no sistema. Por fim, em sistemas modificados pela ação humana, temos a abordagem do sistema controlado, que, a partir da identificação de variáveis-chave, permite a previsibilidade dos ajustes nas variáveis dependentes.

Informação sobre a próxima aula

Agora que já vimos como a abordagem sistêmica se tornou fundamental para a geomorfologia, vamos estudar, na próxima aula, a dinâmica das vertentes, procurando entendê-las como um sistema geomorfológico não isolado aberto. Utilizando uma perspectiva sistêmica, vamos identificar e analisar os processos morfogenéticos que atuam na modelagem das vertentes e avaliar as formas e funções das vertentes na paisagem geomorfológica.

Aula 4

Dinâmica de vertentes: processos e formas

*Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar a dinâmica das vertentes, os processos geomorfológicos atuantes e suas respectivas formas.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. definir o conceito de vertente e entendê-las como um sistema geomorfológico dinâmico;
2. identificar os processos morfogenéticos que atuam na modelagem das vertentes;
3. identificar e avaliar as formas e funções das vertentes na paisagem.

INTRODUÇÃO

O estudo das vertentes, também chamadas de encostas, representa um importante campo de pesquisa dentro da ciência geomorfológica, visto que figuram como unidades fundamentais para entendimento da dinâmica evolutiva da superfície terrestre.

Em linhas gerais, as vertentes são as áreas inclinadas da superfície terrestre em relação à horizontal, que se modificam em decorrência da interação entre variados processos geomorfológicos, e possuem uma forma que é produto de processos atuantes no passado e no presente (**Figura 4.1**).



Figura 4.1: Exemplos de vertentes.

Fonte: Foto dos autores.

Na geomorfologia brasileira, esse campo vem sendo bastante explorado, visto a característica presente em nosso território de relevo

acidentado e chuvas tropicais. Como consequência da união dessas duas características (relevo e clima), na época do verão, os meios de comunicação sempre noticiam algum tipo de desastre envolvendo deslizamento de encostas em cidades brasileiras (**Figura 4.2**).



Figura 4.2: Deslizamento de terra em Ouro Preto, MG.
Fonte: Foto dos autores.

Não somente a geomorfologia, mas outros campos científicos, também buscam o entendimento das vertentes, como a engenharia civil, a agronomia, a geologia, a geotecnia, entre outras, quando, por exemplo, precisam decidir sobre construções, atividades agrícolas, mineração e contenções, respectivamente.

O conceito e o sistema vertente

Segundo Christofolletti (1980), vertente é uma superfície inclinada, não horizontal, sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional. Um elemento da paisagem cuja forma resulta da interação de fatores endógenos e exógenos.

Em outra definição, Jan Dylík (1968 apud CHRISTOFOLETTI, 1980) esclarece que: vertente é uma forma tridimensional que foi modelada

pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, e representando a conexão dinâmica entre o **interflúvio** e o fundo de vale.

Mas você deve estar se perguntando: Quais os limites de uma vertente? Quais os limites exatos, por exemplo, entre o sistema vertente e o sistema fluvial?

A fronteira inferior nem sempre será um rio, mas este será até onde os processos morfogenéticos de natureza da própria vertente atuarem.

Também há dificuldades em localizar o limite superior. Mas este será o ponto mais alto e distante na encosta, que o processo de erosão e transporte de materiais deposita na base da vertente.

Já o limite interno, que nos permite uma perspectiva de terceira dimensão, é constituído pelo embasamento rochoso ou superfície de intemperismo.

Como vimos na Aula 3, as vertentes constituem um sistema geomorfológico. Cabe lembrar que sistema representa um conjunto de elementos que interagem entre si e, no caso das vertentes, que são consideradas sistemas abertos, são controlados e trocam constantemente matéria e energia com os sistemas adjacentes (**Figura 4.3**).

Interflúvio

Área mais elevada situada entre dois vales; separa os vales.

Fonte: adaptado do <http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Interfluvio>

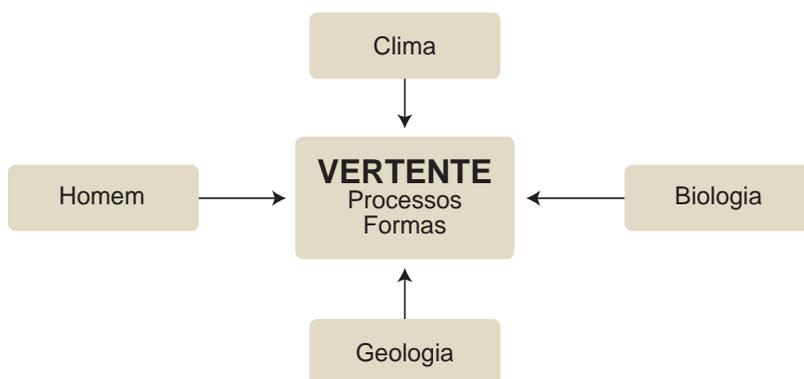


Figura 4.3: Sistemas adjacentes ao sistema vertente.

- O sistema climático mantém toda dinâmica dos processos na vertente, através do calor, das chuvas etc.

- O sistema geológico representa o tipo de rocha, a resistência desse material ao intemperismo.
- O sistema biológico representa a cobertura vegetal e a vida animal atuante na vertente.
- E por fim, o sistema antrópico é a ação humana nas encostas, que modifica a distribuição de matéria e energia, intensificando ou minimizando os processos morfogenéticos nas vertentes. Sabemos que essas ações sem planejamento podem causar a instabilidade destas vertentes e, conseqüentemente, situações indesejáveis às sociedades.



Atende ao objetivo 1

Diante do exposto, por que podemos considerar as vertentes como um sistema geomorfológico dinâmico?

Resposta comentada

As vertentes são um sistema que representa um conjunto de elementos que interagem entre si e, no caso das vertentes, que são consideradas sistemas abertos, são controlados e trocam constantemente matéria e energia com os sistemas adjacentes.

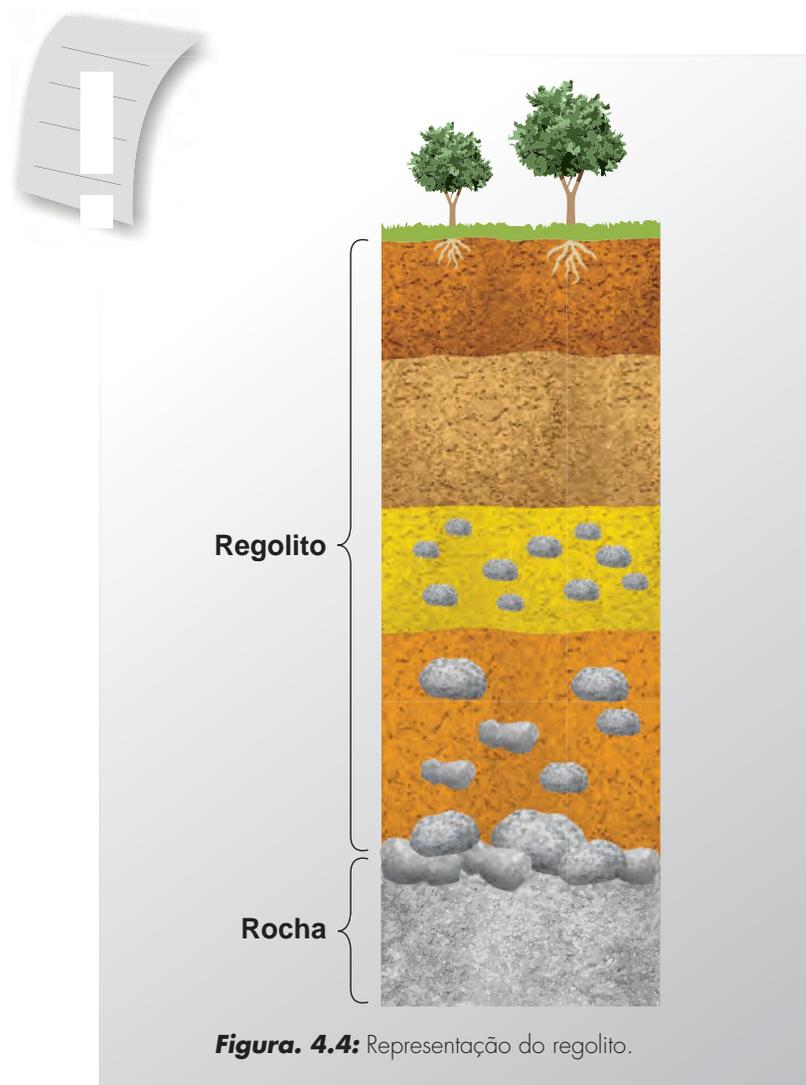
Processos morfogenéticos nas vertentes

Os processos morfogenéticos, ou morfogênicos, são os que esculparam as formas de relevo, representando a ação externa (exógena) sobre as vertentes.

É importante destacar que esses processos não agem individualmente, mas em conjunto e concomitantemente: ao mesmo tempo em que estão ocorrendo os processos de formação do **regolito** (intemperismo), a gravidade, as chuvas e a ação biológica, por exemplo, estão deslocando e transportando partículas nas vertentes (erosão) (**Figura 4.5**).

Regolito

Também conhecido como manto de alteração, termo usado pelos geólogos como sinônimo de solo em seu sentido amplo. Camada de material intemperizado que recobre a superfície do planeta.



O regolito é o conjunto do material superficial, originado das rochas e dos depósitos inconsolidados, que foi afetado pelo intemperismo químico e físico. Abaixo do regolito estão os materiais rochosos que não foram afetados pelo intemperismo.

Fonte: <http://www.dicionario.pro.br/dicionario/index.php/Regolito>

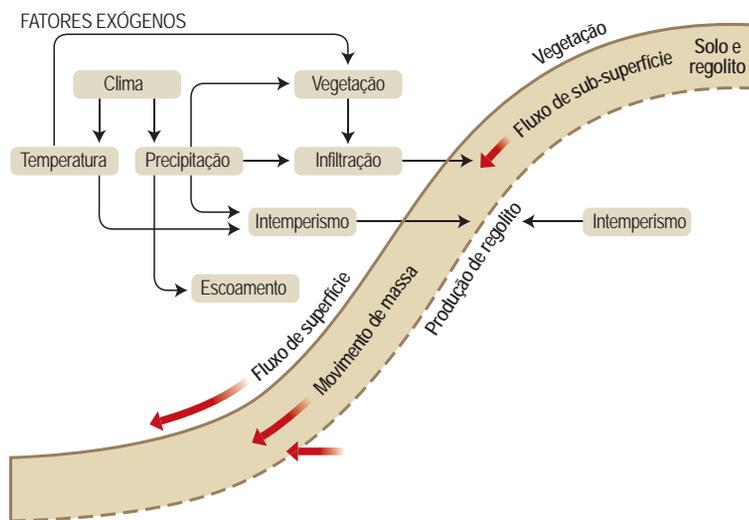


Figura 4.5: Processos morfogênicos nas encostas.

Intemperismo – a preparação do material

Talvez seja importante que você revise suas aulas de intemperismo. Mas, como você já sabe, intemperismo é o processo de desagregação e decomposição das rochas, desencadeado por processo ou conjuntos de processos físicos, químicos e biológicos combinados.

Os processos físicos provocam as rupturas nas rochas, gerando a fragmentação de minerais/rochas. Um exemplo desse processo é quando os materiais submetidos à oscilação de temperatura, dilatam-se e contraem-se, gerando sua fragmentação.

Diferente dos processos físicos, o intemperismo químico corresponde à decomposição das rochas, modificando a natureza química, sendo a água o veículo de todas as alterações.

Já os organismos, representam a ação dos seres vivos que promovem ou auxiliam o processo de intemperismo químico e físico. Os organismos removem materiais (processo físico), e a decomposição de matéria orgânica, por exemplo, aumenta a acidez e, conseqüentemente, potencializa o intemperismo químico.



Figura 4.6: Exemplos de intemperismos.

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/579191>; <http://www.sxc.hu/photo/1396454>; <http://www.sxc.hu/photo/1395215>

Esse processo constitui a etapa de formação do regolito, ou seja, é o pré-requisito para a movimentação de detritos ao longo das vertentes, que através dos processos erosivos, geram a esculturação dessa forma de relevo.

Erosão/Transporte – o desgaste

Corresponde ao movimento de partículas/sedimentos pela encosta abaixo, impulsionados pela interface da gravidade e dos agentes erosivos. Rochas e solos (regolito) são constantemente

Ação pluvial

É a retirada de materiais da superfície pelas águas das chuvas.

Ação fluvial

É a erosão causada pela dinâmica dos rios.

Ação eólica

Ocorre quando o vento transporta partículas e estas se chocam contra rochas e dividem-se em mais partículas, que se chocam contra outras rochas.

Ação glacial

Causada pelo deslocamento lento, no sentido descendente, provocando erosão glacial.

Pedogênese

Processo de formação dos solos.

submetidos aos agentes erosivos: a **ação pluvial, fluvial, eólica e glacial**. Essa ação externa sobre as vertentes ocasiona a retirada e o transporte do material da vertente para outros locais até atingir o nível de base da erosão onde se deposita. Cabe ainda destacar que, nas encostas, se localizam inúmeras áreas depocionais denominadas colúvios, conforme apontado na disciplina de Geomorfologia Geral.

Os agentes erosivos variam de acordo com os condicionantes climáticos, litológicos e topográficos de uma dada região. Assim, por exemplo, os glaciares só se encontram a latitudes e/ou altitudes que permitam a formação e manutenção do gelo.

No caso da geomorfologia brasileira, a água, em especial das chuvas, é o principal agente modelador das vertentes. Nas Aulas 5, 6 e 7, apresentaremos detalhadamente os processos erosivos desencadeados pela ação da água.

Balanco morfogenético

O intemperismo e a **pedogênese** correspondem a ações constantes nas vertentes. Essa ação combinada tem o efeito de aumentar o regolito enquanto os processos de erosão e transporte têm o efeito de retirar os detritos, diminuindo a espessura do regolito.

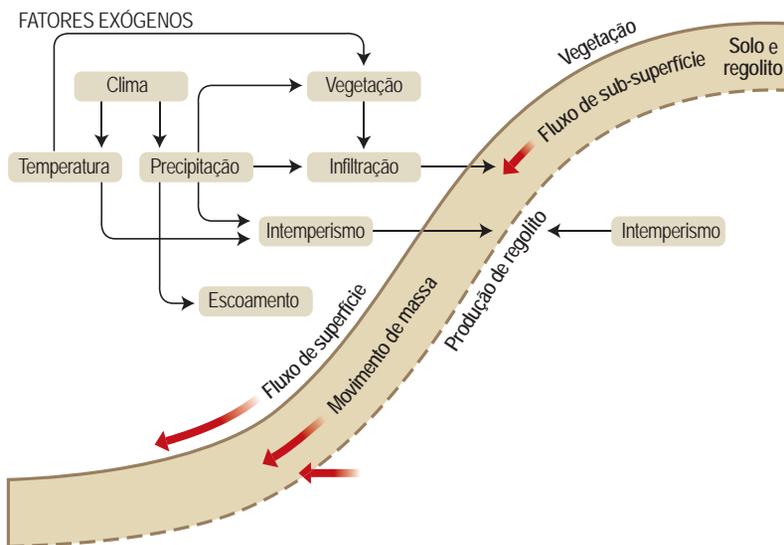
Assim, o balanço morfogenético resulta da combinação dessas duas forças.

Se em um determinado ponto a ação do intemperismo e da pedogênese for maior que a retirada de material, o balanço morfogenético será positivo, caso contrário, será negativo.



Atende ao objetivo 2

Observe o esquema a seguir. Através dele você seria capaz de organizar os eventos e descrever os processos morfogenéticos atuantes na formação das vertentes?



Resposta comentada

Os processos morfogenéticos são o intemperismo e a erosão. Estes processos representam a ação externa sobre as vertentes. O intemperismo constitui a etapa de formação do regolito,

ou seja, é o pré-requisito para a movimentação de detritos, que, através dos processos erosivos, vai modelando as vertentes. A erosão desgasta e transporta material da vertente para outros locais, até atingir o nível da base de erosão onde se deposita.

As formas das vertentes

Toda vertente possui uma forma e a descrição dessas formas é fundamental para o entendimento dos processos geomorfológicos atuantes.

A terminologia utilizada para descrever os componentes das vertentes foi discutida por diversos autores.

Os principais termos utilizados possuem a seguinte conceituação:

- unidade de vertente – constitui um segmento ou elemento;
- segmento – parte da porção do perfil da vertente no qual os ângulos permanecem aproximadamente constantes, o que lhe dá o caráter retilíneo;
- elemento – parte da vertente na qual a curvatura permanece aproximadamente constante. Pode ser dividido em elemento convexo e côncavo;
- convexidade – consiste em um conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual há a diminuição do ângulos em direção a jusante;
- concavidade – conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual há o aumento dos ângulos em direção a jusante.

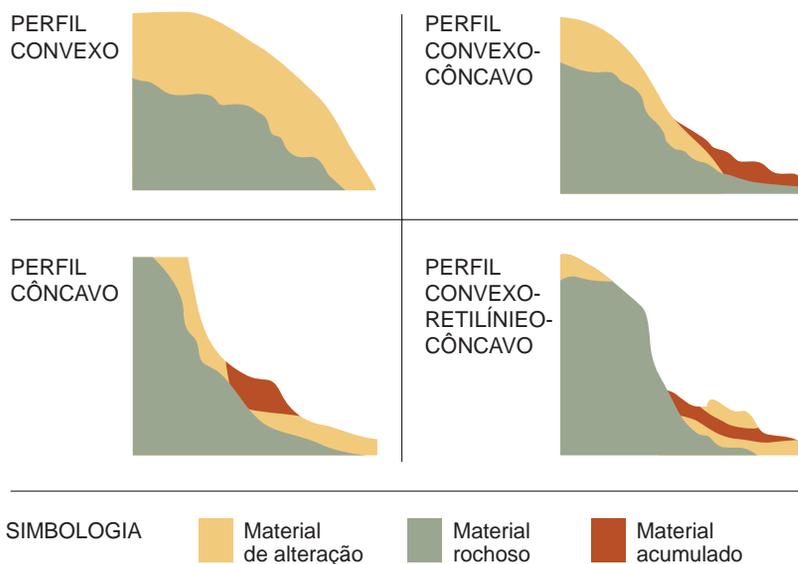


Figura 4.7: Visão em perfil de diversos formatos de vertentes e seus componentes.

Análise geométrica

Essas formas na paisagem são descritas em planta e em perfil (**Figura 4.7**). A visão em planta são as formas projetadas em mapas, a visão em perfil é a visão altimétrica do relevo.

A descrição dessas formas em mapas é feita através das cartas topográficas (**Figura 4.8**).

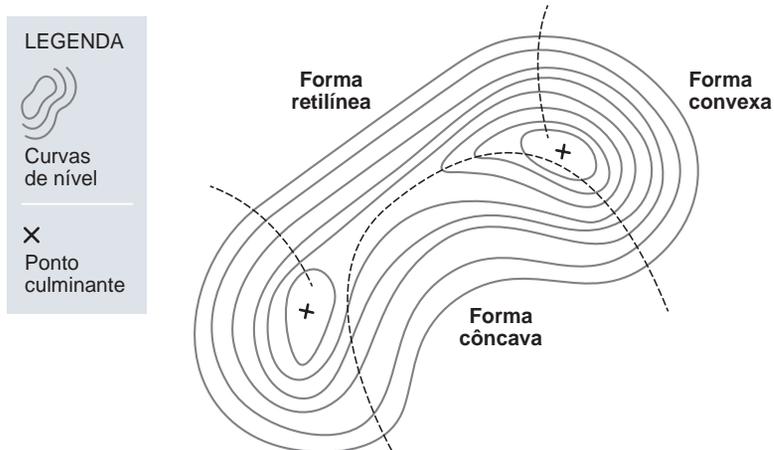


Figura 4.8: Visão em planta das formas das vertentes.

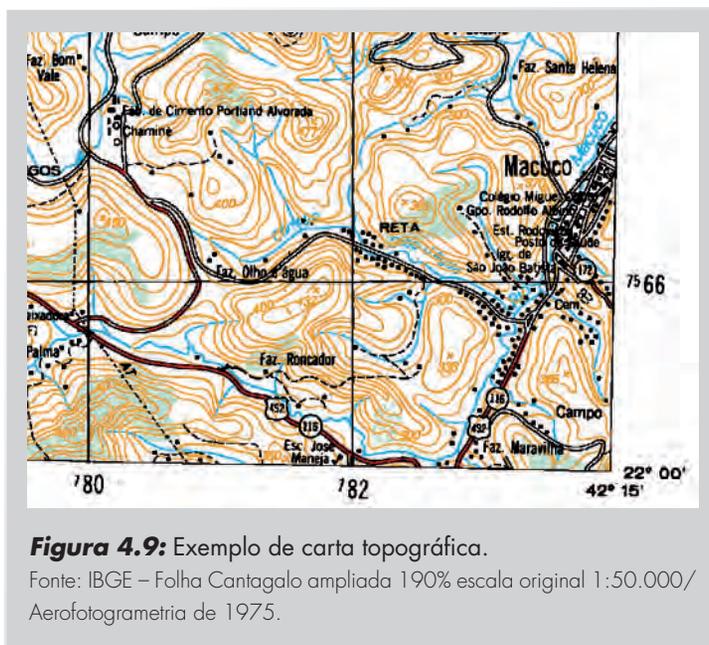


Carta topográfica é a representação, em escala, sobre um plano dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre de forma mensurável, mostrando suas posições planimétricas e altimétricas. A posição altimétrica ou relevo é determinada por curvas de nível, com as cotas referidas ao nível do mar.

Uma curva de nível caracteriza-se como uma linha imaginária que une todos os pontos de igual altitude de uma região representada, com valores de altitude em metros (m). Portanto, a curva de nível serve para identificar e unir todos os pontos de igual altitude de um certo lugar.

Esta pode ser interpretada como uma batata, se a cortarmos em camadas. Depois, gradualmente desenhamos cada "camada" da batata em uma folha de papel e podemos interpretar o desenho como uma planta de altitudes de um lugar. Se repetirmos o ato várias vezes no mesmo papel, poderemos unir os pontos de iguais altitudes, formando uma curva de nível. As curvas de nível indicam uma distância vertical acima, ou abaixo, de um plano de referência de nível. Começando no nível médio dos mares, que é a curva de nível zero, cada curva de nível tem um determinado valor. A distância vertical entre as curvas de nível é conhecida como equidistância, cujo valor é encontrado nas informações marginais da carta topográfica.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Carta_topogr%C3%A1fica e http://pt.wikipedia.org/wiki/Curva_de_n%C3%ADvel



Agora vamos analisar as formas das vertentes nas cartas topográficas e em perfil.

A – Vertentes retilíneas:

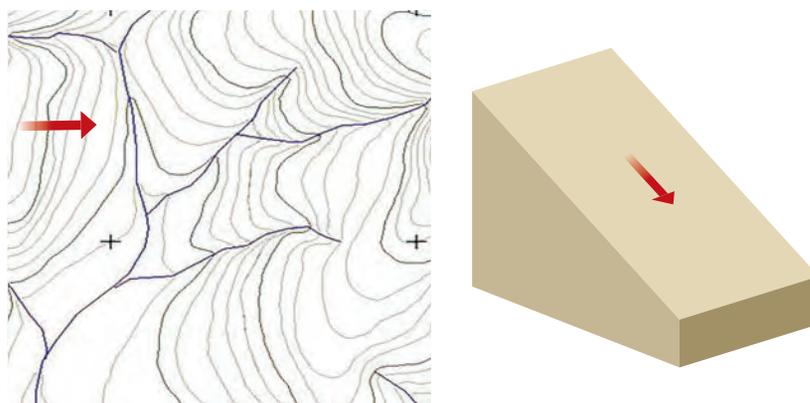


Figura 4.10: Representação de encosta retilínea em planta e em perfil.

B – Vertentes côncavas:

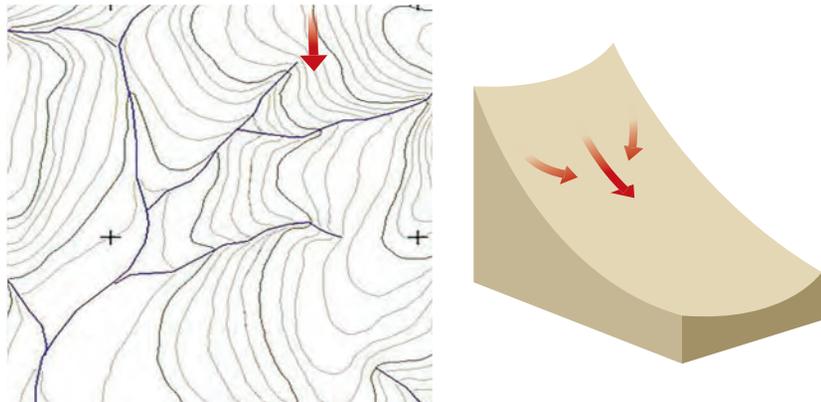


Figura 4.11: Representação de encosta côncava em planta e em perfil.

C – Vertentes convexas:

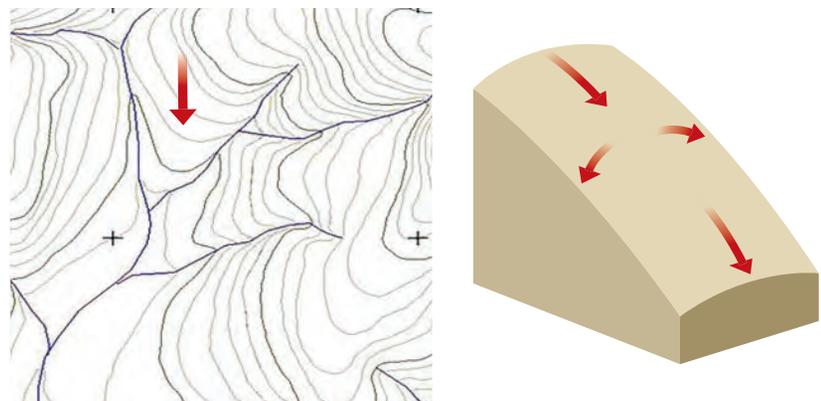


Figura 4.12: Representação de encosta convexa em planta e em perfil.

D – Perfil composto de vertentes:

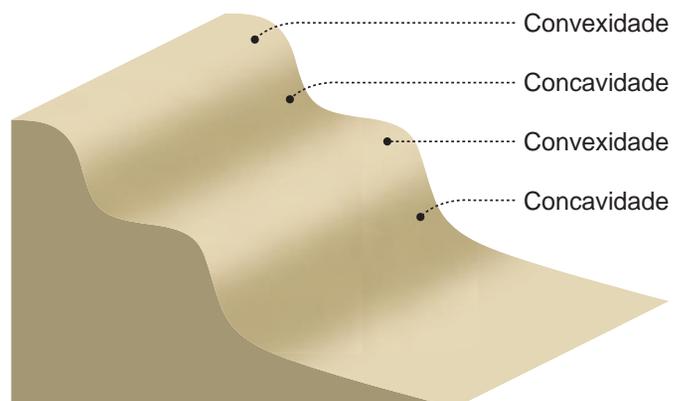


Figura 4.13: Representação de um perfil composto de vertente.

Análise geomorfológica

Como já vimos, todas as vertentes possuem uma forma. E essa forma é que irá direcionar o fluxo de águas superficiais nas encostas, de acordo com a sua morfologia.

As encostas com geometria côncava são consideradas áreas de convergência de fluxo de água e materiais, sendo, portanto, áreas mais suscetíveis a processos erosivos e movimentos de massa. A sua identificação e entendimento torna-se fundamental para planejamento do uso do solo, já que possuem uma maior fragilidade ambiental (**Figura 4.14**).

As vertentes convexas tendem a dispersar os fluxos de água, enquanto, nas retilíneas, a água tende a escorrer por igual ao longo da encosta.

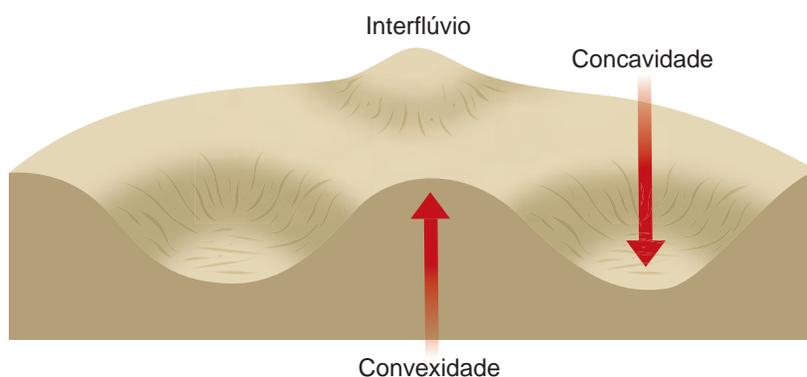


Figura 4.14: Perfil de encostas.

CONCLUSÃO

Como observado nesta aula, as vertentes são consideradas um importante campo de estudos da geomorfologia, apresentando-se como unidades fundamentais para o entendimento da dinâmica evolutiva da superfície terrestre. As vertentes são dinâmicas e modificam-se a partir da interação dos processos morfogenéticos (intemperismo, erosão/transporte e deposição). É importante destacar que as vertentes possuem uma forma, que pode ser côncava, convexa ou retilínea, que irá determinar o direcionamento dos fluxos hidrológicos nas encostas.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Observe a paisagem, na fotografia a seguir.



Fonte: Foto dos autores.

Utilizando os conhecimentos adquiridos nesta aula, localize (pontos 1 e 2) a área mais susceptível a processos erosivos e movimentos de massa. Justifique sua resposta.

Resposta comentada

Vamos conferir?

O ponto 2. Por se tratar de uma encosta com geometria côncava, sendo, portanto, área de convergência de fluxo de água e materiais, ou seja, área mais susceptível a processos erosivos e movimentos de massa.

RESUMO

As vertentes são, em linhas gerais, as áreas inclinadas da superfície terrestre em relação à horizontal, representando a área de conexão entre os interflúvios e os fundos de vale.

É um importante campo da geomorfologia, visto que as vertentes figuram como unidades fundamentais para entendimento da dinâmica evolutiva da superfície terrestre.

As vertentes são consideradas sistemas dinâmicos e modificam-se pela interação dos processos morfogenéticos: o intemperismo e erosão/transporte. Estes processos esculturam as formas de relevo, representando a ação externa (exógena) sobre as vertentes.

Toda vertente possui uma forma que é produto de processos atuantes no passado e no presente. As formas de vertentes podem ser convexas, que acabam dispersando as águas; côncavas, em que acontece uma grande concentração de fluxo, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam, gerando uma fragilidade

ambiental maior, ou retilíneas, na qual a água tende a escorrer por igual ao longo da vertente.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, estudaremos os processos erosivos nas encostas, provocados pela ação pluvial. Serão apresentadas a erosão por salpicamento, caracterizada pela remoção de partículas pelo impacto das gotas das chuvas, e a erosão laminar, controlada pelo fluxo superficial de água.

Aula 5

Processos erosivos nas encostas: o *splash* e a erosão laminar

Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum

Meta da aula

Apresentar os fatores que condicionam os processos erosivos e, em específico, a erosão por salpicamento (*splash erosion*), desencadeada pelo impacto das gotas da chuva e a erosão laminar, controlada pelo fluxo difuso superficial de água.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. estabelecer o papel dos fatores condicionantes da erosão nas encostas;
2. identificar a erosão por salpicamento;
3. identificar e avaliar a erosão laminar.

INTRODUÇÃO

Conforme já definido na Aula 4, a erosão corresponde ao deslocamento e transporte de partículas/sedimentos de um ponto a outro da superfície terrestre, impulsionados pela interface da gravidade e dos agentes erosivos (**Figura 5.1**). É o processo de desgaste e esculturação da superfície terrestre. Tão antigo quanto a história natural do planeta, é um importante modelador da paisagem.



Figura 5.1: Erosão em encosta em Teresópolis, RJ.

Fonte: Foto dos autores.

A erosão é um processo natural que tem-se intensificado (acelerado) devido às ações humanas, que tem provocado mudanças desastrosas no meio natural, acelerando os processos erosivos na superfície terrestre. Ações como o desmatamento, as queimadas, as práticas agrícolas não conservacionistas, cortes no solo para construção de estradas, entre outros, têm intensificado os processos erosivos.

A erosão é considerada previsível (normal), quando há uma relação de equilíbrio entre os processos de formação do solo (intemperismo) e seu desgaste natural. Quando o processo erosivo é mais intenso que o de formação dos solos, ocorre o que chamamos de erosão acelerada.

Com isso, aumentam os problemas de enchentes, o assoreamento dos canais, a perda dos nutrientes do solo e da área de plantio, afetando a qualidade dos recursos hídricos, dentre outros.

Apesar da importância dos solos para a sobrevivência humana, dos animais e dos vegetais na superfície terrestre, o Brasil perde anualmente milhares de toneladas de solo através da erosão (**Figura 5.2**). Esse contexto no país tem relação com o regime de chuvas tropicais e com o manejo inadequado dos solos. Entretanto, vale lembrar que o problema da erosão dos solos não é restrito a países que se localizam na faixa de clima tropical, mas tem sido percebido em escala mundial.



Figura 5.2: Erosão acelerada em encosta no município de Magé, RJ. Ao fundo, a estrada Rio-Teresópolis.
Fonte: Foto dos autores.

Nesse sentido, esta aula abordará os condicionantes que controlam a erosão dos solos nas encostas e, em específico, a erosão desencadeada pelo impacto das gotas das chuvas e pelo escoamento superficial de água, distribuído de forma dispersa pela encosta, não ocorrendo rotas preferenciais.

Fatores condicionantes da erosão

O tipo de chuva, o tipo de solo, a cobertura vegetal, o uso do solo e a característica da encosta são os fatores que condicionam e controlam o processo erosivo nas encostas.

É na interação desses fatores que estão as respostas para as diferentes taxas e tipos de erosão que ocorrem na superfície terrestre. É importante ressaltar que as atividades antrópicas podem alterar esses fatores, potencializando ou diminuindo os processos erosivos.

Tipo de chuva

A característica da chuva é fundamental para o entendimento do processo erosivo. O tipo de chuva determina a capacidade de este evento causar erosão nas encostas. Guerra (1994) define o potencial erosivo das precipitações em erosividade da chuva.

Os dados utilizados para o conhecimento do potencial erosivo da chuva são o total de precipitação, a intensidade do evento e a energia cinética.

Há uma relação entre a quantidade de chuva e o aumento da erosão, principalmente em encostas desmatadas ou com atividade agrícola. Entretanto, a análise deve ser sempre integrada com os outros fatores condicionantes da erosão.

A intensidade da chuva corresponde à quantidade de precipitação relacionada ao tempo de duração do evento. Obtém-se a intensidade da chuva dividindo o total de chuva pelo tempo de duração do evento.

É comum relacionarmos a intensidade da chuva com as taxas de infiltração da água no solo, que têm relação direta com o escoamento de água nas encostas. Como exemplo, pense em um evento com elevado índice pluviométrico, mas de rápida duração. Pense nessas típicas chuvas de verão que, em muitos casos, em 20 ou 30 minutos já causam pontos de alagamento nas ruas. Essa chuva de alta intensidade não é acompanhada de uma rápida infiltração de água no solo, que é um processo mais lento, visto que a partir do encharcamento do solo, a infiltração diminui rapidamente, o que acaba gerando um escoamento de água nas encostas, aumentando a capacidade da chuva de causar erosão superficial.

A energia cinética é a energia que chega às encostas medida pelo número total de gotas de um evento chuvoso. A energia cinética está relacionada com a intensidade, a massa, o tamanho e a velocidade da gota de chuva.



Michael Wagg / Richard Bariz

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bouncing_ball_strobe_edit.jpg

A energia cinética é a energia que está relacionada com o estado de movimento de um corpo. Esse tipo de energia é uma grandeza escalar que depende da massa e do módulo da velocidade do corpo em questão. Quanto maior o módulo da velocidade do

corpo, maior é a energia cinética. Quando o corpo está em repouso, ou seja, o módulo da velocidade é nulo, a energia cinética é nula.

Expressão geral para o cálculo da energia cinética:

Um objeto de massa **m** que se move a uma velocidade de módulo **v** possui uma energia cinética **K**, que é expressa na mecânica clássica como:

$$K = \frac{mv^2}{2}$$

Unidades de energia

A unidade que expressa a grandeza escalar energia cinética (e qualquer outro tipo de energia) no Sistema Internacional de Unidades é o *Joule*. Esta unidade é representada por J, em homenagem ao cientista inglês, do século XIX, James Prescott Joule.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_cinetica

Tipo de solo

O tipo de solo determina a sua erodibilidade, que representa sua susceptibilidade à erosão. É a resistência do solo para desagregação e transporte de partículas. É importante destacar que as características dos solos são dinâmicas, visto que podem ocorrer, a todo momento, mudanças no uso e cobertura do solo, alterando a sua erodibilidade.

Dentre as propriedades do solo que interferem na erosão, destacaremos a textura, o conteúdo de matéria orgânica e a

estabilidade da estrutura do solo, a porosidade e a umidade antecedente.

A textura do solo interfere porque as frações granulométricas têm comportamentos diferenciados em relação à erosão. Determinadas frações são mais susceptíveis à erosão. Areia fina e silte, por exemplo, tendem a erodir mais que as frações mais grosseiras ou argilosas.

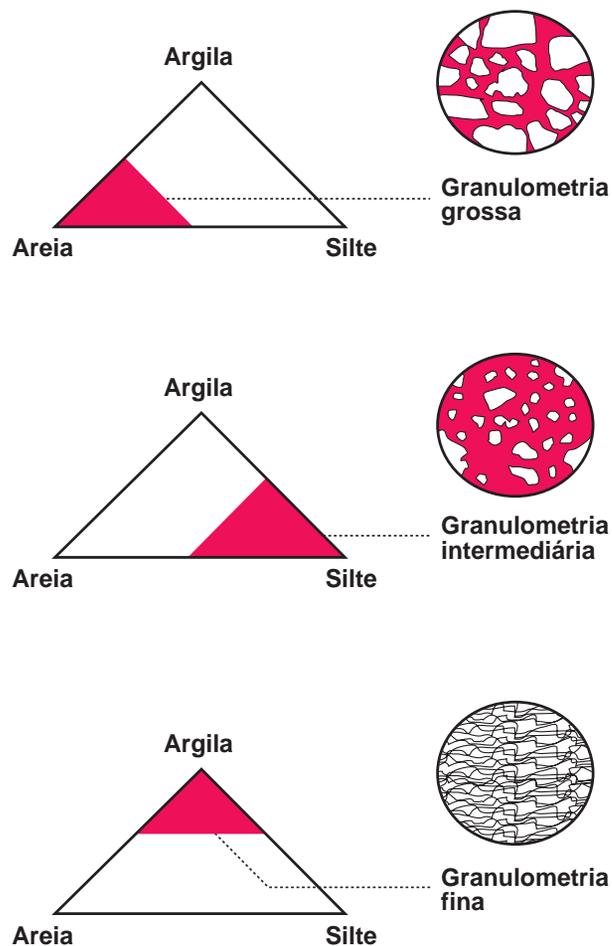


Figura 5.3: A proporção de areia, silte e argila determina a textura do solo. Por exemplo, uma maior percentagem de areia classifica o solo como sendo de granulometria grosseira.



Anatoli Syf

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/764845>

A textura do solo ou granulometria depende da proporção de areia, de silte ou de argila na sua composição. Isso influencia na:

- taxa de infiltração da água;
- armazenagem da água;
- aeração;
- distribuição de determinados nutrientes (fertilidade do solo).

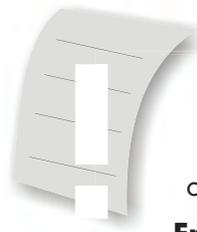
As percentagens de argila, silte e areia mudam bastante ao longo da extensão de um terreno. A maneira como esses diferentes tipos de grãos se distribuem é de extrema importância na disseminação da água no solo. A textura modifica o movimento da água.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Solo>

A matéria orgânica age como agregadora do solo. Agrega as partículas, diminuindo a erosão. Dessa forma, interfere na estabilidade da estrutura do solo.

A porosidade interfere na infiltração da água no solo. Quanto mais baixa a porosidade, menor será a infiltração de água, gerando o escoamento superficial.

A umidade antecedente é o estado de umidade em que se encontra o solo antes do início do evento chuvoso, que influi na resposta de infiltração e, por conseguinte, na geração do escoamento superficial, potencializando a erosão hídrica na encosta.



Erosividade – É o potencial erosivo das precipitações. O tipo de chuva determina a capacidade de esse evento causar erosão.

Erodibilidade – É a susceptibilidade à erosão de cada tipo de solo. É a resistência do solo para desagregação e transporte das partículas.

Cobertura vegetal e uso do solo

A cobertura vegetal e o uso do solo têm papel fundamental nos processos erosivos. Influenciam na energia cinética da chuva, na estabilidade da estrutura do solo, na infiltração, entre outros. Influenciam na forma como a água chega ao solo, visto que, dependendo da cobertura, esta irá facilitar ou proteger o solo da erosão.

Um solo florestado (**Figura 5.4a**), por exemplo, reduz a quantidade de água que chega a ele, devido à interceptação da cobertura vegetal. Já uma encosta com atividade agrícola tradicional tende a aumentar os processos erosivos (**Figura 5.4b**). Isso se deve não apenas aos maiores volumes de água, mas, sobretudo, ao impacto direto das gotas sobre o solo, que aumenta a capacidade de remoção de partículas e a eficiência do escoamento superficial em gerar erosão. Esse fato é agravado pelas práticas agrícolas

convencionais que, com grande frequência, permitem que os solos fiquem diretamente expostos à chuva, modificando suas propriedades físicas e intensificando o escoamento superficial das águas.



Figura 5.4: Exemplo de encosta com cobertura florestal (a). Exemplo de encosta com atividade agrícola (b).

Fonte: (a) Foto dos autores; (b) www.pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Baia_de_Antonina_vista_da_Serra_do_Mar

Características das encostas

As características das encostas que mais comumente afetam a erosão são a declividade e a forma da encosta.

A declividade interfere na velocidade do fluxo de água na encosta; quanto maior a velocidade, maior o potencial em remover e transportar partículas. Entretanto, em encostas muito íngremes, a erosão tende a diminuir, devido a já não haver mais tanto material disponível para transporte.

A forma das encostas é também fundamental aos processos erosivos, pois determina o direcionamento dos fluxos de água, conforme conteúdo desenvolvido na última aula. Talvez fosse interessante você visitar nossa última aula.



Atende ao objetivo 1

Identifique os fatores que condicionam os processos erosivos. É possível identificar isoladamente um desses fatores para explicar um evento erosivo? Justifique sua resposta.

Resposta comentada

Os fatores que condicionam o evento erosivo são: o tipo de chuva, o tipo de solo, a cobertura vegetal, o uso do solo e a característica da encosta. Não é possível, com base em apenas um fator, explicar o desencadeamento de um processo erosivo, pois é justamente na interação desses fatores que estão as respostas para as diferentes taxas e os tipos de erosão que ocorrem na superfície terrestre. É fundamental analisá-los conjuntamente. É também importante ressaltar que a atividade antrópica vem alterando esses fatores, potencializando ou diminuindo os processos erosivos.

Erosão por salpicamento

A erosão por salpicamento ou *splash-erosion* é causada pelo impacto das gotas da chuva no solo (**Figura 5.5**). O impacto promove o arrancamento e deslocamento de partículas do solo.



Figura 5.5: Impacto de uma gota de água sobre o solo.

Fonte: http://www.dicionario.pro.br/index.php/Arquivo:Rain_splash.jpg

Típico de solos expostos, onde não há cobertura vegetal atuando no amortecimento das gotas da chuva, esse impacto remove/transporta partículas tanto para baixo quanto para cima da encosta (**Figura 5.6**).

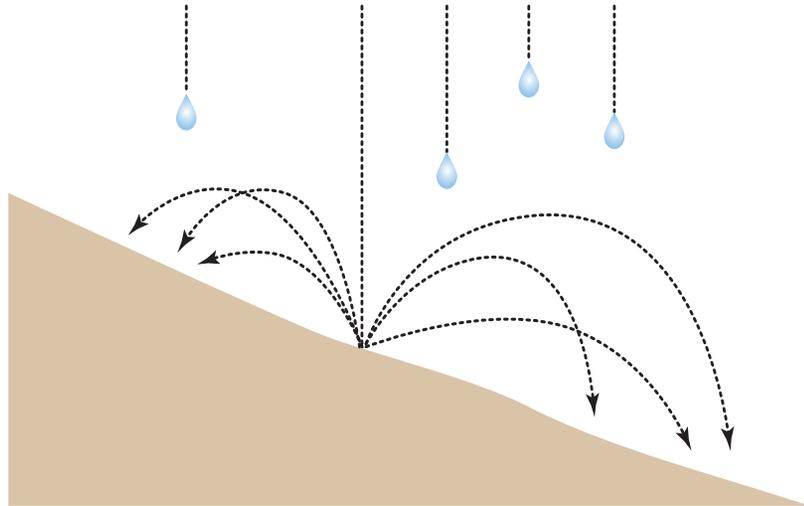


Figura 5.6: Remoção de partículas do solo por *splash* em encostas.

O *splash* é maior no início da chuva; depois, tende a alcançar um estágio de equilíbrio, pois o próprio fluxo de água tende a gerar uma lâmina de água no solo, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva.

Além disso, o impacto das gotas de chuva pode quebrar os agregados existentes, formando crostas no solo, dificultando a infiltração (**Figura 5.7**). A formação de crostas é um importante mecanismo que ocorre na superfície do solo antes de acontecer o escoamento superficial. A grande importância do estudo das crostas para os processos erosivos é que, uma vez formadas, a superfície do solo se torna selada, diminuindo bastante a infiltração de água e aumentando, conseqüentemente, o escoamento superficial. Com isso, o *splash-erosion*, ao potencializar o escoamento superficial, fornece condições para ativação de outros processos erosivos, como o de natureza laminar, desenvolvido no próximo tópico, e linear, que veremos na próxima aula.

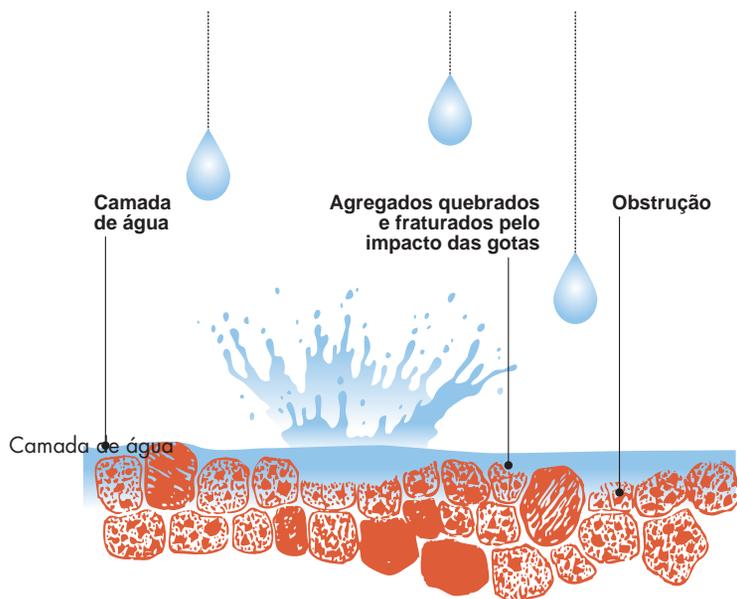


Figura 5.7: Exemplo de material desagregado pela ação do *splash*, obstruindo os poros superficiais (selagem do solo).



Atende ao objetivo 2

Quando observamos a chuva sobre uma superfície de solos expostos, podemos perceber o impacto que essas gotas promovem nas partículas agregadas do solo e o seu potencial para remover e transportar essas partículas. Quais as principais características da erosão por salpicamento? Como os diferentes tipos de chuva podem influenciar nesse processo?

Resposta comentada

Esse tipo de erosão ocorre principalmente em solos expostos, pois em áreas com cobertura vegetal, as plantas protegem o solo do gotejamento direto da chuva. Esse tipo de erosão é bastante comum em áreas agrícolas, onde os tratos culturais convencionais deixam amplas superfícies de terreno expostas à ação direta das gotas da chuva e/ou irrigação durante uma fase do manejo. Ocorre também em áreas recentemente queimadas e em cortes de estradas, áreas de mineração e no interior de cicatrizes de deslizamentos de terra. Depende do número e tamanho das gotas durante um evento de chuva (erosividade) e das propriedades do solo que lhe conferem maior ou menor resistência ao impacto das gotas (erodibilidade). Portanto, diferentes características das chuvas, como altura e intensidade, são bastante relevantes na determinação das taxas de erosão relacionadas a esse mecanismo erosivo.

Erosão laminar

A erosão laminar é também conhecida por erosão em lençol. Esse processo é desencadeado pelo escoamento superficial difuso de água na encosta, ou seja, o fluxo de água ocorre disperso na encosta, não se concentrando em canais, gerando um lençol de água (**Figura 5.8**).

Caracteriza-se por um movimento uniforme de partículas pequenas da camada superficial do solo, geralmente em declividade uniforme. Erosão típica de chuvas prolongadas, quando ocorre a formação de crostas ou mesmo a saturação de água no solo, que geram o escoamento superficial. Quanto maior a turbulência e velocidade do escoamento, maior o potencial da erosão laminar.

Devido ao fluxo constante e uniforme de água, as pequenas e mais superficiais partículas são arrastadas. Porém, estas são as partículas mais ricas do solo – física e quimicamente –, e por não

ser percebida rapidamente, é comumente conhecida como um tipo de erosão traiçoeira.



Ana Paula Hirama

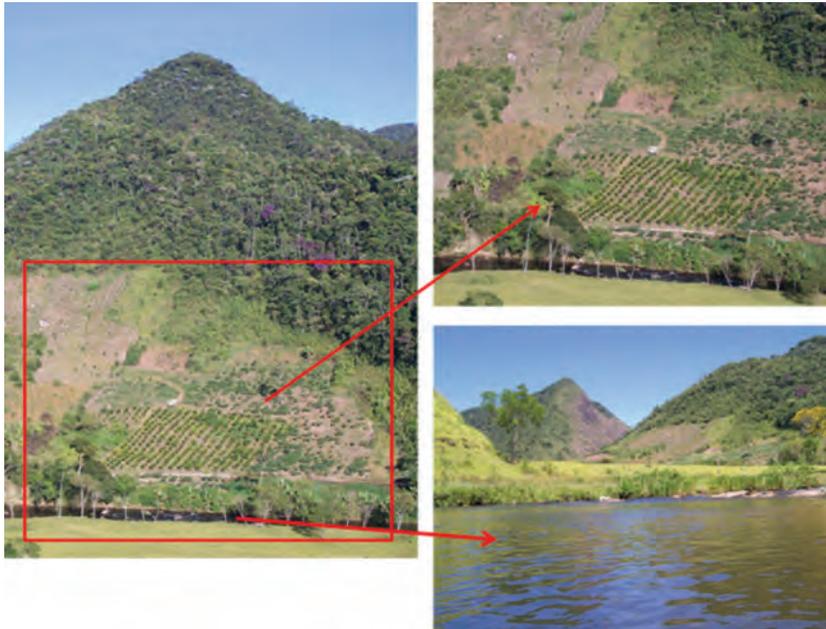
Figura 5.8: Erosão laminar após chuva de verão.

Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eros%C3%A3o_em_solo_de_Piracicaba_SP.jpg



Atende ao objetivo 3

Observe as figuras a seguir e faça um texto destacando as relações entre a erosão laminar, as características das encostas e as da cobertura vegetal.



Fonte: Foto dos autores.

Resposta comentada

Como podemos observar nas figuras, existe uma estreita relação entre as características das encostas e as da cobertura vegetal com os processos erosivos relacionados à erosão laminar. Podemos observar que as áreas agrícolas podem permitir esse tipo de erosão devido à ação do escoamento superficial da água da chuva. Observa-se que a declividade das encostas e a morfologia das vertentes são fatores fundamentais na determinação das taxas de erosão laminar, bem como sua relação com o transporte de sedimentos pela dinâmica fluvial, já que os fluxos de erosão laminar se direcionam para os fundos de vale, onde se encontra a rede de drenagem.

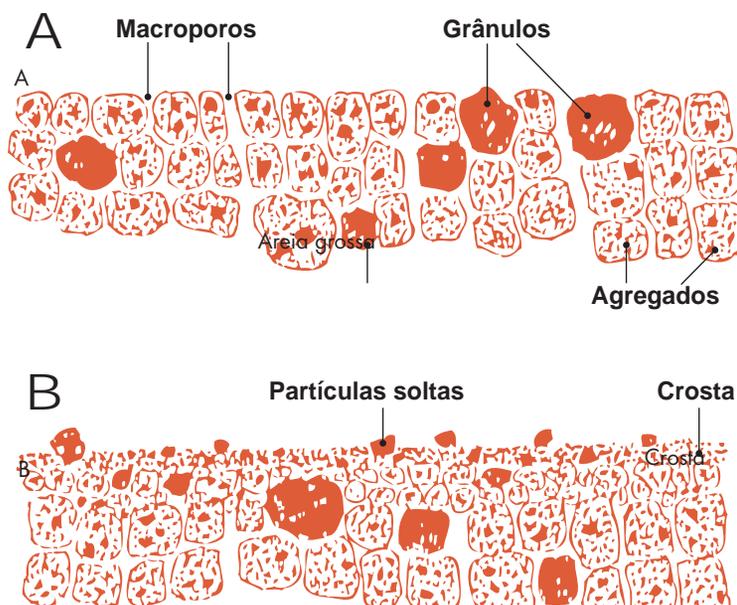
CONCLUSÃO

Ao final desta aula, conclui-se o quanto é complexo o estudo da erosão dos solos. E que, para o entendimento de processos erosivos básicos, como a erosão por salpicamento (*splash-erosion*) e a erosão laminar (erosão em lençol) apresentadas aqui, ou mesmo outros processos erosivos, é fundamental que se considerem os fatores que controlam a erosão de forma integrada. O estudo de erosão de solos deve ter sempre um caráter multidisciplinar.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Observe a figura A, que representa um solo bem estruturado e poroso, e a figura B, que esquematiza um solo selado pela formação de uma crosta:



Com base nas figuras e nos conhecimentos adquiridos nesta aula, explique a formação da crosta no solo, pontuando os fatores condicionantes envolvidos nesse processo, relacionando-os com a possibilidade de desencadear uma erosão laminar.

Resposta comentada

A formação das crostas no solo, neste caso, se dá pelo impacto das gotas de chuva (tipo de chuva – energia cinética), que quebram os agregados existentes, obstruindo os poros superficiais; típico de solos expostos, onde não há cobertura vegetal atuando no amortecimento das gotas da chuva (tipo de cobertura vegetal e uso do solo). Com a formação dessas crostas e a consequente selagem do solo, a infiltração fica dificultada, aumentando, conseqüentemente, o escoamento superficial. Assim, o *splash-erosion*, ao potencializar o escoamento superficial, fornece condições para ativação da erosão laminar.

RESUMO

A erosão corresponde ao deslocamento e transporte de partículas/sedimentos de um ponto a outro da superfície terrestre, impulsionados pela interface da gravidade e dos agentes erosivos.

A erosão é considerada normal quando há uma relação de equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste natural. Quando o processo erosivo é mais intenso que o de formação dos solos, ocorre o que chamamos de erosão acelerada.

Todos os fatores condicionantes – chuva, solo, cobertura vegetal, uso do solo e as características das encostas – devem ser considerados

integradamente para o entendimento do processo erosivo, o que nos leva a concluir a complexidade do estudo da erosão dos solos.

A erosão por salpicamento ou *splash-erosion* é aquela causada pelo impacto das gotas da chuva. O impacto promove o arrancamento e o deslocamento de partículas do solo.

A erosão laminar é também conhecida por erosão em lençol. Esse processo é desencadeado pelo escoamento superficial difuso de água na encosta, ou seja, o fluxo de água ocorre disperso na encosta.

Por fim, a erosão dos solos tem várias origens e afeta as atividades humanas de diversas maneiras; daí, ser um assunto multidisciplinar, envolvendo profissionais de várias áreas do conhecimento, como a Geografia, a Agronomia e a Geologia.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, veremos os processos erosivos de natureza linear. São os processos erosivos nas encostas provocados pelo fluxo concentrado de água. Nesse caso, a água que remove e transporta as partículas concentra-se em vias preferenciais.

Aula 6

Processos erosivos nas encostas: erosão linear

*Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Metas da aula

Conhecer os processos erosivos de comportamento linear (sulco erosivo, ravinamento e voçorocamento) e os mecanismos erosivos associados a estas feições erosivas.

Apresentar algumas medidas de contenção da erosão linear acelerada.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar a erosão em sulcos erosivos e ravinas, compreendendo a ação dos mecanismos erosivos, relacionados ao escoamento superficial concentrado;
2. reconhecer a erosão em voçorocas, compreendendo os processos de voçorocamento e suas relações com os mecanismos erosivos, relacionados aos fluxos subsuperficiais;
3. pontuar técnicas de controle da erosão, identificando as diferentes estratégias utilizadas no enfrentamento dos distintos mecanismos erosivos.

Introdução

Na nossa última aula (Aula 5), iniciamos o assunto de erosão nas encostas e apresentamos os fatores que controlam a erosão e a erosão por salpicamento (*splash-erosion*) e a laminar (em lençol). Vimos que a erosão é a remoção e transporte de partículas no solo e que seu entendimento requer uma abordagem multidisciplinar.

Nesta aula, continuaremos a estudar a erosão nas encostas, entretanto a partir de outros processos erosivos, os de origem linear.

Consideramos erosão linear aquela desencadeada por um fluxo preferencial de água nas encostas, onde devido à concentração do escoamento em determinados segmentos das encostas, temos um aumento no volume de água e, conseqüentemente, um incremento na sua capacidade de remover e transportar as partículas do solo.



Figura 6.1: Erosão linear acelerada na bacia hidrográfica do Rio Iriri – Magé, RJ.

Fonte: Foto dos autores.

Os efeitos da erosão linear são mais visíveis na paisagem do que os efeitos da erosão laminar (vistos na Aula 5), são mais intensos

e mais rápidos e por isso são também chamados de erosão acelerada (**Figura 6.1**). Chamamos de erosão em sulcos erosivos e ravinas, quando as feições erosivas estão relacionadas ao escoamento superficial concentrado e erosão em voçorocas, quando essas feições estão relacionadas à ação dos fluxos subsuperficiais nas encostas.



Os efeitos da erosão linear, também chamada de erosão acelerada, são mais visíveis, intensos e mais rápidos do que a erosão laminar.

Você já deve ter percebido o quanto este tema é importante para a Geomorfologia, principalmente para Geomorfologia brasileira, visto a localização do país em faixa tropical que apresenta chuvas de alta intensidade, sobretudo no Verão. Associado a isso, temos ainda a ausência de práticas de conservação do solo, o que torna a erosão acelerada um importante processo modelador da paisagem.

Sendo assim, mãos à obra. Começaremos pela erosão em sulcos erosivos e ravinas.

Erosão em sulcos e ravinas

A erosão em ravinas é o processo provocado pelo escoamento superficial nas encostas, concentrado em pequenas linhas de drenagem que se formam nos solos. A água acumula-se nas depressões da superfície do solo e a força de **cisalhamento** do fluxo de água encosta a baixo poderá remover partículas e gerar as ravinas. Segundo Ellison (1947) in Guerra (1994), essas linhas de drenagem ou ravinamento são geralmente formadas quando a velocidade do fluxo de água na encosta é superior a 30cm/s, o que torna o fluxo turbulento (**Figura 6.2**).

Cisalhamento

Fenômeno de deformação ao qual está sujeito um corpo quando as forças que atuam sobre ele provocam um deslocamento em planos diferentes, mantendo constante o volume.

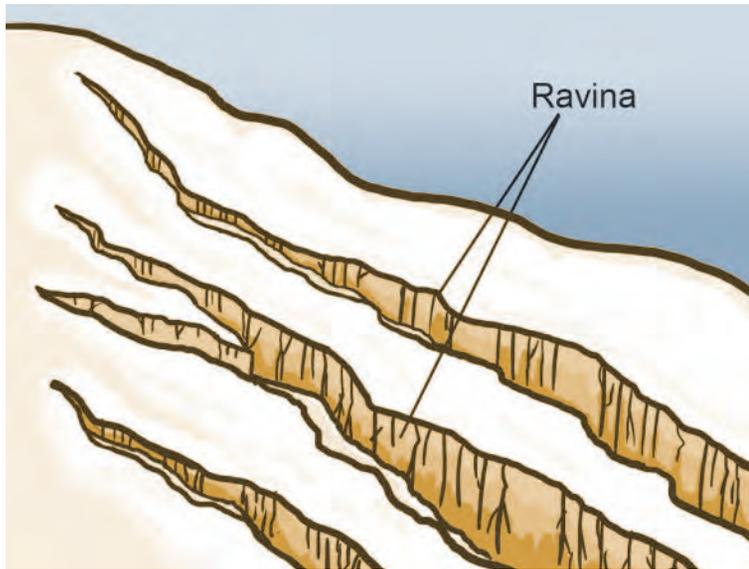


Figura 6.2: Erosão em ravinas nas encostas.

Esse fluxo turbulento ocasiona incisões no solo, que concentram os fluxos de água em microcanais, intensificando os processos erosivos. É através desse processo que são formados os sulcos erosivos ou pequenas ravinas (**Figura 6.3**).



Figura 6.3: Sulcos erosivos em encosta (Cachoeiras de Macacu, RJ).
Fonte: Foto dos autores.

Como já comentado, o aparecimento dessas incisões no solo tem relação com a geração do escoamento superficial nas encostas, desencadeado no momento em que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração de água no solo, gerando esses fluxos de água nas encostas.

Geralmente, o processo erosivo em sulcos erosivos é regulado pelos eventos chuvosos. Uma chuva pode, por exemplo, formar uma rede de sulcos erosivos (pequenas ravinas) e um novo evento chuvoso de alta intensidade eliminar essas incisões e formar novas rotas de erosão. Quando a feição erosiva torna-se permanente, devido ao seu aprofundamento e aumento de tamanho passa a ser denominada de ravina (**Figura 6.4**).

A geração de ravinas está bastante relacionada com a retirada da cobertura vegetal, sobretudo a cobertura florestal, pois a mesma tem a função de minimizar a geração de fluxos superficiais nas encostas. Tal fato ocorre devido à formação da camada de serapilheira que, associada à malha de raízes e à ação da fauna do solo, proporcionam um horizonte superficial do solo bastante permeável, o que favorece a infiltração da água da chuva.

Além disso, destaca-se que o uso agrícola do solo nas encostas também pode incrementar a dinâmica hidroerosiva em sulcos e ravinas, pois as técnicas de manejo tradicional costumam manter amplas áreas das encostas desnudas, especialmente durante a preparação do plantio e as primeiras semanas após a germinação, quando as lavouras ainda não cresceram o suficiente para proteger o solo desse tipo de erosão.



A camada de serapilheira é uma cobertura de detritos orgânicos em variados estágios de decomposição que recobrem os solos vegetados. As características dessa camada variam de acordo com o tipo de vegetação e estão relacionadas ao subsistema de decomposição e a ciclagem de nutrientes. Possui uma função ecológica relevante e, em relação à dinâmica erosiva, atuam na proteção do solo do gotejamento e na minimização dos fluxos superficiais.



Figura 6.4: Erosão por ravinamento em encosta em Cachoeiras de Macacu, RJ

Fonte: Foto dos autores.

A evolução das ravinas em relação ao seu comprimento, largura e profundidade poderá gerar outro processo erosivo, ainda mais intenso, como o voçorocamento, que será discutido no próximo tópico.

Erosão em voçorocas

A erosão em voçorocas representa um processo de erosão acelerada, denotando alta instabilidade na paisagem (**Figura 6.5**). Expressam o estágio mais evoluído dos processos erosivos.



Figura 6.5: Erosão em voçoroca. Estrada Rio-Teresópolis (Magé – RJ).
Fonte: Foto dos autores.

Dutos subterrâneos

Dutos são verdadeiros canais que são abertos em subsuperfície, com diâmetro que podem variar de poucos centímetros até vários metros. Os dutos formam-se devido à dissolução e carreamento dos minerais em subsuperfície, sendo responsáveis pelo transporte de grande quantidade de material, podendo ter vários metros de comprimento. O solo que está situado acima desses dutos pode sofrer um processo de colapso, dando origem a uma voçoroca (GUERRA; GUERRA, 2011).

Além do escoamento superficial, o voçorocamento apresenta como característica o fluxo subsuperficial de água, através de **dutos subterrâneos**, acelerando os processos erosivos. São feições permanentes que, segundo Coelho Netto (2003), podem estar ou não conectadas à rede de drenagem do local de ocorrência (**Figura 6.6**).

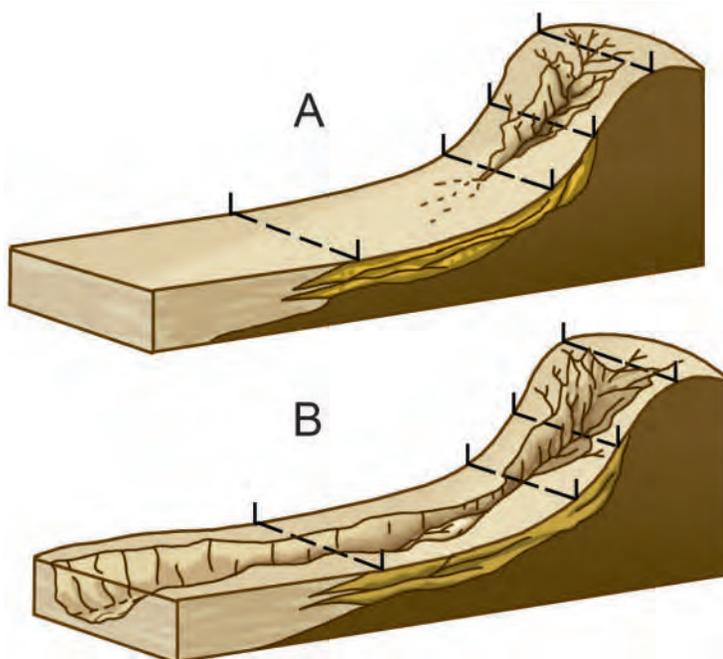


Figura 6.6: Esquema representando a evolução do processo erosivo em voçorocas. A – Voçoroca desconectada da rede hidrográfica; B – Voçoroca conectada à rede de canais.

Caracterizam-se por apresentarem paredes íngremes (**Figura 6.7**), considerável profundidade e umidade em seu interior e, fluxo de água durante as chuvas. Caracterizam-se, também, por atingirem o lençol de água e a ocorrência de erosão por infiltração da água subterrânea.



Figura 6.7: Voçoroca desconectada da rede de drenagem
Fonte: Foto dos autores.

As voçorocas estão diretamente relacionadas à ação dos fluxos sub superficiais nas encostas pois o principal mecanismo erosivo é a infiltração desses fluxos na base das paredes da voçoroca que instabilizam o material localizado acima através do solapamento (**Figura 6.8** e **6.9**). Dunne (1990) propôs o termo "*Seepage Erosion*" ou Erosão por Vazamento para descrever esse mecanismo. A remoção de material por gotejamento direto nas paredes da voçoroca, bem como pelo fluxo superficial concentrado no eixo da mesma, embora presentes nessas feições são considerados mecanismos secundários.



Figura 6.8: Exfiltração de fluxos subsuperficiais na parede de voçorocas. O vazamento constante durante o período chuvoso produz solapamento na parede da voçoroca que é o principal mecanismo de propagação das voçorocas nas encostas.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 6.9: Material recentemente removido da parede da voçoroca e ainda localizado na parede da mesma. Tal fato ocorre em função da exfiltração de fluxos subsuperficiais na base da parede que instabiliza o material localizado acima devido ao processo de solapamento.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 6.10: Formação de Túnel Erosivo no interior de voçorocamento localizado em Magé – RJ. Essa feição erosiva está relacionada a ocorrência de dutos preferencias de escoamento sub superficial.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 6.11: Erosão em voçoroca no município de Magé – RJ. Ao fundo, a estrada Rio-Teresópolis. Essas feições fornecem grande quantidade de material para a rede de drenagem, intensificando o processo de assoreamento de canais fluviais e aumentando o risco de enchentes durante chuvas intensas.

Fonte: Foto dos autores.

As causas de ocorrência do voçorocamento estão ligadas, assim como nos demais tipos de Erosão Linear (sulcos e ravinas) ao desmatamento, as atividades agropastoris e aos cortes de estrada em áreas urbanas e rurais. Também são observadas em áreas de mineração que não apresentem projetos de controle de erosão via contenção de encostas e reflorestamento.

O surgimento da voçoroca esta associado:

- a expansão de um processo de ravinamento;
- a presença de dutos (*piping*) nas encostas, que geram o escoamento subsuperficial. Após a retirada da cobertura vegetal, aumenta-se o fluxo de água nos dutos, que por conseguinte, vão aumentando o diâmetro dos dutos até colapsar a parede superior, gerando a feição de voçorocamento;

- aos antigos deslizamentos, quando estes deixam cicatrizes, gerando o escoamento concentrado de água na cicatriz evoluindo para uma feição de voçoroca (**Figura 6.12**).



Figura 6.12: Possível evolução para um processo de voçorocamento após deslizamento de terra. Nova Friburgo – RJ

Fonte: Foto dos autores



Atende aos objetivos 1 e 2

Com base nos processos erosivos discutidos nesta aula, assinale 1 para erosão em ravinação e 2 para erosão em voçorocas.

- () Apresentam feições permanentes na paisagem.
- () As feições nas encostas são descontínuas.
- () Não há conexão direta com a rede de canais.
- () Geralmente, associam-se à rede de canais.

- () Regulada pelo fluxo subsuperficial de água, identificada através de dutos nas paredes dessas formas erosivas.
- () Processo erosivo determinado pelo fluxo superficial de água.

Resposta comentada

A sequência correta seria 2-1-1-2-2-1. A erosão em voçorocas são feições permanentes que se associam à rede de drenagem do local de ocorrência e caracteriza-se por apresentarem fluxo subsuperficial de água, através de dutos, que aceleram os processos erosivos. Enquanto as ravinas provocadas pelo escoamento superficial nas encostas e são descontínuas, visto que, uma chuva pode, por exemplo, formar uma rede de ravinas e um novo evento chuvoso de alta intensidade obliterar essas incisões e formar novas rotas de erosão.

Técnicas de contenção de erosão

Para que se controlem as atividades erosivas, é necessário que se conheça bem a dinâmica da água nas encostas.

Como você já deve ter percebido, nos tópicos de erosão laminar e linear, é preciso sempre evitar o impacto das gotas de chuva nos solos e as rotas de fluxos preferenciais de água, que, respectivamente, desencadeiam e potencializam os processos erosivos nas encostas.

É fundamental também, que se busque o aumento da capacidade de infiltração, que está diretamente relacionado com a geração de escoamento e com a velocidade da água nas encostas.

Além disso, é importante lembrar, o papel da vegetação no amortecimento do impacto das gotas de chuva e no aumento da capacidade de infiltração de água no solo, conforme já discutido na nossa última aula. Talvez seja importante você revisar os fatores condicionantes da erosão nas encostas.

Sendo assim, as ações que visam conter a erosão podem ser desenvolvidas com o emprego de práticas mais conservacionistas de manejo e uso do solo e/ou com medidas *in loco* nas rotas de erosão.

Entre as medidas conservacionistas do uso agrícola do solo, pode-se destacar: o plantio direto, o plantio em curvas de nível e o terraceamento.

O plantio direto é aquele que se difere do tradicional pela não preparação do solo, na qual a semeadura (sementes, mudas e adubos) é colocada diretamente no solo sem a retirada de restos vegetais, por exemplo, visando à menor interferência de sua estrutura.

Já a plantio em curvas de nível são aqueles onde o plantio em curvas (faixas) acompanham o relevo do terreno, evitando a erosão.

E o terraceamento é a técnica de se fazer terraços artificiais nas encostas, com isso, diminuindo a velocidade da água e a atividade erosiva (**Figura 6.13**). Essa técnica pode ser aplicada em áreas agrícolas ou mesmo, em cortes no relevo, devido a estradas e ferrovias, que também podem avançar para erosão em ravinas e voçorocas.



Doron

Figura 6.13: Representação de terraceamento.

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LongjiTerraces.jpg>

Agora, observe algumas medidas diretas que podem ser aplicadas nas rotas erosivas:

- captação de água acima da incisão erosiva. Esta captação tem o objetivo de desviar o fluxo de água das rotas de erosão, que podem ser feitas através de canaletas, até um ponto onde podem ser dispersas;
- estruturas de estabilização, com paredes ou redes naturais, que permitem o desenvolvimento da vegetação e protegem o solo da atividade erosiva;
- plantio de plantas protetoras que retêm os sedimentos removidos das áreas acima e a revegetação com espécies nativas, que já estão adaptadas ao tipo de solo e clima da região;



Quer saber mais sobre o controle da erosão em voçorocas, então assista à entrevista veiculada pelo Globo Rural em 03/10/2010, com o Pesquisador e Engenheiro Florestal Alexander Resende da Embrapa Agrobiologia – Seropédica, RJ, no endereço a seguir: <http://www.youtube.com/watch?v=Mnskhsmojml>.

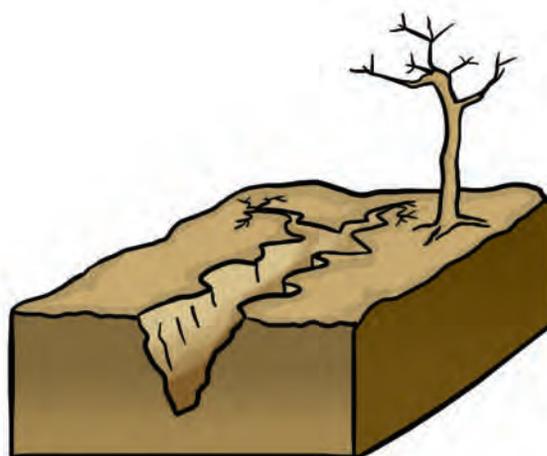
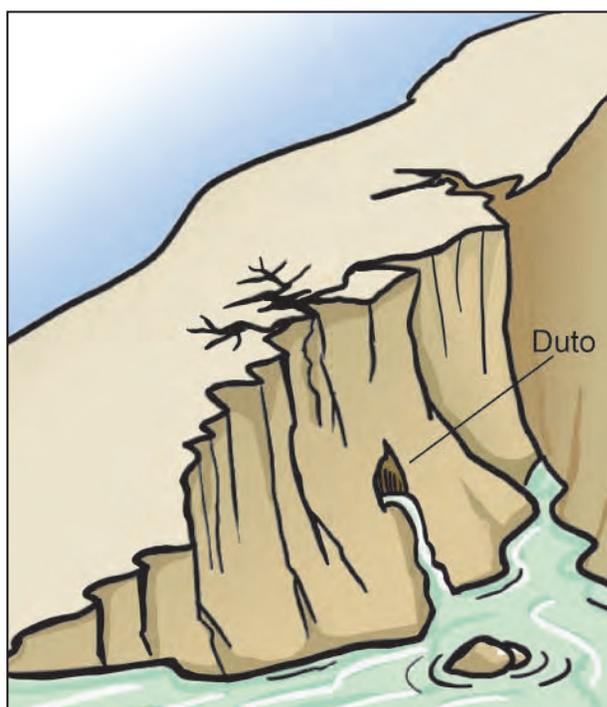
CONCLUSÃO

Por fim, conclui-se o quanto é importante e multidisciplinar o estudo de erosão dos solos e, por isso, a necessidade do trabalho em conjunto de diversos profissionais. Para identificar e entender os diferentes processos erosivos que ocorrem nas encostas, como os que foram trabalhados nesta aula (erosão em ravinas e voçorocas), é fundamental que se conheça os fatores que controlam esta atividade e toda a dinâmica da água nas vertentes.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Analise as imagens abaixo (I e II) e responda ao que se pede:



- a) Qual imagem está representando a erosão em ravinas e qual a erosão em voçorocas? Justifique a sua resposta.
- b) A partir da imagem que você identificou como erosão em voçorocas, identifique técnicas que possibilitem controlar esse processo erosivo.

Resposta comentada

- a) A imagem 1 representa a erosão em voçorocas e a imagem 2 a erosão em ravinas. Isto porque na imagem 1, além apresentarem paredes íngremes, ocorre a presença de dutos, denotando o fluxo subsuperficial de água, características do voçorocamento.
- b) A primeira medida seria captar a água acima da voçoroca, para diminuir o fluxo de água no interior da mesma e, conseqüentemente, a atividade erosiva. Poderia utilizar também as plantas protetoras para reter os sedimentos e iniciar um trabalho de revegetação.

RESUMO

A erosão linear é aquela desencadeada por um fluxo preferencial de água nas encostas, que dependendo dos processos e da dinâmica da água atuantes classificamos em erosão em ravinas ou erosão em voçorocas.

A erosão em ravinas é o processo provocado pelo escoamento superficial de água nas encostas, concentrado em pequenas linhas de drenagem que se formam nos solos. Geralmente, o processo erosivo em ravinas é regulado pelos eventos chuvosos. Uma chuva pode, por exemplo, formar uma rede de sulcos erosivos (pequenas ravinas) e um novo evento chuvoso de alta intensidade eliminar essas incisões e formar novas rotas de erosão.

Já a erosão em voçorocas representa um processo de erosão acelerada, demonstrando o estágio mais evoluído dos processos erosivos. O voçorocamento apresenta como característica o fluxo

subsuperficial de água, que através de dutos, aceleram os processos erosivos. São feições permanentes, que geralmente se associam a rede de drenagem do local de ocorrência. Apresentam paredes íngremes, considerável profundidade, umidade em seu interior e fluxo de água durante as chuvas. Caracterizam-se, também, por atingirem o lençol de água e a ocorrência de erosão por exfiltração da água subterrânea.

Ao final da aula, conclui-se que para identificar e entender os diferentes processos erosivos que ocorrem nas encostas, como os de origem linear que foram trabalhados nesta aula, é fundamental que se conheça bem os fatores que controlam essa atividade e toda a dinâmica da água nas vertentes.

Informações sobre a próxima aula

Na nossa próxima aula, estudaremos os Movimentos de Massa, ou seja, o rompimento de grande quantidade de material das encostas, impulsionado pela gravidade e saturação do solo.

Aula 7

Os movimentos de massa

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Metas da aula

Caracterizar os diferentes tipos de movimento de massa; discutir os fatores que regulam esses processos nas encostas e apresentar uma classificação para os distintos mecanismos relacionados aos movimentos de massa nas vertentes.

Objetivos

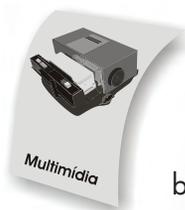
Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. caracterizar o movimento de massa e sua relevância para a dinâmica geomorfológica das encostas;
2. discutir os fatores que controlam o rompimento de massa das encostas;
3. identificar os diferentes tipos de movimentos de massa.

Introdução

Na época das chuvas, no Brasil e em todo o mundo, é recorrente acompanharmos notícias relacionadas a movimentos de massa e seus impactos às sociedades. No mês de janeiro de 2011, na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, houve uma das maiores catástrofes ambientais no Brasil – o que é um exemplo disso, e deflagra a necessidade de maior atenção e entendimento desses processos naturais na sua interface com a ocupação humana.

Torna-se cada vez mais relevante a popularização desse conhecimento, e nisso a Geografia Física Escolar tem dever e responsabilidade. Não há outra disciplina mais apropriada, nos currículos do ensino fundamental e médio no Brasil, que a Geografia, para refletir com a população através da escola sobre as causas e consequências desses fenômenos, que se apresentam constantemente em nossa realidade.



Leia a reportagem sobre o Desastre na Região Serrana em 2011, realizada pelo jornal O Globo, com a Professora Ana Luiza Coelho Netto, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Link: <http://oglobo.globo.com/rio/desastre-na-regiao-serrana-foi-maior-devido-ocupacao-irregular-do-solo-2838491>.

Não se pode prever o momento exato em que massa de solo, rocha e outros materiais inconsolidados vão se mover encosta abaixo, mas podemos, através do conhecimento geomorfológico, minimizar esses impactos na vida das pessoas, através do ordenamento do uso do solo.



Figura 7.1: Vista ampla com sinalização de cicatrizes de movimentos de massa no município de Nova Friburgo após as chuvas de janeiro de 2011. Fonte: Foto dos autores..

O movimento de massa

Os movimentos de massa são processos naturais da dinâmica externa que fazem parte da evolução da paisagem terrestre. Devido à força da gravidade, ocorrem constantemente movimentações de materiais nas encostas, podendo ser de forma lenta, às vezes imperceptíveis, ou rápidas. O Brasil, por sua condição climática úmida e presença de relevo montanhoso em muitas áreas, se torna favorável à ocorrência desses eventos naturais, que, potencializados pelo uso desordenado do solo, podem tornar esses movimentos catastróficos.

Os movimentos de solo, rocha e demais materiais inconsolidados nas encostas é o que chamamos de movimento de massa. Essa movimentação de massa de rocha e solo é determinada pela força da gravidade, pelas propriedades dos solos e pelo grau de saturação dos solos. Esse material rompe da encosta à medida que a força de coesão do sistema encosta (manutenção do seu padrão de organização) é superada pela força da gravidade (**Figura 7.2**).



Figura 7.2: Movimentos de massa no município de Nova Friburgo após as chuvas de janeiro de 2011.

Fonte: Foto dos autores.

Nesse processo pode ocorrer a saturação de água no solo, o que provoca a perda ou diminuição do atrito das partículas da massa da encosta, gerando a movimentação encosta abaixo de materiais.

Além do processo descrito sobre movimentação de massa, é importante destacar que atividades tectônicas de grande magnitude também podem gerar o desprendimento de grande volume de massa das encostas.



Na Mecânica dos solos, o Grau de saturação (S) é expresso em porcentagem e é definido como a "relação entre o volume de água (V_a) e o volume de vazios (V_v)" (PINTO, 2000) presente em uma amostra de solo, ou seja:

$$S = \frac{V_a}{V_v} \cdot 100$$

O volume de vazio (V_v) é obtido pela diferença entre o volume dos sólidos (V_s), que é calculado através do ensaio de Massa Específica Real dos Grãos, e o volume total da amostra (V), que pode ser calculado, por exemplo, pelo Método da Balança Hidrostática. O volume da água (V_a) é obtido na determinação da Umidade do solo.

Quando $S=100\%$, dizemos que o solo está saturado, porque todos os seus poros estão preenchidos com água. Se $S=0\%$ significa que o solo está totalmente seco.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Grau_de_saturacao



Assista na Tv Brasil o programa *Expedições*, veiculado em 22/02/2011 sobre a Catástrofe na Região Serrana do Rio.

O programa mostra as consequências do maior desastre natural e as perspectivas das cidades atingidas. A ONU considerou como o maior desastre natural do país e o oitavo pior deslizamento da história mundial. Link: <http://tvbrasil.ebc.com.br/expedicoes/episodio/catastrofe-na-regiao-serrana-do-rio>



Atende ao objetivo 1

Objetivamente, caracterize a ocorrência de um movimento de massa.

Resposta comentada

Os movimentos de massa caracterizam-se por quaisquer movimentos gravitacionais de massa de rocha, solo e demais materiais inconsolidados com a participação de água. Esse material move-se encosta abaixo no momento em que a força da gravidade supera a força de coesão do sistema encosta.

Fatores que controlam o movimento de massa

Nas encostas, existe permanente movimentação de materiais devido à ação da gravidade, entretanto há grande variabilidade em tais movimentações, podendo ser extremamente lentas, mostrando-se imperceptíveis ao longo dos anos, ou devastadoramente rápidas, mobilizando grande volumes de rochas e sedimentos.

Veremos a seguir os fatores que controlam essa movimentação.

Fatores naturais que controlam (influenciam) a estabilidade/instabilidade das encostas

O tipo de material que compõe a encosta: características geológicas, pedológicas e biológicas

Na superfície terrestre, o material que compõe uma encosta é dos mais variados, produto de uma complexidade de fatores, como o agente climático e geológico, gerando os diferentes terrenos.

Cada tipo de material que forma as encostas apresenta diferentes respostas na interação com os outros fatores (morfologia da encosta, grau de saturação), gerando diferentes resistências, o que, conseqüentemente, interferirá em maior ou menor suscetibilidade à movimentação.

As encostas são constituídas de materiais consolidados e inconsolidados. Solo compactado e rocha maciça são considerados materiais consolidados, enquanto solos, depósitos de areais e materiais soltos são os materiais inconsolidados. O tipo de solo, em relação à sua constituição, granulometria e nível de coesão, irá influenciar a ocorrências desses movimentos.

É importante destacar, que as encostas cobertas com materiais inconsolidados são as mais suscetíveis a ocorrências de movimentos de massa.

A literatura especializada também aponta que as encostas sem cobertura vegetal tornam-se mais propícias aos movimentos de massa, visto que perdem o sistema de raízes que ajudam a fixar os materiais nas vertentes.

A morfologia da encosta: declividade, ângulo de repouso e feição geomorfológica

A morfologia da encosta tem papel fundamental na espacialização e explicação desses eventos.

Em relação à declividade, encostas abruptas potencializam a força gravitacional sobre os materiais da encosta (propriedade *sine qua non* do movimento de massa). Entretanto, a literatura especializada aponta que há limite nessa relação entre o grau de declividade e movimentos de massa, visto que ambientes com alto grau de declive raramente terão materiais disponíveis a movimentar-se.

Ainda tratando da declividade, outro fator importante é o ângulo de repouso das vertentes, ou seja, o ângulo máximo no qual os materiais de uma encosta suportam sem desabar. Uma encosta mais inclinada que seu ângulo de repouso se torna instável, aumentando seu potencial ao deslizamento.

Geralmente, o ângulo de repouso de um monte de partículas aumenta à medida que aumenta seu tamanho (mais angulosas) (**Figura 7.3**). O ângulo de repouso também varia de acordo com a quantidade de água existente entre as partículas da vertente.



Figura 7.3: Ângulo de repouso de diferentes tipos de materiais.

Além disso, feições geomorfológicas côncavas, como discutidos na Aula 4 do curso, são áreas de convergência de fluxo de água e materiais, intensificando a participação de água no sistema vertente, aumentando a suscetibilidade a movimentos de massa.

A quantidade de água presente no sistema de vertente: grau de saturação e as chuvas

Essa característica está ligada à porosidade dos materiais das encostas (grau de saturação) e ao regime de chuvas.

Em solos saturados, a grande quantidade de água separa as partículas, possibilitando que elas deslizem. Já em encostas com materiais secos, as partículas são ligadas apenas pela sua forma (encaixe) e o atrito entre as mesmas. Já nos materiais com baixa umidade ocorre uma atração de água entre os poros, aumentando a resistência dessa encosta ao movimento de massa. Essa atração entre as moléculas de água é o que chamamos de **tensão superficial**. **(Figura 7.4)**

Um bom exemplo disso são os artistas que fazem suas esculturas com areia de praia. Para criarem suas esculturas, estão sempre as molhando, para criarem uma tensão superficial e aumentar a resistência ao desmoronamento. Caso uma onda atinja a escultura e sature os poros entre os grãos de areia, a escultura se desmancha.

Tensão superficial

É um efeito físico que ocorre na camada superficial de um líquido que leva a sua superfície a se comportar como uma membrana elástica. As moléculas situadas no interior de um líquido são atraídas em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante das forças que atuam sobre cada molécula é praticamente nula. As moléculas da superfície do líquido, entretanto, sofrem apenas atração lateral e inferior. Esta força para o lado e para baixo cria a tensão na superfície, que faz a mesma comportar-se como uma película elástica.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Tensão_superficial](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_superficial)

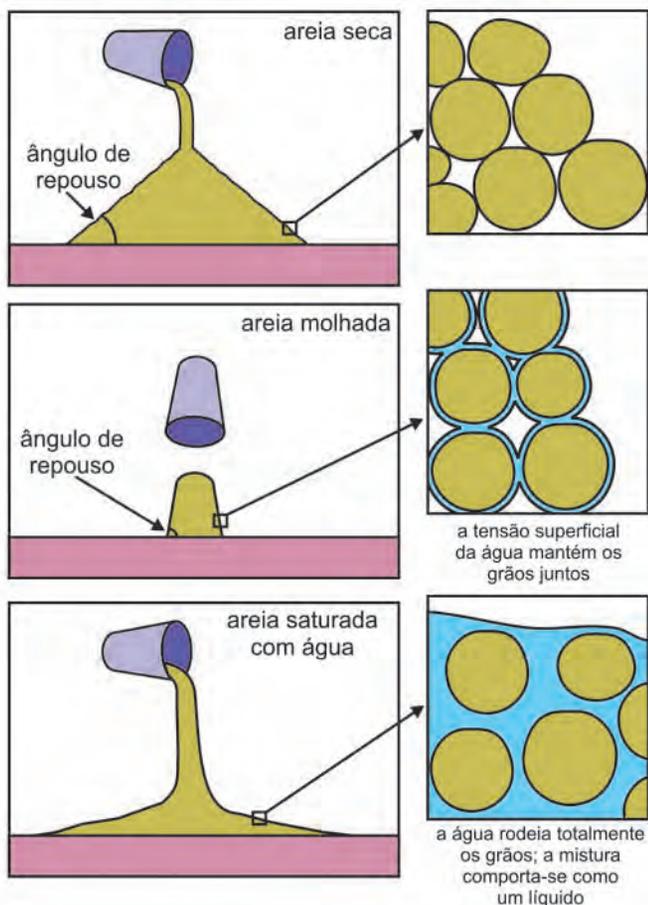


Figura 7.4: Esquema representando a tensão superficial de água em areia seca, molhada e saturada.

Regiões úmidas e com regime pluviométrico concentrando em determinados períodos do ano (verão) são mais suscetíveis a esses fenômenos.

Interferências antrópicas que influenciam na estabilidade/instabilidade das encostas

A produção social do espaço gera variadas intervenções no ambiente e, na maioria dos casos, não há preocupação com a preservação e manutenção da dinâmica natural. Parecem esquecer que a plataforma social está inserida numa plataforma física, e as intervenções precisam ser estudadas e planejadas, se não as consequências podem ser desastrosas.

Em se tratando dos movimentos de massa, são sabidas e recorrentes as ações antrópicas que influenciam potencializando esses eventos:

- intervenções na morfologia das encostas, através de cortes para abertura de sistema viário (rodovias, ferrovias, etc.) e construções, alterando o ângulo de repouso da encosta e/ou aterros com objetivo de disponibilizar áreas planas para viabilizar projetos de construção civil (**Figura 7.5**). Cortes e aterros sem estudo prévio desestabilizam as vertentes e podem ocasionar um movimento de massa (**Figura 7.6**). Os cortes e/ou aterros em degraus é menos prejudicial à encosta, por alterar menos o seu perfil natural;

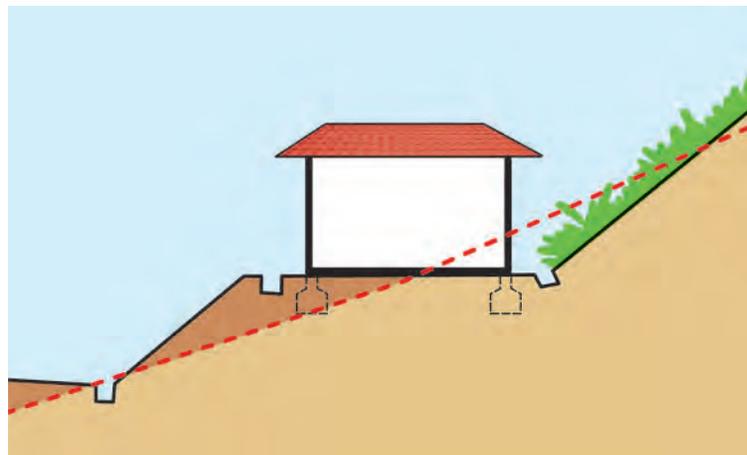


Figura 7.5: Corte e aterro formando um patamar para construção na encosta.

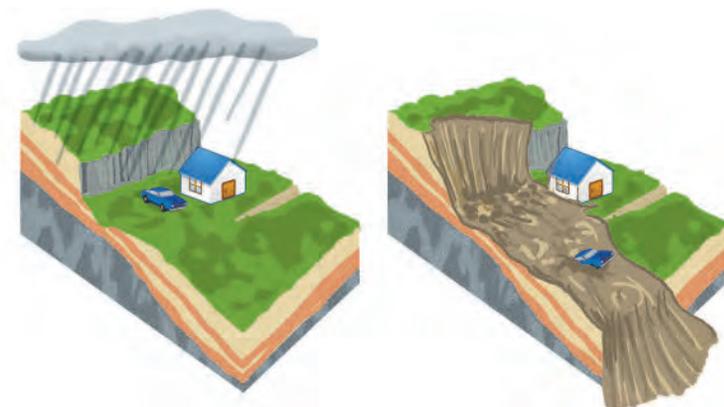


Figura 7.6: Movimento de massa provocado por corte/aterro em encostas íngremes.

- a remoção da cobertura vegetal, a partir de vários interesses, como a exploração vegetal, expansão da agricultura, criação de animais, dentre outros;
- despejo inadequado de lixo e quaisquer outros materiais que pesam sobre a encosta, além da alta porosidade desses materiais depositados, influenciando o grau de saturação;
- redes de água e esgoto mal dimensionadas ou clandestinas podem gerar vazamentos, acelerando a saturação do solo.
- Cabe destacar que as intervenções destacadas agem também direta ou indiretamente nos processos de escoamento, infiltração e percolação da água nas vertentes, que influenciará na saturação dos materiais da encosta, o que potencializa a ocorrência do movimento de massa.

Estabilidade/instabilidade

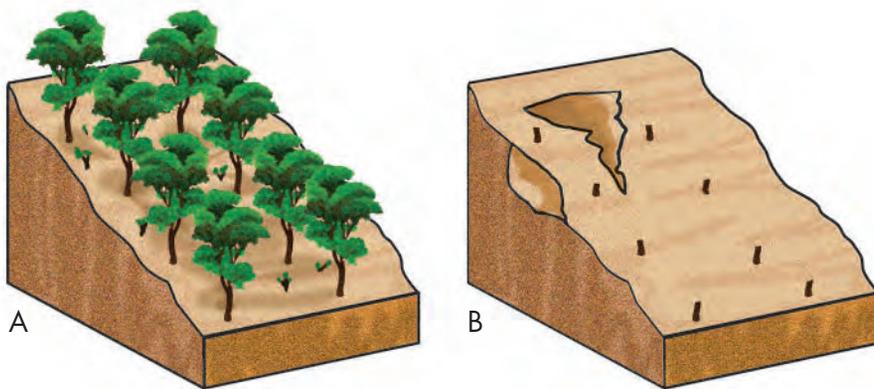
A estabilidade/instabilidade das encostas é produto da interação dos fatores naturais assinalados nesta aula e do uso do solo da região (atividades antrópicas).

A estabilidade da encosta vai depender das particularidades da geologia local, da geomorfologia, do clima e das intervenções da sociedade no terreno.



Atende ao objetivo 2

Observe a figura a seguir:



A figura representa o mesmo local em dois momentos distintos. Qual intervenção ocorreu nessa encosta em relação ao momento A e B? E quais as consequências? Responda à luz dos fatores que controlam os movimentos de massa.

Resposta comentada

A encosta apresentada se tornou mais suscetível a movimentos de massa devido à remoção da cobertura vegetal, visto que perde o sistema de raízes, que ajuda a fixar os materiais nas vertentes. Além disso, se trata de um ambiente em declive, que potencializa a força gravitacional.

Os tipos de movimentos de massa

Frequentemente, assistimos na mídia ao termo deslizamento, generalizando todos os tipos de movimentos de massa.

Existem na literatura diversas classificações que, em linhas gerais, classificam os eventos a partir do tipo de material movimentado e do comportamento e velocidade do movimento.

Sabe-se da complexidade e das limitações práticas em classificar os movimentos de massa, principalmente em campo e nos limites entre cada tipo de movimento de massa. Consideramos aqui as classificações mais simplificadas encontradas na literatura específica e classificaremos os movimentos de massa em quatro tipos: o rastejamento, o escorregamento ou deslizamento, as corridas de massa e as quedas e rolamentos.

Rastejamento (*Creep*)

É o mais lento dos movimentos de massa inconsolidado (solo e/ou outros detritos).

Ocorre em ambientes de declive onde as camadas superiores deslocam-se em velocidade diferente das inferiores. Apesar de se caracterizar por um movimento de massa lento, as camadas superiores movem-se mais rapidamente. Não há na paisagem uma feição de ruptura clara, mas é percebido pela inclinação das árvores, cercas, rachaduras nas construções e postes, por exemplo (**Figura 7.7**).

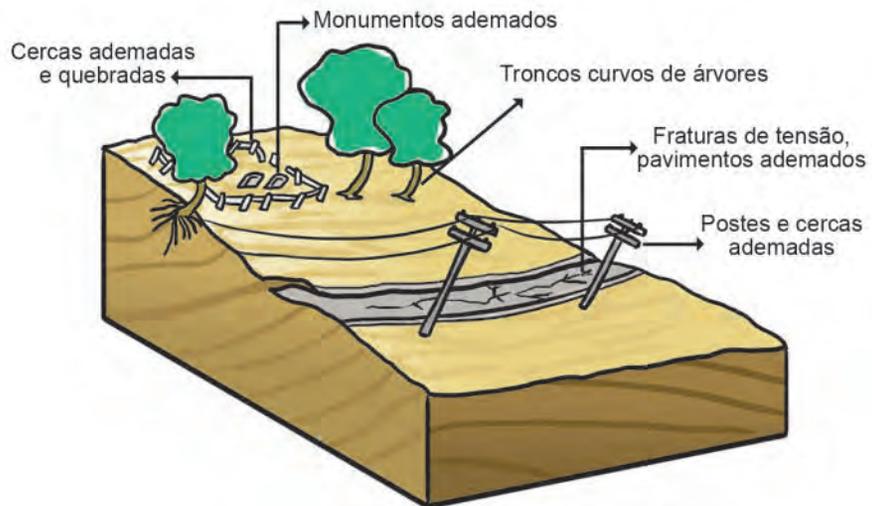


Figura 7.7: Esquema representando o rastejamento.

Deslizamento/escorregamento

São movimentos rápidos de massa encosta abaixo com rupturas bem definidas, tanto lateralmente quanto em profundidade. Na encosta deslizada, é possível identificar o material que foi movimentado e o que não sofreu esse processo.

Os deslizamentos são subdivididos em dois tipos: os rotacionais e os translacionais.

Os deslizamentos rotacionais são típicos de solos profundos, onde o movimento rotacional da massa movimentada produz na cicatriz de deslizamento uma feição curva-côncava (**Figura 7.8**)



Figura 7.8: Deslizamento rotacional em vertente com solos espessos. Estrada Bananal, Arapeí – SP.

Fonte: Foto dos autores.

Os escorregamentos translacionais são mais comuns em solos rasos com ruptura plana e comprida, muito ligado à saturação do solo em eventos extremos de chuva (**Figuras 7.9, 7.10, 7.11**).



Figura 7.9: Deslizamento translacional no município de Nova Friburgo após as chuvas de janeiro de 2011.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 7.10: Detalhe de contato solo/rocha em escorregamento translacional na estrada Parati-Cunha (RJ/SP).

Fonte: Foto dos autores.



Figura 7.11: Escorregamentos translacionais em contato solo/rocha nas vertentes da Serra do Mar. Estrada Parati-Cunha (RJ/SP).

Fonte: Foto dos autores.



Os deslizamentos podem ser rotacionais ou translacionais (“slides: rotational or translational”) e envolvem deslocamentos ao longo de uma ou mais superfícies de cisalhamento. Podem ser:

- rotacionais: formam uma superfície de ruptura côncava e são chamados de “slump”.
- Translacionais: o movimento ocorre ao longo de uma superfície aproximadamente plana ou suavemente ondulada, frequentemente controlada por superfície de fraqueza, tais como fraturas, falhas, foliações e variações de resistência entre camadas de solo ou no contato solo/rocha. São chamados de “slide”.

Corridas de massa

São movimentos de massa mais lentos que os deslizamentos/escorregamentos, porém mais desastrosos. Esses movimentos estão associados à participação de grande quantidade de água no evento, onde o material da encosta se comporta como uma massa semifluida. Nesse tipo de movimento de massa, são removidos grandes pacotes de material das encostas, acrescidos de construção, vegetação e tudo mais que estiver na rota do fluxo. Recebem os nomes de fluxo de terra (*earthflows*), fluxos de lama (*mudflows*) e fluxo de detritos (*debris flows*).

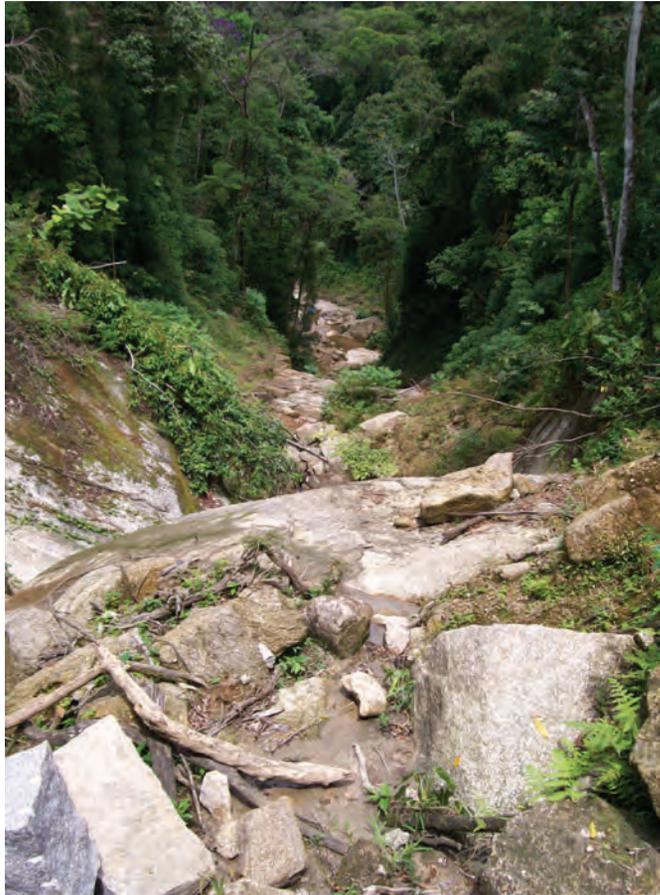


Figura 7.12: Cicatriz de fluxo de detritos. Parati, RJ.

Fonte: Foto dos autores.

Em eventos pluviométricos de alta intensidade e/ou longa duração, podem ocorrer diversos movimentos de massa nas encostas. O material colapsado nas encostas por escorregamentos (rotacionais e translacionais) e quedas de bloco convergem para os fundos de vale, entulhando a rede de drenagem. Com a convergência simultânea de fluxos de água, esses materiais se saturam rapidamente, desencadeando Fluxos de Detritos (corridas) nos eixos de concavidade que encaixam a rede de drenagem.

Esses movimentos de massa podem tomar grandes proporções e mobilizar e remover grandes quantidades de materiais a jusante pela rede de drenagem, possuindo um grande poder destrutivo. O material mobilizado pelo fluxo de detritos tende a seguir pela rota da

rede de drenagem até a primeira mudança significativa no gradiente do canal, que possibilita a deposição desse material.

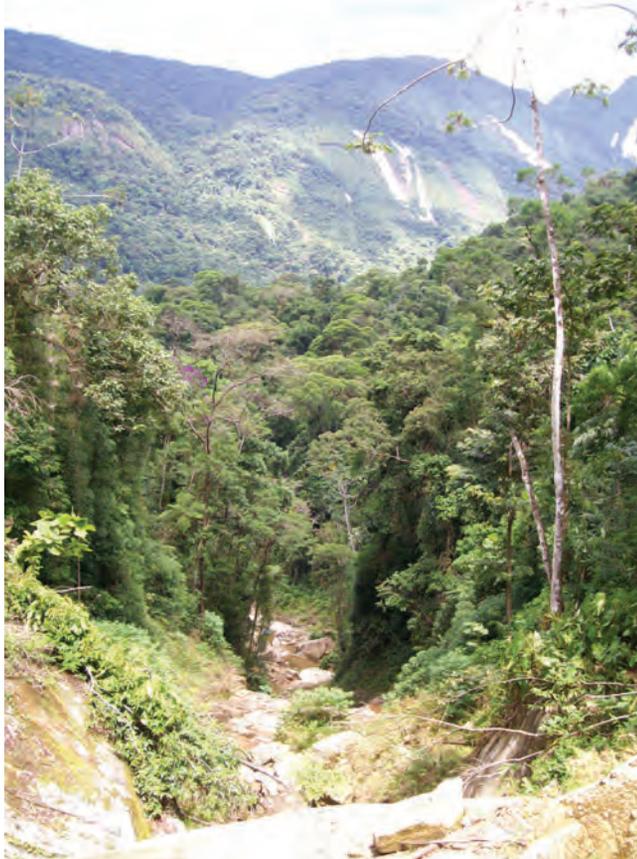


Figura 7.13: Cicatriz de fluxo de detritos encaixada em rede de drenagem. Notar, ao fundo, cicatrizes de deslizamentos translacionais no contato solo/rocha, que disponibilizam grandes quantidades de materiais para os fundos de vale. Estrada Parati-Cunha.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 7.14: Cicatrizes de fluxo de detritos encaixado em rede de drenagem.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 7.15: A imagem mostra a grande capacidade de transporte de material do movimento de massa fluxo de detrito.

Fonte: Fotos dos autores.

Quedas ou Rolamentos de Blocos (*Rockfall*)

Movimentos extremamente rápidos de blocos ou fragmentos de rochas em queda livre, a partir do intemperismo físico e químico, comum em pontos com interseção de fraturas nas rochas. (**Figura 7.16**)



Figura 7.16: Queda de blocos na Estrada Parati-Cunha (SP/RJ).

Fonte: Foto dos autores.

As Quedas de Blocos podem também estar associadas a outros processos erosivos superficiais que podem remover o solo nos locais onde os blocos estão assentados. A propagação de ravinas em encostas com presença de blocos pode instabilizar as encostas e provocar esse tipo de movimento de massa, como mostra a **Figura 7.17**.



Figura 7.17: Área com alta suscetibilidade à queda de blocos, devido a processo erosivo superficial (ravina) que instabiliza a vertente. Estrada Parati-Cunha (RJ/SP).

Fonte: Foto do autores.

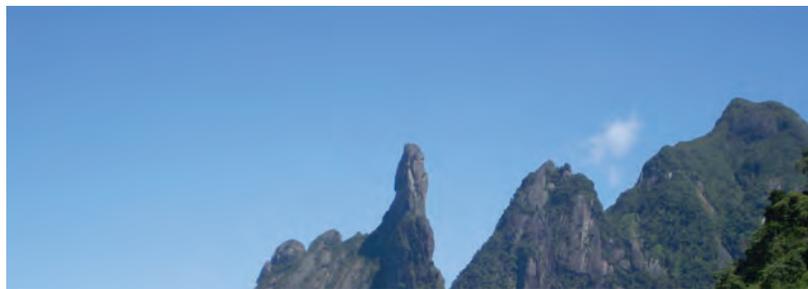


Figura 7.18: Vista da Serra dos Órgãos – Teresópolis, RJ – com o “Dedo de Deus” ao fundo, com potencial a ocorrência de quedas de blocos rochosos, devido à interseção entre sistemas de faturamento no embasamento rochoso.

Fonte: Foto dos autores.



Veja na internet a publicação do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais.

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais é um produto de pesquisa, resultado do acordo de cooperação entre a Secretaria Nacional de Defesa Civil e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, da Universidade Federal de Santa Catarina. O levantamento dos registros históricos, derivando na elaboração dos mapas temáticos e na produção do Atlas, é relevante na medida em que viabiliza construir um panorama geral das ocorrências e recorrências de desastres no país e suas especificidades por Estados e Regiões.

Possibilita, assim, subsidiar o planejamento adequado em gestão de risco e redução de desastres, a partir da análise ampliada abrangendo o território nacional, dos padrões de frequência observados, dos períodos de maior ocorrência, das relações destes eventos com outros fenômenos globais e da análise sobre os processos relacionados aos desastres no país.

A pesquisa teve por objetivo compilar e disponibilizar informações sobre os registros de desastres ocorridos em todo o território nacional nos últimos 20 anos (1991 a 2010), por meio da publicação de 26 Volumes Estaduais e um Volume Brasil.

Segue o *link* de publicação digital de acesso público do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: <http://www.cepel.ufsc.br/biblioteca/projetos/encerrados/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais>.

CONCLUSÃO

Como visto nesta aula, os movimentos de massa são processos naturais, partes da evolução da paisagem terrestre, que estão sendo potencializados pelo uso desordenado e não planejado do uso do solo. Observamos também a importância do conhecimento geomorfológico no entendimento desses processos naturais na interface com as intervenções humanas, possibilitando minimizar esses impactos na vida das pessoas, onde o canal de difusão desses conhecimentos à sociedade é a Geografia Física Escolar.

Atividade final

Atende ao objetivo 1, 2 e 3

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, volume Rio de Janeiro (veja informações no box multimídia), apresenta, na página 46, um mapa de desastres naturais causados por movimentos de massa no Estado do Rio de Janeiro no período de 1991 a 2010. (mapa 8). Acesse o atlas e identifique o município com maior número de registros, pontuando os condicionantes naturais da região e a interferência da ação humana com a intensidade destes eventos.

Resposta comentada

O município em questão é Petrópolis, localizado na região serrana do Rio de Janeiro. Inserido numa região tropical úmida, com chuvas concentradas no verão e relevo montanhoso, Petrópolis é naturalmente uma região suscetível a movimentos de massa. Entretanto, o que explicará a grande quantidade de registros desses eventos na cidade é a análise dos condicionantes naturais juntamente com as intervenções da sociedade no ambiente. Nas últimas décadas, houve um crescimento desordenado no município e, devido à omissão do poder público, a consequente ocupação de suas encostas. Junto a essas ocupações, incluem a retirada da cobertura vegetal,

o corte e aterro para viabilizar construções sem estudos em relação ao ângulo de repouso, o despejo inadequado de lixo e as redes de água e esgoto que, num vazamento, influenciam na saturação do solo.

Essas intervenções interferem na estabilidade das encostas, potencializando a força da gravidade, que supera a força de coesão dos materiais, gerando os movimentos de massa.

RESUMO

Os movimentos de massa são processos naturais da dinâmica externa que fazem parte da evolução da paisagem terrestre.

Essa movimentação de massa de rocha e solo nas vertentes é determinada pela força da gravidade e o grau de saturação dos solos. Esse material rompe da encosta à medida que a força de coesão do sistema encosta (manutenção do seu padrão de organização) é superada pela força da gravidade.

A maior ou menor suscetibilidade a movimentos de massa (estabilidade/instabilidade) deve ser analisada a partir da combinação dos materiais que formam a encosta, da umidade, da morfologia da vertente e do uso do solo que, em certos casos, tornam o movimento encosta abaixo inevitável.

Existem na literatura diversas classificações de movimentos de massa que, em linhas gerais, classificam os eventos a partir do tipo de material movimentado e do comportamento e velocidade do movimento.

Nesta aula, os movimentos de massa foram classificados em quatro tipos: o rastejamento, o escorregamento ou deslizamento, as corridas de massa e as quedas e rolamentos.

Informações sobre a próxima aula

Na nossa próxima aula, iniciaremos o estudo da Geomorfologia Fluvial. Esse campo da Geomorfologia Continental objetiva compreender os processos e as formas ligadas ao escoamento dos cursos de água e a dinâmica das bacias hidrográficas.

Aula 8

Geomorfologia fluvial: por que os rios transbordam e inundam

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Aplicar o estudo do ciclo hidrológico aos fluxos que abastecem os rios, relacionando a geometria hidráulica dos canais fluviais com os processos associados aos eventos de inundação.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. relacionar as rotas do ciclo hidrológico com os processos relacionados às inundações;
2. classificar os tipos de rio em relação às variações na vazão na rede de drenagem;
3. identificar os diferentes tipos de fluxo de água nas encostas que abastecem os canais fluviais;
4. descrever a importância dos estudos em Geometria Hidráulica para entendimento de eventos de inundação.

Introdução

A Geomorfologia Fluvial dedica-se a estudar os rios e a dinâmica de uma bacia hidrográfica. Para seu entendimento, é necessária uma estreita aproximação com a Hidrologia, ciência da água, sua circulação e distribuição na superfície terrestre.

No curso de Geomorfologia Geral, nas Aulas 10 e 11, já foram apresentados conceitos fluviais essenciais, como bacia hidrográfica, nível de base, processos e geoforma fluviais, dentre outros. Como parte inicial desta aula, consideramos importante você revisar esses capítulos.

Nesta aula, estudaremos o escoamento das águas nos canais fluviais, interfaceando a hidrologia e a Geometria Hidráulica para entendermos por que os rios transbordam e inundam.



Figura 8.1: Por que os rios transbordam e inundam?

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Palmares_bridge_destroyed.jpg

O movimento de massa

O ciclo hidrológico compreende o movimento da água entre os estados da matéria líquido (água), gasoso (vapor d'água) e sólido (gelo), entre três grandes reservatórios – os oceanos, o continente e a atmosfera. No caso específico desta aula, discutiremos as rotas e caminhos percorridos pela água no continente como base ao entendimento das inundações.

É importante lembrar, que o ciclo hidrológico é um elo entre a atmosfera e a **litosfera**, importante agente modelador das paisagens e, por isso, chave para o entendimento de processos geomorfológicos.

Entender sua dinâmica na superfície terrestre nos ajuda a compreender problemas ambientais, como os movimentos de massa, discutidos na Aula 7, e as inundações, objeto de estudo desta aula. Munidos do conhecimento de seu comportamento e de suas rotas, é possível atuarmos na prevenção desses eventos.

Estudos apontam que há por volta de 1,5 bilhão de quilômetros cúbicos de água no planeta Terra, que se movimentam dos oceanos, lagos e rios para a atmosfera; da atmosfera, de volta à superfície, pela chuva, e para os rios e aquíferos através do escoamento superficial, retornando aos oceanos, completando o ciclo.

Litosfera

Camada rochosa da superfície terrestre.



Aquífero

Formação ou grupo de formações geológicas que armazenam água subterrânea. São rochas porosas e permeáveis, capazes de reter água e de cedê-la. Esses reservatórios móveis, aos poucos, abastecem rios e poços artesianos. Podem ser utilizados pelo homem, como fonte de água para consumo. Tal como ocorre com as águas superficiais, demandam cuidados, para evitar contaminação. O uso crescente pela indústria, agricultura e consumo humano ameaça os aquíferos e coloca esse assunto na agenda ambiental global.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aquífero>



Leia o texto do professor Paulo César Boggiani, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP, sobre o Aquífero Guarani no link: <http://www.igc.usp.br/index.php?id=166>.

O calor do sol gera a evaporação da água dos oceanos, rios e lagos, que, na atmosfera, em determinadas condições de temperatura, condensam-se, gerando as chuvas. Parte da água que se precipita evapora, retornando à atmosfera antes de chegar à superfície. O que chega à superfície pode ser interceptado pelas plantas, infiltrar-se, alimentando as águas subterrâneas, ou escoar na superfície diretamente para os canais (**Figura 8.2**).

O CICLO HIDROLÓGICO



Figura 8.2: Representação do ciclo hidrológico.

Onde:

- Evaporação – é a mudança do estado líquido para vapor, provocada pelo aquecimento solar na água dos oceanos, rios, lagos e na porção superior do solo.
- Evapotranspiração – é a evaporação de água retida pelas plantas.
- Condensação – é a formação de nuvens pela ascensão do vapor d'água que, em altitude, com a queda da temperatura, se condensa.
- Precipitação – é a queda da chuva, granizo ou neve. Forma-se através da condensação e quando não consegue mais continuar em suspensão; precipita-se no estado líquido ou sólido.
- Intercepção – é a intercepção da água da chuva pela vegetação, condicionada à existência e tipo de cobertura vegetal.
- Infiltração – é a água da chuva que penetra nos solos e nas rochas, abastecendo o lençol freático.
- escoamento superficial – é a água da chuva que não infiltra e que, conseqüentemente, escoam na superfície do terreno. Resulta do excedente de chuva ou da baixa capacidade de infiltração do material do solo ou rocha.
- escoamento subterrâneo – é a movimentação da água em subsuperfície, ou seja, a água que se infiltrou.

Os caminhos que a água tomará ao chegar à superfície estão relacionados com o uso da cobertura do solo, que potencializará determinadas rotas e impedirá outras.

Vejamos dois exemplos:

Em áreas urbanas, as águas que chegam à superfície tendem a tomarem as rotas do escoamento superficial, devido à ausência da intercepção pela retirada da cobertura vegetal, atrelado à expansão urbana e impermeabilização do solo, o que impede a infiltração da água. Com isso, essas águas que escoam diretamente para os canais, potencializados por esse uso da terra, extravasam os leitos, gerando as inundações.

Mudanças no uso do solo, para atividades agrícolas, por exemplo, também interferem nas rotas do ciclo hidrológico, ao retirarem a vegetação para plantação de culturas e na aração do solo, o que interfere na porosidade, dificultando a infiltração. Assim, potencializado o escoamento superficial, em momentos de precipitação intensa, poderá haver o extravasamento do canal fluvial.



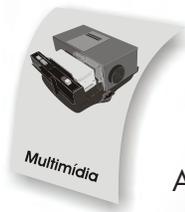
Atende ao objetivo 1

De que forma mudanças nas rotas do ciclo hidrológico podem potencializar as inundações?

Resposta comentada

Quaisquer mudanças que diminuam a capacidade de infiltração e aumentem as taxas de escoamento superficial potencializam as inundações. Esse processo está relacionado com mudanças no uso e cobertura do solo, que potencializará determinadas rotas e impedirá outras. Entender a relação entre precipitação, infiltração e escoamento superficial é fundamental para entendimento das inundações.

Os tipos de rio



Assista na internet ao vídeo de cerca de 3 minutos “De onde vem a água do rio?”.

A animação da Universidade das Crianças mostra de forma lúdica a origem das águas dos rios. É um material que pode ser utilizado em turmas do 6º ano. O projeto é desenvolvido por professores/pesquisadores da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e transforma perguntas feitas por crianças em programas de áudio e vídeos de animação.

Fonte: <http://www.universidadedascrianças.org/perguntas/resposta.php?id=7>

Os rios são cursos naturais de água, com canais definidos e fluxo permanente ou sazonal, para um lago, outro rio ou oceano. São importantes modeladores da paisagem e são incorporados para diversos fins na nossa sociedade, como abastecimento humano, irrigação, vias de transporte (**Figura 8.3**), lazer e geração de energia elétrica (**Figura 8.4**), o que torna o conhecimento do escoamento de suas águas fundamental para as políticas de planejamento ambiental.



Figura 8.3: Ponto de abastecimento de embarcações no Rio Solimões, AM.
Fonte: Foto dos autores.



HA – Central Office

Figura 8.4: Usina Hidrelétrica de Itaipu, PR.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Vista_Aerea_Itaipu.jpg

Permeabilidade

Medida de capacidade de um material (tipicamente, uma rocha) para transmitir fluidos.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Permeabilidade_\(geologia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Permeabilidade_(geologia))

Quanto à constância e quantidade de água nos canais, isso irá depender do regime de chuvas da região, da **permeabilidade** do solo, do tipo de cobertura vegetal e das características dos aquíferos da região e, a partir disso, classificamos os rios em perenes, intermitentes e efêmeros.

Os rios perenes são os que o lençol freático abastece o canal constantemente, ou seja, contém água durante todo o tempo (**Figura 8.5**). Já os intermitentes são cursos d'água que escoam nos períodos mais úmidos do ano e secam nas estações mais secas. Nesse caso, o lençol freático, na estiagem, rebaixa a tal ponto que não consegue mais proporcionar uma alimentação contínua no canal. E em situações em que o escoamento de água no canal ocorre apenas durante ou após eventos de chuva, são chamados de efêmeros. Em rios classificados como efêmeros, o lençol freático está sempre abaixo do leito fluvial.



Figura 8.5: Bacia hidrográfica amazônica. Exemplo de canal perene tributário do Rio Amazonas.

Fonte: Fotos dos autores.



Atende ao objetivo 2

Assinale com verdadeiro (V) ou falso (F) as questões a seguir:

() É possível classificar como perenes todos os rios do Brasil.

() O regime de chuvas não interfere na classificação dos rios.

() Os rios efêmeros são aqueles cujo escoamento de água no canal ocorre apenas durante ou após eventos de chuva.

() Os rios intermitentes são aqueles cujos cursos d'água escoam nos períodos mais úmidos do ano e secam nas estações mais secas.

Resposta comentada

A sequência correta é F-F-V-V, visto que no Brasil ocorrem rios perenes, intermitentes e efêmeros. E o regime de chuvas é a principal variável em relação à classificação de canais, onde, por exemplo, há situações em que o escoamento de água ocorre apenas durante ou após eventos de chuva.

Os fluxos de água que abastecem os canais

Os totais de água que chegam aos canais fluviais expressam o escoamento fluvial, que é alimentado pelas águas superficiais e subterrâneas.

Fazendo parte do ciclo hidrológico, as águas que constituem os rios recebem as águas das chuvas, que são refletidas de imediato no escoamento fluvial, mais a água da infiltração, que refletirá no canal

águas subterrâneas

Fluxo d'água que se dá na zona de saturação e advém da água que percola a partir das zonas de recarga do aquífero, compondo o fluxo de base dos canais.

mais adiante através da alimentação das **águas subterrâneas** (CUNHA, 1994).

Dos fluxos que chegam aos canais, é possível distinguir os fluxos oriundos da drenagem subterrânea, que chamamos de canal de fluxo de base, e dos fluxos que chegam superficialmente, que são chamados de fluxo de chuva (**Figura 8.6**). É importante destacar a importância de se caracterizar a drenagem de base para equalização de oferta e demanda de água sobre um canal, visto que é esta que segue alimentando os rios perenes em períodos de estiagem.

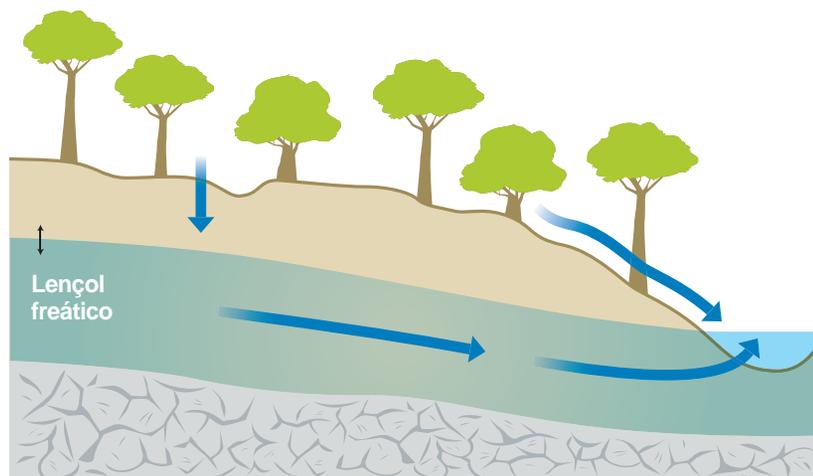


Figura 8.6: Representação dos fluxos de água que alimentam os rios.

A conjunção dos dois tipos de fluxo são responsáveis pelo comportamento das vazões no canal fluvial, que varia ao longo do tempo, seja relacionado às chuvas, à sazonalidade climática, às intervenções antrópicas no canal ou a alguma mudança de uso na bacia hidrográfica, como, por exemplo, expansão da ocupação.

Uma forma simples de separar o fluxo de base do fluxo de chuva, importante para entender os fenômenos de cheia do canal, é através das hidrógrafas.

Uma hidrógrafa ou hidrograma é a representação gráfica do escoamento das águas (vazão) que passa por um determinado

ponto (seção) em função do tempo. A seguir, na **Figura 8.7**, ao analisarmos a variação do escoamento das águas a partir um período de chuva, é possível separarmos o fluxo de chuva do fluxo de base do canal fluvial.

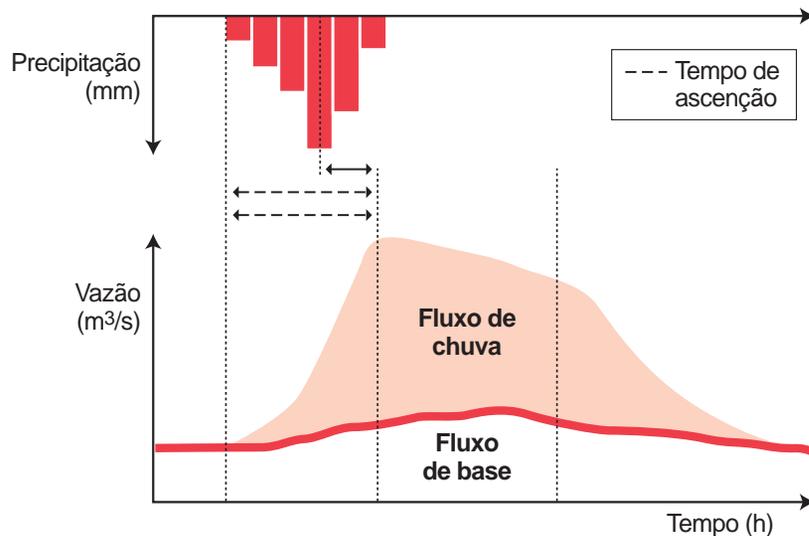


Figura 8.7: Variação da hidrógrafa em relação a evento de chuva.

- Fluxo de base – é a parcela do escoamento no canal, alimentado somente por água subsuperficial;
- Fluxo da chuva – é a parcela do escoamento no canal, proveniente das gotas durante a chuva e proveniente do escoamento das encostas logo após a chuva.

Desta forma, Coelho Netto e Avelar (2005) apontam que cada bacia tende a apresentar hidrógrafas diferentes, que são reguladas por diversas variáveis, tais como:

- condições climáticas: intensidade, duração e frequência de chuvas e estiagem;
- forma e tamanho da bacia;
- gradiente da bacia;
- densidade de canais;

- tipos de solo e de rocha;
- presença ou ausência de cobertura vegetal, tipo de cobertura e densidade;
- uso do solo.

Bacias hidrográficas, por exemplo, que possuem baixa capacidade de infiltração, conseqüentemente gerarão maior escoamento superficial das encostas, o que aumenta o potencial de extravasamento do canal fluvial.



Atende ao objetivo 3

Explique como são alimentados os canais fluviais.

Resposta comentada

Os canais fluviais são alimentados pelas águas superficiais e subterrâneas, oriundos do ciclo hidrológico. Das águas que chegam aos canais, é possível distinguir os fluxos oriundos da drenagem subterrânea, que chamamos no canal de fluxo de base, e dos fluxos que chegam superficialmente, que são chamados de fluxo de chuva.

A geometria hidráulica e as inundações

A geometria hidráulica é o estudo das relações entre a vazão, as formas dos canais, a carga de sedimentos e a declividade (CUNHA, 1994).

Lembrando que os rios são sistemas geomorfológicos dinâmicos, assim, qualquer alteração em uma dessas variáveis implicará mudanças nas demais, visto que o sistema fluvial buscará ajustar-se às novas características.

A vazão corresponde à descarga líquida, sólida e dissolvida que passa em uma seção do canal fluvial em determinado tempo. Corresponde ao volume de água que passa por um ponto em determinado tempo.

É por meio da vazão que são conhecidas, por exemplo, a competência e a capacidade de um rio. A competência expressa o tamanho das partículas que um rio é capaz de transportar, condicionada pela velocidade do fluxo, velocidade esta que, por sua vez, é condicionada pela declividade. Já a capacidade se refere à carga máxima de sedimentos que um canal fluvial consegue transportar, sendo proporcional à vazão e à velocidade do fluxo.

Os rios com alta carga sedimentar em áreas de baixo declive são mais suscetíveis a extravasarem, devido ao assoreamento do fundo e menor eficiência de drenagem.

Conhecer as variáveis que permeiam os estudos de geometria hidráulica é importante para a previsão de inundações. O aumento da carga sedimentar com o respectivo aumento da vazão tenderá ao canal se ajustar na relação entre a área do canal e a quantidade de água, gerando eventos de inundação. A velocidade das águas dos canais também pode ser modificada pelo aumento da rugosidade do leito, o que diminui a eficiência da drenagem, potencializando o extravasamento, principalmente onde o escoamento superficial seja característico da bacia hidrográfica, enquanto, ao aumentar a velocidade das águas, aumenta-se a eficiência da drenagem, que, para diminuição de inundações, são ações esperadas.

A vazão ou descarga líquida de um canal é medida pela relação entre a área da seção do canal e a velocidade da corrente (**Figura 8.8**). A equação que determina a vazão é definida por:

$$Q = A \times V$$

Onde,

Q = vazão ou descarga líquida

A = área, que é determinada pela largura multiplicada pela profundidade

V = velocidade da corrente, que é determinada pela distância percorrida em segundos

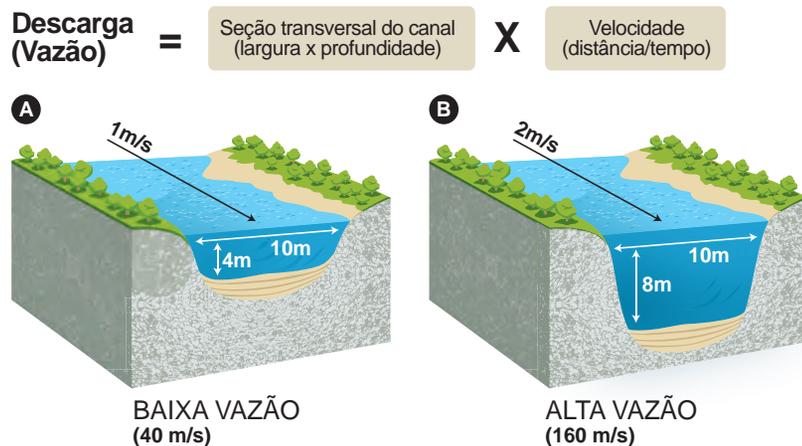


Figura 8.8: Representação da determinação da vazão de um canal fluvial.

Mudanças na vazão geram ajustamentos nas variáveis relacionadas. O aumento da descarga origina aumento nas outras variáveis, como largura, profundidade média, velocidade média das águas, rugosidade do leito e concentração de sedimentos.

Eventos hidrológico-erosivos extremos, como os recorrentes nos verões do estado do Rio de Janeiro, tendem a intensificar a erosão

das margens e encostas, aumentar a rugosidade do leito, a carga de sedimentos e o assoreamento da calha fluvial, desencadeando eventos de inundações.

Na geometria hidráulica existem alguns comportamentos ao longo dos perfis longitudinais dos rios, conhecidos e chamados de leis fluviais, que relacionam os trechos do canal situados no alto, médio e baixo curso (**Figura 8.9**). Partindo-se da nascente e descendo de montante para jusante, o que se espera ocorrer essencialmente é:

- (1) a vazão aumentar;
- (2) a área da seção do canal aumentar;
- (3) a velocidade do fluxo diminuir;
- (4) o gradiente do perfil longitudinal do canal diminuir.

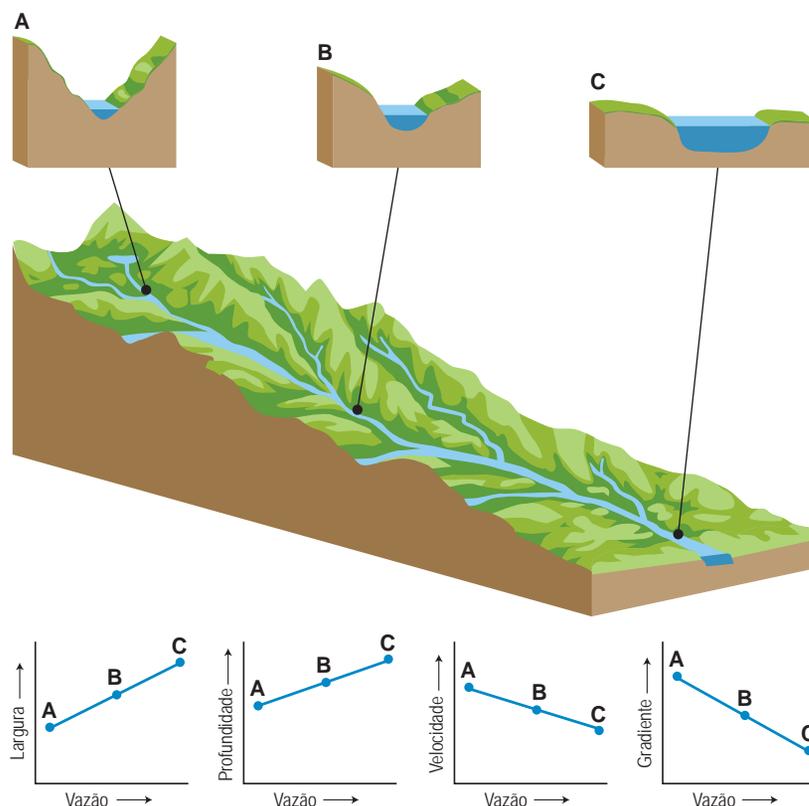


Figura 8.9: Leis fluviais.

Ao analisarmos as leis fluviais, percebemos que a vazão tende a aumentar de montante para jusante, salvo em casos de retirada de água nos canais. Assim, qualquer diminuição da área do canal a jusante, como estrangulamento do canal, que em muitos casos são devidos a pontes mal dimensionadas, tenderá a ocorrer o extravasamento do canal.

CONCLUSÃO

Ao fim desta aula, percebemos a importância de conhecer e relacionar o estudo do ciclo hidrológico, dos fluxos de água que chegam aos canais e da geometria hidráulica na caracterização de eventos de inundação.

Conhecer a dinâmica e as variáveis que envolvem a precipitação, a infiltração, o escoamento superficial e a vazão dos rios é a chave para entendermos por que os rios transbordam e inundam, possibilitando atuarmos na prevenção desses eventos.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2, 3 e 4

Ao analisarmos o hidrograma a seguir, percebemos diferença de comportamento da vazão antes e depois de um processo de urbanização. Discuta essa diferença e relacione com as inundações, utilizando os conceitos trabalhados nesta aula.

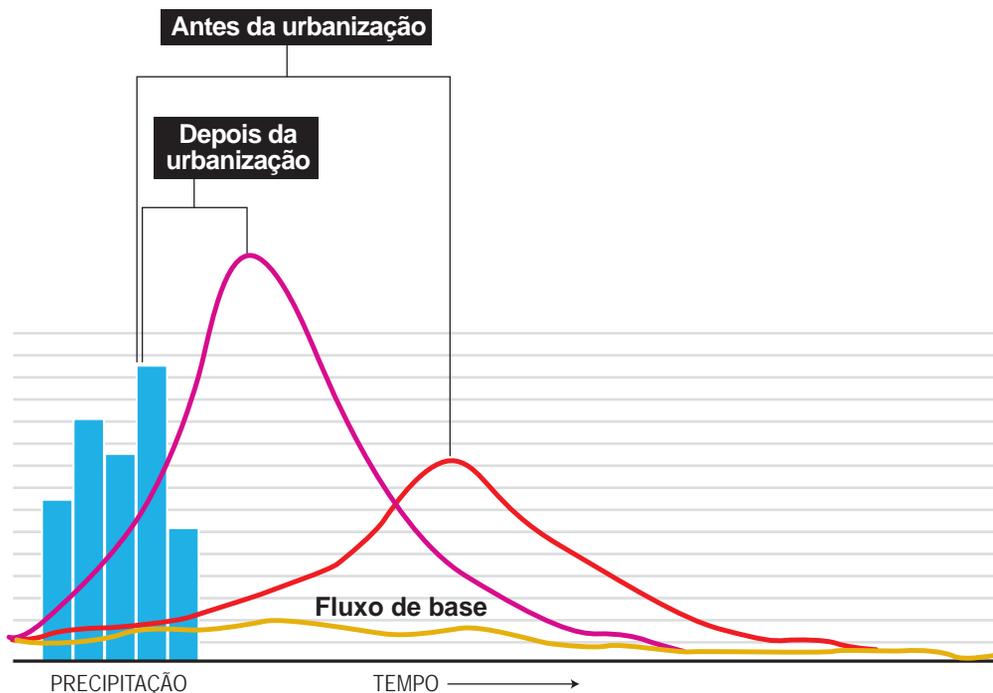


Figura 8.10: Hidrograma da vazão de um rio antes e depois de um processo de urbanização.

Resposta comentada

O que se pode perceber, ao analisar o hidrograma, é que antes da expansão urbana, o tempo de ascensão da hidrógrafa em resposta ao evento de chuva era mais lento, provavelmente por ter ocorrido a infiltração da água nos solos e rochas. Há uma diferença menor entre o fluxo de base e o fluxo de chuva, comparando com a ocupação urbana, corroborando o já citado processo de infiltração. Já com a mudança do uso e cobertura do solo e, nesse caso, para expansão urbana, o fluxo de descarga aumenta exponencialmente, visto que as águas que chegam à superfície tendem a tomar as rotas do escoamento superficial, devido à ausência de interceptação, pela retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo e a ocupação de leitos, o que diminui a capacidade de infiltração da água. Com isso, essas águas que escoam diretamente para os canais potencializam o transbordamento, gerando as inundações.

RESUMO

Esta aula objetiva o estudo do escoamento das águas nos canais fluviais, interfaceando a Hidrologia e a Geometria Hidráulica, para entendimento dos eventos de inundação.

O ciclo hidrológico compreende o movimento da água entre os estados da matéria líquido (água), gasoso (vapor d'água) e sólido (gelo), entre três grandes reservatórios – os oceanos, o continente e a atmosfera. Discutir e entender as rotas e caminhos percorridos pela água no continente é base para a compreensão da dinâmica dos rios.

Os rios são cursos naturais de água, com canais definidos e fluxo permanente ou sazonal, para um lago, outro rio ou oceano, e são classificados em relação ao escoamento das águas em perenes, intermitentes e efêmeros.

Dos fluxos que chegam aos canais, é possível distinguir os oriundos da drenagem subterrânea, que chamamos no canal de fluxo de base, dos fluxos que chegam superficialmente, que são chamados de fluxo de chuva. É fundamental destacar a importância de se caracterizar a drenagem de base para equalização de oferta e demanda de água sobre um canal, visto que é esta que segue alimentando os rios perenes em períodos de estiagem.

Destacando que os rios são sistemas geomorfológicos dinâmicos, assim, qualquer alteração em uma das variáveis do campo de estudo da geometria hidráulica (vazão, formas dos canais, carga de sedimentos e declividade), implicará mudanças nas demais, o que poderá gerar eventos de inundação.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, o nosso objetivo será o de entender como as sociedades interferem nos ambientes fluviais.

Aula 9

As intervenções antrópicas que atuam na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos canais fluviais

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar as principais intervenções realizadas pela ação humana nos rios e nas Bacias Hidrográficas e suas consequências para a dinâmica hidrológica e geomorfológica dos canais fluviais.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar os tipos de intervenções antrópicas nos sistemas fluviais;
2. caracterizar os tipos de intervenções realizadas no canal fluvial;
3. discutir as ações antrópicas produzidas nas bacias hidrográficas e as consequências dessas interferências para os no canais fluviais.

INTRODUÇÃO

Os rios, por seus múltiplos usos, sempre foram condicionantes para as sociedades, desde as antigas até as atuais civilizações. De acordo com as necessidades da sociedade, conhecer sua dinâmica, transformar e reconfigurar os cursos d'água sempre foram pauta de atenção e discussão.

São inúmeras as alterações que o homem tem feito diretamente nos canais fluviais, a exemplo do canal retificado a seguir (**Figura 9.1**), ou na bacia hidrográfica, que irão interferir em todo o sistema fluvial.



Figura 9.1: Canal retificado em área urbana com manutenção de margens para transbordamento em enchentes excepcionais (Santiago, Chile).

Fonte: Foto dos autores.

Nesta aula, estudaremos como as sociedades interferem e degradam os rios e as bacias hidrográficas e quais seus efeitos nos sistemas fluviais.

Os tipos de intervenções antrópicas nos sistemas fluviais

A literatura especializada (CUNHA, 1994) costuma diferenciar as mudanças fluviais induzidas pelo homem em dois grandes grupos:

a) Alterações realizadas diretamente no canal: através de obras de engenharia na área do canal que visam a um melhor beneficiamento ou reduzir imprevistos da dinâmica fluvial à sociedade (**Figura 9.2**).



Figura 9.2: Exemplo de obra realizada diretamente na área do canal, com fins de retificação do canal e evitar inundações. Rio Quitandinha – Petrópolis – RJ.

Fonte: Foto dos autores.

b) Alterações realizadas no âmbito da bacia hidrográfica: são ações fora da área do canal, mas que interferem na dinâmica do rio. Esse tipo de alteração está ligado ao tipo de uso do solo, que a sociedade pratica na bacia de drenagem.



Figura 9.3: Exemplo de ações na bacia que interferem nos rios, como a urbanização e impermeabilização parcial do solo. Nova Friburgo, RJ.

Fonte: Foto dos autores.



Atende ao objetivo 1

Basta olharmos mais atentamente para os canais fluviais de nossa cidade para identificarmos intervenções da sociedade nos mesmos. Assim, como se classificam essas intervenções?

Resposta comentada

De acordo com a literatura do tema, diferenciamos as mudanças fluviais induzidas pelo homem em dois grandes grupos: as alterações que são realizadas diretamente no canal fluvial e as alterações indiretas, ou seja, as realizadas no âmbito da bacia hidrográfica, fora da área do canal, que interferem na dinâmica do rio.

Mudanças nos canais fluviais

Para diversos fins, principalmente nos últimos séculos, o homem vem fazendo inúmeras alterações no canal fluvial, seja para controlar inundações (**Figura 9.1**), construir reservatórios, desviar cursos de rios, aumentar a velocidade de escoamento, dentre outras.

A literatura especializada costuma dividir as mudanças no canal fluvial em obras de canalização e obras de barragens para manutenção de reservatórios.

Canalização dos Rios

Segundo Cunha (1994), a canalização é uma obra de engenharia realizada no canal fluvial que desencadeia consideráveis impactos no próprio rio e na planície de inundação.

Há diferentes intervenções antrópicas nos rios. São consideradas obras de engenharia de canalização:

- retificação do canal fluvial;
- dragagem: alargamento e escavamento do canal fluvial;
- construções de canais artificiais/desvio de canais;
- diques;
- retirada de obstáculos.

É importante lembrar que os rios são sistemas geomorfológicos dinâmicos e que, por isso, todas as obras de canalização exigem que ocorra manutenção constantemente. Os intervalos de manutenção dependerão do tipo de obra realizada no canal.

Retificação de canal

A retificação do canal tem o objetivo de reduzir os eventos de cheias, a partir do aumento da velocidade de escoamento das águas no canal retilíneo. Com essa intervenção, aumentam-se as possibilidades de escoamento, drenando mais rapidamente esse trecho do canal retificado. Esse tipo de obra é ainda muito utilizado no Brasil (**Figura 9.4**).

Você, ao observar os sistemas fluviais, principalmente em áreas urbanas, constatará que esse tipo de intervenção é amplamente utilizado para controlar as inundações no Brasil.



Figura 9.4: Canal retificado em área urbana. Rio Quitandinha, Petrópolis – RJ.
Fonte: Foto dos autores.

Dragagem: alargamento e escavamento de canal

Esse tipo de intervenção consiste em aumentar a área de escoamento do canal. Aumenta-se a largura e a profundidade, possibilitando ao canal mais área de drenagem. Assim, reduz a possibilidade de cheias **nas planícies de inundação**. É um tipo de intervenção que exige manutenção constantemente.

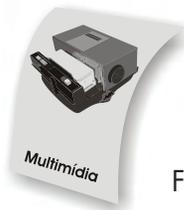
Planície de inundação

Área adjacente ao canal, que inunda durante a cheia.

Cunha (2012), ao discutir o assunto, apresenta, por exemplo, que canais de leitos arenosos, por apresentarem maior sedimentação, requerem uma frequência de dragagem com intervalos de 10 anos em condições normais. O tipo de material do canal e o uso do solo na bacia em questão determinará o tempo de manutenção.

Construções de canais artificiais/desvio de canais

Ao retilinizar rios, por exemplo, já se está construindo um canal artificial. Geralmente, constroem-se canais artificiais e/ou desviam-se, com intuito de controlar vazões, evitar inundações ou transpor águas de um rio para outro.



A transposição do rio São Francisco é o projeto de transposição de parte das águas do rio São Francisco, nomeado pelo governo brasileiro como “Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional”.

O projeto é um empreendimento do Governo Federal. A obra prevê a construção de mais de 700 quilômetros de canais de concreto em dois grandes eixos (norte e leste) ao longo do território de quatro estados (Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte) para o desvio das águas do rio. Ao longo do caminho, o projeto prevê a construção de nove estações de bombeamento de água.

Orçado atualmente em R\$ 8,5 bilhões, o projeto, teoricamente, irrigará a região nordeste e semiárida do Brasil.

O principal argumento da polêmica dá-se, sobretudo, pela destinação do uso da água: os críticos do projeto alegam que a água será retirada de regiões onde a demanda por água para uso humano e dessedentação animal é maior que a demanda na região de destino e que a finalidade última da transposição é disponibilizar água para a agroindústria e a carcinicultura.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Transposiçãodo_rio_São_Francisco](http://pt.wikipedia.org/wiki/Transposiç%C3%A3o_do_rio_S%C3%A3o_Francisco)

Se você quiser saber mais sobre a maior obra de infraestrutura hídrica executada atualmente no Brasil, acesse o *link*: <http://www.integracao.gov.br/projeto-sao-francisco> 1.

Diques

São intervenções que visam a elevar a altura das margens do canal e, com isso, proteger a planície fluvial de cheias. Elevadas vazões que inundariam a planície fluvial são barradas pela presença de diques nas margens.

Essa técnica é utilizada há muito tempo com o objetivo de proteger a agricultura praticada nas margens dos eventos de inundação.

Retirada de obstáculos do canal

Esse tipo de intervenção objetiva remover qualquer obstáculo no canal que dificulte a drenagem fluvial.

Segundo Cunha (2012), as obstruções dos canais são, em sua maioria, constituídas pelas irregularidades do fundo e pela presença de plantas aquáticas, sendo seu crescimento anual um problema para a manutenção da capacidade do canal.

Barragens

A construção de barragens tem o objetivo de gerar reservatórios, geralmente com fins de produção de energia elétrica e ao armazenamento de água. Esse tipo de obra de engenharia gera impactos em todo o sistema fluvial, rompendo o equilíbrio natural do rio (CUNHA, 1994).



Figura 9.5: Barragem do Alqueva, no rio Guadiana, Portugal.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Alqueva_dam.JPG

À montante da barragem, devido à construção de um novo nível de base (barragem), passa a ocorrer uma área de deposição de sedimentos, gerando o assoreamento nessa parte do rio (**Figura 9.6**). É importante também relacionar essa taxa de assoreamento do canal ao uso do solo na bacia que controlara a erosão nas encostas.

O aumento de sedimentos no fundo e em suspensão no reservatório e a mudança no fluxo de água, visto que no reservatório as águas ficam praticamente paradas, interferem também na vida aquática (**Figura 9.6**).

Já a jusante do represamento (reservatório), com esse novo nível de base (barragem) e essa descarga líquida concentrada, tem-se o aumento da capacidade da erosão neste ponto do canal fluvial, que interferirá no regime do rio à longa distância (**Figura 9.6**).

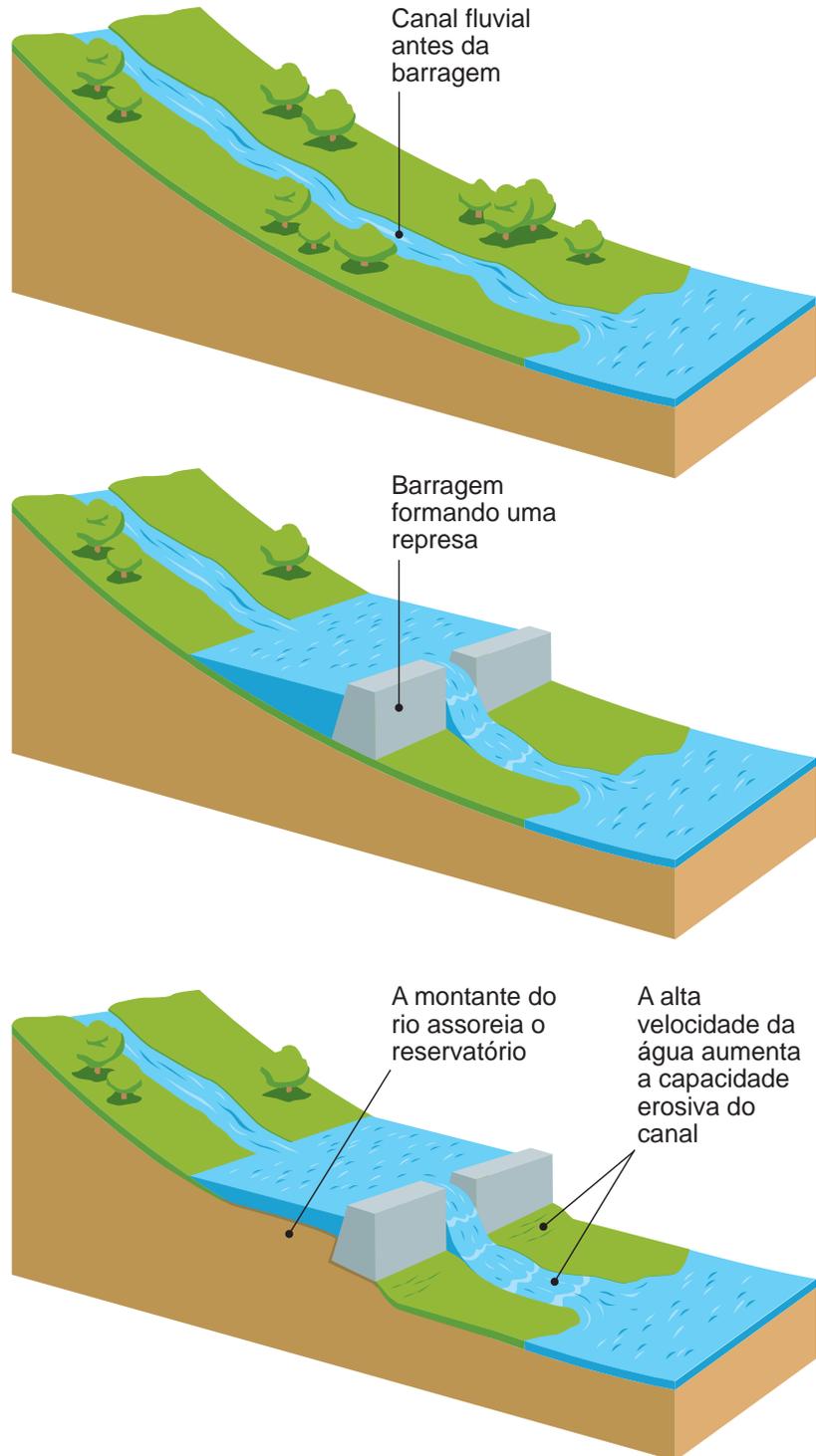
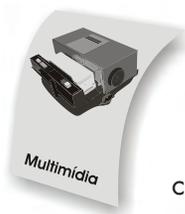


Figura 9.6: Esquema representando a construção de uma barragem no canal fluvial.

Fonte: Adaptado de Press et al. (2006).

Esse tipo de intervenção já é utilizado pelo homem há muito tempo com o objetivo de armazenar água e regularizar vazões em períodos secos. Entretanto, atualmente há muita discussão em torno desse tema, até mesmo da sua necessidade, visto que tal obra acaba por inundar grandes áreas, interferindo no equilíbrio ecológico da bacia e, em muitos casos, também é necessário desapropriar terras e remover a população local.



Assista na internet ao documentário com depoimentos e fatos sobre a mais polêmica obra de construção de barragem da atualidade no Brasil, que vem gerando diversas reações na sociedade nacional e internacional. O documentário é “Belo Monte, Anúncio de uma Guerra”, que tem 120 horas filmadas ao longo de 3 expedições ao Xingu, contendo depoimentos e fatos sobre a obra. *Link:* <http://www.belomonteofilme.org/portal/br>.

Leia também a reportagem “Usina de Belo Monte deverá enfrentar novas polêmicas em 2014” sobre a construção da Barragem de Belo Monte, no jornal Estado de Minas: http://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2014/01/01/interna_nacional,483963/usina-de-belo-monte-devera-enfrentar-novas-polemicas-em-2014.shtml.



Atende ao objetivo 2

Complete o quadro abaixo com os objetivos de cada obra de canalização de rios assinalada:

Intervenção direta no canal	Objetivo
Retificação de canal	
Barragem: alargamento e escavamento do canal fluvial	
Construções de canais artificiais / desvio de canais	
Diques	
Retirada de obstáculos	

Resposta comentada

Retificação de canal: A retificação de canal tem o objetivo de reduzir os eventos de cheias, a partir do aumento da velocidade de escoamento das águas no canal retilíneo.

Com essa intervenção, aumentam-se as possibilidades de escoamento, drenando mais rapidamente esse trecho do canal retificado.

Dragagem: consiste em aumentar a área de escoamento do canal. Aumenta-se a largura e a profundidade, possibilitando ao canal mais área de drenagem. Assim, reduz a possibilidade de cheias nas planícies de inundação.

Construções de canais artificiais/desvio de canais: intuito de controlar vazões, evitar inundações ou transpor águas de um rio para outro.

Diques: visam a elevar a altura das margens do canal e, com isso, proteger a planície fluvial de cheias.

Retirada de obstáculos: objetiva remover qualquer obstáculo no canal que dificulte a drenagem fluvial.

Mudanças na bacia hidrográfica

São mudanças que não são feitas diretamente nos canais, mas que são de uso do solo da bacia e modificam o comportamento dos canais (**Figura 9.7**). Dentre essas mudanças, podemos destacar:



Figura 9.7: Retirada de cobertura vegetal da Mata Atlântica e introdução de gramíneas que, conseqüentemente, interferirá no regime fluvial.

Bacia Hidrográfica do Rio dos Frades (Teresópolis, RJ).

Fonte: Foto dos autores.

- A urbanização que, com a pavimentação desse solo, gera mais escoamento superficial, aumentando a descarga do canal e, dependendo do local drenado, degradando a qualidade das águas do canal (**Figura 9.8**).



Figura 9.8: Exemplo de urbanização intensa na cidade do Rio de Janeiro
Fonte: Foto dos autores.

- O desmatamento diverso que interfere na infiltração da água e nos processos erosivos, que interferirá na quantidade de sedimentos que chegará ao canal (assoreamento) e na qualidade das águas (**Figura 9.9**).

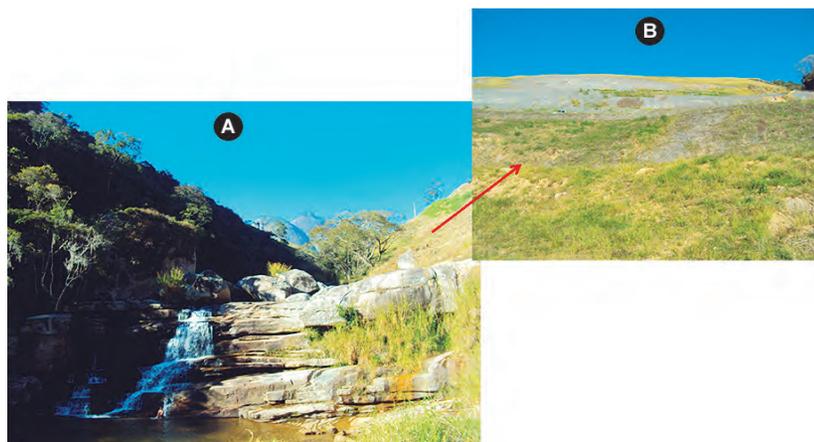


Figura 9.9: (a) Visão geral do canal fluvial e mudança da cobertura vegetal a partir da margem esquerda e (b) encosta com obras de estabilização e contenção após evento de movimento de massa que interferiu, degradando a qualidade das águas e assoreando o canal. Bacia Hidrográfica do Rio dos Frades (Teresópolis – RJ).
Fonte: Foto dos autores.

- As atividades industriais que, muitas vezes, utilizam-se dos canais para despejar seus efluentes, comprometendo a qualidade das águas e, conseqüentemente, o equilíbrio ecológico dos mesmos.
- Atividades agropecuárias, que intensificam o uso do solo e aumentam os processos erosivos através, por exemplo, do preparo tradicional do solo (agricultura) e compactação do solo (pecuária), assoreando os canais e degradando a qualidade das águas (**Figura 9.10**).



Figura 9.10: Exemplo de atividade agrícola no município de Teresópolis, RJ.
Fonte: Foto dos autores.

- Mineração que está muito associada ao comprometimento da qualidade das águas do canal.

Todas essas ações na bacia indiretamente interferem no canal fluvial e vão exigir que esse sistema fluvial se ajuste às novas características – e nem sempre esses movimentos são interessantes à sociedade que as provocou.

CONCLUSÃO

Como visto nessa aula, são inúmeras as alterações que o homem tem feito diretamente nos canais fluviais ou na bacia hidrográfica, que direta ou indiretamente irão interferir em todo o sistema fluvial. Nesta aula, identificamos essas ações nos canais e nas bacias hidrográficas e seus efeitos nos sistemas fluviais. Percebemos que todas essas ações, sejam nos canais ou no âmbito da bacia de drenagem, modificam o comportamento natural dos rios e vão exigir que esse sistema fluvial se ajuste a estas novas características – e nem sempre esses processos são benéficos para a sociedade que as provocou.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Com base na figura a seguir, do Rio dos Frades, no município de Teresópolis, identifique e caracterize o principal tipo de interferência antrópica nesse trecho do canal destacado. Além disso, pontue seus efeitos no canal fluvial.



Figura 9.11: Rio dos Frades, Teresópolis, RJ.

Fonte: Foto dos autores.

Resposta comentada

A principal ação na imagem representada está ligada às mudanças na bacia hidrográfica, como o desmatamento e as atividades agropecuárias que interferem na capacidade de infiltração e potencializam o escoamento superficial e, conseqüentemente, o potencial erosivo, assoreando os canais e comprometendo a qualidade das águas.

RESUMO

Os rios, por seus múltiplos usos, sempre foram importantes para as sociedades, que ao longo do tempo vêm interferindo em seu comportamento. De acordo com as necessidades da sociedade, os canais vêm sofrendo alterações direta e indiretamente.

Costuma-se diferenciar as mudanças fluviais induzidas pelo homem em dois grandes grupos: as alterações realizadas diretamente no canal, que são através de obras de engenharia na área do canal, e as alterações realizadas no âmbito da bacia hidrográfica. As ações diretas no canal visam a um melhor beneficiamento das águas desse canal ou a reduzir imprevistos da dinâmica fluvial, enquanto as ações no âmbito da bacia são fora da área do canal, mas interferem na dinâmica do rio, estando ligadas ao tipo de uso do solo que a sociedade pratica na bacia hidrográfica.

Identificam-se como mudanças no canal fluvial as obras de canalização e obras de barragens que objetivam gerar reservatórios.

Já as ações na bacia hidrográfica que irão interferir no comportamento dos canais, elencam-se o desmatamento, a urbanização, as atividades industriais, agropecuárias e a mineração.

Informações sobre a próxima aula

Na próxima aula, iremos abordar as características geomorfológicas das bacias hidrográficas sob o ponto de vista de suas propriedades morfológicas registradas nas cartas topográficas. Serão apresentadas as principais características da análise morfométrica das bacias, destacando os parâmetros mais importantes e a sua relevância para a dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias hidrográficas.

Aula 10

A morfometria e a análise geomorfológica de bacias hidrográficas

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Metas da aula

Apresentar os principais aspectos da análise morfológica das formas de relevo, os principais índices morfométricos utilizados na caracterização das bacias hidrográficas, bem como uma importante metodologia para ensino e pesquisa em geomorfologia continental.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. compreender a importância da morfometria para o desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa em geomorfologia continental;
2. identificar os parâmetros morfométricos e relacioná-los com as características hidrológicas e geomorfológicas das bacias hidrográficas;
3. reconhecer as formas de relevo a partir da análise de índices morfométricos obtidos pela interpretação de cartas topográficas.

Introdução

A análise morfológica das formas de relevo das bacias hidrográficas vem sendo amplamente utilizada para caracterização hidrológica e geomorfológica no âmbito da geomorfologia continental. Essa metodologia permite a obtenção de índices morfométricos que representam o papel da forma do relevo na ação dos processos geomorfológicos responsáveis pela dinâmica das bacias.

Muitos processos geomorfológicos e hidrológicos (como a erosão, os movimentos de massa, o assoreamento de canais e as enchentes) podem ser melhor compreendidos a partir da interpretação das características topográficas das bacias, pois o condicionante morfológico influencia a tipologia e a intensidade do intemperismo, da erosão e da deposição atuantes nessas áreas.

As relações entre formas de relevo, materiais e processos geomorfológicos são muito utilizadas na geomorfologia, e a contribuição específica da análise morfométrica é a possibilidade de produção de índices que refletem as principais características das formas do relevo. Dessa maneira, torna-se possível obter informações muito valiosas para compreender a atuação dos processos a partir da interpretação de cartas topográficas em distintas escalas.

No Brasil, a partir dos trabalhos publicados por Antônio Christofolletti nas décadas de 70 e 80, a análise morfométrica passou a ser bastante utilizada, permitindo a inserção de métodos quantitativos para avaliação das formas de relevo. Dos vários parâmetros morfométricos apontados pela literatura geomorfológica, iremos destacar os mais significativos para a compreensão do papel exercido pelas formas de relevo nos tipos de processos e na intensidade dos mesmos. Inicialmente, vamos apresentar os parâmetros Área da Bacia, Desnívelamento da Bacia

e Desnívelamento do Canal Principal, que refletem os volumes de precipitação sobre as bacias e a energia gravitacional disponível para o escoamento dos fluxos hidrológicos. Num segundo momento, iremos destacar o parâmetro Densidade de Drenagem e suas relações com as características geológicas e climáticas das bacias hidrográficas.

Cabe ainda destacar que, nesta aula, serão apresentadas as principais questões teóricas da análise morfológica das bacias, com o detalhamento da metodologia de obtenção de índices morfométricos, ficando para a Aula 11 as atividades práticas aplicadas à obtenção e ao cálculo de parâmetros morfométricos utilizados na análise morfológica. Portanto, as Aulas 10 e 11 desta disciplina constituem-se em um subconjunto integrado, sendo complementares em diversos aspectos, devendo ser vistas conjuntamente.

A análise morfométrica das bacias hidrográficas e sua relevância para o ensino e a pesquisa em geomorfologia

Esculturação

Conjunto de processos modeladores do relevo da superfície terrestre que são relacionados com a ação dos agentes erosivos sobre o substrato geológico. A esculturação envolve os processos de intemperismo, erosão e deposição.

○ papel exercido pela rede de drenagem na **esculturação** das formas de relevo sempre foi considerado fundamental nas principais teorias e modelos evolutivos da geomorfologia, como vimos nas Aulas 1 e 2 desse curso. Além disso, quando foram introduzidas as abordagens sistêmicas na geomorfologia (como vimos na Aula 3), a função geomorfológica dos canais fluviais foi considerada uma variável-chave para a compreensão dos processos geomorfológicos atuantes nas encostas e fundos de vale nas bacias hidrográficas. Nesse sentido, podemos aceitar que as características da rede de drenagem influenciam de forma decisiva nos processos de intemperismo, erosão e deposição presentes nas bacias, ao mesmo tempo em que refletem a ação dos condicionantes geológicos

e climáticos responsáveis pela modelagem do relevo da superfície terrestre.

Christofolletti (1980) indica que o trabalho geomorfológico dos cursos d'água é um dos *processos morfogenéticos* mais atuantes na esculturação da paisagem terrestre e indica que as características das redes de drenagem refletem o arranjo espacial dos canais fluviais. O mesmo autor coloca que as características morfológicas da rede de canais articulados dentro de uma bacia são influenciadas, dentre outros aspectos, pela natureza e disposição das camadas rochosas (condições litoestruturais), pelo intemperismo e erosão diferencial sobre o embasamento, pelas diferenças de gradiente topográfico e pela evolução geral da própria paisagem geomorfológica.



Processos morfogenéticos

Referem-se ao conjunto de processos responsáveis pela modelagem do relevo da superfície terrestre. De maneira geral, estão relacionados aos processos de intemperismo, erosão e deposição, que são os responsáveis pela esculturação das formas do relevo.



Figura 10.1: Condições litoestruturais relacionadas com a zona de contato litológico. Na foto, podemos observar um contato entre basaltos e gnaisses, que apresentam uma resistência diferencial ao intemperismo e à erosão.

Fonte: Foto dos autores.

Como vemos, são muitas as questões geomorfológicas que podem ser melhor compreendidas a partir da identificação das características morfológicas da rede de drenagem e da observação da relação entre essas formas e os processos operantes nos sistemas fluviais e de encostas das bacias hidrográficas. Questões como tipos e mecanismos de deflagração de movimentos de massa, processos erosivos e deposicionais nas encostas e sistemas fluviais, enchentes

nas planícies de inundação, intemperismo e formação dos solos nas encostas, podem ser relacionadas às características morfológicas das bacias. O assunto central dessa aula é demonstrar como essas características morfológicas podem ser reveladas pela análise morfométrica das bacias hidrográficas.

Para tanto, iremos agora apresentar e discutir os principais aspectos da análise morfológica das bacias, que se constitui numa metodologia de extração de índices morfométricos relativos às formas de relevo numa bacia hidrográfica

As características morfológicas das bacias hidrográficas

A primeira variável morfológica das bacias hidrográficas a ser considerada nas análises morfométricas é o tamanho da bacia, que será determinado pela sua área total, que é o espaço localizado entre as linhas dos divisores de drenagem. Delimitando um perímetro que acompanhe o divisor topográfico que circunda a bacia, podemos calcular a área de contribuição para o *exutório do canal principal* da bacia.

O tamanho dessa área é muito importante, pois quanto maior a área de contribuição de uma bacia, maior será sua superfície exposta a precipitações e, conseqüentemente, maiores serão os índices de vazão de escoamento fluvial. Comparando duas bacias hidrográficas, podemos considerar que, sob condições geológicas e climáticas similares, a bacia de maior tamanho (maior área de contribuição) irá apresentar maiores taxas de vazão fluvial em seu canal principal. O tamanho da bacia é, portanto, uma variável morfológica muito importante, pois determina a quantidade de fluxos hidrológicos nas encostas, nos aquíferos e nos rios, possuindo grande significado geomorfológico para a dinâmica das vertentes e dos seus canais fluviais.



Exutório do canal principal

O termo exutório refere-se à seção transversal de um canal fluvial localizada junto à sua foz, ou seja, no ponto de deságue em outro rio, lagoa costeira ou mar. No caso do exutório do canal principal de uma bacia, representa o trecho que recebe a vazão fluvial de todos os tributários localizados na bacia e é ponto adequado para se medir a vazão da mesma.



Figura 10.2: Bacias hidrográficas em Ubatuba, SP. A foto revela as cabeceiras das bacias nas encostas da Serra do Mar e o exutório dos canais principais desaguando nas praias do litoral.

Fonte: Foto dos autores.

Outra variável morfológica fundamental das bacias é o seu desnivelamento topográfico, que expressa a diferença altimétrica entre o ponto mais elevado do divisor de drenagem e o ponto do exutório, que é a foz do canal principal da bacia em outro sistema

hidrológico (outro rio da qual seja tributário, sistemas lagunares costeiros ou mar). O valor do desnivelamento é fundamental, pois condiciona o gradiente topográfico total da bacia, que, embora possa apresentar muitas classes de declividade distintas no seu interior, tem um peso considerável na determinação dos processos hidrológicos e geomorfológicos atuantes nas encostas e canais fluviais. O desnivelamento topográfico total da bacia determina a quantidade de energia gravitacional potencial que está disponível para a remoção de água e sedimentos da bacia, influenciando toda a dinâmica erosiva e deposicional da mesma.

Outra variável morfológica fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias é a sua forma. Essa variável é fortemente condicionada pelas condições litoestruturais do embasamento geológico, que apresenta, em muitos casos, um controle sobre a dissecação fluvial produzida pela rede de drenagem. A presença de estruturas geológicas, como falhamentos e fraturamentos, podem confinar o entalhe erosivo promovido pela rede de canais e direcionar toda a dinâmica evolutiva da rede de drenagem. Como a ação da dissecação fluvial é considerada um processo morfogenético fundamental, esse controle litoestrutural sobre a rede de drenagem acaba também afetando a forma da bacia.



Dissecação fluvial

Refere-se à ação erosiva dos canais fluviais que, através da incisão vertical no leito e do espraiamento lateral nas margens do canal, promove o entalhamento da rede de drenagem, modificando os níveis de base locais e controlando o processo de modelagem do relevo.



Figura 10.3: Bacia hidrográfica do Rio Macaé, Nova Friburgo-RJ. Pela fotografia, podemos perceber o grande desnivelamento topográfico entre os divisores de drenagem (crista montanhosa ao fundo) e o canal principal da bacia.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 10.4: Bacia do Rio Macaé, Nova Friburgo-RJ. Os altos desnivelamentos topográficos entre os divisores de drenagem e o canal principal da bacia influenciam as características geomorfológicas das vertentes e dos canais fluviais.

Fonte: Foto dos autores.

A forma da bacia (circular ou alongada) reflete, portanto, as interações entre o regime pluviométrico, condicionado pela condições climáticas regionais, e as características geológicas da bacia. Os formatos mais circulares são considerados menos efetivos na rapidez do escoamento fluvial das precipitações sobre as bacias, pois os rios principais e seus tributários têm geralmente maiores extensões. Ao contrário, as bacias com formas mais alongadas apresentam maior rapidez de escoamento fluvial, com os fluxos hidrológicos atravessando extensões menores, para saírem pelo exutório da bacia. Como vemos, essas características morfológicas distintas se relacionam com a dinâmica hidrologia das bacias, afetando as variações de vazão nos canais e o tempo de resposta dos mesmos às entradas de chuvas.



Tempo de resposta

O tempo de resposta de um canal fluvial às entradas de chuva refere-se ao intervalo de tempo decorrido entre o início da precipitação e as modificações na vazão fluvial. Dependendo das características das bacias, esse tempo pode ser longo, quando a água fica retida na encosta antes de chegar aos canais, ou rápido, quando as características do escoamento nas vertentes direcionam diretamente os fluxos para os canais fluviais.



Atende aos objetivos 1 e 2

Agora que já vimos as principais características morfológicas das bacias e alguns parâmetros morfométricos, leia as afirmativas abaixo e indique se são verdadeiras ou falsas.

- 1) O tamanho da bacia pouco importa para sua dinâmica hidrológica. ()
- 2) O tamanho da bacia é fundamental para sua dinâmica hidrológica, pois determina a área de contribuição de fluxos hidrológicos para o exutório do canal principal. ()
- 3) O desnivelamento topográfico e a extensão de uma bacia hidrográfica determinam a energia gravitacional disponível para o escoamento de água e sedimentos da bacia. ()
- 4) O desnivelamento topográfico, que é a diferença altimétrica entre o ponto mais alto do divisor e a cota do exutório do canal principal, não afeta o gradiente da bacia. ()
- 5) A forma da bacia afeta a eficiência do escoamento, sendo que as bacias mais circulares tendem a escoar as águas com maior rapidez. ()

Resposta comentada

- 1) falso – O tamanho da bacia é fundamental para a dinâmica hidrológica, pois determina a área de contribuição de fluxos hidrológicos para o canal principal
 - 2) Verdadeiro
 - 3) Verdadeiro
 - 4) Falso – O gradiente da bacia é estabelecido pela relação entre Desnivelamento topográfico e extensão da bacia.
 - 5) Falso – As bacias com Forma circular tendem a promover o escoamento mais lento dos fluxos fluviais.
-

Os índices morfométricos e a avaliação de condicionantes geomorfológicos

Iremos agora apresentar alguns parâmetros morfométricos utilizados para quantificar essas variáveis morfológicas, servindo de base para realização da caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e para o entendimento dos processos geomorfológicos observados no interior das mesmas.

Área da bacia

Esse parâmetro define o tamanho da bacia e é determinado pela área localizada dentro do perímetro da mesma. É ele que define a área de contribuição de drenagem para o exutório do canal principal. Nas encostas localizadas na área de contribuição, ocorrem os fluxos de escoamento pluvial (água proveniente da chuva), como vimos na Aula 8. A água precipitada nas encostas tende a se direcionar para os canais, com exceção da parcela da chuva que sofre evapotranspiração. Esse escoamento se dá por diferentes rotas hidrológicas nas encostas, que podem envolver fluxos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos.

Portanto, quanto maior for a área de contribuição da bacia, maior será a magnitude dos fluxos de água em seu interior e maior será a complexidade da dinâmica hidrológica nas encostas e nos canais localizados na bacia. Importante lembrar, como vimos na Aula 8, que a dinâmica hidrológica das bacias envolve as condições de infiltração, armazenamento e escoamento de água das chuvas na superfície do terreno, na zona não saturada dos solos e na zona de saturação. Ainda retomando a Aula 8, podemos perceber que os fluxos de base e os fluxos de chuva observados nos canais fluviais terão características bastante influenciadas pelo tamanho da área de contribuição da sua bacia.

Outro aspecto relevante do tamanho da área de contribuição para as características geomorfológicas da bacia é a sua influência

no tempo de resposta da vazão aos eventos pluviométricos. Bacias de menor tamanho (menor área) costumam apresentar uma resposta mais rápida às entradas de chuva, com o aumento de vazão no canal sendo sentido durante ou imediatamente após o evento de chuva. Já nas bacias maiores, esse tempo de resposta pode ser bem maior.

Gradiente da bacia

O gradiente da bacia reflete a energia gravitacional disponível para mobilizar água e sedimentos ao longo das encostas e da rede de drenagem localizada dentro da bacia hidrográfica. Quanto maior for o gradiente topográfico da bacia, maior será a velocidade dos fluxos hidrológicos nas encostas e canais e, conseqüentemente, mais intensa será sua dinâmica hidroerosiva. O gradiente total da bacia é obtido a partir da determinação do desnivelamento topográfico e da extensão longitudinal da bacia.

As bacias hidrográficas com grande desnivelamento topográfico e pequena extensão apresentam os maiores gradientes topográficos e possuem características morfológicas que favorecem um rápido escoamento das águas precipitadas nas encostas. Ao contrário, bacias com baixo desnivelamento e/ou grande extensão apresentam menores gradientes e maior capacidade de reter os fluxos hidrológicos originados nas entradas pluviométricas.

O gradiente da bacia tem importante significado geomorfológico, pois afeta a dinâmica hidrológica das encostas e as relações entre as entradas de chuva e as respostas de vazão nos canais fluviais. Processos como infiltração e percolação da água no solo, o escoamento superficial e subsuperficial nas encostas e o armazenamento e o fluxo de água subterrânea na zona de saturação recebem grande influência do gradiente da bacia.

Gradiente do canal principal

O gradiente do canal principal revela as características de declividade do canal principal da bacia, estando diretamente relacionado à sua dinâmica erosiva e deposicional, bem como suas respostas de aumento de vazão aos eventos pluviométricos na bacia. Canais com o gradiente elevado tendem a promover um rápido escoamento fluvial, intensificando a capacidade de transporte de sedimentos pelo fluxo fluvial. Nessas condições, o rápido escoamento pode intensificar também os processos de erosão fluvial, promovendo um incremento ainda maior no transporte de sedimentos.

Por outro lado, os valores baixos de gradiente do canal principal revelam sistemas fluviais com menos energia gravitacional disponível, implicando menor capacidade de erosão, transporte de sedimentos e predomínio dos processos deposicionais.

O gradiente do canal principal é obtido pela relação entre o desnivelamento e a extensão do mesmo e reflete as características gerais do perfil longitudinal do canal. Cabe destacar que, mesmo em canais com elevado gradiente, podem existir trechos com menor gradiente de declividade, afetando a dinâmica hidrológica, erosiva e deposicional do fluxo fluvial, que se modifica de acordo com essas variações na declividade do canal. Portanto, para termos uma avaliação da dinâmica erosiva e deposicional num determinado sistema fluvial, temos que considerar também as características de seu perfil longitudinal, que revela as variações de declividade do leito fluvial ao longo de toda a sua extensão.



Figura 10.5: Trecho do canal principal do Rio Macaé, Nova Friburgo, RJ. Na foto, podemos perceber um trecho de menor declividade no leito, favorecendo os processos deposicionais.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 10.6: Canal principal da bacia do Rio Macaé, Nova Friburgo, RJ. Nesse trecho do canal, o aumento na declividade promove um fluxo mais turbulento, aumentando a capacidade de transporte e erosão e inibindo os processos deposicionais.

Fonte: Foto dos autores.

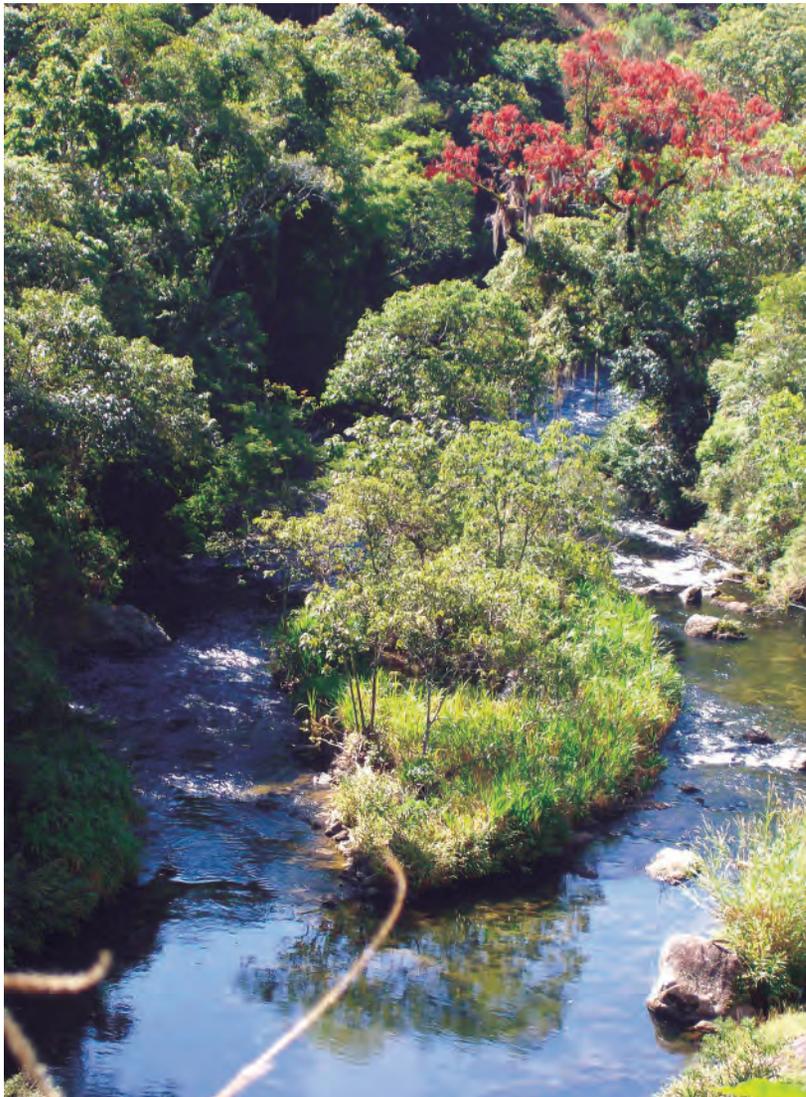


Figura 10.7: Pequenas variações de declividade em um trecho do canal principal do Rio Macaé, Nova Friburgo – RJ. Pode-se perceber, pelas variações na turbulência do fluxo, a influência desse parâmetro na dinâmica erosiva e deposicional dos canais fluviais.

Fonte: Foto dos autores.

Densidade de drenagem

A densidade de drenagem é um dos parâmetros mais utilizados na análise morfométrica do relevo, pois reflete as interações entre as características do embasamento geológico com a dinâmica climática da bacia, possuindo um grande significado

geomorfológico. A densidade de drenagem expressa a relação entre a área da bacia e a extensão total da rede de canais e demonstra as características da dissecação fluvial em um determinado trecho da superfície terrestre. Como vimos nas Aulas 1 e 2 desta disciplina, os principais modelos evolutivos e teorias geomorfológicas buscam correlacionar os processos de dissecação fluvial ao modelado do relevo.



Dissecação fluvial

Conjunto de processos fluviais que promovem o entalhamento da rede de drenagem e promovem o rebaixamento dos níveis de base locais, controlando toda a dinâmica evolutiva das encostas em uma bacia hidrográfica. Envolve os processos de incisão linear, erosão fluvial e transporte de sedimentos que ocorrem no interior dos canais fluviais.

A extensão total da rede de canais da bacia representa o somatório da extensão (cumprimento do canal, medido entre a nascente e a foz) de todos os canais tributários e do canal principal da bacia. A extensão total da rede de drenagem reflete o número de rios localizados no interior de uma bacia e a sinuosidade e a extensão dos mesmos. Quanto maior a extensão da rede de canais, maior será o valor de densidade de drenagem e mais eficiente será a exportação de água e sedimentos para fora da bacia. A extensão dos rios também reflete as características do gradiente dos canais, pois os trechos de maior declividade geralmente apresentam menor sinuosidade. Outro aspecto que afeta a extensão da rede são os controles litoestruturais, que podem confinar e orientar os canais, segundo a rede de fraturas e outras estruturas geológicas do embasamento.



Atende aos objetivos 1 e 2

Agora que já vimos os índices morfométricos mais utilizados para o entendimento das características morfológicas das bacias e as suas relações com os processos geomorfológicos, responda às questões abaixo:

a) Como podemos determinar o gradiente de uma bacia e qual sua importância para o entendimento dos processos geomorfológicos?

b) Como podemos relacionar os processos erosivos e deposicionais no sistema fluvial com o gradiente do canal principal?

c) Por que a densidade de drenagem se constitui num importante parâmetro morfométrico para avaliação hidrológica das bacias de drenagem?

Resposta comentada

a) O gradiente de uma bacia é determinado pela relação entre o seu desnivelamento total, expresso pela diferença altimétrica (distância vertical) entre o ponto de maior cota do divisor de drenagem e a cota do ponto do exutório, e sua extensão, expressa pela distância entre o ponto mais afastado da sua foz e o trecho do canal onde se localiza o exutório (distância horizontal). Ambos os valores são expressos em metros e, dividindo o valor de desnivelamento pelo valor da extensão, teremos o valor do gradiente da bacia. A importância desse parâmetro é que ele determina a energia gravitacional disponível para mobilizar água e sedimentos pelas encostas e canais, afetando os processos de intemperismo, erosão e deposição dentro da bacia.

b) O gradiente do canal principal expressa a declividade média do leito fluvial de um canal e se relaciona aos processos de erosão, transporte de sedimentos e deposição ao longo do rio principal de uma bacia hidrográfica. Para estabelecer uma relação entre esses processos e o gradiente do canal principal, precisamos considerar que existem diferenças de declividade ao longo da extensão do canal que controlam sua dinâmica erosiva e deposicional. Nos trechos de maior declividade, temos predomínio da erosão; nos de menor declividade, temos o predomínio da deposição. Portanto, para caracterização da dinâmica erosiva e deposicional de um rio, precisamos articular o gradiente total (energia gravitacional total disponível) com seu perfil longitudinal que apresenta as variações de declividade ao longo de sua extensão entre a nascente e a foz (exutório).

c) A densidade de drenagem em uma bacia hidrográfica revela a relação entre a extensão da rede de canais (principal e tributários) e a área total da bacia. Quanto maior a densidade de drenagem, maior a facilidade de escoamento de água e sedimentos da bacia, promovendo uma resposta mais rápida às entradas de chuva. Já nas bacias com menor densidade de drenagem, a água da chuva permanece um maior tempo nas encostas, retardando as respostas de vazão nos canais fluviais e afetando a dinâmica hidrológica. As variações de vazão no canal principal vão estar, portanto, relacionadas à densidade de drenagem, o que pode acelerar ou retardar a chegada dos fluxos fluviais ao exutório da bacia.

Reconhecendo as formas de relevo a partir da interpretação das cartas topográficas

Já foram apresentados, em aulas anteriores inseridas na disciplina de Geomorfologia Geral e também nesta disciplina de Geomorfologia Continental, os procedimentos para interpretação de curvas de nível que representam graficamente as formas do relevo (formas côncavas e convexas das encostas e perfis longitudinais dos canais fluviais). Na análise morfométrica, são priorizadas as características morfológicas das bacias hidrográficas, que também podem ser extraídas das cartas topográficas.

A interpretação do traçado das curvas de nível é fundamental, pois indica as linhas que representam os Divisores de Drenagem, que, por sua vez, são utilizados para delimitação do perímetro das bacias e/ou sub-bacias de um sistema hidrográfico. Ou seja, para iniciarmos os procedimentos metodológicos para análise morfométrica, temos que delimitar as bacias para, posteriormente, determinarmos suas características morfológicas descritas na primeira seção desta aula.

Quando analisamos as bacias hidrográficas, percebemos que as mesmas são compostas por inúmeras sub-bacias, pois cada canal tributário de um canal principal possui sua área específica de contribuição de drenagem. Essa área representa a porção da bacia que drena fluxos de água e sedimentos para um determinado canal tributário, e pode ser delimitada pelos mesmos princípios que norteiam a delimitação da bacia do canal principal.

Devemos, portanto, localizar todos os canais tributários e delimitar sua sub-bacia específica a partir da identificação dos divisores internos (interflúvios) localizados na bacia hidrográfica. Na prática, ao delimitarmos todas as sub-bacias tributárias de um canal principal (inclusive a do canal principal antes da articulação com o primeiro tributário), delimitamos a própria bacia hidrográfica do canal principal.

Como o número de canais tributários de uma bacia pode ser bastante elevado, costuma-se utilizar um sistema que possa

hierarquizar os canais em diferentes ordens, para formar um número menor de sub-bacias e possibilitar sua caracterização morfológica. Para tanto, costuma-se utilizar o método de Strahler (1952) para definição de hierarquia da rede de drenagem.

A hierarquia da rede de drenagem e a delimitação das bacias hidrográficas

Segundo Strahler (1952), a hierarquia da rede de drenagem é obtida a partir da interpretação da posição de cada canal em relação à rede de drenagem da bacia. Partindo das nascentes, em direção à foz do exutório do canal principal de uma bacia, percebemos que, inicialmente, os canais não possuem afluentes e são, então, denominados de canais de primeira ordem. A partir de um determinado ponto, determinado pelo desenho da rede de drenagem na carta topográfica, dois canais se encontram, cada qual com sua sub-bacia e área de contribuição específica, e são integrados num mesmo sistema fluvial. Desse trecho em diante, os canais são considerados de segunda ordem, pois são formados por dois canais distintos e, logicamente, possuem uma maior área de contribuição, afetando suas características hidrológicas e geomorfológicas.

Quando esse canal de segunda ordem encontra outro afluente (canal tributário), só muda de ordem, indo para a terceira ordem, se o referido afluente também já for de segunda ordem. Caso a canal seja de ordem inferior (no caso, primeira ordem), não há mudança de nível hierárquico. Portanto, para termos um canal de terceira ordem, é necessário que ocorra a junção de dois canais de segunda ordem. Pelo método de Strahler, quando um canal de ordem superior recebe a contribuição de um canal de ordem inferior, **NÃO HÁ MUDANÇA DE NÍVEL HIERÁRQUICO.**

Após a delimitação da bacia do canal principal e da identificação de todos os seus canais tributários, podemos determinar a hierarquia da rede, identificando os canais de primeira, segunda,

terceira ordem (e quantas mais forem necessárias para se chegar à ordem do canal no seu exutório). Podemos, então, entender que, na maioria das vezes, quanto maior for o tamanho da bacia, maior será seu nível hierárquico.

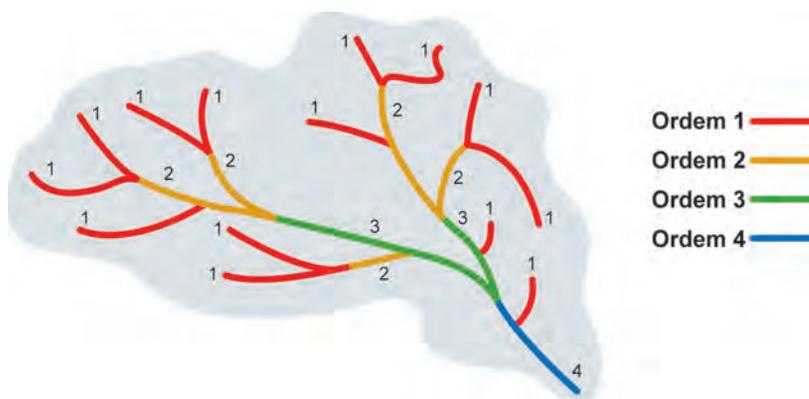


Figura 10.8: Desenho esquemático de uma bacia hidrográfica com a hierarquia de sua rede de drenagem, segundo Strahler (1952).

Temos ainda que abordar a questão da escala da carta topográfica utilizada, pois, dependendo do grau de detalhamento da superfície do terreno, irá aparecer um número diferente de canais, e isso vai afetar sua classificação em termos de ordem hierárquica. As escalas mais detalhadas (1:10000 e 1:5000) revelam basicamente todos os canais fluviais presentes numa bacia, mas quando utilizamos escalas menos detalhadas (1:50000 e 1:100000), alguns trechos da rede podem não ser revelados pela carta. Escalas menores que 1:100000 não devem ser utilizadas na análise morfométrica, pois ocorre naturalmente uma simplificação das feições representadas, afetando a capacidade de se extrair informações sobre a rede de drenagem com o nível de detalhamento requisitado por essa metodologia de análise morfológica de bacias e sub-bacias.

Escolhendo a escala cartográfica utilizada na análise morfométrica

Como vimos, a escolha da escala do material cartográfico utilizado para delimitação da bacia, hierarquização da drenagem e análise morfométrica é fundamental. A escolha vai refletir basicamente o tamanho da área analisada e da disponibilidade de material cartográfico. Embora as escalas de maior detalhe sejam as mais indicadas, nem sempre são disponíveis para a bacia focalizada. Além disso, dependendo do tamanho da bacia, essas escalas são descartadas, pois geram a necessidade de interpretação de várias cartas topográficas, pois para cobrir toda a área da bacia nesse grau de detalhamento, são necessárias muitas cartas, inviabilizando a utilização das mesmas.

As escalas de semidetalhe (1:50000 e 1:100000) são geralmente as mais utilizadas, pois fornecem um detalhamento da rede de drenagem bastante razoável para os objetivos da análise morfométricas e cobrem áreas maiores com um número menor de cartas.

Como o número de canais representados em uma carta se modifica com mudanças na escala, a definição da hierarquia deve levar em consideração a escala em que foram extraídas as informações da carta topográfica. De maneira geral, quando se utilizam cartas em escala 1:50000, são priorizadas as características morfológicas das sub-bacias de segunda ordem, que são utilizadas para obtenção dos parâmetros morfométricos descritos na primeira seção desta aula. Já nas cartas de escala 1:100000, são utilizadas as bacias de terceira ordem para os mesmos objetivos.



Atende aos objetivos 1 e 3

Agora que identificamos a importância das características do material cartográfico para a análise morfométrica, assinale verdadeiro ou falso para as afirmativas abaixo:

- 1) Na análise morfométrica, podemos extrair informações das cartas, independentemente de suas escalas, pois sempre estarão presentes os rios que formam a rede de drenagem. ()
- 2) A determinação da hierarquia da rede de drenagem é fundamental para a delimitação das sub-bacias na análise morfométrica. ()
- 3) Os canais de primeira ordem são aqueles que possuem apenas um afluente. ()
- 4) Os canais de terceira ordem são aqueles formados a partir da junção de dois canais de segunda ordem numa rede hidrográfica. ()
- 5) As escalas mais utilizadas na análise morfométrica são as de 1:50000 e 1:100000. ()

Resposta comentada

- 1) Falso – Dependendo da escala utilizada, o detalhamento da rede de drenagem se modifica, alterando o processo de hierarquização da rede de drenagem.
 - 2) Verdadeiro
 - 3) Falso – Os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem nenhum afluente (canal tributário). Quando um canal recebe as águas de seu primeiro afluente, passa a ser classificado de canal de segunda ordem.
 - 4) Verdadeiro
 - 5) Verdadeiro
-

CONCLUSÃO

Após a apresentação das características mais fundamentais da análise morfológica das bacias hidrográficas, podemos concluir que a mesma se constitui em uma importante ferramenta para a compreensão de diversos fenômenos de interesse para a geomorfologia. Os parâmetros morfológicos, que podem ser mensurados a partir da interpretação de cartas topográficas, constituem-se em elementos fundamentais para a dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias, regulando os processos de escoamento de água e sedimentos e afetando os processos de intemperismo, erosão e deposição.

Nesse sentido, foi desenvolvida, ao longo do tempo, uma metodologia para análise morfométrica do relevo que permite a quantificação de uma série de parâmetros considerados fundamentais para o entendimento da dinâmica geomorfológica. A partir da adoção de índices morfométricos, a geomorfologia passou a relacionar as características morfológicas do terreno aos processos geomorfológicos observados. Com a delimitação das várias sub-bacias que compõem um sistema hidrográfico, realizada a partir da hierarquização da rede de drenagem e da identificação dos divisores de drenagem, podemos quantificar sua área, gradiente e densidade de drenagem, dentre outros parâmetros, e entender melhor a dinâmica geomorfológica da bacia como um todo.

RESUMO

Nesta aula, podemos identificar a importância da análise morfológica para o entendimento da dinâmica geomorfológica das bacias hidrográficas. Inicialmente, vimos como o Tamanho da Bacia, seu desnivelamento Topográfico e sua Forma são importantes condicionantes para os processos geomorfológicos atuantes. Vimos

como essas variáveis são importantes para a identificação da dinâmica erosiva e deposicional nas bacias hidrográficas.

Num segundo momento, abordamos os principais parâmetros morfométricos utilizados, destacando a área da bacia, o gradiente da bacia, o gradiente do canal principal e a densidade de drenagem. Podemos, então, observar a relevância de cada um desses aspectos para a geomorfologia.

Finalmente, apresentamos as características dos materiais cartográficos utilizados, já que os mesmos são a base de toda a análise morfométrica. Foi dada especial atenção ao procedimento de hierarquização da rede de drenagem, que serve de base para delimitação de sub-bacias que formam uma bacia hidrográfica. Foram ainda destacadas as escalas utilizadas pela morfometria, destacando a importância de escalas cartográficas apropriadas para a extração de parâmetros morfométricos em cartas topográficas.

Informações sobre a próxima aula

Na próxima aula, iremos desenvolver atividades práticas relacionadas à extração de parâmetros morfométricos obtidos em cartas topográficas. Pretendemos realizar exercícios para delimitação de bacias hidrográficas e cálculo de índices morfométricos para demonstrar como a análise morfométrica pode gerar subsídios ao entendimento da dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias hidrográficas. Vid min consedi nonsent aceat haribus.

Et voluptium rende volora autaque plissitatur, non rature prateni hillorionsed mos eatem et enda deliqua ssecus, eum acestrum qui consequi as expere magnam nitam hilitatur remquia voluptas pelecatur, nis doluptate voluptiet, occusa consequen, omnimol uptate pa nullori a doluptat porum id miliqua speraec estionsed expe cusae exerum nis reptate ped quae ventias incto erum rem eiuntur simus aut odi reptatur moluptam quunt re sinvenisque pliquis

Aula 11

Aula prática sobre morfometria: subsídios para análise geomorfológica das bacias hidrográficas

*Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Metas da aula

Apresentar as diferentes maneiras de obtenção de dados morfológicos em cartas topográficas, possibilitando a análise das características geomorfológicas das bacias hidrográficas através da utilização de índices morfométricos. Pretende-se ainda proporcionar uma aula prática, na qual os alunos possam exercitar técnicas de obtenção e interpretação de dados morfométricos

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. delimitar, na prática, uma bacia hidrográfica em carta topográfica e definir sua ordem hierárquica, segundo os critérios de Strahler;
2. retirar da carta topográfica informações e índices morfométricos relevantes para sua caracterização geomorfológica;
3. desenhar o perfil longitudinal e o perfil transversal da bacia e fazer relações com suas características geomorfológicas;
4. discutir as informações geomorfológicas obtidas na bacia hidrográfica destacada.

INTRODUÇÃO

Primeiramente, é importante destacar que esta é uma aula prática, na qual você irá extrair de uma carta topográfica as propriedades morfológicas de uma bacia hidrográfica. Para isso, na última aula, foram abordadas e discutidas teoricamente as principais características da análise morfométrica das bacias hidrográficas, destacando os parâmetros mais importantes e a sua relevância para a dinâmica hidrológica e geomorfológica das bacias (área da bacia, desnivelamento e gradiente do canal principal e da bacia, densidade de drenagem).

É justamente na Aula 10 que vocês encontrarão a base teórica para desenvolver o trabalho prático proposto nesta aula. Esta aula, na realidade, é o produto final da anterior, que desdobramos em duas aulas porque demandará tempo cumprir essas etapas práticas que a aula propõe.

Outras aulas também ajudarão você a realizar bem este trabalho, como a Aula 5 do curso de Geomorfologia Geral – “As representações das formas de relevo: uso de mapas topográficos em geomorfologia” – e a Aula 4 do nosso curso de Geomorfologia Continental. Antes de iniciar o trabalho desta aula, é importante que você faça uma revisão dessas duas aulas. Há também necessidade dos conhecimentos obtidos em cartografia para realização deste trabalho.

A importância desta aula é que você obtenha uma caracterização geral da bacia a partir de dados produzidos pela interpretação de cartas topográficas; que vivencie a elaboração de um relatório, articulando uma linguagem mais técnica, e que se familiarize com as cartas topográficas e com as metodologias de análise morfométrica do relevo. A interpretação das cartas topográficas, especialmente a obtenção dos índices morfométricos, é considerada fundamental para a geomorfologia continental, pois as cartas são representações das formas do relevo e permitem a

caracterização das formas e dos processos no interior de cada bacia hidrográfica (**Figura 11.1**).

Cabe ressaltar que, por ser uma aula prática, você perceberá também que sua estrutura se diferencia das demais, visto que é uma aula somente de atividades. O tutor da disciplina também o apoiará em todas as etapas desse trabalho. Então, vamos lá.

Mãos à obra e bom trabalho!

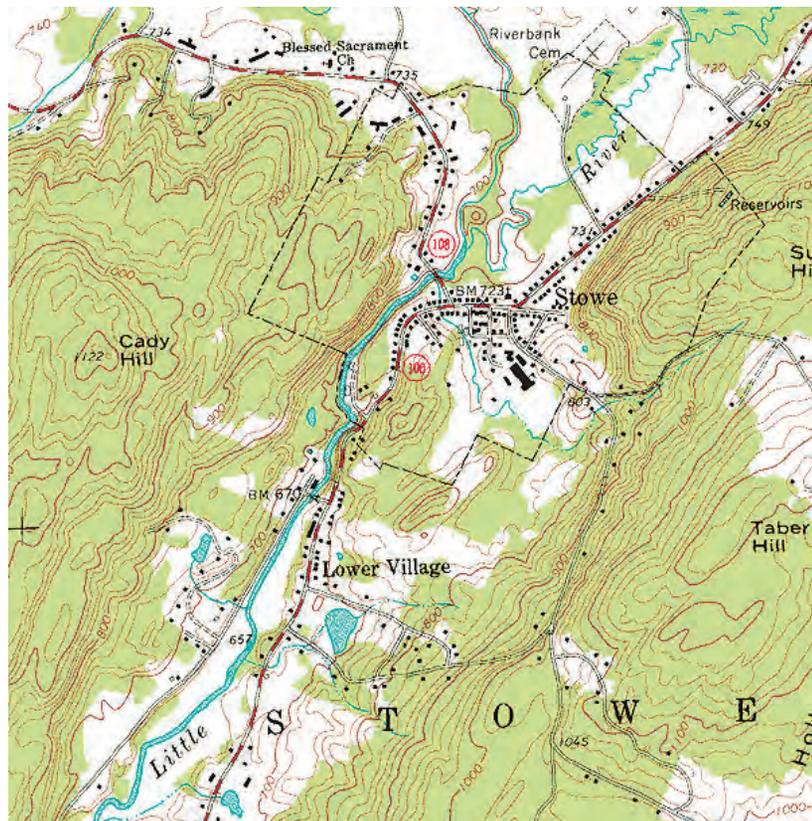


Figura 11.1: Exemplo de carta topográfica.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Topographic_map_example.png

Materiais a serem utilizados na aula:

- Carta topográfica em escala 1:50.000;
- Fotocópias da carta;

- Papel milimetrado comum e transparente;
- Papel vegetal;
- Rolo de barbante;
- Régua;
- Lápis;
- Caneta marcadora (duas cores).

Delimitação de bacia

Nesta etapa, você irá selecionar e depois delimitar, na carta topográfica escolhida com escala 1:50.000, uma bacia hidrográfica de terceira ordem, utilizando o método Strahler (1952). Após a delimitação de uma bacia hidrográfica de terceira ordem, esta será sua área de estudo para todas as etapas posteriores desta aula. O trabalho fica muito interessante também quando se opta por uma carta topográfica que cubra uma área que você já conhece.

Informações e índices morfométricos

Retirando dados para interpretação

Para dar continuidade à atividade, você deve interpretar as características morfológicas da carta topográfica no trecho em que delimitou a bacia hidrográfica de terceira ordem. Agora, retire da bacia hidrográfica delimitada as seguintes informações:

Área da bacia

A determinação da área da bacia é o primeiro procedimento a ser realizado após a sua delimitação. Esse valor será fundamental para calcular a densidade de drenagem.

Para medir a área, você deve utilizar o papel milimetrado transparente para poder sobrepô-lo sobre a carta topográfica. Cada quadrado de 1 cm de lado corresponde a uma área de 500 por 500 m na carta, que é igual a 250.000 m².

Colocando o papel milimetrado sobre a carta, basta determinar quantos quadrados estão totalmente inseridos na área da bacia. O número de quadrados deverá ser multiplicado por 250.000 m² para obtenção da área da bacia. Como muitos quadrados estarão apenas parcialmente inseridos, você deve fazer uma estimativa para determinar quantos quadrados devem ser acrescentados ao cálculo final, para que essas áreas não sejam desconsideradas.

Desnívelamento da bacia hidrográfica

Compreende a diferença entre a cota altimétrica mais alta e o ponto mais baixo da bacia destacada. A cota mais elevada situa-se na porção mais elevada do **divisor de drenagem** da bacia, e o ponto mais baixo localiza-se no seu **exutório**. A diferença em metros entre esses dois valores constitui o desnívelamento da bacia.

Extensão da rede de canais

A extensão da rede de canais da bacia corresponde ao somatório do comprimento de todos os canais presentes nesta. Nessa etapa, você deve destacar todos os rios que compõem a bacia, independentemente de seu nível hierárquico, e somar o comprimento de cada um deles para obter a extensão total da rede de canais.

Como os canais possuem traçados sinuosos, utilize um barbante para acompanhar o traçado de cada rio. Após a determinação da extensão correspondente a cada canal, estique o barbante sobre uma régua para mantê-lo reto e calcular seu comprimento em metros. Vale destacar que nas cartas topográficas em escala 1:50.000, utilizadas nesse exercício, cada 1 cm corresponde a 500 m.

Divisor de drenagem

Representa a linha com as maiores cotas altimétricas registradas nas extremidades da bacia e que servem para sua delimitação. Um divisor de drenagem é um interflúvio, ou seja, o ponto mais elevado entre dois canais fluviais localizados em bacias vizinhas, que separa a área de contribuição de drenagem de cada bacia.

Exutório

Ponto onde o canal principal deságua em outro rio ou no mar.

Comprimento da bacia

Nesse parâmetro, você irá determinar a maior distância entre o exutório da bacia e as cabeceiras de drenagem, para determinar o comprimento da bacia. Nessa etapa, você deve utilizar a régua e traçar uma linha reta entre a saída do canal principal (exutório) e o ponto mais distante localizado no divisor da bacia. O valor obtido em centímetros deverá ser convertido para metros (na escala 1:50.000, 1 cm é igual a 500 m).

Comprimento do canal principal

É a distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até determinada nascente. Como vimos na Aula 10, o canal principal de uma bacia é aquele que possui a maior extensão. Como você já mediu todos os canais na etapa de medição da extensão da rede de canais, basta selecionar o maior deles e indicar a distância entre a nascente (ponto em que um rio começa a ser representado na carta) e a sua desembocadura.

Desnívelamento do canal principal

O desnívelamento do canal principal é a diferença em metros entre a cota altimétrica da nascente e a cota da desembocadura. Para obter essa informação, você deve extrair da carta topográfica o valor da curva de nível mais próxima de cada um desses pontos (nascente e desembocadura) e calcular a diferença altimétrica entre eles.

Calculando os índices morfométricos

Conseguiu obter na carta topográfica os dados solicitados? Então, agora, vamos calcular os índices morfométricos da sua bacia e utilizar essas informações para realizar a caracterização

geomorfológica destas. Para dar prosseguimento a essa aula prática, calculem os índices morfométricos a seguir:

Gradiente da bacia

O gradiente da bacia indica seu grau médio de declividade e está relacionado à dinâmica erosiva e deposicional das encostas e dos canais fluviais. O gradiente da bacia é calculado a partir dos dados de desnivelamento e comprimento da bacia, que foram obtidos na primeira parte desta aula prática. O valor do gradiente é o resultado do desnivelamento da bacia dividido pelo comprimento da bacia.

Gradiente do canal principal

Assim como podemos determinar o gradiente da bacia, podemos também determinar o gradiente do canal principal. Refere-se ao grau médio de declividade do canal principal da bacia e controla a dinâmica hidrológica, erosiva e deposicional dos rios.

O gradiente do canal principal é calculado a partir dos dados de desnivelamento e comprimento do canal principal, que foram obtidos na primeira parte desta aula prática. O valor do gradiente é igual ao desnivelamento do canal (diferença entre a cota da nascente e a cota da desembocadura) dividido pelo comprimento do canal principal.

Densidade de drenagem

É a relação entre o somatório do comprimento dos canais pela área da bacia de drenagem. Podendo ser calculada pela equação:

$$Dd = Lt/A$$

Onde,

Dd é a densidade de drenagem,

Lt é o somatório do comprimento dos canais,

e

A é a área da bacia.

Perfis do canal principal e da bacia

Perfil longitudinal do canal principal

Com base nos dados da carta topográfica, desenhe o perfil longitudinal do canal principal da bacia hidrográfica selecionada. O perfil longitudinal demonstra o percurso de um rio, relacionando o comprimento e a altimetria, no qual podemos, por exemplo, estudar a declividade do leito ao longo do seu percurso e extrair informações geomorfológicas importantes, como áreas de maior potencial erosivo e posicional. O perfil longitudinal típico tem forma côncava com declividades maiores em direção à nascente (**Figura 11.2**).



Figura 11.2: Perfil longitudinal do rio Douro, que drena áreas da Espanha e de Portugal.

Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Perfil_del_Duero.gif

Perfil transversal da bacia

O perfil transversal mostra os aspectos do vale nesse determinado ponto da seção transversal. Com a análise desse perfil, pode-se caracterizar, por exemplo, as vertentes que estão em interação com o canal fluvial nesse ponto representativo.

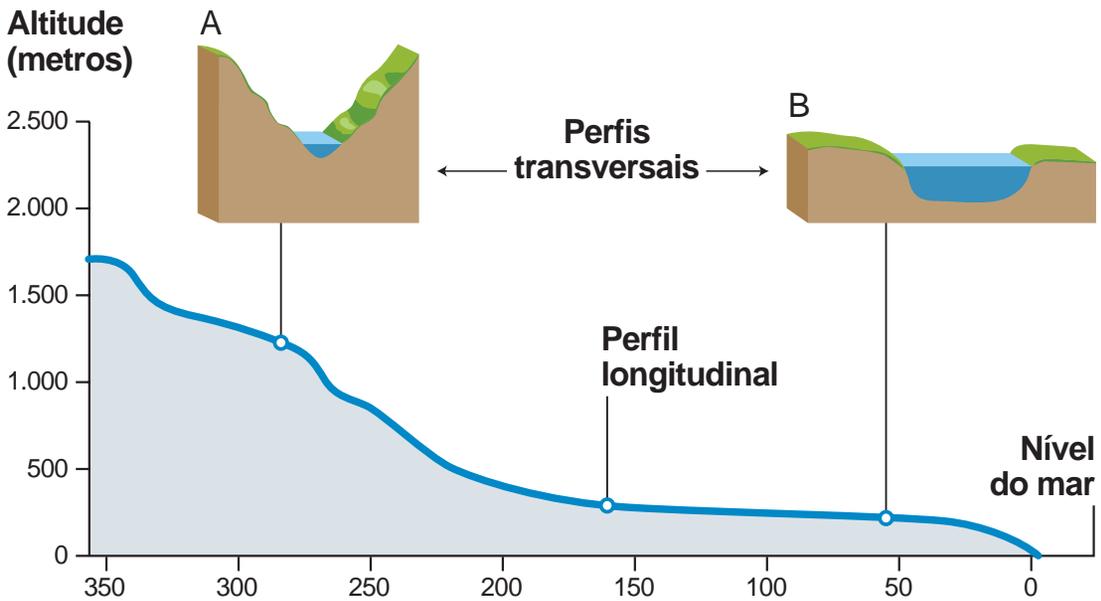


Figura 11.3: Representação de perfil transversal em dois pontos do rio (a e b) e perfil longitudinal.

CONCLUSÃO

Como visto, este tipo de trabalho é essencial para a disciplina, já que se tem a possibilidade de aplicar na prática muito do que foi assimilado durante o curso. A análise geomorfológica de bacias hidrográficas baseada em índices morfométricos nos possibilita analisar transformações da própria natureza, como aquelas induzidas pelo homem como agente geomorfológico e, entre outras

coisas, verificar mudanças fluviais diretas e/ou indiretas no canal fluvial, tão discutidas em nossa Aula 9.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2, 3 e 4

Elabore um relatório sobre as características geomorfológicas da bacia hidrográfica escolhida, com base nos índices morfométricos e perfis obtidos.

Resposta comentada

Espera-se que, neste relatório, você apresente, com a respectiva discussão, todos os dados obtidos nas etapas anteriores. É importante que você utilize uma redação mais técnica, encontrada nos trabalhos de geomorfologia. Serão observados o diálogo com os conceitos e teorias discutidas ao longo do curso.

RESUMO

O trabalho de análise geomorfológica de bacias hidrográficas baseada em índices morfométricos auxilia a disciplina no entendimento de assuntos ligados não só à geomorfologia fluvial como em outros ramos da ciência geomorfológica e da hidrologia.

É importante destacar que, para ser mais bem entendida, esta aula prática deve estar sempre unida à teoria da aula anterior (Aula 10), que fundamentará cada uma das etapas propostas.

O objetivo é que se obtenha uma caracterização geral da bacia a partir de dados extraídos de carta topográfica e que se vivencie a elaboração de um relatório articulando os conceitos e teorias apresentados durante os cursos de Geomorfologia Geral e Continental.

A extração desses índices e perfis em carta nos possibilita identificar e analisar as transformações nos canais fluviais e no âmbito da bacia hidrográfica.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, abordaremos os processos e as formas dos relevos da superfície terrestre passíveis de sofrerem o processo de carstificação, ou seja, apresentaremos a geomorfologia cárstica.

Aula 12

Geomorfologia cárstica

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar as principais características da geomorfologia cárstica, abordando os processos de carstificação, as formas típicas do relevo cárstico e o uso do solo nestes ambientes.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. compreender os processos modeladores do relevo que atuam no sistema cárstico;
2. identificar as feições de relevo características de ambientes cársticos;
3. discutir o uso do solo em áreas de relevo cárstico.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia cárstica é o ramo da ciência geomorfológica que se dedica a estudar as formas e os processos característicos de terrenos na superfície terrestre passíveis de sofrerem o processo de carstificação. São as formas de relevo elaboradas sobre rochas da superfície terrestre solúveis em água.

Kohler (1994) aponta que 10% da superfície terrestre se constituem em áreas que apresentam condições básicas para o desenvolvimento do carste. No Brasil, destacam-se províncias de rochas carbonáticas nos estados da Bahia, de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul. No Rio de Janeiro, há também presença de feições cársticas em rochas carbonáticas nos municípios de Itaocara, Cantagalo e São Sebastião do Alto, provenientes da unidade São Joaquim. Todas essas províncias carbonáticas desenvolveram paisagens distintas, controladas por climas e regimes hidrológicos diferenciados.

São áreas que merecem destaque devido à exploração e se diferenciam por sua beleza e exuberância. Muito conhecidas por suas cavernas (**Figura 12.1**) e lagoas subterrâneas, que impulsionam atividades como o geoturismo e a mineração para fabricação de cimento extraído do calcário encontrado nessas rochas.



Figura 12.1: Gruta do Lago Azul – Bonito, MS.

Fonte: Foto dos autores.

O objetivo desta aula é proporcionar uma apresentação geral do processo de gênese e evolução da paisagem carste, de suas formas peculiares, e discutir a complexidade que envolve o uso do solo em áreas passíveis de carstificação.

O sistema cárstico

As principais rochas solúveis na superfície terrestre são as **carbonáticas** e os **evaporitos**. Dentre as rochas carbonáticas mais comuns que estão sujeitas ao processo de carstificação, destaca-se o calcário.

Christofolletti (1980) aponta as principais condições para elaboração e evolução de um relevo cárstico:

- a) considerável espessura (na superfície ou próxima dela) de rochas solúveis, sendo calcário a mais comum. Os dolomitos também podem apresentar feições cársticas, mas são mais difíceis de dissolver;
- b) regime climático que proporcione chuvas suficientes para o trabalho de dissolução das rochas;
- c) escoamento de água subterrânea para efetuar o processo de dissolução e acarretar o pleno desenvolvimento das formas cársticas.

A água é o principal condicionante de evolução das formas cársticas e, em resumo, a formação e evolução de uma paisagem cárstica dependerão do grau de dissolução da rocha, da qualidade e do volume de água e das características do ambiente, como a biosfera e a atmosfera (KOHLE, 1994).

A carstificação ou dissolução química se inicia com a água da chuva e de rios superficiais em contato com rochas solúveis (**Figura 12.2a**). Essa água, em contato com o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera e nos solos, gera uma solução de água ácida que, em grandes quantidades, ao penetrar em áreas de fissuras das rochas, vai corroendo o carbonato de cálcio, abrindo cavidades

Rocha carbonática

Tipo de rocha sedimentar cuja composição primária são os carbonatos. Os principais tipos de rochas carbonáticas são o calcário, composto predominantemente por calcita (CaCO_3), e o dolomito, composto pelo mineral dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Rocha_carbon%C3%A1tica

Evaporito

Evaporito(a) ou depósito salino é uma rocha sedimentar formada pela cristalização e precipitação química dos sais dissolvidos em meio aquoso.
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Evaporito>

(**Figura 12.2b**) e ocasionando as precipitações nas rochas que se cristalizam e sedimentam, gerando os espeleotemas (**Figura 12.2c**) e (**Figura 12.3**).

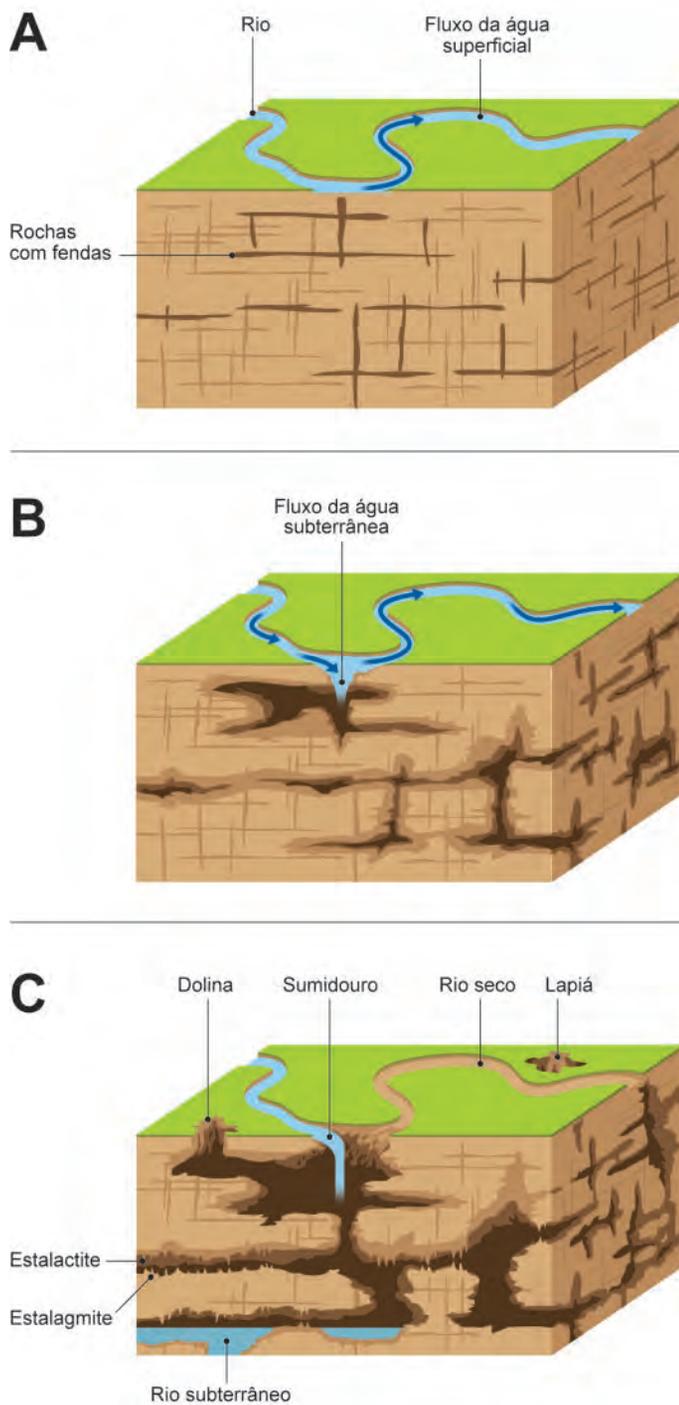


Figura 12.2: Esquema de evolução do sistema cárstico.



Figura 12.3: Detalhe de espeleotemas em caverna – Bonito, MS.

Fonte: Foto dos autores.

Os principais tipos mais conhecidos de espeleotemas são as estalactites e as estalagmites. As estalactites são formações que pendem do teto verticalmente, formadas por gotículas de água que penetram o teto da caverna por pequenas fissuras. As estalagmites são formações geradas a partir de gotículas do teto que chegam ao chão, que, ao se acumularem, crescem verticalmente em direção ao teto (**Figuras 12.4 e 12.5**).

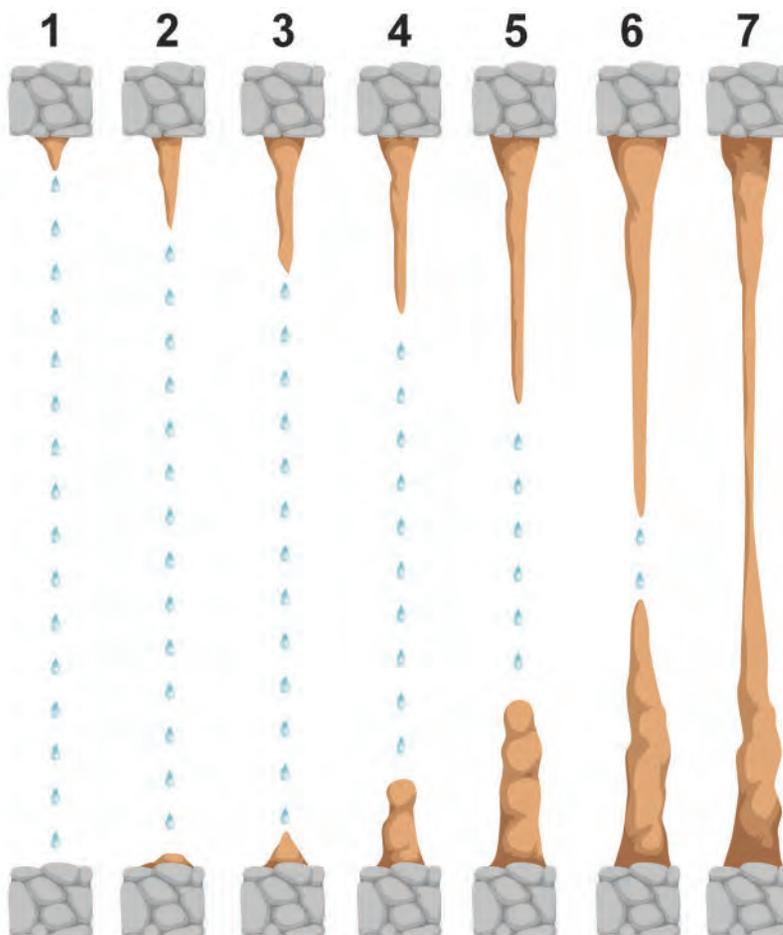


Figura 12.4: Processo de formação de estalactites e estalagmites.

Dentro desse sistema, a hidrologia cárstica se caracteriza pela ausência de cursos de água na superfície. Sua circulação deve levar em conta dois pontos fundamentais do relevo cárstico: os pontos de entrada de água no sistema (zonas de recarga), sendo os pontos no sistema em que mais ocorre erosão associados às fissuras das rochas, e os pontos de ressurgência (zonas de descarga), áreas em que a água ressurgue na superfície.



Figura 12.5: Detalhe para as estalactites (a) e estalagmites (b) na Gruta Azul – Bonito, MS.

Fonte: Foto dos autores.

Além do processo químico de corrosão, na evolução do sistema cárstico deve ser também considerado o processo físico de abatimento. O abatimento é ocasionado por vazios subterrâneos que geram o desabamento do topo, gerando as depressões no terreno, típicas de áreas com presença de feições de relevo cárstico.

A corrosão e o abatimento interagem e sua compreensão, juntamente com a das condições básicas de evolução do sistema é fundamental para o seu entendimento.



Atende ao objetivo 1

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as questões a seguir, acerca das condições básicas de evolução do sistema cárstico:

- a) () O regime climático não influencia na evolução do sistema cárstico.
- b) () As principais rochas solúveis na superfície terrestre são as carbonáticas e os evaporitos.
- c) () As estalagmites são formações que pendem do teto verticalmente, produto da dissolução das rochas.
- d) () No entendimento da hidrologia cárstica, deve-se levar em conta dois pontos fundamentais do relevo cárstico: os pontos de entrada de água no sistema (zonas de recarga), sendo os pontos no sistema em que mais ocorre erosão, e os pontos de ressurgência (zonas de descarga), áreas em que a água ressurgente na superfície.

Resposta comentada

A sequência correta é F–V–F–V, visto que o regime climático que proporciona chuvas consideráveis é fundamental para o trabalho de dissolução das rochas, e as estalagmites não são formações que pendem do teto verticalmente. As estalagmites, na realidade, são formações geradas a partir de gotículas do teto que chegam ao chão, que, ao se acumularem, crescem verticalmente em direção ao teto.

As feições cársticas



Definições de carste:

- Carste: feições formadas com forte participação dos processos químicos.
- Paleocarste: carste não mais ativo.
- Epicarste: carste formado na zona de contato solo/rocha.
- Exocarste: formas cársticas de superfície.
- Endocarste: formas cársticas de subsuperfície.

A morfologia cárstica é bastante variada; entretanto, é possível destacarmos as mais comuns:

- a) Lapiás: sulcos ou caneluras na superfície das rochas cársticas, podendo atingir metros de comprimento. O espraimento dessas feições nas rochas gera os campos de lapiás (**Figura 12.6**).



Figura 12.6: Campo de lapiás na Cantábria, norte da Espanha.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lapiás>

- b) Dolina: feição muito comum em área de carstificação. São depressões no solo, de formato circular e tamanho variável, formadas a partir da dissolução das rochas ou por abatimento. A união de duas ou mais dolinas forma as uvalas (**Figura 12.7**).



Figura 12.7: Esquema representando a estrutura de uma dolina.

c) Poljes: produto de um contínuo trabalho de dissolução, gerando uma plataforma aplainada. Na literatura, o termo é utilizado para designar uma planície cárstica ou depressões fechadas de grande extensão. Em alguns casos, essas feições alojam lagoas temporárias (**Figura 12.8**).

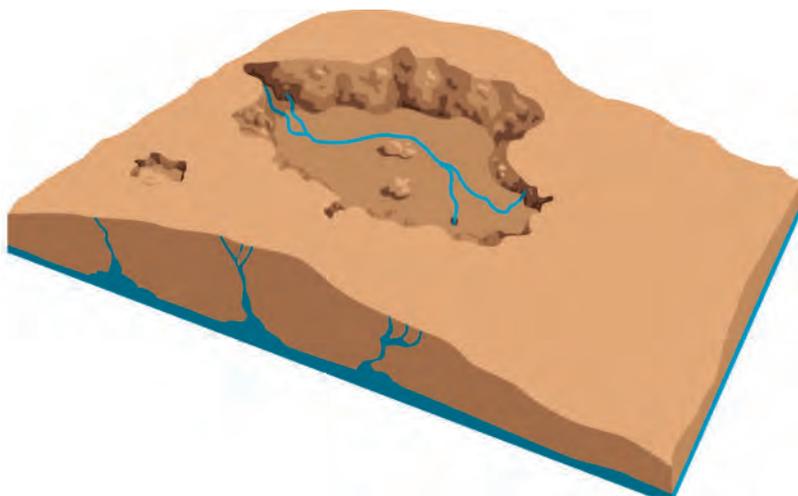


Figura 12.8: Esquema típico de um polje.

d) Cones cársticos: pontões cônicos típicos de áreas de relevo cárstico.

e) Cavernas ou grutas: cavidade natural subterrânea. É a mais conhecida das feições cársticas (**Figura 12.9**).

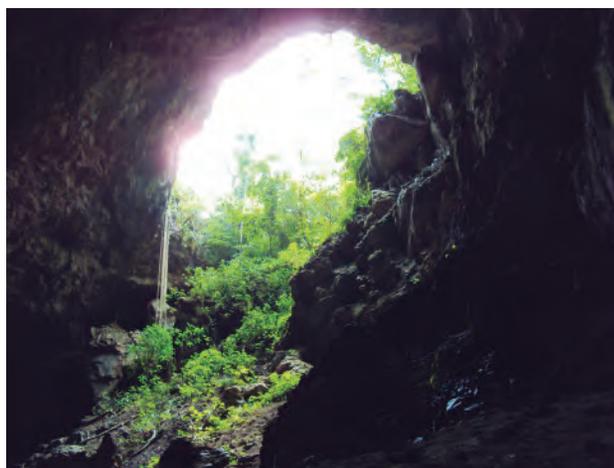


Figura 12.9: Detalhe da entrada de caverna em Bonito, MS.

Fonte: Foto dos autores.

- f) Fluviocarste: caracterizado por um curso de água com trechos em superfície que, em contato com sumidouros, passa a ser subterrâneo (**Figura 12.10**).

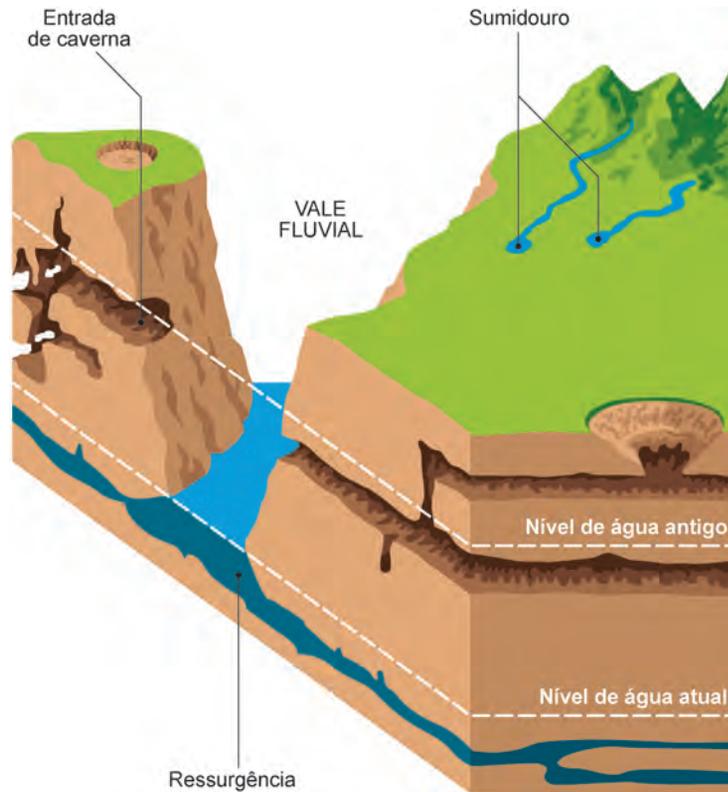
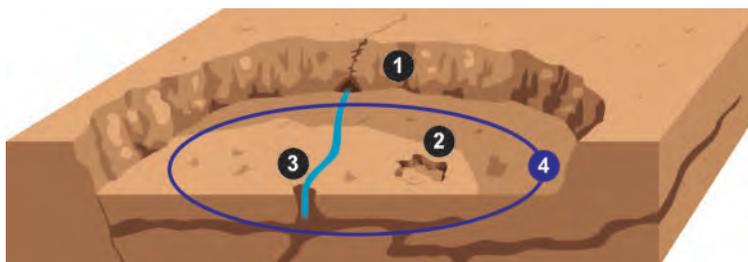


Figura 12.10: Esquema com detalhe para o fluviocarste.



Atende ao objetivo 2

Com base na figura a seguir, identifique as feições cársticas assinaladas.



Resposta comentada

A feição 1 pode ser atrelada a fissuras, por onde penetram as águas nas rochas, ou a lapiás, que são sulcos ou caneluras na superfície das rochas cársticas. A feição 2 possui as características de dolina, sendo uma depressão no solo, de formato circular. Já a feição 3 associamos a um sumidouro e um fluviocarste, por apresentar curso de água com trechos em superfície e outros subterrâneos. Por fim, a feição 4 atrelamos a um polje, devido a ser uma depressão de grande extensão e por apresentar uma superfície aplainada.

O uso do solo em ambientes cársticos

O estudo de áreas de ambientes cársticos não é uma tarefa simples; por isso, é fundamental que seu reconhecimento seja feito por uma equipe multidisciplinar que tenha condições de articular todos os elementos da dinâmica cárstica.

Ao mesmo tempo em que, devido às suas características, são áreas que apresentam fragilidade ambiental e que são muito exploradas pelas indústrias, pela agricultura, pela extração de água e pelo turismo. Esse contexto reforça a necessidade de estudos integrados que articulem a dinâmica do território e do ambiente.

São ambientes que apresentam valiosa reserva de água, devido ao potencial de infiltração; geralmente, são solos bons para a agricultura e com belezas naturais, que impulsionam o turismo. Por outro lado, sua degradação pode intensificar os abatimentos de terra, devido à solubilidade das rochas e à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, pela facilidade de o escoamento atingir o lençol d'água.

A mineração nesses ambientes é muito frequente, devido à exploração das rochas carbonáticas para suprir as demandas da indústria de cimento, siderurgia e metalurgia, que causam severos impactos. A mineração interfere em toda a dinâmica geomorfológica e hidrológica dessas áreas e destrói esses ambientes, privando, por exemplo, a população de conhecer essas riquezas espeleológicas. A própria legislação federal considera as cavidades naturais subterrâneas patrimônio natural da União. Esse contexto acende o conflito que está na agenda da sociedade moderna, que é o desenvolvimento econômico versus a preservação ambiental.

No uso do solo agropecuário, a preocupação deve ser com a poluição de mananciais com produtos químicos, como agrotóxicos; por isso, a necessidade de se ter esses ambientes mapeados e suas áreas de recarga sinalizadas. Nesses terrenos, a água atinge o lençol diretamente, potencializando os problemas com poluição.

Outro cuidado deve ser tido com a retirada excessiva de água para irrigação das culturas, que geram vazios subterrâneos, aumentando as chances de ocorrer um abatimento do terreno.

Já nas áreas urbanas, deve-se ter muito cuidado com o peso das construções sob terrenos cársticos. É preciso conhecer e planejar muito bem as cidades que estão em ambientes com essas características. Conhecer a hidrologia cárstica é fundamental nesse caso, visto que, se for uma área de recarga e não contar com saneamento e nem houver preocupação com os deflúvios da cidade, facilmente terá uma água subterrânea poluída. Estudos geofísicos também são importantes para identificar vazios subterrâneos e planejar as construções na cidade e evitar os abatimentos na superfície.

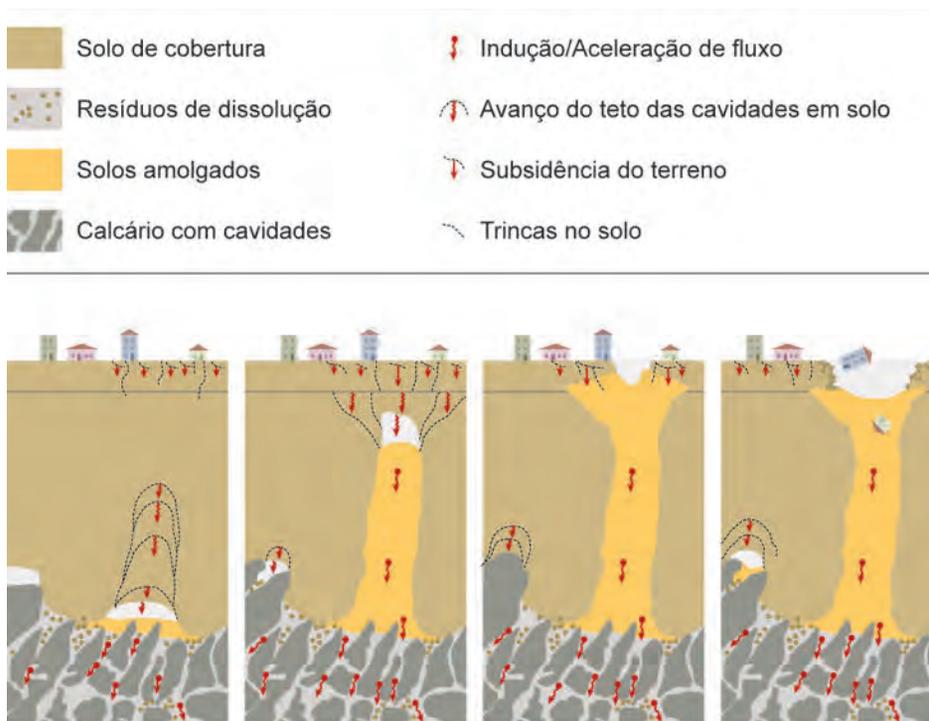


Figura 12.11: Esquema representando o processo de abatimento na superfície de terrenos cársticos em uso do solo urbano.

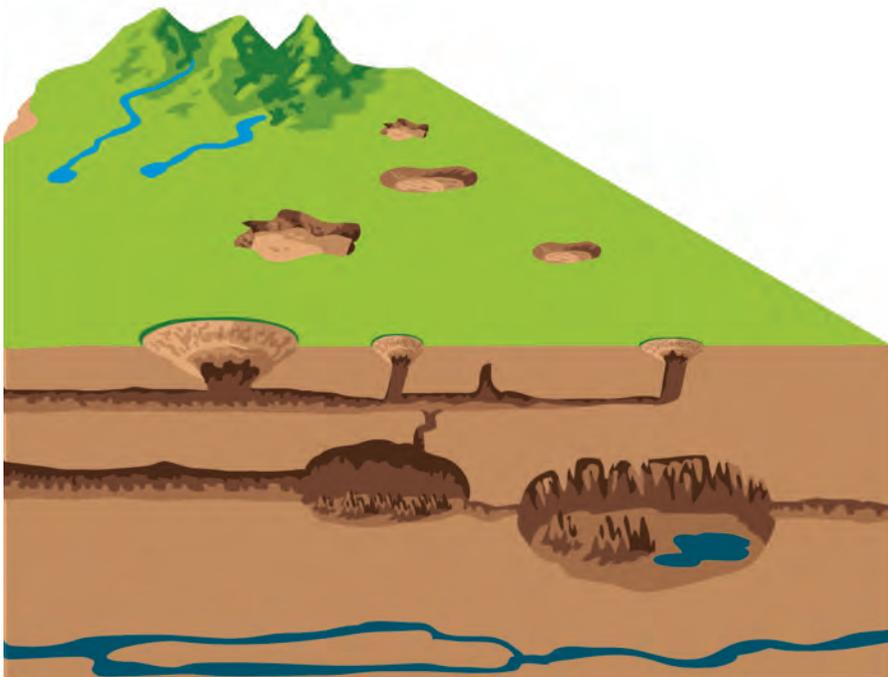
CONCLUSÃO

Como vimos nesta aula, é fundamental conhecer os processos e as formas do ambiente cárstico para que se possa planejar seu uso, sua preservação e conservação, de acordo com a capacidade de suporte desses ambientes.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Considere que, na paisagem representada pela figura a seguir, objetiva-se introduzir atividade agrícola. De acordo com o que foi visto nesta aula, identifique as feições cársticas representadas e discuta os riscos de degradação dessa atividade nesse ambiente.



Resposta comentada

Observa-se presença de dolinas, cavernas, sumidouros e fluviocarstes. Em relação à degradação, é importante frisar que o ambiente cárstico deve sempre ser estudado integradamente e, se possível, com uma equipe interdisciplinar. Em linhas gerais, a preocupação deve ser com a poluição de mananciais com produtos químicos, como os agrotóxicos, já que nesses terrenos a água atinge o lençol diretamente potencializando os problemas com poluição. Outro cuidado deve ser com a retirada excessiva de água para irrigação das culturas, o que gera vazios subterrâneos, aumentando as chances de ocorrer um abatimento do terreno. Há presença de dolinas que provavelmente se formaram pelo processo de abatimento da superfície.

RESUMO

A geomorfologia cárstica é o ramo da ciência geomorfológica que estuda as formas e os processos de terrenos na superfície terrestre passíveis de sofrerem o processo de carstificação. São formas elaboradas sobre rochas da superfície terrestre solúveis em água.

Em resumo, a formação e evolução de uma paisagem cárstica dependerá do grau de dissolução da rocha, da qualidade e do volume de água e as características do ambiente, como a biosfera e a atmosfera.

São áreas que merecem destaque, devido à exploração, e se diferenciam por sua beleza e exuberância. Muito conhecidas por suas cavernas e lagoas subterrâneas que impulsionam atividades como o geoturismo e pela atividade de mineração para fabricação de cimento extraído do calcário encontrado nessas rochas.

A morfologia cárstica é bastante variada; entretanto, é possível destacarmos as mais comuns, como lapíás, dolinas, poljes, cones, cavernas e rios cársticos.

O estudo e planejamento de áreas de ambiente cárstico não é uma tarefa simples. Por isso, é fundamental que sejam feitos por uma equipe multidisciplinar que tenha condições de articular todos os elementos da dinâmica cárstica com a dinâmica do território.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, iremos abordar as principais características da geomorfologia do quaternários, enfatizando os processos geomorfológicos característicos desse período e as feições do relevo quaternário presentes na superfície terrestre.

Aula **13**

Geomorfologia
do Quaternário

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar as principais características da geomorfologia do quaternário, relacionando as formas atuais do relevo aos eventos erosivos e deposicionais ocorridos durante esse período e identificando a influência das mudanças climáticas nos processos geomorfológicos.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar aspectos de influência do período Quaternário na geomorfologia continental;
2. apresentar as principais características das mudanças climáticas ocorridas no quaternário e apontar suas relações com a dinâmica geomorfológica em áreas continentais;
3. relacionar os processos e as formas do relevo atual com os depósitos de encosta e fundos de vale formados durante os ciclos erosivo-deposicionais ocorridos no quaternário.

INTRODUÇÃO

O quaternário é o período mais recente na escala do Tempo Geológico e foi profundamente marcado pelas variações climáticas relacionadas às glaciações e pelas ações do homem na superfície terrestre. Esses são elementos fundamentais para se reconstituir e entender a dinâmica da atual paisagem geomorfológica.

Esse período representa a última grande divisão do Tempo Geológico, ou seja, o período mais recente da história da terra, que, embora não seja preciso, costuma-se temporalizar a partir dos últimos dois milhões de anos até os dias atuais.

A geomorfologia do quaternário constitui um importante campo de investigação científica para a geomorfologia continental, pois permite compreender os processos e formas relacionados à atual configuração da superfície terrestre, levando em consideração as mudanças climáticas derivadas das glaciações quaternárias.



Glaciações: fenômeno referente aos períodos de forte resfriamento nas temperaturas médias globais, com expressiva expansão de geleiras nas latitudes temperadas próximas aos Polos Norte e Sul do planeta (especialmente no Hemisfério Norte), ocorridos ao longo do quaternário. Nos pontos mais elevados das cordilheiras de todos os continentes, também foi registrada a expansão de geleiras. O impacto das glaciações foi diferente em cada região do planeta, mas, de maneira geral, promoveu profundas mudanças climáticas em toda a sua extensão, pois afetou a distribuição das temperaturas e da pressão do ar, alterando a dinâmica de circulação atmosférica, o comportamento e as características

das massas de ar. Tal fato gerou mudanças locais nas taxas de pluviosidade e evapotranspiração, promovendo alterações no balanço hídrico e na dinâmica hidrológica em muitas regiões do planeta.

Como vimos ao longo do curso, e também na disciplina de Geomorfologia Geral, a atuação do clima é muito relevante para a modelagem do relevo, pois define os tipos e as taxas de intemperismo, e a atuação dos processos geomorfológicos.

Além disso, as condições climáticas atuam na distribuição da vida pela superfície terrestre, e sabemos que a atividade biológica possui grande significado para a **morfogênese** e a **pedogênese**, estando, dessa maneira, integrada ao estudo da evolução das formas de relevo.

Dessa maneira, para entendermos muitos processos e formas atuais do relevo terrestre, devemos compreender o papel das mudanças climáticas ocorridas no quaternário, pois elas induziram uma série de implicações na formação dos depósitos de encosta e fundos de vale, afetando suas propriedades físicas e hidrológicas e regulando a atual dinâmica hidroerosiva em muitas paisagens geomorfológicas.

Morfogênese

Conjunto de processos geomorfológicos responsáveis pela modelagem das formas do relevo, envolvendo a ação dos processos de intemperismo, erosão e deposição.

Pedogênese

Conjunto de processos responsáveis pela formação dos perfis de solo, envolvendo a formação dos horizontes pedogenéticos que compõem cada perfil. Engloba os processos de adição, transformação, translocação e perdas (detalhados na Aula 14) e sofre grande influência das condições climáticas.



Luca Galuzzi

Figura 13.1: Dinâmica geomorfológica relacionada à atuação de geleiras sobre a superfície terrestre.

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Glacier#mediaviewer/File:Perito_Moreno_Glacier_Patagonia_Argentina_Luca_Galuzzi_2005.JPG.

Outra questão importante é o fato de ter sido no Holoceno, fase mais recente do quaternário, ocorrida nos últimos dez mil anos, que começaram a se manifestar, de maneira cada vez mais intensa, as intervenções humanas na superfície terrestre. Essas intervenções possuem profundo significado geomorfológico, na medida em que alteram as condições básicas de evolução do relevo. Como vimos ao longo do curso, as intervenções humanas nas encostas e nas redes de drenagem promovem mudanças nas taxas de erosão e deposição de sedimentos, influenciando os processos e as formas do relevo da superfície terrestre, e afetando a dinâmica geomorfológica.

Cabe ainda destacar que, no estágio atual de degradação ambiental, ligado às relações entre a sociedade e a natureza, é cada vez mais frequente a busca de subsídios para um ordenamento territorial e um planejamento da ocupação humana que minimizem os problemas ambientais.

Nesse sentido, os estudos do quaternário fornecem uma valiosa contribuição ao planejamento ambiental, pois permitem compreender as mudanças ambientais promovidas pelas alterações climáticas em um passado geológico recente. A partir desses estudos, podemos, portanto, entender o significado geomorfológico dessas mudanças a partir da compreensão da formação dos depósitos correlativos aos processos e formas que atuaram em condições climáticas diferentes da atual.

Podemos também compreender as características hidrológicas e mecânicas dos atuais depósitos de encostas e fundos de vale, e seu comportamento sob a condição climática atual, no que diz respeito aos processos de intemperismo, erosão e deposição.

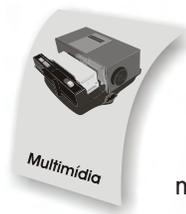
O período quaternário e sua influência na geomorfologia continental

Como vimos, o quaternário compreende o tempo de mudanças mais recentes na história geológica do planeta Terra. Essas mudanças se devem às alterações climáticas e à interferência humana, e

promoveram grande influência na evolução do modelado do relevo. Portanto, é através do estudo dos fenômenos ocorridos durante o quaternário que podemos encontrar as respostas para o entendimento das formas e dos processos atuais da superfície terrestre.

O quaternário é subdividido em Holoceno e Pleistoceno (**Figura 13.2**), sendo o primeiro equivalente aos últimos dez mil anos e coincidindo com a enorme expansão da espécie humana pela superfície terrestre. O Pleistoceno abrange o período dos últimos dois milhões de anos, excluindo os dez mil anos do Holoceno.

Tal período é também conhecido como idade do gelo, devido à influência de suas diversas glaciações no ambiente. Essas glaciações e os períodos interglaciais influenciaram em diversos fatores relevantes para a geomorfologia continental, como o nível dos oceanos, os processos de intemperismo e formação dos solos, os processos erosivos e deposicionais e, por conseguinte, a distribuição das formas do relevo e da vida no planeta.



Sessão pipoca!

Você já viu a animação *A era do gelo*? Obviamente, é apenas um desenho e traz elementos imaginativos, mas vale a pena assistir e pensar em um retrato bem-humorado do período quaternário

A ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO

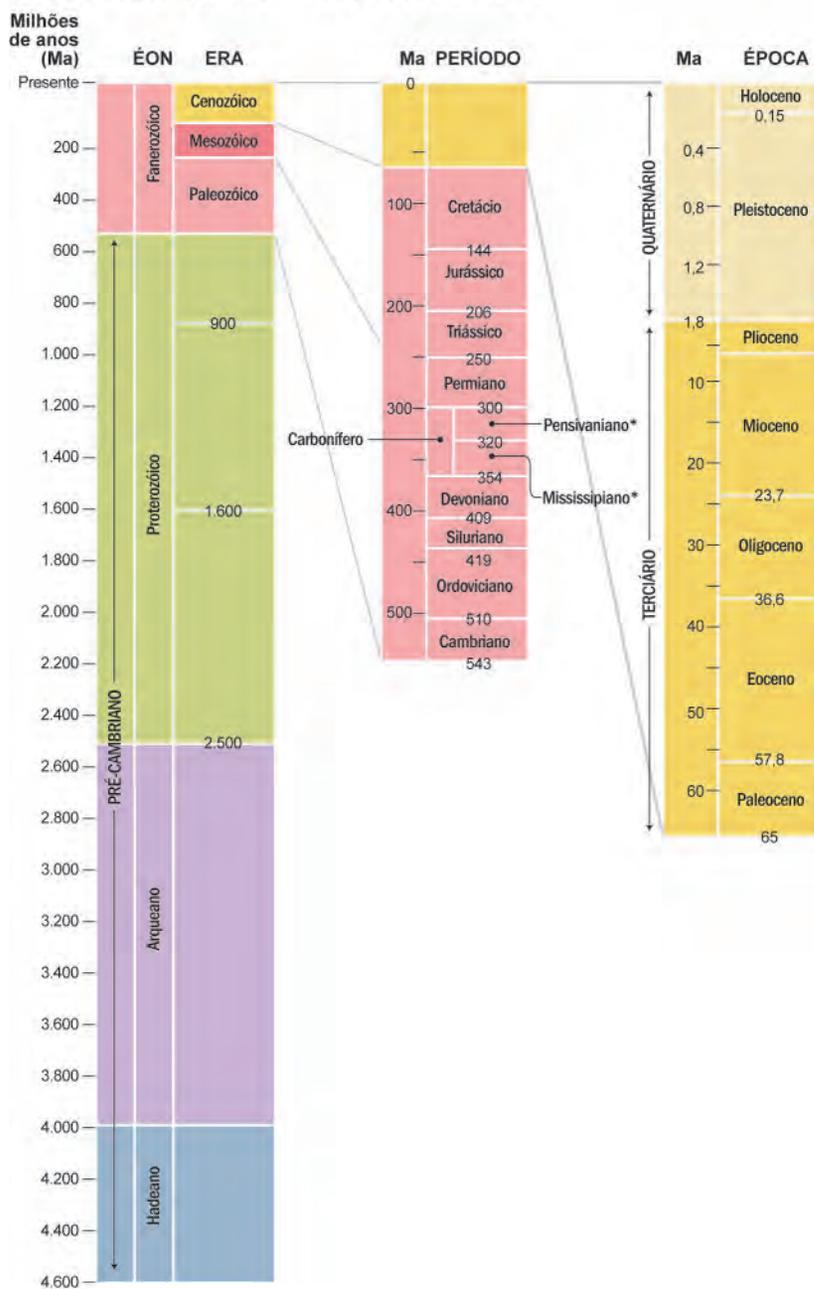


Figura 13.2: Escala do tempo geológico.

Fonte: Adaptado de Press et al. (2006).



Escala de tempo geológico

Essa escala representa a linha do tempo desde o presente até a formação da Terra, dividida em éons, eras, períodos, épocas e idades, que se baseiam nos grandes eventos geológicos da história do planeta. Embora devesse servir de marco cronológico absoluto à Geologia, não há concordância entre cientistas quanto aos nomes e limites de suas divisões.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_tempo_geológico

Como podemos observar na **Figura 13.2**, o quaternário representa apenas uma pequena parte do Tempo Geológico, no entanto, suas características são extremamente relevantes para a compreensão da atual dinâmica ambiental na superfície terrestre. As características desse período fortemente marcado por mudanças climáticas e pela ação humana – a partir do Holoceno – influenciam um grande número de fatores ambientais, em especial, a atual configuração topográfica e a ação dos processos geomorfológicos responsáveis pela modelagem das formas do relevo.

A importância desse período na modelagem da superfície terrestre envolve o impacto das mudanças climáticas promovidas pelas glaciações e a influência da ação humana, já que, no Holoceno, temos o advento do homem como agente propulsor de interferências no ambiente. Esses dois fatores marcam definitivamente o período conhecido como quaternário e vão interferir na evolução geológica e geomorfológica do planeta terra.

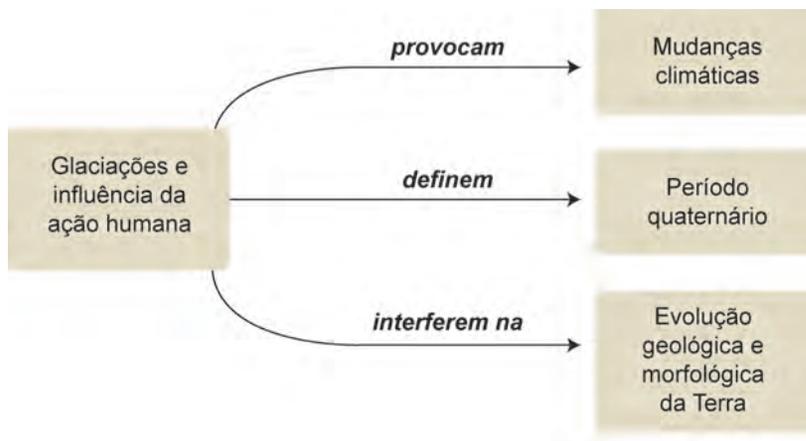


Figura 13.3: As relações entre glaciações e ação humana com a geomorfologia do quaternário.

Agora que já vimos as principais características do quaternário, vamos abordar, na próxima seção, as mudanças climáticas ocorridas e sua importância para a dinâmica geomorfológica, mas, antes, desenvolva a atividade proposta.



Atende ao objetivo 1

Faça uma pesquisa e elabore um quadro-síntese, descrevendo as principais características do período quaternário em relação à geomorfologia e à distribuição da vida no planeta Terra.

Resposta comentada

Nesta pesquisa, você deve apresentar os principais fenômenos ocorridos no quaternário que influenciaram os processos modeladores das formas da superfície terrestre. Esperamos que se façam correlações entre esses fenômenos e a distribuição da vida no nosso planeta durante o Pleistoceno e o Holoceno. Defina a influência das glaciações nos processos de morfogênese e pedogênese, destacando sua importância para o intemperismo e a erosão. Esperamos, ainda, que você demonstre os efeitos da alternância entre períodos secos e úmidos para a modelagem da superfície terrestre. Na pesquisa, é importante ressaltar as relações entre os fenômenos climáticos (glaciações) ocorridos no quaternário e a atual dinâmica erosiva e deposicional da superfície terrestre, apontando os estudos do quaternário como fundamentais para o desenvolvimento de diversos aspectos do planejamento ambiental.

As mudanças climáticas no quaternário e a dinâmica geomorfológica em áreas continentais

Dentre as várias características do período quaternário, não há dúvidas de que foram as mudanças climáticas a maior causa de impacto na evolução das formas topográficas da superfície terrestre e nas características dos materiais presentes nos depósitos de encosta e fundos de vale da atual configuração do relevo.

Tais mudanças envolveram vários períodos de glaciação, intercalados com períodos em que as temperaturas médias foram relativamente maiores (interglaciais). Como podemos observar na **Figura 13.4**, as mudanças climáticas não foram exclusivas do quaternário, tendo ocorrido ao longo de todo o Tempo Geológico.

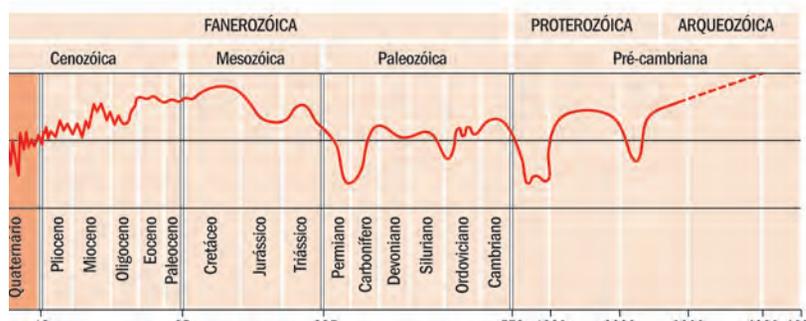


Figura 13.4: Mudanças climáticas ao longo do tempo geológico.

No entanto, o significado geomorfológico das mudanças do quaternário é muito maior para o entendimento das atuais formas do relevo e dos processos modeladores, pois as formas e os materiais relacionados à morfogênese quaternária ainda estão preservados em muitos locais e constituem a chave para a compreensão do comportamento atual dos depósitos de encostas e fundos de vale.

De maneira geral, as mudanças no clima global promoveram alterações climáticas locais, afetando a dinâmica ambiental e, conseqüentemente, refletindo nos processos morfogenéticos e pedogenéticos, que são os responsáveis pela evolução das formas do relevo.

Nos períodos mais frios, ocorridos durante as glaciações, a atmosfera produziu menos chuvas e a morfogênese de muitas áreas se desenvolveu sob condições de aridez ou semiaridez, inibindo a decomposição química das rochas e fazendo prevalecer o intemperismo físico sobre os materiais rochosos. Nos períodos mais quentes, o aumento na pluviosidade gerou uma morfogênese sob condições de maior umidade, favorecendo a decomposição das rochas pelo intemperismo químico.

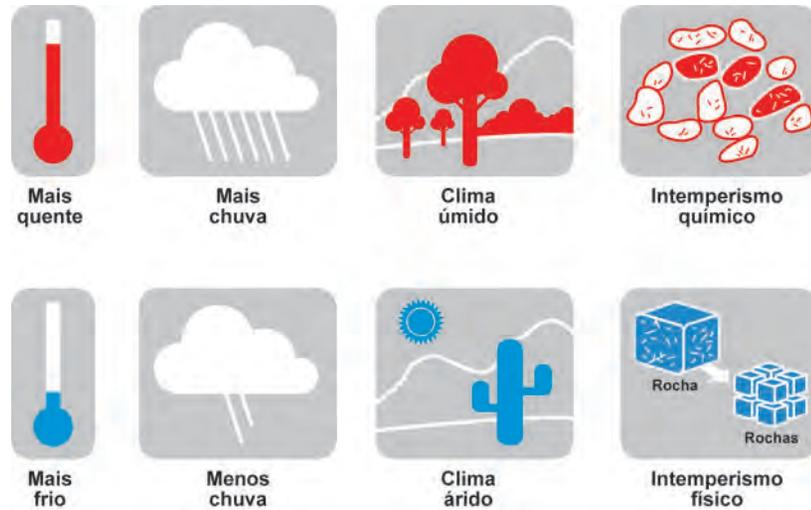


Figura 13.5: Caso 1: mais quente → mais chuva → clima úmido → prevalece intemperismo químico. Caso 2: mais frio → menos chuva → clima árido → prevalece intemperismo físico.

Essa alternância nas condições climáticas afetou diretamente as características dos materiais produzidos pelo intemperismo ao longo do quaternário, tendo influenciado fortemente a atual dinâmica erosiva e deposicional nas vertentes.

No Brasil, a influência das mudanças climáticas do quaternário sobre a geomorfologia foi apontada em vários trabalhos, especialmente focados nas Regiões Sul e Sudeste do país. Já na década de 1960 surgiram as primeiras contribuições teóricas de Absaber e Bigarella sobre o assunto. Eles iniciaram uma perspectiva de interpretação das feições geomorfológicas atuais e dos materiais correspondentes, levando em consideração as mudanças na morfogênese e na pedogênese ocorridas durante o quaternário.



Grandes geógrafos

Aziz Nacib Ab'Saber foi um importante geógrafo e professor universitário brasileiro. Morto em 2012, é referência em assuntos relacionados ao meio ambiente e a impactos ambientais decorrentes das atividades humanas. Teve as mais altas honrarias científicas em Geografia, Arqueologia, Geologia e Ecologia: membro honorário da Sociedade de Arqueologia Brasileira, grã-cruz em Ciências da Terra pela Ordem Nacional do Mérito Científico, detentor do Prêmio Internacional de Ecologia de 1998 e do Prêmio Unesco para Ciência e Meio Ambiente.

João José Bigarella, nascido em 1923, é um geólogo, geógrafo, geomorfólogo, engenheiro químico e professor universitário brasileiro. Grã-cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, recebeu diversas homenagens, publicou inúmeros artigos e participou de instituições internacionalmente reconhecidas na área.

Fontes: <http://pt.wikipedia.org>; <http://www.abc.org.br/>.

Dessa maneira, a compreensão da atual dinâmica evolutiva das formas de relevo, bem como a influência das mudanças climáticas quaternárias nas formas e materiais que formam os depósitos de encostas e fundos de vale, permitiu a identificação dos processos erosivos e deposicionais presentes na superfície terrestre.

Como os processos modeladores do relevo nas vertentes estão intimamente relacionados ao escoamento das águas pluviais em superfícies e subsuperfícies, e, sobretudo, à capacidade desses fluxos de removerem, transportarem e depositarem sedimentos, toda dinâmica hidroerosiva e deposicional atual reflete as características físicas dos materiais que compõem os depósitos quaternários. Assim, o comportamento hidrológico e mecânico dos **colúvios** responde

Colúvios

Solos que sofreram transporte por processos erosivos e gravitacionais ao longo de sua formação. São materiais heterogêneos, derivados do intemperismo sobre as rochas do embasamento local, associados aos materiais depositados ao longo das encostas. Possuem textura diversificada, apresentando desde argilas até materiais grosseiros (areais), podendo, inclusive, possuir grandes blocos rochosos (matacões) em sua composição. As áreas recobertas por colúvios são naturalmente instáveis, sendo suscetíveis à dinâmica erosiva e à ocorrência de diversos tipos de movimento de massa.

diretamente às características dos materiais e governa a dinâmica erosiva e deposicional nas vertentes.

Da mesma maneira, a dinâmica fluvial recebe influência dos processos hidrológicos operantes em toda a bacia hidrográfica e as características do modelado dos rios, envolvendo a formação de planícies de inundação e terraços fluviais, também recebe grande influência da dinâmica de mudanças climáticas ocorridas durante o quaternário.

A partir do entendimento da ação do clima nas taxas de intemperismo, erosão e deposição em distintas condições de relevo, tornou-se possível a elaboração de modelos evolutivos da paisagem geomorfológica, levando-se em consideração a alternância entre períodos úmidos e secos ocorridos ao longo do período quaternário.

O trabalho de Ab'Saber

Ab'Saber realizou uma interpretação das características atuais do relevo brasileiro, a partir do entendimento da influência que teve, na morfogênese, essa alternância entre períodos úmidos e secos ocorrida durante o quaternário. O autor aponta as relações entre essas mudanças climáticas e a distribuição da vegetação ao longo do território, descrevendo épocas de expansão e retração das coberturas florestais e de seus sistemas morfogenéticos e pedogenéticos correlatos. A partir da compreensão dessas transformações ambientais, Ab'Saber propõe uma divisão morfoclimática para o conjunto do território brasileiro, apontando as relações intrínsecas entre clima-relevo-solo-vegetação na geração das distintas paisagens do Brasil. Interpreta, ainda, o quadro morfológico e paisagístico atual como sendo muito dinâmico e inserido num conjunto de ajustes às constantes mudanças climáticas ocorridas no quaternário.



Diogo Sergio

Figura 13.6: A estepe (caatinga, no Brasil) de clima tropical semiárido é a vegetação predominante no município de Feira de Santana, no estado da Bahia.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Feira_de_Santana#mediaviewer/File:Xique-xique_sf.JPG



Neil Palmer

Figura 13.7: Fotografia aérea de uma pequena parte da Amazônia brasileira, próxima a Manaus, Amazonas.
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Amaz%C3%B4nia#mediaviewer/File:Amazon_CIAT_\(5\).jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Amaz%C3%B4nia#mediaviewer/File:Amazon_CIAT_(5).jpg)

O trabalho de Bigarella

As pesquisas de Bigarella enfatizaram as relações entre as mudanças no clima e os depósitos correlativos preservados nas encostas e fundos de vale, sugerindo que as diferentes camadas que formam esses depósitos seriam um reflexo de diferentes sistemas morfoгенéticos que se alternaram entre as fases úmidas e secas.

Bigarella criou uma metodologia de investigação fundamentada na análise estratigráfica dos depósitos quaternários, detalhando as características dos sedimentos produzidos em condições climáticas distintas. Ele interpretou as Linhas de Pedra presentes em muitos pacotes de depósitos quaternários em várias regiões do Brasil, como sendo evidências de transição entre sistemas morfoclimáticos distintos, definindo esses paleopavimentos detriticos como testemunho de períodos de predominância de climas áridos e/ou semiáridos.

Foram realizadas, então, várias investigações de campo, por inúmeros pesquisadores, sobre as características dos depósitos quaternários e suas relações com os tipos climáticos dominantes durante sua formação. Essas pesquisas tiveram ênfase na descrição da estratigrafia dos depósitos, com o objetivo de identificar as seqüências de materiais que pudessem registrar as alternâncias das fases úmidas e secas, através da identificação dos sedimentos produzidos em cada um desses períodos.

Outras abordagens

No Sudeste do Brasil, os trabalhos de Maria Regina Mousinho de Meis tiveram como foco as características dos depósitos quaternários presentes na Bacia do vale do Rio Doce (ES) e permitiram a compreensão do modelado do relevo no compartimento de colinas. A autora demonstrou as características dos depósitos coluviais e aluviais presentes nas encostas e fundos de vale, relacionando sua formação à última grande mudança climática ocorrida na transição do Pleistoceno com o Holoceno. Em seus trabalhos, ela apresenta

uma sequência de depósitos fluviais (alúvio) e de encosta (colúvio) nos fundos de vale e no sopé das encostas do relevo colinoso, formando um relevo côncavo-convexo nas encostas, com rampas de colúvio no eixo das concavidades e amplos terraços fluviais acompanhando os principais canais formadores da rede de drenagem.

Quando duas ou mais rampas se juntam na confluência com os fundos de vale, formam-se os complexos de rampa representando vales fluviais largos e preenchidos por uma espessa camada de depósitos quaternários, composta por colúvios de idades e características distintas.



Figura 13.8: Terraços fluviais e rampas de colúvio na bacia do Rio Bananal. No primeiro plano, uma voçoroca se desenvolve sobre os materiais depositados durante o quaternário nas encostas e fundos de vale.
Fonte: Foto dos autores.



Figura 13.9: Vales preenchidos pela sedimentação quaternária (seta da direita) e vales onde esses depósitos foram removidos pela dinâmica hidroerosiva atual (seta da esquerda).

Fonte: Foto dos autores.



Atende ao objetivo 2

Leia atentamente as frases listadas abaixo e assinale verdadeiro ou falso para as afirmações:

a) As mudanças climáticas ocorridas durante o quaternário repercutiram nas taxas de intemperismo e erosão nas encostas, mas esse fato não influenciou na dinâmica evolutiva das formas de relevo. ()

b) As glaciações ocorridas no quaternário promoveram a alternância entre períodos úmidos e secos e influenciaram diretamente no modelado do relevo da superfície terrestre. ()

c) Não é possível reconhecer as feições e materiais relacionados ao quaternário, pois esses fatos aconteceram milhares de anos atrás. ()

- d) O clima afeta diretamente os processos de modelagem do relevo, pois condiciona os tipos e taxas de intemperismo predominantes, bem como a dinâmica erosiva e deposicional. ()
- e) As mudanças climáticas são eventos inéditos na história geológica da Terra, tendo ocorrido somente durante o período quaternário. ()

Resposta comentada

- a) Falso: essas mudanças influenciaram decisivamente na dinâmica evolutiva do relevo.
- b) Verdadeiro.
- c) Falso: muitos materiais relativos aos depósitos quaternários estão estocados nas encostas e fundos de vale, permitindo o reconhecimento de suas características.
- d) Verdadeiro.
- e) Falso: embora o significado geomorfológico das mudanças climáticas se restrinjam ao período quaternário, esses eventos ocorreram diversas vezes ao longo do Tempo Geológico.

Os ciclos erosivos e deposicionais do quaternário e o estudo dos processos geomorfológicos

Os episódios de erosão e sedimentação ocorridos no Sudeste do Brasil devido às mudanças climáticas do quaternário exerceram grande influência na formação dos depósitos de encosta e fundos de vale característicos dessa região. Tais depósitos apresentam intensa atividade erosiva, sobretudo após o desmatamento generalizado para o cultivo do café durante o século XIX, especialmente nos vales do Rio Doce (ES) e Paraíba do Sul (SP/MG/RJ). Essas áreas apresentam grande vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos lineares (voçorocas) e vêm sendo investigadas por diversos pesquisadores brasileiros nas últimas décadas.



Rodrigo Saldon

Figura 13.10: Vale Paraíba do Sul.

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Para%C3%ADba_Valley#mediaviewer/File:Vale_do_paraiba.jpg

A história quaternária recente dessa região foi exaustivamente revista pelos trabalhos de Meis et al. (1975); Meis (1977); Meis e Machado (1978); Meis e Moura (1984); Moura e Meis (1986) e Moura (1991). Neles, demonstrou-se um padrão descontínuo e episódico de erosão e sedimentação nas encostas e ciclos de agradação e degradação nos vales fluviais.

Bigarella e Meis (1965) defendem que a degradação nos fundos de vale foi uma resposta ao clima mais úmido do período pós-glacial. Meis (1977) aponta que o aumento da sedimentação nas encostas, associado ao déficit hídrico ocorrido no Pleistoceno Superior, provocou um ciclo de agradação que ocorreu em grande parte do planalto sudeste brasileiro. Ainda segundo essa autora, em sua obra de 1977, a formação de pacotes sedimentares espessos nos canais principais motivou, em alguns casos, a desorganização da rede de drenagem. Meis (1977) destaca que essas superfícies elevadas pelo ciclo de agradação são largas e sub-horizontais.



Figura 13.11: Fundos de vale preenchidos com sedimentação quaternária. No centro da foto, as superfícies sub-horizontais revelam os processos agradacionais ocorridos no quaternário. Bananal, SP.
Fonte: Foto dos autores.



Figura 13.12: Sedimentação quaternária em concavidades tributárias do Rio Bananal. No primeiro plano, depósitos coluviais no eixo da concavidade. Ao fundo, o vale do Rio Bananal com depósitos quaternários. Bananal, SP.
Fonte: Foto dos autores.

Coelho Netto *et al.* (1994), através de estudos estratigráficos com datações, desenvolvidos em Bananal, no médio vale do Rio Paraíba do Sul, demonstram que grande parte dos depósitos sedimentares formou-se durante um ciclo erosivo entre 10.000 e 8.000 anos A.P. (transição Pleistoceno-Holoceno), entulhando os vales principais até as cabeceiras de drenagem, confirmando as ideias de Meis (1977), inspiradas em trabalho desenvolvido no vale do Rio Doce (ES).

Segundo Coelho Netto *et al.* (1994), os processos de degradação das encostas e agradação dos fundos de vale operariam de maneira sincrônica e seriam responsáveis pelo modelado regional do relevo, caracterizado por depósitos fluviais no eixo da rede de drenagem e depósitos coluviais no eixo dos **anfiteatros tributários**. Os mesmos autores destacam que um período de relativa estabilidade morfodinâmica prevaleceu durante o Holoceno, até haver uma expressiva retomada erosiva, em escala regional, decorrente das transformações ambientais associadas ao ciclo do café (meados do século XVIII até o final do século XIX).

Anfiteatros tributários

Vales de cabeceiras formados por uma ou mais concavidades, que drenam em direção aos canais fluviais e se constituem em rotas do escoamento de água e sedimentos. Podem ou não apresentar canais tributários ao rio principal e, no médio vale do Rio Paraíba do Sul, são comumente preenchidos pela sedimentação quaternária. São áreas de expansão de voçorocas por progressão remontante.



Figura 13.13: Vale de cabeceira com concavidade formando anfiteatros tributários. Note os depósitos quaternários no eixo da concavidade.

Fonte: Foto dos autores.



Figura 13.14: Concavidades formando um anfiteatro tributário no Rio Bananal. Notar a articulação entre os depósitos de encosta nos eixos das concavidades e a sedimentação quaternária nos fundos de vale. Bananal, SP.

Fonte: Foto dos autores.

O trabalho de Dantas (1995) sobre o impacto do ciclo cafeeiro na sedimentação dos fundos de vale na região de Bananal comprova a existência desse processo de agradação, que formou grande parte da atual planície de inundação dos canais fluviais. Segundo o autor, as taxas de sedimentação ocorridas no ciclo de agradação e motivadas pela cultura de café foram quase três vezes superiores às taxas do ciclo ocorrido na transição Pleistoceno-Holoceno.

Dantas e Coelho Netto (1995), baseados em documentos históricos, verificaram a ocorrência de alterações climáticas (chuvas mais intensas no verão) e de “rios de lama”, indicando uma intensificação da erosão superficial. Tal fato implicou no aumento das descargas fluviais nos rios principais, induzindo uma retomada da expansão da rede de canais. Coelho Netto *et al.* (1988) consideram,

no entanto, que a vegetação de gramíneas, associada ao ciclo do gado iniciado em 1900, e a consequente proliferação de formigas saúvas foram os principais responsáveis pela recarga dos aquíferos subterrâneos e a reativação/expansão das voçorocas.

A retirada da vegetação florestal para a introdução dos cafezais alterou os mecanismos hidrológicos das vertentes, provocando aumento nas taxas de escoamento superficial, remoção de material das encostas e sedimentação dos fundos de vales (DANTAS, 1995). Com a posterior substituição dos cafezais pela atividade agropastoril, foi introduzida uma cobertura predominantemente composta por gramíneas, o que gerou reflexos na atividade hidroerosiva das vertentes.

Coelho Netto *et al.* (1997) apontam que, embora as formas côncavas sejam abundantes nas duas margens do Rio Paraíba do Sul, a efetividade dessas formas no trabalho erosivo é diferenciada. A margem voltada para a Serra do Mar, drenada pela bacia do Rio Bananal, apresenta um grande número de voçorocas nos eixos das concavidades, enquanto na margem oposta, voltada para a Serra da Mantiqueira, esse fenômeno ocorre em escala muito menor. Segundo os autores, as explicações para essa diferenciação estariam na estrutura geológica regional e, principalmente, na relação entre o aquífero regional e a dinâmica hidrológica subsuperficial.

De acordo com Coelho Netto (1999), o aumento da densidade de concavidades no sentido montante-jusante do vale do Rio Bananal indica maior efetividade erosiva nessa área, onde estariam concentradas as condições para o surgimento de concavidades estruturais associadas a fluxos artesianos em redes de fraturamentos.

A partir de 1982, foi implementada, na bacia do Rio Piracema, principal tributário do Rio Bananal, a Estação Experimental da Fazenda Bela Vista (EEBV), pelo laboratório de Geo-Hidroecologia da UFRJ (GEHECO). O objetivo dos estudos e das mensurações de campo conduzidos nessa estação é monitorar a expansão de canais incisos na rede de drenagem do médio vale do Rio Paraíba do Sul, que possui forte controle estrutural. Segundo Coelho Netto (2003), o crescimento remontante desses canais incisos através dos eixos das

concauidades estruturais decorre da ação de fluxos subterrâneos, que os caracteriza como canais incisos do tipo voçoroca.



Visite as páginas do Departamento de Geografia e do laboratório de Geo-Hidroecologia da UFRJ: <http://www.geografia.ufrj.br>; <http://www.geoheco.igeo.ufrj.br>.

Estudos de campo e interpretação de fotografias aéreas conduzidos por Cambra (1998) sobre voçorocamentos na bacia do Rio Piracema registraram 117 canais incisos do tipo voçoroca no local, sendo que, desses, 83% encontram-se ajustados à rede de drenagem, estando, portanto, regulados ao nível de base atual dos canais fluviais adjacentes. Por outro lado, 17% das voçorocas encontram-se suspensas topograficamente nas encostas, logo, não estão ajustadas à rede de drenagem.

Cambra afirma, ainda na mesma obra, que, do número total de voçorocas registradas na bacia do Rio Piracema, cerca de 30% estão ajustadas à rede de drenagem e em atividade regressiva por recuo remontante (voçorocas ativas), enquanto cerca de 53% delas estão, pelo menos temporariamente, estáveis (inativas), embora também ajustadas topograficamente à rede de drenagem.

Coelho Netto (1997) indica que os voçorocamentos da bacia do Rio Piracema representam a própria expansão da rede de drenagem, pois promovem a remoção de espessos pacotes alúvio-coluvionares que entulharam tal rede durante os ciclos erosivos-deposicionais do quaternário superior.

Essas voçorocas terminais da expansão da rede de canais se desenvolvem preferencialmente nas cabeceiras de drenagem do compartimento colinoso do Rio Piracema, e o anfiteatro da Fazenda Bela Vista foi selecionado como representativo dessas condições, por apresentar um amplo voçorocamento, que se desenvolve em

direção a eixos de concavidades estruturais, dissecando superfícies agradacionais associadas aos depósitos quaternários.



Figura 13.15: Progressão de voçorocamento na Estação Experimental da Fazenda Bela Vista (EEBV/GEOHECO-UFRJ), localizada no município de Bananal, SP.

Fonte: Foto dos autores.

CONCLUSÃO

Para a compreensão dos processos erosivos operantes em escala regional, faz-se necessário o estudo da geomorfologia do quaternário, que envolve a caracterização das formas e dos materiais relacionados ao ciclo erosivo-deposicional ocorrido durante esse período. Essa análise produz subsídios para o entendimento da dinâmica hidroerosiva atual, especialmente no que diz respeito aos processos de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem, que se desenvolvem sobre depósitos quaternários e condicionam a expansão da rede de canais (LEÃO, 2005).

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Escreva um texto sobre a influência das mudanças climáticas ocorridas ao longo do quaternário na esculturação do relevo da superfície terrestre, destacando:

1. o significado das glaciações nas condições climáticas;
2. a importância dos depósitos quaternários na atual configuração da superfície terrestre;
3. a relação entre as características dos depósitos quaternários e a dinâmica hidroerosiva atual.

Resposta comentada

As glaciações do quaternário se devem a mudanças climáticas globais ocorridas durante esse período. Essas mudanças promoveram uma alternância entre períodos úmidos e secos, afetando os processos de intemperismo, erosão e deposição e controlando a morfogênese em muitas áreas da superfície terrestre.

Esse período é marcado por ciclos erosivo-deposicionais que promoveram a remoção de grande volume de materiais das encostas, formando os depósitos de fundos de vale. Esses depósitos são representados pelos terraços fluviais e pelas rampas de colúvio que formam a atual paisagem geomorfológica.

Nessas áreas, ocorre, atualmente, uma forte dinâmica erosiva com processos erosivos lineares (voçorocas) dissecando os fundos de vale preenchidos pela sedimentação quaternária.

RESUMO

Embora as mudanças climáticas quaternárias (glaciações) já tenham ocorrido há milhares de anos, são ainda fundamentais para o entendimento da configuração atual do relevo de inúmeras áreas continentais. Isso se dá porque elas condicionaram as formas,

os materiais e os processos geomorfológicos responsáveis pela dinâmica evolutiva do relevo. Dessa maneira, torna-se fundamental o estudo do quaternário e de suas alternâncias climáticas, que promoveram ciclos de erosão e deposição de sedimentos em vastas porções da superfície terrestre. Como vimos, essa alternância entre climas mais úmidos e mais secos determinou a existência de espessos pacotes de sedimentos, que preencheram os fundos de vales e as encostas com materiais de origem alúvio-coluvionar.

Esses materiais vêm sendo dissecados por uma intensa dinâmica hidroerosiva linear (voçorocas), especialmente após a substituição da mata atlântica pelas coberturas de gramíneas. Essas pastagens que substituíram os cafezais decadentes do século XIX apresentam grande vulnerabilidade aos processos erosivos, e o entendimento das características dos depósitos quaternários e de suas relações com a dinâmica hidrológica e erosiva nas encostas e fundos de vale torna-se fundamental para o planejamento da ocupação territorial.

Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, abordaremos as relações da pedologia com a geomorfologia continental, apresentando a importância do relevo para a formação dos diferentes tipos de solo e a influência das características pedológicas na dinâmica erosiva em áreas continentais.

Aula 14

A importância
do relevo para a
formação do solo:
relações entre a
geomorfologia
continental e a
pedologia

*Otávio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Apresentar as principais características do perfil, dos processos pedogenéticos e dos fatores de formação do solo, destacando a importância da geomorfologia continental para a pedologia.

Objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

1. identificar os diferentes tipos de perfil de solo e os distintos horizontes pedogenéticos;
2. identificar os principais processos pedogenéticos responsáveis pela formação do solo;
3. descrever o papel do relevo como fator de formação dos solos.

INTRODUÇÃO

Caro estudante,

Estamos chegando ao fim do nosso curso de Geomorfologia Continental e, nesta penúltima aula, abordaremos as relações entre a geomorfologia continental e a pedologia. Os estudos referentes ao relevo e aos solos que recobrem a superfície terrestre sempre possuíram muitos aspectos em comum, pois tais conteúdos estão profundamente interligados.



A pedologia ou ciência do solo é responsável pelo estudo e classificação dos diferentes tipos de solo existentes nos distintos ambientes terrestres. A ela cabe identificar os processos responsáveis pela gênese do solo, seus fatores de formação e suas relações com as formas de vida, inclusive o com o homem. Aborda temas fundamentais à sociedade, pois fornece subsídios para o entendimento da dinâmica ambiental e possibilita uma adequação das atividades humanas às características naturais do terreno.

Não há dúvida de que os vários tipos de solo estudados pela pedologia exercem grande influência na atuação dos processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre, pois as propriedades dos solos afetam diretamente os mecanismos erosivos e deposicionais atuantes nas vertentes e nos fundos de vale e baixadas. Além disso, os solos atuam indiretamente na modelagem do relevo através da influência na hidrologia das vertentes, que é um agente fundamental na dinâmica geomorfológica das bacias hidrográficas.

Por outro lado, o próprio processo de formação do solo recebe grande influência do relevo, pois a gênese e a evolução de ambos se dão segundo as características geomorfológicas do terreno. Dessa maneira, se percorremos uma encosta desde o divisor até o fundo de vale, poderemos perceber uma sequência de diferentes tipos de solo, com características físicas, químicas e mineralógicas específicas para cada posição no relevo, evidenciando as profundas relações entre a geomorfologia e a pedologia.



Figura 14.1: Relação entre os tipos de solo e os processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre.

Destaca-se ainda o fato de que vários temas fundamentais para as geociências – como a interação água-solo-planta nos ecossistemas terrestres, a dinâmica erosiva das encostas, a ocorrência de movimentos de massa, os processos erosivos e deposicionais ao longo da rede de drenagem, a identificação de áreas vulneráveis para ocupação e a determinação de aptidão agrícola – carecem de uma visão integrada entre os processos pedológicos e geomorfológicos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008, p. 93).



Figura 14.2: Vários temas fundamentais para as geociências carecem de uma visão integrada entre os processos pedológicos e geomorfológicos.

Nesta aula, analisaremos de que forma podemos aplicar os conceitos da pedologia aos estudos geomorfológicos. Para tanto, iniciaremos apresentando as principais características do perfil do solo e dos principais horizontes que o compõe. Além disso, abordaremos os processos responsáveis pela formação do solo e a importância do relevo como fator de formação do mesmo, para depois apontarmos suas relações com os temas abordados pela geomorfologia continental.



Figura 14.3: Foto de corte de estrada revelando uma sequência de horizontes pedogenéticos em perfil de solo, Paracambi, RJ.
Fonte: Foto dos autores.

O perfil do solo e os horizontes pedogenéticos

Ao observarmos um corte transversal em uma encosta, por exemplo, um corte para a construção de uma estrada ou de uma edificação, podemos notar uma sequência de camadas mais ou menos horizontais com cores distintas, localizadas entre sua porção superior, no contato com a superfície, onde se encontra a

vegetação, e as zonas mais profundas. Na medida em que descemos nossa observação por esse perfil, notamos que essas camadas vão gradualmente ficando cada vez mais semelhantes com a rocha subjacente. Se chegarmos mais perto e tocarmos no material, poderemos perceber que, além do aspecto visual, cada camada possui características distintas em relação a sua consistência, além de outras propriedades.

Essas diferenças em profundidade ao longo de uma seção transversal são denominadas de *perfil do solo* (LEPSCH, 2011, p. 19), que é um objeto de pesquisa fundamental para a pedologia. Isso porque as características do perfil estão relacionadas aos processos atuantes na formação do solo e servem de base para os sistemas de classificação dos tipos de solo que ocorrem na superfície terrestre.

A observação do perfil revela uma série de diferenciações entre os materiais que compõem essas camadas, presentes ao longo da seção estudada, e demonstra as características dos diferentes horizontes pedogenéticos que formam cada perfil de solo.

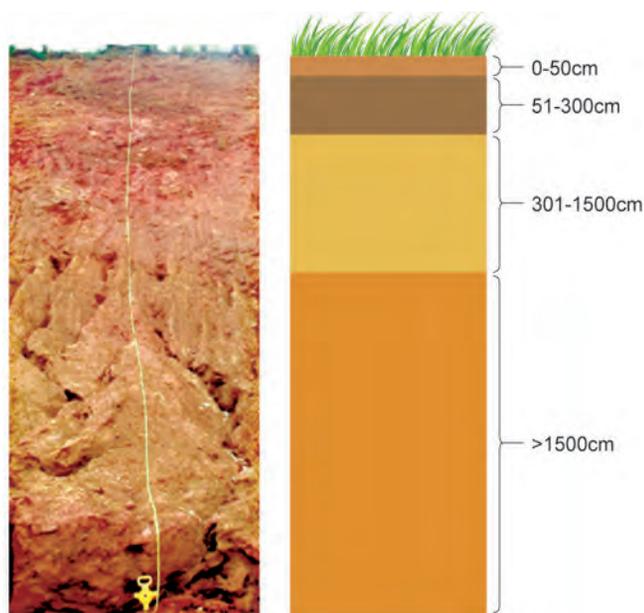


Figura 14.3: Perfil de solo demonstrando uma sequência de horizontes entre a superfície do terreno e o material de origem, Paracambi, RJ.



Os horizontes pedogenéticos ou simplesmente horizontes do solo são definidos como sendo o material que forma as camadas horizontais que se sucedem ao longo de um perfil e cujas características físicas, químicas e mineralógicas são distintas dos materiais presentes nos horizontes localizados acima e abaixo na seção. Para serem denominadas de horizontes do solo, essas características devem ser relacionadas aos processos formadores do perfil do solo. Quando essas características são herdadas exclusivamente da rocha formadora do solo os materiais são denominados de camadas, pois suas propriedades não são relacionadas aos processos pedogenéticos, que são os responsáveis pela formação dos horizontes.

Como sabemos, existem inúmeras tipologias de solo na superfície terrestre, cada qual com um perfil que lhe é característico. Por sua vez, cada perfil de solo específico possui um número de horizontes e um grau de diferenciação entre eles que dependem de uma série de fatores ambientais locais. As sucessivas observações de campo, realizadas por estudiosos do solo ao redor do mundo, acabaram permitindo o enquadramento dos horizontes em grandes grupos por apresentarem características que, mesmo não sendo idênticas, demonstram um padrão de semelhanças que admite a formação de grupos de tipos de horizonte.

Assim, foram utilizadas as letras A, E, B, C e R para identificar esses horizontes ou camadas, que formam os horizontes mais comuns, presentes nos perfis de solo. Posteriormente, esses horizontes principais foram subdivididos em tipologias específicas para um melhor detalhamento das características de cada horizonte, permitindo, dessa maneira, o desenvolvimento de sistemas mais elaborados para a classificação dos tipos de solos.

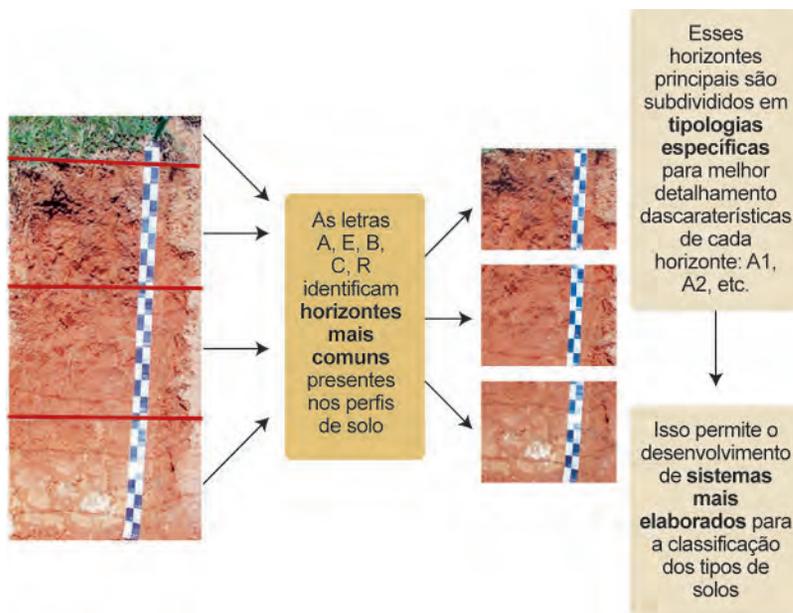


Figura 14.4: Horizontes com mesmo padrão de semelhanças formam grupos de tipos de horizonte.

A tabela a seguir revela as principais características desses horizontes:

Tabela 14.1: Tipos de horizontes de solo e suas principais características

HORIZONTE	CARACTERÍSTICAS
A	Horizonte mais superficial do perfil, apresentando constituição mineral e orgânica com grande influência da vegetação e dos organismos do solo. Apresenta cor escura e maior concentração de matéria orgânica. Zona de proliferação das raízes de absorção, onde se processa a ciclagem dos nutrientes. Suas características são fundamentais para as condições de infiltração da água no solo, devido a sua porosidade relativamente alta em comparação com os horizontes subjacentes.
E	Horizonte subsuperficial que se forma quando ocorrem processos de translocação ao longo do perfil. Situa-se abaixo do horizonte A e apresenta cor mais clara em função da perda de matéria orgânica e/ou argilas que se depositam no horizonte localizado abaixo (B), que apresenta acumulação desses materiais mobilizados ao longo do perfil.

B	Horizonte subsuperficial de constituição mineral, formado a partir do intemperismo químico sobre os minerais oriundos da rocha-matriz. Após sofrerem decomposição química, os minerais originais se transformam em minerais secundários ou argilominerais, que apresentam cores variadas (cinza, amarelo, vermelho) em função das características do material, do ambiente e do tempo de decomposição. Apresenta os maiores teores de argila ao longo do perfil e, quando presente, é fundamental para a determinação do tipo de solo, sendo comumente denominado de horizonte-diagnóstico.
C	Horizonte subsuperficial de constituição mineral localizado no contato com a rocha-matriz, onde se localiza a frente de intemperismo. Embora esteja exposto aos processos de intemperismo químico, o mesmo ainda se encontra em estágios iniciais, com o material guardando ainda características do material de origem, com predomínio dos minerais primários. Apresenta cor variável e teores de argila menores do que no horizonte B, em que o estágio da decomposição dos minerais primários encontra-se mais adiantado.
R	Rocha-matriz: material que sofre ação do intemperismo e dos processos pedogenéticos e gradualmente se transforma nos horizontes do solo. Pode ser formado por uma rocha, por uma camada sedimentar ou mesmo por um antigo solo que foi remobilizado ou teve interrompida sua evolução pedogenética original.

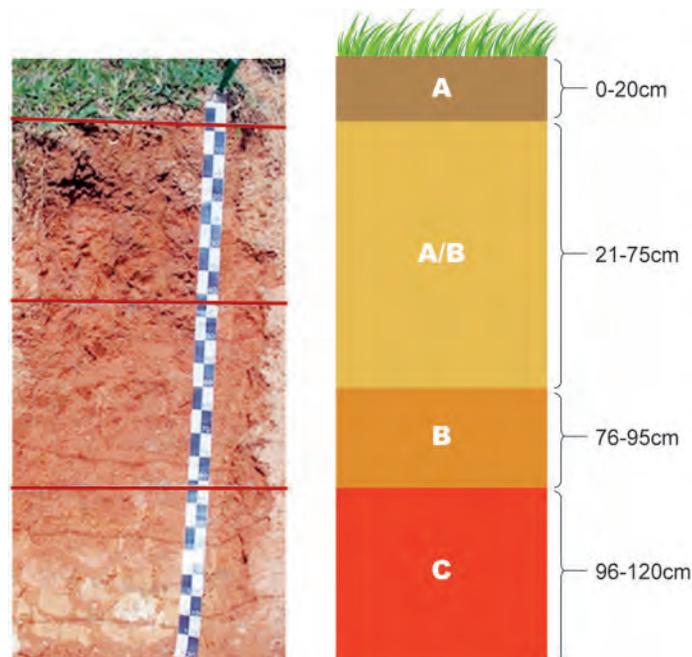


Figura 14.5: Perfil de solo com diferentes horizontes pedogenéticos. 0 – 20 cm: horizonte A; 21 – 75 cm: horizonte A/B (transição); 76 – 95 cm: horizonte B; 96 – 120 cm: horizonte C, Paracambi, RJ.

Como podemos observar na **Figura 14.5**, muitas vezes o contato entre os horizontes não é abrupto e as propriedades dos solos que formam os diferentes horizontes do perfil passam por uma mudança gradual. Nesses casos são definidos os horizontes de transição, como A-B e B-C. Também é muito comum a presença de subclasses no horizonte A, que são denominadas de A1 e A2, sendo o A1 mais superficial, mais escuro e com maior teor de matéria orgânica do que o A2.

No horizonte B, as propriedades dos horizontes podem ser muito diferentes entre os vários tipos existentes, pois as características físicas, químicas e mineralógicas dependem muito das condições geológicas e climáticas locais, de sua localização topográfica, do tipo de atividade biogênica e do tempo de exposição do material aos processos de intemperismo.



A atividade biogênica refere-se à atuação dos organismos ao longo do perfil do solo. Além da influência do sistema radicular dos vegetais, temos ainda a ação dos organismos decompositores, que transformam os detritos orgânicos (restos de vegetais e excrementos de animais) em húmus, e a da fauna escavadora. O conjunto dessas atividades no solo, especialmente em seus horizontes mais superficiais, são fundamentais para a determinação de suas características.

Dessa maneira, denominamos o horizonte de Bi (horizonte B incipiente) quando o grau de diferenciação em relação ao horizonte C ainda é pequeno. Isso significa que os processos de intemperismo ainda encontram-se em seus estágios iniciais. Os horizontes Bi são geralmente pouco espessos, com menores teores de argila e dão origem aos cambissolos.

Quando o horizonte B já se encontra em um estágio mais avançado de maturidade, devido ao avanço das transformações químicas relacionadas ao intemperismo, passa a ser denominado de Bw. Nessas condições, a intensa lixiviação das bases solúveis do solo ao longo do tempo gera concentração de materiais não solúveis, como o Ferro, nesse horizonte. São solos geralmente espessos (profundos), bem desenvolvidos e com elevados teores de argila, que dão origem aos latossolos, que são muito comuns em todo o território brasileiro.



A lixiviação é um processo de perda de elementos químicos do solo pela dissolução em água. A partir da infiltração da água no solo, os elementos solúveis estabelecem ligações químicas com ela e são gradualmente removidos do solo. É um importante processo de formação do solo, especialmente em áreas tropicais úmidas.

Quando esse horizonte apresenta grande concentração de material transportado de maneira seletiva (translocação) a partir dos horizontes superiores, apresenta uma característica de adensamento. Esse material, composto principalmente por argilas e/ou matéria orgânica, gera um horizonte B de acumulação, denominado de Bt, sempre localizado abaixo de um horizonte de perda, que é denominado de horizonte E. São solos com descontinuidade textural abrupta entre os horizontes A, E, B e C e são denominados de argissolos.

A descontinuidade textural significa uma mudança repentina nas propriedades físicas do solo, promovendo contato abrupto entre os horizontes. Dentre essas propriedades destaca-se a textura, que é definida a partir do tamanho das partículas do solo. Para tanto,

foram definidas diferentes classes de granulometria, que podem ser determinadas em análises laboratoriais. Pela classificação brasileira em vigor, as menores partículas são denominadas de argilas (< 0,002 mm), sendo conhecidas como silte as partículas com tamanho um pouco maiores (entre 0,06 e 0,002 mm).

Os solos com altos teores de argila e silte são conhecidos como solos de textura fina. As partículas maiores presentes no solo são denominadas de areia (2,00 e 0,06 mm) e, quando predominam no solo, o mesmo é conhecido como solo de textura grossa. Os pequenos fragmentos de rocha são denominados de cascalho ou pedregulho (entre 60,00 e 2,00 mm). Esses materiais ocorrem simultaneamente no solo, cada um com um teor da amostra total, e o percentual de cada classe é obtido pela análise granulométrica.



Atende ao objetivo 1

Pensando nas principais características dos diferentes horizontes que formam os perfis de solo, leia atentamente as frases a seguir e assinale verdadeiro ou falso:

1. Os perfis de solo representam seções verticais de uma sequência de horizontes com diferenças nas suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. ()
2. Não existem diferenças significativas entre os horizontes e as camadas do solo. ()
3. Só podem ser denominados de horizontes do solo os materiais do perfil cujas propriedades estão relacionadas aos processos formadores do solo. ()
4. O horizonte A apresenta cor escura e os menores teores de matéria orgânica. ()
5. Os horizontes do tipo Bt estão relacionados aos latossolos. ()

6. Os cambissolos e os argissolos possuem semelhanças em seu horizonte B pois os mesmos apresentam argilas em sua composição. ()

Resposta comentada

1. Verdadeiro.
2. Falso. Existem grandes diferenças entre horizontes e camadas, já que os horizontes possuem características derivadas dos processos de formação do solo e as camadas são relacionadas às propriedades do material de origem.
3. Verdadeiro.
4. Falso. Apresenta cor escura, mas com os maiores teores de matéria orgânica.
5. Falso. Nos latossolos temos a ocorrência do horizonte Bw.
6. Falso. Esses solos apresentam tipos de horizonte B muito distintos entre si. Nos *argissolos* temos a acumulação de argilas formando o Bt. Já nos *cambissolos* o horizonte é ainda incipiente e denominado de Bi.

Os processos pedogenéticos e sua importância para a formação do solo

Agora que vimos os principais tipos de horizonte presentes nos perfis de solo, destacaremos, a seguir, os quatro principais processos pedogenéticos atuantes na formação desses horizontes e que agem no sentido de promover as diferenciações observadas ao longo do perfil. Dessa maneira, podemos definir processos pedogenéticos como sendo aqueles que, atuando sobre o perfil, promovem a formação dos horizontes, definindo, assim, o número de horizontes no perfil, suas características e seu grau de diferenciação em relação aos demais.



Figura 14.6: Relação entre processos pedogenéticos e formação de horizontes.

Esses processos pedogenéticos atuam de maneira específica em cada perfil de solo, segundo as características geológicas e climáticas locais, variando de intensidade e relevância de acordo com a gênese dos horizontes. Portanto, o tipo de pedogênese presente em cada local, responsável pela condição de solo existente, varia de acordo com a natureza dos materiais e as condições ambientais, inclusive a localização no relevo.



Figura 14.7: Seção transversal em corte de estrada revelando os perfis de solo presentes na localidade, Paracambi, RJ.

Fonte: Foto dos autores.

A seguir, estão descritas as principais características dos processos pedogenéticos atuantes na formação dos perfis de solo:

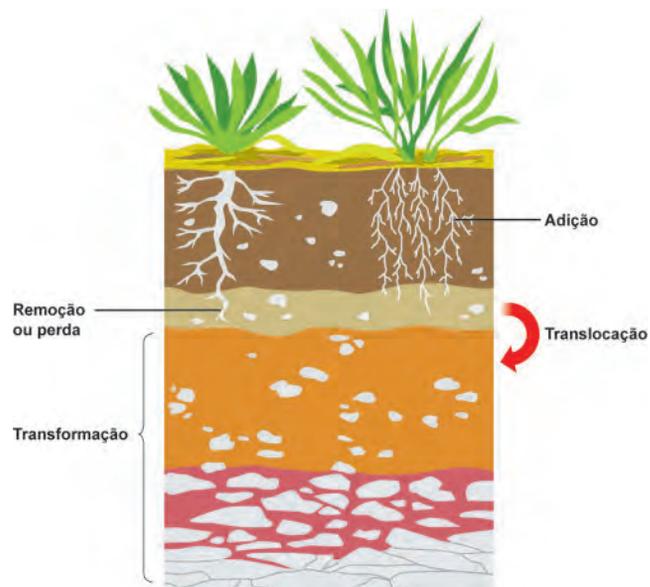
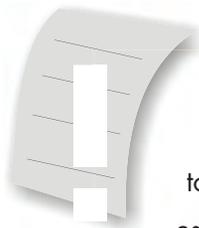


Figura 14.8: Principais processos pedogenéticos que atuam na formação dos perfis de solo.



É importante ressaltar que:

- o processo de perdas ocorre ao longo de todo o perfil, pois a água, quando atravessa essas camadas, promove a lixiviação dos materiais solúveis. O fato é que essas perdas ocorrem principalmente nos horizontes bege e laranja, sendo que o bege é conhecido como horizonte de remoção ou perda;
- o processo de translocação envolve a saída (perda) do horizonte bege e acumulação no laranja.



Processo pedogenético: Adição

Descrição

Refere-se à chegada de material ao perfil. As principais adições são relacionadas à chegada de água e matéria orgânica e são fundamentais para a detonação dos outros processos pedogenéticos. Podem ser de origem coluvionar, eólica, fluvial, marinha e antrópica.

Efeito no perfil

- Formação de horizonte A devido à incorporação da matéria orgânica adicionada ao perfil;
- Determinação de propriedades físicas e químicas dos horizontes, em função das características do material adicionado.



Processo pedogenético: Perda

Descrição

Referente às saídas de material do perfil pela lixiviação das bases solúveis do solo. Com a percolação das águas infiltradas no perfil, as substâncias solúveis em água são removidas do solo, gerando uma concentração dos materiais não solúveis.

Efeito no perfil

- Formação de horizonte B com concentração de ferro e/ou alumínio;
- promoção do processo de laterização do solo, podendo gerar concreções ferruginosas em trechos do perfil.



Processo pedogenético: Translocação

Descrição

Transporte seletivo no interior do perfil com o agente de transporte (físico ou químico) removendo alguns materiais em detrimento de outros. Ao contrário das perdas, neste processo o material removido de um horizonte permanece no perfil, apenas se deslocando para um horizonte mais profundo.

Efeito no perfil

- Formação de um horizonte de perdas ou de eluviação denominado de horizonte E, localizado acima do horizonte B, que apresenta característica de acumulação do material mobilizado e passa a ser denominado de Bt.



Processo pedogenético: Transformação

Descrição

Alteração química dos minerais do solo pela decomposição promovida pelo intemperismo. Recebe grande influência da dinâmica climática e hidrológica. Com o tempo de atuação do intemperismo, os minerais primários oriundos da rocha-matriz vão se transformando em minerais secundários (argilominerais) que, por sua vez, também continuam sofrendo decomposição e produzem diferentes tipos de argilas no solo.

Efeito no perfil

- Formação de horizonte B com alto teor de argila e concentração de material não solúvel devido à lixiviação das bases solúveis liberadas no solo pela decomposição química dos seus minerais.

Como podemos observar, os perfis de solo são fundamentais para o estudo da pedologia e refletem as características do material original e as condições ambientais do local de formação do solo com grande influência do relevo (RESENDE et al., 2002, p. 87). Para ela, o solo é o material que sofreu a atuação dos processos pedogenéticos e que, em sua evolução, gradualmente vai diferenciando uma série de horizontes ao longo de seu perfil.

A seguir abordaremos a importância dos fatores de formação do solo que, segundo Lepsch (2010), são os responsáveis pelo controle do tipo de pedogênese atuante em cada perfil e, dessa maneira, determinam as características de cada horizonte e dos tipos de solo presentes na superfície terrestre.

Antes de continuar, desenvolva a Atividade 2, que estabelece relações entre as características dos horizontes e os processos pedogenéticos atuantes.

Resposta comentada

Os perfis de solo são formados por uma sequência de horizontes que se formam a partir da atuação dos processos pedogenéticos sobre uma determinada rocha-matriz.

O horizonte superficial é denominado de A e possui cor escura e maior concentração de matéria orgânica devido às adições provenientes da cobertura vegetal.

O horizonte E se forma quando ocorrem processos de translocação ao longo do perfil, representando o horizonte de perda, ou seja, o trecho do perfil no qual o material translocado (argila ou matéria orgânica) foi removido, apresentando cor mais clara e menores teores de argila.

O horizonte B é formado a partir da transformação química relacionada ao intemperismo, que decompõe os minerais primários do solo e forma os argilos minerais. É o horizonte com maior teor de argila, sendo fundamental para a classificação do solo, e, por isso, é denominado horizonte diagnóstico.

O horizonte C representa a zona de contato entre a rocha-matriz e a frente de intemperismo. Embora esteja em processo de decomposição dos minerais primários, os mesmos ainda são predominantes em relação aos argilominerais que, embora presentes, estão nos estágios iniciais do intemperismo.

A influência da geomorfologia na pedologia: o relevo como fator de formação do solo

A partir do desenvolvimento da pedologia como um campo científico e à medida que os trabalhos de campo para reconhecimento dos solos foram sendo realizados em distintas condições ambientais, percebeu-se que as características dos perfis de solo estavam relacionadas à atuação de diferentes fatores, que passaram a ser denominados de fatores de formação do solo. Segundo Lepsch (2010), a atuação do clima na formação do solo foi inicialmente indicada nos trabalhos de Dokuchaev, conduzidos na Rússia no final do século XIX.

Com base nos levantamentos de campo foram definidos os cinco fatores de formação do solo, cujas características serão descritas a seguir:



1. Material de origem: também denominado de material parental, refere-se ao material que sofre ação do intemperismo e dos processos pedogenéticos e serve de base inicial para a formação dos horizontes do perfil do solo. Esse material pode ser formado por um tipo de rocha, sedimento ou solo.



2. Clima: as condições climáticas são fundamentais para a formação do perfil do solo pois controlam a temperatura e a disponibilidade hídrica, que são muito importantes na determinação no tipo, nas taxas de intemperismo e na intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. Nas áreas tropicais úmidas temos as condições mais favoráveis para evolução pedogenética.



3. Relevo: as condições topográficas são muito importantes para a formação do solo pois determinam a dinâmica hidrológica nas vertentes. Dessa maneira, temos uma grande influência do relevo na distribuição da umidade ao longo das encostas, o que afeta as condições de molhamento e drenagem dos perfis e condiciona diferentes tipos e ritmos de intemperismo e pedogênese sobre os materiais presentes na vertente.



4. Organismos: atuam na formação dos solos pois são os responsáveis pela produção, decomposição e incorporação da matéria orgânica a eles. Afetam as propriedades físicas e químicas do solo, especialmente nos horizontes mais próximos à superfície. Destaca-se ainda a ação do sistema radicular das plantas, que propicia uma maior porosidade do solo.



5. Tempo: o tempo de atuação do intemperismo e dos processos pedogenéticos sobre o material de origem é fundamental como fator de formação do solo, pois define o estágio evolutivo nos diferentes horizontes pedogenéticos.

De uma maneira geral, quanto maior for o tempo de exposição do material de origem aos processos de formação do solo, maior será o número de horizontes no perfil e mais acentuada será a diferença entre os mesmos.



Figura 14.9: Os fatores de formação do solo.

Como podemos observar, a atuação desses cinco fatores de formação promove uma grande variedade de perfis do solo ao redor do mundo, já que as condições locais podem mudar bastante

de um local para o outro. Para o entendimento da distribuição das diferentes classes de solo na paisagem torna-se fundamental levar em consideração a atuação desses fatores.

No que se refere especificamente à ação do relevo na formação do solo, temos o condicionante topográfico e suas relações com a dinâmica hidrológica, que afetam diretamente os tipos de solo ao longo de uma encosta. Assim, a declividade da vertente, a posição na encosta e os aspectos morfológicos (geometria côncava, convexa ou retilínea) influenciam na pedogênese e promovem o surgimento de diferentes tipos de solo nas distintas condições de relevo.

Nos perfis de solo localizados em divisores topográficos e nos trechos de alta encosta temos as melhores condições de drenagem, pois a força gravitacional induz uma rápida saída da água desses solos em direção aos locais mais baixos, situados na vertente. Tal fato promove uma rápida passagem da água pelos poros do solo, com grande alternância nos teores de umidade, afetando as taxas de intemperismo e a velocidade dos processos pedogenéticos.

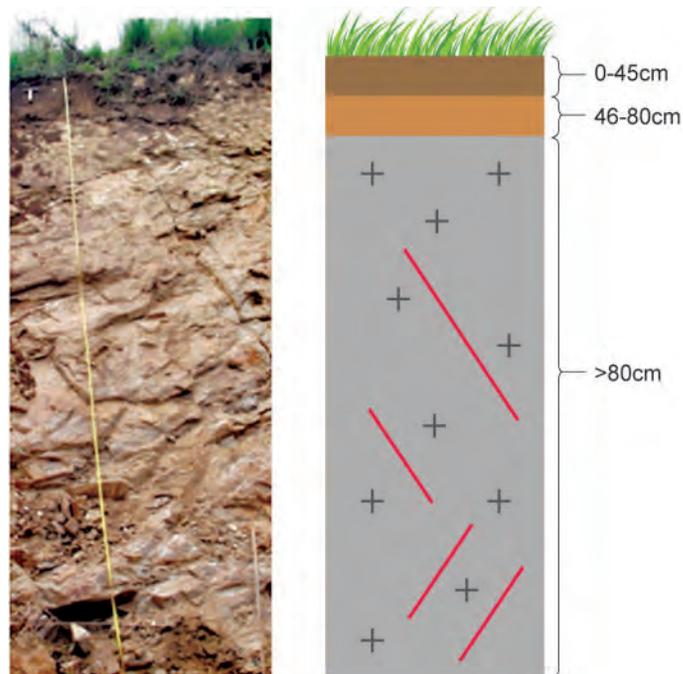


Figura 14.10: Perfil de um neossolo desenvolvido sobre afloramento rochoso em trecho de alta encosta, Paracambi, RJ.

A **Figura 14.10** revela o perfil de um neossolo, que é característico de trechos de alta encosta com ocorrência da rocha-matriz muito próxima à superfície. Nessas condições, a rápida drenagem dos fluxos hidrológicos inibe a atuação dos processos pedogenéticos, gerando solos rasos e ausência de horizonte B. Nesses perfis estão presentes os horizontes A e C, que são considerados solos jovens.

Na medida em que nos afastamos das áreas mais elevadas topograficamente, nos segmentos de média e alta encosta, ocorrem condições morfológicas um pouco mais favoráveis à atuação dos processos formadores do solo. Nessas condições temos a ocorrência característica de cambissolos, que já apresentam sinais mais evidentes de transformação química relacionada ao intemperismo. Nesse perfil, além dos horizontes A e C, temos também o surgimento incipiente de um horizonte B, o que aumenta um pouco a espessura do solo.

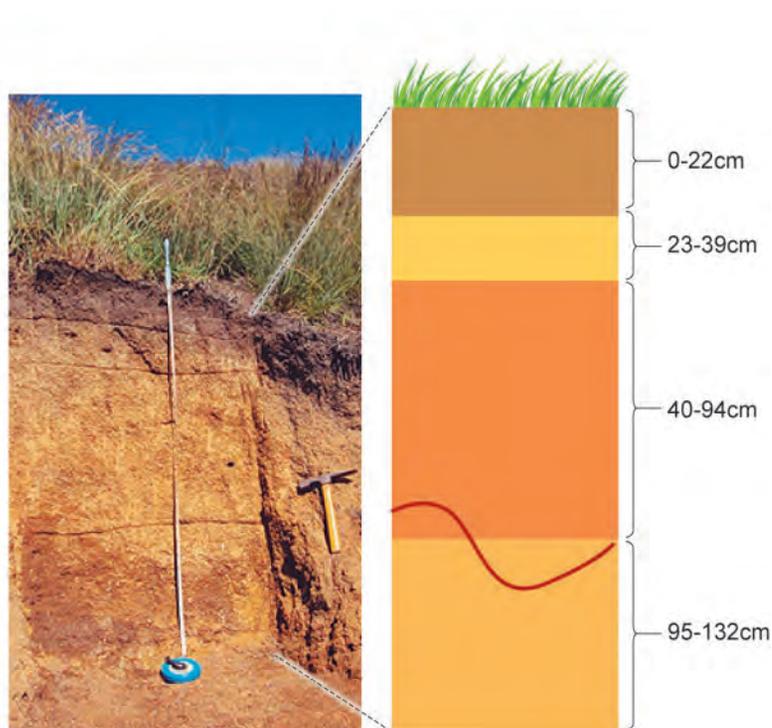


Figura 14.11: Perfil de um cambissolo na transição entre a alta e a média encosta em uma colina, São Gonçalo, RJ.

A **Figura 14.11** demonstra um perfil de cambissolo revelando sua sequência característica de horizontes com o surgimento do horizonte Bi entre os horizontes A e C. Nela, podemos perceber a influência do relevo como fator de formação do solo, pois variações topográficas determinam diferentes tipos e ritmos de intemperismo e pedogênese.

Nas áreas localizadas nos trechos de baixa encosta, geralmente no sopé de vertentes em trechos próximo aos fundos de vale, as condições hidrológicas favorecem a manutenção de um maior teor de umidade nos solos. Esse incremento na umidade favorece a ação do intemperismo químico e dos demais processos pedogenéticos, fato que se reflete nas características do perfil do solo. Nessas condições se formam os solos mais desenvolvidos (solos maduros), que apresentam horizontes B com altos teores de argila, podendo gerar latossolos e argissolos.

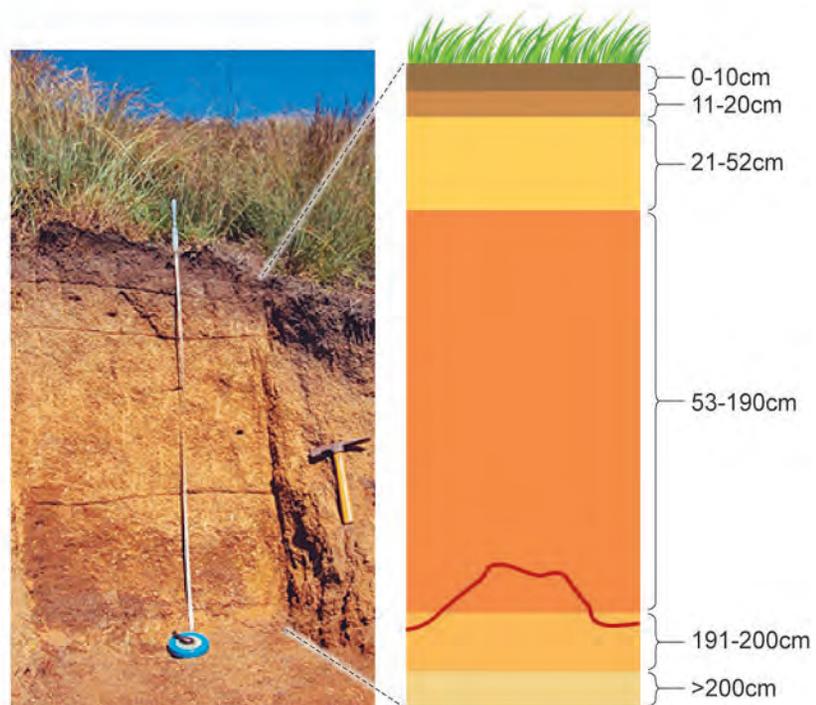


Figura 14.12: Perfil de um latossolo na base de uma encosta na bacia do rio São João, Silva Jardim, RJ.

CONCLUSÃO

Após abordarmos o conteúdo desta aula, podemos concluir que existem estreitas relações entre a Geomorfologia Continental e a Pedologia. As interações múltiplas entre essas duas disciplinas ficam evidentes quando estudamos os tipos de solo presentes na superfície terrestre, pois os processos pedogenéticos recebem grande influência do condicionante topográfico.

O relevo pode ser entendido como um importante fator da formação do solo, pois controla a distribuição da umidade pelas encostas e determina o tipo de intemperismo e a velocidade da pedogênese sobre o material de origem. Dessa maneira, podemos constatar que, ao longo de uma encosta, ocorrem diferentes tipos de perfis de solo em resposta à influência do relevo na formação dos mesmos.

Atividade final

Atende aos objetivos 1, 2 e 3

Observe atentamente a figura a seguir e faça uma caracterização do perfil de solo representado na foto e no desenho esquemático. Complemente a atividade realizando a identificação e a descrição dos três horizontes pedogenéticos presentes no perfil.

Resposta comentada

A figura revela o perfil de um cambissolo que é típico dos trechos de média e alta encosta com presença de horizonte Bi (incipiente). O estágio pouco desenvolvido do solo deve-se a essa condição de relevo, que inibe as taxas de intemperismo e a velocidade da pedogênese. Apresenta um horizonte A com 20 cm de cor escura, evidenciando a grande concentração da matéria orgânica. O horizonte B apresenta espessura de 79 cm, localizando-se entre 21 e 100 cm de profundidade no perfil e sendo relativamente pouco espesso. O horizonte C, localizado entre 100 e 211 cm de profundidade no perfil, demonstra o material de origem ainda nos estágios iniciais de decomposição química pelo intemperismo e revela características herdadas da rocha de origem.

RESUMO

As diferentes camadas que podemos observar num corte em uma encosta são denominadas de horizontes pedogenéticos, que são produzidos pela ação dos chamados processos pedogenéticos. Esses diferentes horizontes formam o perfil de solo, que tem características específicas em cada tipo de solo, variando com a atuação dos seus fatores de formação e servindo de base para os sistemas de classificação pedológica.

Dentre os principais processos pedogenéticos temos as adições, as translocações, as transformações e as perdas, que determinam a diferenciação dos distintos horizontes de um perfil. Esses processos variam de intensidade de acordo com as condições geológicas do material de origem e das condições do clima, sofrendo ainda grande influência do relevo, da atuação dos organismos e do tempo de exposição ao intemperismo e à pedogênese.

Em relação ao relevo como fator de formação do solo, temos o papel fundamental exercido pela topografia na distribuição dos fluxos hidrológicos nas vertentes, condicionando uma distribuição heterogênea da umidade e produzindo condições distintas para o intemperismo e a pedogênese ao longo das encostas.

Informações sobre a próxima aula

Na próxima aula veremos a importância da geomorfologia continental para os mecanismos de avaliação e planejamento ambiental, discutindo as diferentes relações entre os processos geomorfológicos e a dinâmica dos sistemas ambientais, especialmente aqueles sob interferência humana.

Aula **15**

**Geomorfologia
e planejamento
ambiental**

*Otavio Miguez Rocha Leão
Leonardo B. Brum*

Meta da aula

Mostrar as aplicações da Geomorfologia Continental no planejamento ambiental.

Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. conceituar planejamento ambiental e reconhecer sua importância para a sociedade;
2. identificar o papel da Geomorfologia Continental no planejamento ambiental;
3. reconhecer a contribuição da Geomorfologia Continental nos estudos e relatórios de impacto ambiental.

INTRODUÇÃO

Caro estudante,

Chegamos ao fim do nosso curso de Geomorfologia Continental e o finalizaremos com uma apresentação das principais aplicações do conhecimento geomorfológico para subsidiar a elaboração de propostas de planejamento ambiental. Como vimos ao longo do curso, a Geomorfologia é a ciência que estuda e analisa as formas do relevo presentes na superfície terrestre, bem como sua dinâmica evolutiva e, para entendê-las, é necessário conhecer os processos atuantes na modelagem do relevo.

Esses processos modeladores do relevo são os responsáveis pela sua dinâmica evolutiva, envolvem a ação de diversos elementos naturais e podem ser profundamente influenciados pelas intervenções humanas. Essa característica da Geomorfologia faz com que essa ciência promova uma série de interfaces com outras áreas do conhecimento, tornando-a muito útil para a produção de subsídios para a avaliação integrada dos sistemas ambientais e para a elaboração de propostas de planejamento ambiental.

O foco central da ciência geomorfológica é entender o modelado da superfície terrestre, e como foi visto na nossa Aula 3, que aborda a perspectiva sistêmica da Geomorfologia, consideramos o relevo como uma sistema ambiental físico. Esse sistema interage com outros sistemas e condiciona as atividades humanas e as organizações espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1995). Nesse sentido, a Geomorfologia possui grande aplicação para a identificação de impactos ambientais e para a elaboração de projetos de recuperação de áreas degradadas, inserindo-se como um importante instrumento do planejamento ambiental.

Nesta aula, analisaremos de que forma podemos aplicar os conceitos da Geomorfologia aos estudos do ambiente e, em específico, ao planejamento ambiental. Iniciaremos, então, apresentando o conceito de planejamento ambiental, para depois apontar suas relações com a Geomorfologia.



Figura 15.1: São Gonçalo – Rio de Janeiro. Sistema geomorfológico fluvial que, com as interferências da sociedade, provoca inundações, causando inúmeros transtornos aos cidadãos.

Fonte: Foto dos autores.

Planejamento ambiental

O planejamento ambiental é uma ferramenta alinhada às políticas de sustentabilidade ambiental e segue a linha de construção de um modelo de desenvolvimento econômico que compatibiliza as atividades econômicas, a justiça social e a preservação ambiental.

Planejar é pensar no futuro ou no que se deseja alcançar, e como obtê-lo (MATEO RODRIGUES; SILVA, 2013).



Figura 15.2: Modelo de desenvolvimento econômico alinhado às políticas de sustentabilidade ambiental.



A sustentabilidade ambiental pode ser definida como uma forma de compatibilizar o uso dos recursos naturais com a capacidade natural dos sistemas em renovar a disponibilidade deles, não permitindo, sob nenhuma hipótese, uma utilização predatória desses recursos. Dessa maneira, busca-se um modelo de uso de recursos naturais que permita o desenvolvimento de atividades econômicas sem comprometer a renovação dos estoques desses recursos, garantindo para as gerações futuras condições sustentáveis de existência.

Cabe destacar que, nas últimas décadas, a percepção dos problemas ecológicos tornou-se cada vez mais intensa em nossa sociedade, pois a degradação dos sistemas ambientais atingiu níveis muito elevados em várias regiões do mundo. A ocorrência quase que generalizada de impactos ambientais locais e o surgimento de mudanças ambientais globais promoveram problemas ecológicos sociais e econômicos em larga escala.

Esses impactos ambientais afetam a dinâmica dos sistemas ambientais e a qualidade de vida da população, tornando necessária a elaboração de propostas de planejamento ambiental que possam:

- promover a minimização desses impactos;
- controlar a propagação dos mesmos pelos sistemas ambientais;
- possibilitar a recuperação das áreas degradadas.



A recuperação de áreas degradadas envolve um conjunto de ações e medidas para regenerar aspectos funcionais dos elementos de um sistema que passou por modificações relacionadas à intervenção humana, tendo perdido sua capacidade de recuperação espontânea. Quando o nível de interferência humana em um sistema ambiental ultrapassa determinado limite, são necessárias outras intervenções, no sentido de minimizar os vetores de degradação e propiciar a recuperação ambiental.

Como podemos observar nas últimas décadas, o número crescente de impactos ambientais nos sistemas geomorfológicos localizados em áreas urbanas e rurais levou ao surgimento de inúmeras áreas degradadas. Nessas áreas, que perderam a

capacidade natural de regeneração, a intensificação de processos erosivos e/ou deposicionais demonstra claramente que qualquer tentativa de recuperação envolve o controle desses processos geomorfológicos. Nesse sentido, o planejamento ambiental, dentre outras medidas, deve levar em consideração as mudanças ambientais nos sistemas geomorfológicos promovidos pela degradação ambiental, possibilitando a adequação das atividades humanas à dinâmica evolutiva desses sistemas.



José Reynaldo da Fonseca

Figura 15.3: Erosão tomando parte de estrada rural, em Avaré, Brasil.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Eros%C3%A3o#mediaviewer/Ficheiro:Vo%C3%A7oroca_\(23_12_24S_-_48_47_59W\)_-_REFON_1.JPG](http://pt.wikipedia.org/wiki/Eros%C3%A3o#mediaviewer/Ficheiro:Vo%C3%A7oroca_(23_12_24S_-_48_47_59W)_-_REFON_1.JPG).

Segundo Mateo Rodrigues e Silva (2013), o ato de planejar é inerente aos indivíduos, aos grupos e às entidades sociais complexas. Quando um país ou suas regiões enfrentam a tarefa de planejar, estão aceitando mecanismos de governança, de gestão e de controle do processo social. É uma ferramenta do estado e da sociedade para organizar, integrar, gerir e controlar, possibilitando eliminar a espontaneidade e a imprevisibilidade, que neste caso, está relacionada ao ambiente.

Ross (2006), ao se referir à realização do planejamento territorial ambiental, aponta que a base deve ser a preservação ambiental, a conservação dos bens naturais e a recuperação das áreas degradadas.



Figura 15.4: A base do planejamento territorial ambiental.

Para tanto, se faz necessária uma análise integrada dos componentes naturais e sociais dos sistemas ambientais, levando em consideração a articulação entre esses componentes e a propagação de alterações entre as variáveis que compõem um determinado sistema. A identificação de impactos nos sistemas geomorfológicos se constitui, portanto, numa ferramenta essencial para o desenvolvimento de um planejamento ambiental que leve em consideração a preservação dos ecossistemas e recursos naturais e a recuperação das áreas degradadas.

Segundo Christofoletti (1999, p. 162),

O planejamento ambiental envolve-se com os programas de utilização de sistemas ambientais, como elemento condicionante de planos nas escalas espaciais do local, regional e nacional, ou de atividades setorializadas como uso do solo urbano, uso do solo rural, execução de obras de engenharia e planejamento econômico [...].

O atual estágio de degradação ambiental reflete as relações entre a sociedade e a natureza, especialmente a partir da revolução industrial do século XIX, que promoveu profundas modificações nas áreas urbanas e rurais ao longo do século XX. Essa intensificação de processos de degradação ambiental em várias partes do mundo motivou a necessidade de se anteverem possíveis problemas ambientais causados pela interferência humana nos sistemas. Esses problemas passaram então a ser considerados como impactos ambientais e sua ocorrência de forma generalizada passou a afetar cada vez mais a sociedade, colocando em risco o atual modelo civilizacional, que é fundamentado na agroindústria e nos grandes complexos urbano-industriais.

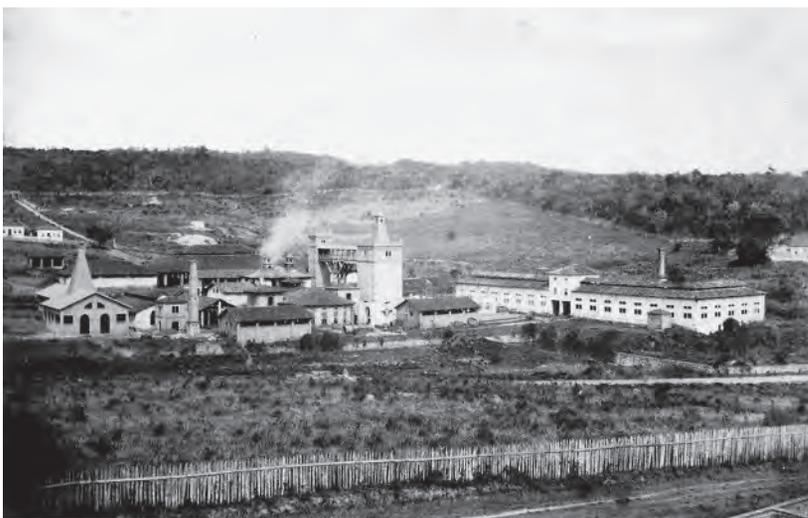


Figura 15.5: Fábrica de ferro em Sorocaba, província de São Paulo, 1884.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ind%C3%BAstria_no_Brasil#mediaviewer/Ficheiro:F%C3%A1brica_ferro_Sorocaba_1884.jpg

Devido a esse quadro de degradação descrito anteriormente, a necessidade de um planejamento ambiental das atividades humanas surgiu nas últimas quatro décadas e tem como objetivo conhecer melhor os sistemas ambientais, ou meio ambiente. Seu ponto de partida deve ser o espaço físico-ambiental, com ênfase no meio natural (MATEO RODRIGUES; SILVA, 2013).

O planejamento ambiental é, portanto, um processo que visa à análise e à reflexão sobre as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais de um território. É a base para definir as metas, os objetivos, as estratégias de uso, os projetos e os impactos das atividades sociais e econômicas na dinâmica do meio natural e na vida das pessoas.

Em relação ao papel da geografia no planejamento ambiental, podemos destacar que a legislação brasileira sobre meio ambiente e o ensino e a pesquisa nos cursos universitários no Brasil possibilitam ao geógrafo um vasto campo de atuação profissional, pois permitem-no trabalhar com o planejamento ambiental, que, entre outras ações, envolve:

- elaboração de Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA's, RIMAs);
- avaliações, pareceres, laudos técnicos, perícias e gerenciamento de recursos naturais;
- Plano e Relatório de Controle Ambiental (PCA e RCA);
- monitoramento ambiental;
- caracterização do meio físico;
- planos de recuperação de áreas degradadas;
- estudos e pesquisas geomorfológicas;
- estudos de climatologia;
- análise de bacias hidrográficas.

Sendo assim, nesta aula, o nosso principal objetivo é apresentar a importância dos aspectos geomorfológicos do meio ambiente, especialmente frente à ocupação territorial promovida pela sociedade, apontando a relevância da Geomorfologia nas ações de planejamento ambiental.



Atende ao objetivo 1

Obras contra cheias somam R\$ 949,1 milhões, mas não impedem enchente

Investimentos no Rio foram feitos entre 2009 e 2012 com verba federal. Obras em área com histórico de cheias não evitaram alagamentos na quarta.

A chuva no estado do Rio de Janeiro alagou ruas, isolou moradores, deixou mais de 5 mil desalojados, 395 desabrigados e **provocou três mortes**. Além da capital, vários municípios da Baixada Fluminense – como Nova Iguaçu, Queimados, Japeri, Mesquita, São João do Meriti, Duque de Caxias e São Gonçalo – foram atingidos.

Qual a relação entre esse tipo de notícia e o planejamento ambiental?

Resposta comentada

O planejamento ambiental é uma ferramenta alinhada à concepção da sustentabilidade ambiental, utilizada pelo estado e pela sociedade para organizar, integrar, gerir e controlar o uso do ambiente, possibilitando eliminar e/ou minimizar a imprevisibilidade das respostas dos sistemas ambientais frente aos processos de ocupação do território. Seu objetivo é mitigar os efeitos da organização social do espaço sobre os recursos naturais e manter os sistemas ambientais em equilíbrio.

Dessa forma, fica claro que a falta histórica de planejamento ambiental em nosso país atinge de forma direta a vida de nossa sociedade.

A Geomorfologia no planejamento ambiental

Na avaliação da dinâmica do ambiente, o conhecimento dos sistemas geomorfológicos possui grande importância pois, na interação do relevo com a ocupação humana, ele pode facilitar ou dificultar o desenvolvimento de atividades econômicas e a manutenção das diferentes formas de vida, inclusive a humana.

Existem relações sistêmicas entre os diversos fatores naturais do ambiente, sendo que os diferentes tipos de solo, as condições climáticas e hidrológicas, as características do embasamento geológico e a distribuição espacial da cobertura vegetal estão intimamente ligadas às feições do relevo.

Portanto, para a elaboração de propostas de planejamento ambiental, a Geomorfologia, através do mapeamento das unidades geomorfológicas, pode servir de importante subsídio para uma

análise integrada desses diferentes componentes dos sistemas ambientais. Esse tipo de análise é importante porque cada tipo de relevo possui relações específicas com os tipos de solo, clima, geologia, dinâmica hidrológica e formas de vida.

Ross (2006) aponta que o relevo pode facilitar ou dificultar os processos de ocupação de terras, o arranjo dos espaços territoriais e a produção. Isso acontece porque as características do relevo são importantes para a definição dos traçados das rodovias, ferrovias, implantação das cidades, construção de aeroportos, barragens para usinas hidrelétricas e distritos industriais, entre outras operações.



Figura 15.6: Vista geral do Distrito Industrial de Paracambi – RJ. Note que tanto as instalações quanto as estradas buscam as áreas onde o relevo é menos acidentado e mais favorável à ocupação.

Fonte: Foto dos autores.

Ross destaca ainda que as características do relevo são fundamentais para:

- definir os tipos de atividades agropecuárias mais adequadas para cada lugar, em função dos sistemas de produção e transporte nele disponíveis;

- indicar as áreas de maior interesse para a preservação e a conservação dos bens ambientais de valor ecológico.



Figura 15.7: Relações entre as características do relevo e atividades agropecuárias na região serrana do Rio de Janeiro. Note que as atividades se concentram nos fundos de vale e na baixa-encosta, onde as condições de relevo são mais adequadas à ocupação.

Fonte: Foto dos autores.

As feições da superfície terrestre vão influenciar a localização espacial dos grupos sociais; um exemplo disso é a preferência histórica dos homens por áreas planas e/ou de baixa declividade. Geralmente localizadas próximas a leitos fluviais, essas áreas são usadas para desenvolvimento de sítios urbanos e atividades agrícolas, em detrimento de áreas montanhosas, que devido à instabilidade geomorfológica natural (efeito da declividade na dinâmica hidroerosiva das vertentes), são ocupadas apenas em “último caso”.



Figura 15.8: Condomínio residencial em construção no município de Macaé – RJ. Note a utilização prioritária de áreas com relevo mais favorável à ocupação, devido às baixas declividades e à relativa estabilidade geomorfológica.

Fonte: Foto dos autores.

Em relação aos condicionantes geomorfológicos para o planejamento ambiental, destacamos ser fundamental identificar a possibilidade da ocorrência de fenômenos geomorfológicos que promovam impactos ambientais, colocando em risco a segurança da população, além de poderem gerar graves prejuízos financeiros para o estado e para a sociedade em geral.

Nesse sentido, as áreas vulneráveis à ocorrência de movimentos de massa nas encostas e de fenômenos de inundação nos fundos de vales fluviais são especialmente levadas em consideração na elaboração de um planejamento ambiental. Tal planejamento deve minimizar esses riscos e tornar a ocupação territorial compatível com a preservação da estabilidade dos sistemas geomorfológicos e, conseqüentemente, com a preservação ambiental.

Um aspecto fundamental do planejamento ambiental é o mapeamento e estudo da rede de drenagem das bacias hidrográficas, pois a dinâmica geomorfológica nas encostas e canais

fluviais promove processos que podem ser previstos em sua dinâmica evolutiva. O regime hidrológico das bacias indica a sazonalidade das variações de vazão nos canais fluviais e são um ponto de partida fundamental para o controle de impactos ambientais relacionados às enchentes periódicas das margens dos rios e, eventualmente, de suas planícies de inundação. O mapeamento das áreas vulneráveis a inundações, ao longo de uma rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, constitui-se, portanto, em uma importante ferramenta para o planejamento ambiental.

Ainda em relação ao estudo da rede de drenagem, destacam-se:

- a importância de se preverem os efeitos hidrogeomorfológicos e sedimentológicos das mudanças nos canais fluviais relacionadas às obras de retificação e canalização de rios;
- as mudanças nas características morfológicas dos leitos fluviais;
- a construção de barragens.

Como visto, o relevo e suas características são fundamentais para a elaboração de propostas de planejamento ambiental.



Atende ao objetivo 2

Agora que já estudamos a importância da Geomorfologia Continental para a elaboração de propostas de planejamento ambiental, leia atentamente as afirmações abaixo, indicando as que são verdadeiras:

a) A ciência geomorfológica possui pouca importância no planejamento ambiental, pois a estabilidade do relevo a longo prazo não sofre perturbações das atividades humanas na superfície terrestre. ()

- b) Os fenômenos geomorfológicos que ocorrem nos sistemas fluviais são os únicos que possuem relevância para o planejamento ambiental. ()
- c) O estudo da dinâmica erosiva nas encostas e das características dos sistemas fluviais abordados pela Geomorfologia são fundamentais para o planejamento ambiental. ()
- d) O controle das enchentes e inundações ao longo da rede de drenagem se constitui em uma importante contribuição da geomorfologia para o planejamento ambiental. ()
- e) Não existe grande influência do relevo no processo de ocupação do território e no desenvolvimento de atividades econômicas, pois as intervenções humanas podem ocorrer sem levar em consideração as características geomorfológicas do relevo. ()

Resposta comentada

- a) Falso. Existem muitas possibilidades de as atividades humanas produzirem e/ou intensificarem a instabilidade dos sistemas geomorfológicos.
- b) Falso. Além dos sistemas fluviais, os sistemas das encostas também devem ser considerados para subsidiar propostas de planejamento ambiental.
- c) Verdadeiro.
- d) Verdadeiro.
- e) Falso. Mesmo com a atual capacidade tecnológica da sociedade, o relevo e sua dinâmica continuam sendo fundamentais para adequação da ocupação territorial e do desenvolvimento das atividades econômicas para a preservação ambiental.

Geomorfologia aplicada aos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental

No Brasil, os Estudos de Impacto Ambiental são obrigatórios desde 1986 (Resolução CONAMA 01/86) e são chamados de EIAs – RIMAs. Eles são necessários para a implantação de grandes projetos que possam a vir alterar o ambiente. Os Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) e os Relatórios de Impactos Ambientais (RIMAs)

são instrumentos de planejamento da Política Nacional de Meio Ambiente e são requeridos para a implementação das seguintes atividades (Resolução CONAMA 01/86):

- a) Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento;
- b) Ferrovias;
- c) Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
- d) Aeroportos, conforme definidos pelo inciso 1, artigo 48, do Decreto-Lei nº 32, de 18.11.66;
- e) Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;
- f) Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230KV;
- g) Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;
- h) Extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão);
- i) Extração de minério, inclusive os da classe II, definidas no Código de Mineração;
- j) Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;
- k) Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW;
- l) Complexo e unidades industriais e agroindustriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos);
- m) Distritos industriais e zonas estritamente industriais – ZEI;
- n) Exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental;

- o) Projetos urbanísticos, acima de 100 ha. ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental a critério da SEMA e dos órgãos municipais e estaduais competentes;
- p) Qualquer atividade que utilize carvão vegetal, em quantidade superior a dez toneladas por dia;
- q) projetos agropecuários que contemplem áreas acima de 1.000 hectares ou menores, neste caso, quando se tratar de áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental, inclusive nas áreas de proteção ambiental;
- r) qualquer atividade que seja potencialmente lesiva ao patrimônio espeleológico nacional;
- s) outras atividades ou empreendimentos, a critério do órgão licenciador.



A Resolução CONAMA 01/86 e outras informações relevantes sobre o assunto podem ser encontradas no site do Ministério do Meio Ambiente. Acesse: <http://www.mma.gov.br/>.

De acordo com o Artigo 6º da Resolução CONAMA 01/86, o estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

- I – Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:
 - a) o meio físico – o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d’água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

- b) o meio biológico e os ecossistemas naturais – a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
- c) o meio socioeconômico – o uso e ocupação do solo, os usos da água e a socioeconomia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.
- II – Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.
- III – Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.
- IV – Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos), indicando os fatores e parâmetros a serem considerados.

Nesses estudos, em relação ao papel da Geomorfologia, o objetivo será o de entender os efeitos que essas atividades promoverão no relevo, além das respostas dos sistemas geomorfológicos a essas intervenções.

O foco deverá ser o de buscar quais impactos esses empreendimentos poderão gerar nas encostas, nos rios, nas bacias hidrográficas e, caso tenha essa especificidade, nos sistemas cársticos.

CONCLUSÃO

Após a apresentação dos conteúdos das três unidades desta aula, podemos concluir que os processos de degradação ambiental atingiram, a partir das últimas décadas, níveis preocupantes em muitas regiões do mundo. A constatação do grande número de impactos ambientais gerou a necessidade de se realizar um planejamento da ocupação territorial em áreas urbanas e rurais, que levasse em consideração as características ambientais desses sistemas sob intervenção humana.

Nesse sentido, a contribuição da Geomorfologia se torna fundamental para os procedimentos de análise e planejamento ambiental, pois os fenômenos geomorfológicos podem, em diversas situações, promover impactos ambientais, especialmente quando o tipo de ocupação não leva em consideração as características geomorfológicas do relevo.

Dentre os diversos aspectos da dinâmica geomorfológica, podemos concluir que os mais relevantes para o planejamento ambiental são a dinâmica erosiva das encostas (inclusive em relação aos movimentos de massa) e as enchentes nos canais fluviais. No entanto, não devemos negligenciar a influência das obras de engenharia na rede de drenagem, pois podem promover profundas modificações hidrogeomorfológicas nas bacias hidrográficas.

Por fim, podemos concluir que o planejamento ambiental tornou-se tão importante para a sociedade, que muitos países vêm desenvolvendo legislações específicas sobre questões ambientais e, no caso do Brasil, a importância da Geomorfologia aparece nas metodologias de elaboração de EIA/RIMA e nas demais atividades de licenciamento e controle ambiental.

Resposta comentada

De acordo com a imagem, os pontos fundamentais que você poderia ter destacado em relação aos impactos da ação humana nos sistemas geomorfológicos e às respostas desses sistemas ao planejamento ambiental são:

- o mapeamento das feições dessa paisagem, com elevada importância para as áreas de encostas em relação à sua forma e declividade, e para as áreas que margeiam os canais fluviais, com destaque para as planícies de inundação, a fim de discutir riscos geomorfológicos, medidas de prevenção e planejamento do uso do solo;
- a pressão urbana que gera o desmatamento e o corte inadequado nas encostas, potencializando as diversas formas de processos erosivos e os movimentos de massa;
- o desmatamento em geral e a impermeabilização do solo, que interferem nas rotas do ciclo hidrológico e diminuem as taxas de infiltração, interferindo na vazão dos canais fluviais e potencializando os eventos de inundação.

RESUMO

A Geomorfologia é a ciência das formas da superfície e, para entendê-la, é necessário conhecer os processos atuantes que a fazem, por si só, ser uma ciência de interfaces. Considerada um sistema ambiental, ao interagir com outros sistemas, condiciona as atividades humanas e as organizações espaciais, inserindo-se como um importante instrumento do planejamento ambiental.

O planejamento ambiental surgiu nas últimas quatro décadas e tem como objeto os sistemas ambientais, alinhado às políticas de sustentabilidade. A base é a preservação do meio ambiente, a conservação dos bens naturais e a recuperação das áreas degradadas.

Visto que o relevo pode facilitar ou dificultar os processos de ocupação de terras, o arranjo dos espaços territoriais e a produção, suas características são importantes para a definição dos traçados das rodovias, ferrovias, implantação das cidades, construção de aeroportos, barragens para usinas hidrelétricas, entre outros. Nesse sentido, o papel da Geomorfologia aplicada é o de entender os efeitos que essas atividades trarão ao relevo, além das respostas dos sistemas geomorfológicos a essas intervenções.

Geomorfologia
Continental

Referências

Aula 1

CASSETI, V. *Elementos de geomorfologia*. Goiânia: Ed. UFG, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. *The Geographical Journal*, London, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. *Geological Society of America Bulletin*, Washington, v. 64, n. 7, p. 721-752, 1953.

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 23-50.

MONTEIRO, C. A. F. Davis e a teoria geográfica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2001.

PENCK, W. *Die morphologische analyse*. Ein kapitel der physikalischen geologie. Stuttgart: J. Engelhorn's Nachf, 1924.

Aula 2

CASSETI, V. *Elementos de geomorfologia*. Goiânia: Ed. UFG, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

GILBERT, G. K. Report on the geology of Henry Mountains. Washington: U.S. Geographical and Geological survey of the Rocky Mountain Region. Department of the Interior, 1877. 151 p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

LEITE, A. F. Análise teórico-filosófica dos modelos de evolução da paisagem: tendências passadas e atuais. *Revista Geográfica de América Central*, Heredia, n. esp., p. 1-17, 2011.

LEOPOLD, L. B.; LANGBEIN, W. B. *The concept of entropy in landscape evolution*. Theoretical Papers in the Hydrologic and Geomorphic Sciences. Washington: United States Government Printing Office, 1962. Geological Survey Professional Paper, 500-A. 20 p.

HACK, J. T. Dynamic Equilibrium and Landscape Evolution. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (Eds.). *Theories of Landform Development*. 1st ed. New York: Allen and Unwin, 1975. p. 87-102.

_____. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, 258 A, p. 80-97, 1960.

Aula 3

CHORLEY, J. *Geomorphology and general systems theory*. Theoretical Papers in the Hydrologic and Geomorphic Sciences. Washington: United States Government Printing Office, 1962. Geological Survey Professional Paper, 500-B. 14 p.

_____; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: a system approach*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

_____. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

DANTAS, M. E. *Controles naturais e antropogênicos da estocagem diferencial de sedimentos fluviais: bacia do Rio Bananal (SP/RJ), médio vale do rio Paraíba do Sul*. 1995. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, 258 A, p. 80-97, 1960.

Aula 4

CASSETI, V. *Elementos de geomorfologia*. Goiânia: Ed. UFG, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Aula 5

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

GUERRA, A. J. T. *Processos erosivos nas encostas*. In: _____; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.

Aula 6

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 69-100, 2003.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. In: HIGGINS, C. G.; COATES, D. R. (Eds.). *Groundwater geomorphology*. Boulder: Geological Society of America, 1990. Geological Society of America Special Paper, 252.

GUERRA, A. J. T. *Processos erosivos nas encostas*. In: _____; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

Aula 7

CASTRO, A. L. C. *Manual de desastres: desastres naturais*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (Org.) *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 123-194.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas como Unidade de Gestão e Planejamento, a partir do Estudo de Áreas a Sudoeste da Cidade de Recife. *Revista de Geografia*, Recife, v. 24, n. 3, set./dez. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. *Ocupação de Encostas*. São Paulo: IPT, 1991. Publicações do IPT, n. 1831.

PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010*: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

_____. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010*: volume Rio de Janeiro. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011.

Aula 8

CUNHA, S. B. *Geomorfologia fluvial*. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. *Apostila de Hidrologia Aplicada*. Rio de Janeiro: Laboratório de Geo-hidroecologia/Departamento de Geografia/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 70 p.

PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Aula 9

CUNHA, S. B. *Geomorfologia fluvial*. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252.

_____. *Rios desnaturalizados*. In: BARBOSA, J. L.; LIMONAD, E. (Org.). *Ordenamento territorial e ambiental*. Niterói: Editora da UFF, 2012. p. 171-193.

Aula 10.....

CHRISTOFOLETTI, A. A análise de bacias hidrográficas. In: _____. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. p. 102-121.

PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

Aula 11.....

CHRISTOFOLETTI, A. A análise de bacias hidrográficas. In: _____. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. p. 102-121.

CUNHA, S.; GUERRA, A. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

Aula 12.....

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia cárstica. In: _____. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. p. 153-158.

KOHLER, H. C. Geomorfologia cárstica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 309-334.

LEAL, C. F. N. B.; RAMOS, R. R. C. O complexo cárstico de Itaocara, Cantagalo e São Sebastião do Alto – RJ: preservação à luz do Decreto 6.640/2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31., 2011, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

Aula 13.....

BIGARELLA, J. J.; MEIS, M. R. M. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, v. 16-17, p. 97-153, 1965.

CAMBRA, M. F. E. S. *Movimentos de água na porção superior de solos sobre pastagem: o papel do sistema radicular*. 1998. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A.; MOURA, J. R. S. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 415-440.

COELHO NETTO, A. L. Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brasil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 4., 1999, Bologna. *Proceedings...* Bologna: Comitato Glaciologico Italiano, 1999, p. 21-48.

_____. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 69-100, 2003.

COELHO NETO, A. L. Mecanismos e condicionantes geo-hidroecológicos do voçorocamento em ambiente rural: implicações na estabilidade de encostas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 23 p.

_____ et al. 14C MAS Evidences of two Holocene erosion-sedimentation cycles in SE Brazil: stratigraphy and stratigraphy inversion. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS, 14., 1994, Recife. *Abstracts...* Recife, 1994, p. 29-30.

DANTAS, M. E. *Controles naturais e antropogênicos da estocagem diferencial de sedimentos fluviais: bacia do Rio Bananal (SP/RJ), médio vale do rio Paraíba do Sul.* 1995. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)–Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

LEÃO, O. M. R. *Evolução regressiva da rede de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: bases geo-hidroecológicas para recuperação de áreas degradadas com controle de voçorocamentos.* 2005. 242 p. Tese (Doutorado em Geografia)–Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MEIS, M. R. M. As unidades morfoestratigráficas neoquaternárias do médio vale do rio Doce. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 49, p. 443-459, 1977.

_____; MACHADO, M. B. A morfologia de rampas e terraços no Planalto Sudeste do Brasil. *Finisterra*, Lisboa, v. 13, n. 26, p. 201-218, 1978.

_____; _____. CUNHA, S. B. Note on the distribution and origin of the late quaternary ramps near, Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 47 supl., p. 269-275, 1975.

_____; MONTEIRO, A. M. F. Upper Quaternary “rampas”, Doce River Valley, SE Brazilian Plateau. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Stuttgart, 23, p. 132-151, 1979.

PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. Porto Alegre: Bookman, 2006.

Aula 14.....

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 2008.

LEPSCH, I. F. *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

_____. *19 lições de pedologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

RESENDE, M. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUTN, 1997.

Aula 15.....

BRASIL. Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*, Brasília, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 1 jul. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 415-440.

_____. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

MATEO RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. *Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica*. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROSS, J. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.