



Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliantra



ORGANIZADORES

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes



CONSELHO EDITORIAL

Membros internos:

Prof. Dr. André Cabral Honor (HIS/UnB) - **Presidente**

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof^ª Dr^ª Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof. Dr. Rafael Sânzio Araújo dos Anjos (GEA/UnB)

Membros externos:

Prof^ª Dr^ª Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha)

Prof^ª Dr^ª Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof^ª Dr^ª Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^ª Dr^ª Marine Pereira (UFABC)

Prof^ª Dr^ª Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)



A UnB quem faz
é a gente

Organizadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villança Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Título: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira

Volume: 1

Local: Brasília

Editor: Selo Caliandra

Ano: 2022

Parecerista: João Cândido André da Silva Neto

Capa: Luiz H S Cella



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília
Heloiza Faustino dos Santos - CRB 1/1913

R454 Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.
1057 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.
ISBN 978-65-86503-85-2.

1. Geomorfologia - Brasil. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio de.

CDU 551.4

Lista de autores

Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Adão Osdayan Cândido de Castro
Alberto Oliva
Alex de Carvalho
Ana Camila Silva
André Augusto Rodrigues Salgado
André Luiz Carvalho da Silva
André Paulo Ferreira da Costa
Antônio Carlos de Barros Corrêa
Antonio José Teixeira Guerra
Antônio Pereira Magalhães Junior
Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Archimedes Perez Filho
Beatriz Abreu Machado
Breno Ribeiro Marent
Bruno Venancio da Silva
Carlos de Oliveira Bispo
Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
César Augusto Chicarino Varajão
Claudia Rakel Pena Pereira
Cristiano da Silva Rocha
Cristina Helena Ribeiro Augustin
Daniel Françoso de Godoy
Daniel Peifer
Danielle Lopes de Sousa Lima
Danilo Vieira dos Santos
David Hélio Miranda de Medeiros
Delano Nogueira Amaral
Dirce Maria Antunes Suertegaray
Edison Fortes
Edivando Vitor do Couto
Eduardo Souza de Moraes
Edwilson Medeiros dos Santos
Éric Andrade Rezende
Fabiana Souza Ferreira
Fábio Perdigão Vasconcelos
Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Fabrizio do Nascimento Garritano
Felipe Gomes Rubira
Flávio Rodrigues do Nascimento
Francisco Dourado
Francisco Edmar de Sousa Silva
Francisco Leandro de Almeida Santos
Frederico de Holanda Bastos
Gisele Barbosa dos Santos
Giselle Ferreira Borges
Guilherme Borges Fernandez
Hugo Alves Soares Loureiro
Idjarrury Gomes Firmino
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
Jáder Onofre de Moraes
Jémison Mattos dos Santos
João Paulo de Carvalho Araújo
José Fernando Rodrigues Bezerra
Juliana Sousa Pereira
Julio Cesar Paisani
Jurandyr L. Sanches Ross
Karine Bueno Vargas
Kleython de Araújo Monteiro
Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes
Leonardo dos Santos Pereira
Leonardo José Cordeiro Santos
Letícia Augusta Faria de Oliveira
Lidriana de Souza Pinheiro,
Lígia Padilha Novak
Luiz Fernando de Paula Barros
Manoel do Couto Fernandes
Marcel Hideyuki Fumiya,
Marcelo Martins de Moura Fé
Marcos César Pereira Santos
Maria Bonfim Casemiro
Mariana Silva Figueiredo
Marli Carina Siqueira Ribeiro
Martim de Almeida Braga Moulton
Michael Vinicius de Sordi
Mônica dos Santos Marçal
Neiva Barbalho de Moraes
Nelson Ferreira Fernandes
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Oswaldo Girão da Silva
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Otávio Cristiano Montanher
Paulo Cesar Rocha
Paulo de Tarso Amorim Castro
Paulo Roberto Silva Pessoa
Pedro Val
Peter Christian Hackspacher
Rafaela Soares Niemann
Raphael Nunes de Souza Lima
Roberto Marques Neto

Roberto Verdum
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
Rubson Pinheiro Maia
Sandra Baptista da Cunha
Sarah Lawall
Sérgio Cadena de Vasconcelos
Sérgio Murilo Santos de Araújo
Silvio Carlos Rodrigues
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Simone Cardoso Ribeiro
Tania Cristina Gomes

Thais Baptista da Rocha
Thiago Gonçalves Pereira
Thiago Pereira Gonçalves
Thomaz Alvisi de Oliveira
Tulius Dias Nery
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Vanda de Claudino-Sales
Vanessa Martins Lopes
Vinícius Borges Moreira
Vitor Hugo Rosa Biffi

PREFÁCIO

O presente livro consiste em um conjunto de revisões sobre os avanços teóricos e tecnológicos nos diversos temas da Geomorfologia. Concebido para estar em uma plataforma on-line com acesso gratuito, o livro destina-se aos cursos de graduação e pós-graduação que utilizam os conhecimentos geomorfológicos, incluindo Geografia, Geologia, Ecologia, Engenharia, Planejamento Territorial, entre outros. Para atender o escopo e o desafio imposto, a obra possui um total de 36 capítulos que congregam 111 pesquisadores das diversas regiões do Brasil, trazendo relatos relevantes de nossa paisagem e dos avanços alcançados pela Geomorfologia brasileira. Os capítulos do livro estão segmentados em contextos temáticos e geográficos de estudo, incluindo: dinâmica fluvial, ambientes costeiros, evolução de vertentes, micro relevo, ambientes cársticos, geomorfologia regional, geomorfologia estrutural; mapeamento geomorfológico, patrimônio natural, mitigação de riscos naturais; interações pedo-geomorfológicas, etnogeomorfologia, modelos numéricos, novas abordagens tecnológicas em geomorfologia. Além de abranger os conceitos e o estado da arte na análise dos processos e sistemas geomorfológicos, os capítulos realizam uma visão crítica dos diversos temas abordados.

Na última década, inúmeros avanços foram alcançados com o aumento da disponibilidade de dados de monitoramento da superfície terrestre, métodos computacionais e compartilhamento de experiências. A grande quantidade de dados e métodos resulta em novos desafios de análise e processamento na busca de respostas científicas dentro de uma apreciação crítica. A concepção desse livro integra revisões e discussões sobre essas novas abordagens teóricas, instrumentais e tecnológicas que passam a ter um fator primordial para estabelecer os novos rumos da ciência geomorfológica.

Dada a magnitude continental do nosso território, não é surpreendente que a paisagem brasileira seja evidenciada e detalhada em suas peculiaridades nos textos. Portanto, vários capítulos exploram e refletem a natureza distinta da paisagem e da biota brasileira, revelando os processos naturais e as perturbações antrópicas que alteram o meio ambiente e desencadeiam processos erosivos, movimento de massa, inundações, entre outros. Nesse contexto, as pesquisas aplicadas são extremamente oportunas devido à alta demanda para solução de problemas prementes e complexo de nossos ambientes e sociedade, necessitando continuamente de alternativas, novos conceitos, perspectivas tecnológicas e inovações metodológicas. Muitos capítulos abordam revisões sobre trabalhos aplicados na investigação geomorfológica e resolução de problemas, normalmente desencadeados por perturbações humanas com consequências variadas nos diferentes sistemas.

Os editores abnegaram a oportunidade de contribuir com capítulos para garantir a imparcialidade na seleção dos textos que compõe o livro. Por fim, os editores agradecem especialmente a União de Geomorfologia Brasileira e a todos os colaboradores que contribuíram com seus conhecimentos específicos para a elaboração dessa obra abrangente e de grande relevância para o conhecimento da Geomorfologia nacional.

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

SUMARIO

1. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM TORNO DA PESQUISA EM GEOMORFOLOGIA: DO PROJETO AO ARTIGO CIENTÍFICO

André Augusto Rodrigues Salgado
Alberto Oliva

----- 16

2. ARQUIVOS FLUVIAIS QUATERNÁRIOS NO INTERIOR CONTINENTAL: O CONTEXTO SERRANO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Antônio Pereira Magalhães Junior
Luiz Fernando de Paula Barros
Alex de Carvalho
Letícia Augusta Faria de Oliveira

----- 39

3. PROCESSOS DE REORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO BRASIL

Breno Ribeiro Marent
Éric Andrade Rezende
Michael Vinícius de Sordi
André Augusto Rodrigues Salgado

----- 76

4. AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SISTEMAS FLUVIAIS: SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VALORES PATRIMONIAIS

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
Paulo de Tarso Amorim Castro
Úrsula de Azevedo Ruchkys

----- 98

5. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira
Sandra Baptista da Cunha

----- 124

6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS	
Eduardo Souza de Morais Otávio Cristiano Montanher	
-----	143
7. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO BRASIL ASSOCIADA AO ATUAL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	
Giselle Ferreira Borges Neiva Barbalho de Morais Ana Camila Silva Leonardo dos Santos Pereira Sarah Lawall	
-----	176
8. CONTROLE TECTONO-ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM: REVISÃO LITERÁRIA E PROPOSTAS METODOLÓGICAS	
Idjarrury Gomes Firmino Karine Bueno Vargas Edison Fortes	
-----	212
9. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DOS RIOS NO BRASIL	
Mônica dos Santos Marçal Adão Osdayan Cândido de Castro Raphael Nunes de Souza Lima	
-----	240
10. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA.	
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa Paulo Cesar Rocha	
-----	265
11. SISTEMAS LACUSTRES INTERIORES: AVANÇOS E TÉCNICAS DE ESTUDO	
Gisele Barbosa dos Santos Paulo de Tarso Amorim Castro	
-----	278

12. EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE PLANÍCIES COSTEIRAS:
DO QUATERNÁRIO AOS EVENTOS ATUAIS

Guilherme Borges Fernandez
Thais Baptista da Rocha
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Luiz Carvalho da Silva
Thiago Gonçalves Pereira
Martim de Almeida Braga Moulton

----- 308

13. MORFOLOGIA COSTEIRA EM LITORAIS URBANOS

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Fábio Perdigão Vasconcelos
Cristiano da Silva Rocha
Maria Bonfim Casemiro
Danilo Vieira dos Santos
Francisco Edmar de Sousa Silva
Delano Nogueira Amaral

----- 351

14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL,
DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO
DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Paulo Ferreira da Costa
Beatriz Abreu Machado
Mariana Silva Figueiredo
Lígia Padilha Novak
Thiago Pereira Gonçalves
Guilherme Borges Fernandez

----- 381

15. REGISTROS DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO
LITORAL BRASILEIRO E AS IMPLICAÇÕES
PERANTE A MORFOGÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGI-
CAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Felipe Gomes Rubira
Archimedes Perez Filho

----- 410

16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA
CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Lidriana de Souza Pinheiro
David Hélio Miranda de Medeiros
Paulo Roberto Silva Pessoa
Jáder Onofre de Moraes

----- 445

17. GEOMORFOLOGIA EÓLICA CONTINENTAL E OS
CAMPOS DE DUNAS HOLOCÊNICAS DO PAMPA NO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL

Tania Cristina Gomes
Roberto Verdum

----- 471

18. EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE

Juliana Sousa Pereira
Silvio Carlos Rodrigues

----- 499

19. MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA NO BRASIL:
DOS MÉTODOS MANUAIS AOS DIGITAIS

Hugo Alves Soares Loureiro
Antonio José Teixeira Guerra
José Fernando Rodrigues Bezerra
Leonardo dos Santos Pereira
Fabrizio do Nascimento Garritano

----- 526

20. MOVIMENTOS DE MASSA: ESTADO DA ARTE,
ESCALAS DE ABORDAGEM, ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO
E DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO

Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Tulius Dias Nery
Carlos de Oliveira Bispo
Fabiana Souza Ferreira
Edwilson Medeiros dos Santos

----- 560

21.	MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES A MURUNDUS NA PAISAGEM	
	Vinícius Borges Moreira Archimedes Perez Filho	
	-----	593
22.	APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ: DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA QUATERNÁRIA	
	Marcel Hideyuki Fumiya Edivando Vitor do Couto Leonardo José Cordeiro Santos	
	-----	615
23.	GEOMORFOLOGIA DO QUATERNÁRIO E GEOARQUEOLOGIA: ASPECTOS CONCEITUAIS, METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES NO SUL DO BRASIL	
	Vitor Hugo Rosa Biffi Marcos César Pereira Santos Julio Cesar Paisani Nelson Vicente Lovatto Gasparetto	
	-----	648
24.	TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL: UMA BREVE REVISÃO	
	Francisco Leandro de Almeida Santos Flávio Rodrigues do Nascimento Peter Christian Hackspacher (In Memoriam) Marli Carina Siqueira Ribeiro Bruno Venancio da Silva & Daniel França de Godoy	
	-----	677
25.	A TAXONOMIA DO RELEVO E A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA REGIONAL	
	Jurandyr L. Sanches Ross Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia	
	-----	701

26.	RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA	
	Frederico de Holanda Bastos Danielle Lopes de Sousa Lima Abner Monteiro Nunes Cordeiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	733
27.	REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Daniel Peifer Cristina Helena Ribeiro Augustin	
	-----	759
28.	SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Karine Bueno Vargas Idjarrury Firmino Michael Vinicius de Sordi	
	-----	793
29.	A GEOMORFOLOGIA NOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM: ENFOQUE EVOLUTIVO E DINÂMICO NA INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS	
	Roberto Marques Neto Thomaz Alvisi de Oliveira	
	-----	813
30.	ESTADO DA ARTE DOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA SÍNTESE (E VÁRIAS TESES)	
	Vanda de Claudino-Sales Antonio Carlos Barros Côrrea Kleython de Araújo Monteiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	845
31.	AS SUPERFÍCIES DE EROSÃO DO “BRASIL ORIENTAL”	
	César Augusto Chicarino Varajão	
	-----	875

32.	ETNOGEOMORFOLOGIA - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÕES TRADICIONAIS E A PAISAGEM FÍSICA	
	Simone Cardoso Ribeiro Vanessa Martins Lopes Osvaldo Girão da Silva Antônio Carlos de Barros Corrêa	
	-----	886
33.	DESAFIOS E PERSPECTIVAS DAS PESQUISAS SOBRE O PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL	
	Vanda de Claudino-Sales Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes	
	-----	910
34.	USO DO LIDAR NA GEOMORFOLOGIA: APLICAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS	
	João Paulo de Carvalho Araújo Rafaela Soares Niemann Francisco Dourado Manoel do Couto Fernandes Nelson Ferreira Fernandes	
	-----	927
35.	MODELOS NUMÉRICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO (LEMS) E SUA IMPORTÂNCIA PARA ESTUDOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	
	Nelson F. Fernandes Daniel Peifer Pedro Val	
	-----	953
36.	SOLO HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL	
	Jémison Mattos dos Santos Sérgio Murilo Santos de Araújo Dirce Maria Antunes Suertegaray	
	-----	1000

37. GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL:
REVISITANDO TEORIAS, MÉTODOS E ESTUDOS
DE CASO NO NORDESTE BRASILEIRO

Frederico de Holanda Bastos
Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Marcelo Martins de Moura Fé

----- 1029

27. REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO

Daniel Peifer¹ & Cristina Helena Ribeiro Augustin²

¹GeotecLab, CPMTc, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais;
peiferdaniel@gmail.com

²Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais;
cristinaaugustin@gmail.com

Resumo: O papel da teoria, embora sujeita a outras interpretações, é fornecer princípios gerais e ideias, de maneira a guiar e organizar a pesquisa de um tema ou objeto de estudo, embasando seu progresso científico. A Geomorfologia como ciência tem como objeto de estudo as formas de relevo da Terra, incluindo as dos fundos oceânicos e a de outros planetas e satélites, na denominada geomorfologia planetária. Assim, ela busca o entendimento da evolução do modelado, sua dinâmica, processos e seus mecanismos, bem como a identificação e explicação das características e padrões de formas e da sua distribuição espacial. Para isto, os geomorfólogos lançam mão de fundamentações teóricas que auxiliam no estabelecimento da conexão entre o observado e o abstrato, possibilitando tirar conclusões sobre o fenômeno estudado e, eventualmente, formular generalizações e princípios durante este processo. Essa fundamentação tem sido construída ao longo do tempo com várias contribuições à compreensão do desenvolvimento do modelado, possibilitando o estabelecimento da conexão entre os fatos individuais e causas comuns entre eles. Este capítulo propõe um repensar crítico dos modelos clássicos de evolução do relevo, da Teoria do Ciclo Geográfico de Davis até as formas de relevo estacionário e o equilíbrio dinâmico de Gilbert e Hack, que marcaram os estágios iniciais da Geomorfologia. Exploramos aqui diversos conceitos geomorfológicos clássicos tais como nível de base, equilíbrio e estado estacionário, superfícies de aplainamento, e rearranjo de divisores de drenagem, apontando a sua surpreendente centralidade nas pesquisas geomorfológicas mais atuais. Apresentamos como a insatisfação com a geomorfologia clássica levou à adoção de uma nova abordagem, quantitativa e baseada em relações processo-forma, culminando em uma forte reação negativa aos modelos geomorfológicos clássicos que foram, por isso, negligenciados nas pesquisas geomorfológicas e também no ensino e formação de jovens geomorfólogos.

Palavras-Chave: Geomorfologia; Teorias; Evolução do relevo; Análise crítica.

Abstract: The role of theory, although subject to other interpretations, is to provide general principles and ideas to guide and organize the research of a topic or object of study, supporting its scientific progress. Geomorphology as a science has as its object of study the Earth's landforms, including those of the ocean floor and other planets and satellites, in the so-called planetary

geomorphology. Thus, it seeks to understand the evolution of the landforms, its dynamics, processes, and mechanisms and identify and explain the characteristics and patterns of the landscapes and their spatial distribution. To achieve this goal, geomorphologists use theoretical foundations that help establish the connection between the observed and the abstract, making it possible to conclude the studied phenomenon and, eventually, formulate generalizations and principles during this process. This foundation has been built over time with several contributions to understanding the development of landscapes and landforms, making it possible to establish the connection between individual facts and common causes between them. This chapter proposes a critical rethinking of the classic models of landscape evolution, from Davis's Theory of the Geographic Cycle to the steady-state landforms and the dynamic equilibrium of Gilbert and Hack. Several classical geomorphological concepts are explored: base level, longitudinal equilibrium profile, steady-state landforms, planation surfaces, and rearrangement of drainage dividers. The surprising centrality of some classic concepts in the modern geomorphic research is also analyzed, as well as how dissatisfaction with classical geomorphology, materialized by Strahler's call to the adoption of a new functional, morphometric and process-based approach, in which the topographic changes started to be understood as a "now thing". Finally, it is discussed how this quantitative approach determined a strong negative reaction to the classic models of landscape evolution, which led to them being neglected in geomorphological research and in the teaching and training of young geomorphologists.

Keywords: Geomorphology; Theory; Landscape evolution; Critical analysis.

Tema: Geomorfologia Regional

1. INTRODUÇÃO

A Geomorfologia como ciência foi estabelecida no final do século XVIII quando James Hutton propôs o entendimento de que a morfologia da superfície terrestre se modifica ao longo de uma grande escala de tempo, principalmente, através da ação de processos fluviais, lentos e não catastróficos (CHORLEY, DUNN e BECKINGSALE, 1964; BISHOP, 2007). Este princípio, denominado de "uniformitarismo", se contrapôs às ideias vigentes na época, fundamentadas no "catastrofismo", que defendiam uma criação rápida e, portanto, catastrófica, para as rochas e formas da superfície do planeta. Assim, os estágios iniciais da Geomorfologia foram marcados pela questão fundamental de como as paisagens são formadas e evoluem ao longo do tempo, em especial, na medida em que cessam os efeitos da tectônica de construção de montanhas. A partir desse esforço explicativo, muitos conceitos geomorfológicos clássicos foram desenvolvidos como, por exemplo, nível de base, perfil longitudinal de equilíbrio, estado estacionário, superfícies de aplainamento, rearranjo de divisores de drenagem, e conectividade entre canais fluviais e vertentes adjacente, entre outros.

A escala de tempo da redução do relevo e o estilo de evolução em paisagens pós-orogênica têm sido questões importantes desde os estágios iniciais da geomorfologia

(SUMMERFIELD, 1991), quando foi dada maior ênfase aos aspectos de como as paisagens se desenvolvem e evoluem ao longo do tempo (HIGGINS, 1981; PITT, 1982; BISHOP, 2007; GOUDIE, 2014). O termo “paisagens pós-orogênicas” é utilizado para denominar paisagens erosivas tectonicamente estáveis da crosta terrestre, mas que sofreram atividade tectônica ativa (orogênia) pela última vez há dezenas e até centenas de milhões de anos (BISHOP, 2007). Essas paisagens pós-orogênicas foram, e continuam sendo, centrais no desenvolvimento das teorias clássicas da evolução das formas de relevo por duas razões: 1) elas constituem a maior parte da superfície terrestre atual, e 2) segundo concepção do final do século XIX (e que se propagou até o século XX), elas constituem o *estágio final* de desenvolvimento das paisagens criadas ativamente pelas “forças de deformação e soerguimento” (DAVIS, 1899, p. 483, tradução nossa). Na ausência das forças que a construíram, e pela ação dos processos erosivos seriam, enfim, reduzidas a uma morfologia de planura generalizada, sem desnível altimétrico, referida como superfície de aplainamento (SUMMERFIELD, 1991).

Esta estrutura conceitual dominou a pesquisa na geomorfologia até a transição para a chamada geomorfologia de processos ou geomorfologia quantitativa, incentivada por Strahler em 1952 (HIGGINS, 1981; BISHOP, 2007; RICHARDS e CLIFFORD, 2011), quando outras questões inerentes à geomorfologia tornaram-se relevantes, em especial: 1) quais os processos envolvidos no modelado das formas de relevo e 2) como estes processos atuam. Essa transição representou uma mudança no *modus operandi* tradicional da geomorfologia, até então voltada para explicar a história das formas de relevo e os estágios pelos quais passam na medida em que se desenvolvem, com ênfase no elemento tempo, para uma abordagem de processos atuais, concentrada em determinar quantitativamente suas taxas e como estes interagem no espaço e no tempo para esculpir a superfície da Terra (HORTON, 1945; STRAHLER, 1952, YOUNG, 1972; SUMMERFIELD, 1991; BISHOP, 2007; RHOADS e THORN, 2014). A abordagem moderna, que ganhou força após a segunda guerra, facilitada pelo avanço de novos procedimentos de medidas e análise da paisagem e de dos seus componentes (YOUNG, 1972; GOUDIE, 2014), impactou profundamente a perspectiva teórica da geomorfologia ao assumir que a topografia é um produto dos processos geomórficos ativos, sendo recente, portanto. Com isto, inicia-se um período no qual a morfologia das superfícies passou a ser tratada como independente do tempo (SUMMERFIELD, 1991; BISHOP, 2007). O resultado dessa transição é que as paisagens pós-orogênicas perderam sua centralidade na pesquisa geomorfológica, levando, por consequência, a uma relativa ausência, até recentemente, de estudos sobre esta temática (BALDWIN, WHIPPLE e TUCKER, 2003; BISHOP, 2007).

A mudança de paradigma na geomorfologia, de uma pesquisa essencialmente evolutiva-histórica para uma pesquisa quantitativa de forma-processo significou, de certa maneira, a disseminação da ideia de que as formas de relevo são produtos de eventos e fenômenos recentes (GOUDIE *et al.*, 1981; BISHOP, 2007), representando o resultado da ação de processos atualmente ativos (*e.g.*, THORNBURY, 1969). Vozes dissidentes

argumentaram que as paisagens poderiam ser mais antigas ou, ao menos, ter uma origem antiga, implicando que os processos de superfície agora ativos na paisagem poderiam não ser suficientes para explicar a complexidade e a antiguidade de muitas partes da superfície da Terra (e.g., CRICKMAY, 1975; TWIDALE, 1976, 1999; YOUNG, 1983). Entretanto, a proposição de que algumas paisagens possam ter uma origem muito antiga foi refutada, ou no mínimo deixada de lado, a partir da análise de medições de taxas de denudação indicando que embora lentamente, essas paisagens estão sendo ativamente erodidas e, portanto, modificadas, o que significaria, por sua vez, que as formas ou materiais que estão agora na superfície seriam relativamente novos (e.g., BELTON *et al.*, 2004).

A consequência geral desse debate na geomorfologia foi de uma forte contestação às teorias clássicas, que acabaram estigmatizadas por serem consideradas obsoletas (BISHOP, 2007). Isto produziu um cenário no qual essas teorias clássicas são pouco discutidas – e até mesmo pouco compreendidas, pelos geomorfólogos contemporâneos, tampouco ensinadas em sua completude para jovens geomorfólogos. Neste capítulo, busca-se resgatar através de uma análise crítica os modelos clássicos de evolução do relevo, desde o Ciclo Geográfico de Davis, ao modelo de denudação concomitante à dinâmica da crosta de Penck, dos pediplanos de King, do equilíbrio dinâmico inspirado em Gilbert e sistematizado por Hack, até as superfícies *etch* de Wayland, aperfeiçoada por Büdel e ampliada por Twidale, com o intuito de: (a) revalorizar de maneira crítica os modelos clássicos de evolução da paisagem dentro do pensamento geomorfológico nacional, e (b) delinear a centralidade de alguns conceitos clássicos nas pesquisas geomorfológicas atuais. A presente contribuição não tem como meta oferecer interpretação definitiva sobre os modelos clássicos de evolução das paisagens; pelo contrário, pretende fomentar e aprofundar sua discussão. Nem todos os modelos evolutivos desenvolvidos ao longo da história da geomorfologia são aqui explorados; tratamos com menos detalhe, por exemplo, de modelos evolutivos desenvolvidos a partir de uma perspectiva climática. Aconselha-se ao leitor, portanto, consulta a outras obras que investigam e analisam a história da geomorfologia (CHORLEY, DUNN e BECKINGSALE, 1964; CHORLEY, BECKINGSALE e DUNN, 1973; MELHORN e FLEMAL, 1981; GREGORY e GOUDIE, 2014).

2. WILLIAM MORRIS DAVIS

A obra de William Morris Davis consolidada em seu trabalho “*The Geographical Cycle*” (DAVIS, 1899) representa um esforço ativo de conferir um aspecto teórico à geografia usando para isso faculdades mentais como a *imaginação, invenção e dedução*, contrastando, assim, com uma perspectiva, até aquele momento vigente, de que a geografia deveria ser desenvolvida apenas pelo uso exclusivo da *observação, descrição e generalização*. Davis (1899, p. 483, tradução nossa) acreditava que essa concepção científica positivista era equivocada e prejudicial para a geografia, e que a “geografia já havia sofrido por tempo demais” por isso. Ele partia do princípio de que todas as formas de relevo presentes têm uma explicação, assumindo que, para compreender a morfologia

da superfície, um geógrafo precisa oferecer uma classificação genética para as formas observadas. Nesse sentido, propôs uma elucidação genética, natural das formas de relevo, que expressaria não apenas a existência de todas as formas de relevo observáveis, mas, ainda mais importante, uma estrutura teórica que possibilitaria guiar as futuras *observações* de todos (um viajante, um estudante, um geógrafo), com base no que considerava a verdadeira natureza das formas de relevo, ou seja, sua essência, permitindo a todos “ver o que olha e dizer o que vê” (DAVIS, 1899, p. 498, tradução nossa).

Um exemplo didático do que significaria essa nova abordagem foi assim apresentado por Davis (1899, p. 498, tradução nossa): um viajante (ou qualquer outro observador) que esteja em alguma área do Planeta e descreva seu relevo como *uma região montanhosa* não “traz nenhuma imagem definida diante dos olhos mentais”. No entanto, argumenta que isso não precisa ser assim, uma vez que a realidade da paisagem seria melhor capturada caso esse observador usasse a terminologia por ele proposta, descrevendo esse mesmo relevo como *um planalto dissecado na fase da maturidade*, sugerindo uma “associação sistemática de feições geomorfológicas bem-definidas”. Nesse contexto, essas feições bem definidas incluiriam, por exemplo, as ideias de que: (i) toda a rede de drenagem está em equilíbrio (exceto, talvez, os canais de primeira ordem); (ii) os rios de maior porte meandram ao longo de um fundo de vale fluvial aplainado; (iii) as vertentes adjacentes aos canais fluviais mais próximos às cabeceiras mostram sinais de decrescimento em seus gradientes; e (iv) áreas modeladas em rochas resistentes apresentam relevo local pronunciado (ainda não equilibrado) se comparado às áreas vizinhas em rochas menos resistentes. Portanto, Davis em seu trabalho de 1899 enxerga a *abordagem genética* descrita acima como muito superior à *mera descrição*, levando em consideração que ela dá uma explicação para as feições geomorfológicas e, ao mesmo tempo, tem um importante valor prático de traduzir o que os olhos veem.

2.1. O modelo Davisiano de evolução do relevo

Davis assume em sua teoria do Ciclo Geográfico que as formas de relevo são função de três variáveis: estrutura, processo e tempo (DAVIS, 1899). *Estrutura* designa o arranjo geológico de uma área, resultante de processos geológicos *ativos*, por ele referidos (DAVIS, 1899, p. 483, tradução nossa), como “forças de deformação e soerguimento” que estabelecem a topografia inicial dessa área. Os *processos* ou *processos destrutivos* são divididos em duas categorias: (i) o intemperismo, que se refere às transformações das rochas originais em produtos menos coesos por meio da ação de agentes externos; e (ii) a remoção ou *lavagem* dos resultados do intemperismo pela ação de vários agentes geomórficos, como rios e geleiras.

Para Davis (1899, p. 483, tradução nossa), a “quantidade de trabalho” realizado pelos processos destrutivos aumenta com o tempo, mas esse trabalho não progride como “uma simples função do tempo”, pois as forças destrutivas normais não podem reduzir uma superfície terrestre abaixo do nível do mar, que ele define como “de base” (DAVIS, 1899); isto coloca o *nível de base*, bem como o *tempo*, como os principais elementos de

controle dos processos erosivos do modelo Davisiano. Ele também assume que variações na resistência de diferentes tipos de rocha determinam mudanças espaciais na intensidade dos processos denudacionais ao afirmar que “um período mais longo deve ser necessário para a denudação completa de uma massa de terra resistente do que de uma massa fraca” (DAVIS, 1899 p. 483, tradução nossa). No entanto, para ele, essas diferenças de resistência, não importam, uma vez que, dado um intervalo de tempo infinito chamado Ciclo Geográfico, toda a topografia criada pelas *forças de deformação e soerguimento* será efetivamente desgastada, até que apenas uma planura generalizada, sem relevo e nivelada ao nível de base, reste; essa paisagem final foi denominada *penepiano* (DAVIS, 1899, 1909, 1922).

Davis define em seu modelo, um conjunto sistemático de mudanças sequenciais, (*Ciclo Geográfico*), pelas quais todas as paisagens passariam em seu desenvolvimento. De maneira geral, este pode ser descrito como: (i) a topografia é *ativamente* criada por forças geológicas de deformação e soerguimento que, ao mesmo tempo, configuram o arranjo geológico/topográfico de uma área; (ii) com o cessar da atividade tectônica, os processos destrutivos atuam dentro do arranjo geológico no sentido de *redução* desta topografia; e (iii) a topografia criada em (i) é *eliminada*, e o “estágio final é de uma planície sem relevo” (DAVIS, 1899, p. 497, tradução nossa). Nessa perspectiva, o conceito do nível de base pode ser entendido como uma referência da *quantidade* de topografia criada e, portanto, é também uma referência de quão distante uma paisagem está do estágio (iii). A denominação de “ciclo” implica em uma sequência de formas pelas quais uma paisagem passa ao longo de sua evolução que pode, no entanto, ser *reiniciada* caso as *forças de deformação e soerguimento*, voltem a atuar (DAVIS, 1899, 1909, 1922).

Um aspecto importante do Ciclo Geográfico é que o estágio (iii) precisa ser obrigatoriamente um pressuposto válido. Isto é, o estágio sem relevo, de planura regional, não é apenas o componente final de um Ciclo (o que significa que esse é um estágio que as paisagens efetivamente atingem), mas todas as mudanças nas formas de relevo ao longo do tempo, de todas as paisagens, são, necessariamente, uma *marcha na direção* a este estado (iii) (BISHOP, 1980). Além disso, é possível dividir um Ciclo Geográfico ideal (com início, meio e fim) em partes assim sumarizadas por Davis (1899): (a) um estágio de juventude, com rápido aumento da amplitude do relevo (e maior taxa de mudança na elevação da superfície); (b) um estágio de maturidade, onde a amplitude de relevo é máxima e as taxas de mudanças na elevação da superfície são menores que no estágio (a) e maiores que no estágio (c), representando, portanto, um período de transição; e (c) um estágio de senilidade *indefinidamente longo*, no qual o relevo tem uma amplitude mínima e as taxas de mudança de elevação da superfície são “excessivamente lentas”.

2.2. Explorando o modelo Davisiano com mais detalhe

Embora os aspectos mais gerais do modelo Davisiano sejam, de uma maneira geral, amplamente difundidos, a extensão do conjunto sistemático de mudanças sequenciais representados pelo conceito do Ciclo Geográfico é, como argumentado aqui, pouquíssimo

compreendida. Isto é resultado, provavelmente, de um longo debate iniciado por Penck (1953) com relação à proposta de Davis e da forte reação negativa às suas ideias a partir da década de 1950, com a mudança geral de paradigmas favorecendo abordagens quantitativas que relacionavam formas e processos na geomorfologia (HIGGINS, 1981; BISHOP, 2007). Nessa seção, busca-se demonstrar a complexidade do modelo Davisiano a partir da descrição de doze pontos arbitrariamente escolhidos, embora amplamente documentados na obra de William Morris Davis (DAVIS, 1899, 1909, 1922), que são relativamente pouco conhecidos. Ressaltamos que a nossa intenção aqui é demonstrar a complexidade das ideias de Davis. Não estamos, portanto, apresentando-as como corretas ou verdadeiras (veja a discussão do modelo Davisiano na seção 2.3).

(1) Para Davis, não se deve interpretar a ausência dos processos destrutivos durante a ação inicial, *ativa*, das forças de deformação e soerguimento. Pelo contrário, durante o soerguimento, o escoamento superficial se concentra em calhas incipientes onde a ação dos processos erosivos é amplificada, resultando no fato de que os “vales jovens já estão entalhados no fundo de calhas quando o estágio da juventude é alcançado” (DAVIS, 1989, pg. 487).

(2) A elevação do leito de um rio não pode ser reduzida ao nível de base absoluto, porque um rio, obrigatoriamente, “deve fluir a jusante até sua foz na costa do mar” (DAVIS, 1899, p. 488, tradução nossa). Isso significa que a condição de equilíbrio é sempre atingida primeiro na foz de um rio, e que esse estado equilibrado se estende, progressivamente, rio acima (DAVIS, 1899).

(3) Do ponto (2), segue-se que deve existir uma conexão estreita entre a elevação (acima do mar) de qualquer ponto em uma paisagem e o nível de base, em um esquema onde “a altitude de qualquer ponto em um fundo de vale em estágio de maturidade deve, portanto, depender do gradiente fluvial e de sua distância relativa a foz do rio” (DAVIS, 1899, p. 488, tradução nossa).

(4) O ponto (3) sugere que a evolução de uma paisagem é função de dois controles principais: (a) a distância relativa de um ponto com relação ao nível de base absoluto; e (b) o gradiente fluvial. Nessa situação, para Davis, enquanto o *gradiente fluvial* varia no espaço e no tempo, sendo função da quantidade e textura do aporte de sedimentos recebido por um dado trecho fluvial, a *distância da foz* pode ser considerada relativamente fixa, embora possa mudar como consequência do crescimento do delta fluvial (DAVIS, 1899). Combinando essas ideias com a perspectiva do Ciclo Geográfico, pode-se conjecturar que o aporte de sedimentos é limitado no início de um ciclo, mas que, durante o estágio da juventude, ocorre um rápido aumento tanto na quantidade quanto na textura do aporte de sedimentos (DAVIS, 1899, 1909, 1922). A fase da juventude no modelo Davisiano é marcada, portanto, pela presença de vales declivosos (DAVIS, 1899). Na sequência do ciclo, o aporte de sedimentos continua a aumentar em quantidade (embora não em textura) e, quando a paisagem está próxima de atingir a maturidade, ela é caracterizada por erosão regressiva com um aumento progressivo da área de vertentes sendo ativamente erodidas (DAVIS, 1899). Depois que o estágio de maturidade é

alcançado, o aporte de sedimentos decresce tanto em quantidade quanto em textura (DAVIS, 1899). Por fim, durante o estágio de senilidade, apenas uma pequena quantidade de carga sedimentar (muito fina) deve ser esperada (DAVIS, 1899).

(5) A partir do ponto (4), pode-se delinear uma relação entre as etapas do ciclo, as características das vertentes, o aporte sedimentar e o trabalho dos rios. Rios jovens *consequentes*, isto é, cursos de água formados como consequência dos processos ativos na topografia inicial de uma área, estariam aprofundando seu vale; isso acontece, pois esses rios são caracterizados por uma maior competência sendo que, neste caso, o aporte de sedimentos é abastecido principalmente por vertentes adjacentes. Segundo Davis (1899), as taxas de incisão vertical do leito fluvial são assimétricas ao longo do perfil longitudinal do rio, sendo mais rápidas próximas às cabeceiras do que da foz. Essa assimetria na velocidade de incisão é o critério de demarcação usado para separar o que ele chama de rios de *cabeceira*, de rápido entalhamento, daqueles dos *cursos inferiores*, ou *tronco*, localizados a jusante e caracterizados por taxas lentas de incisão fluvial (DAVIS, 1899). Na perspectiva da evolução dessa paisagem, o *curso inferior* dos rios tende progressivamente a apresentar uma menor competência, mesmo com o aumento do fluxo sedimentar carregado até esses trechos; os trechos de *cabeceira* experimentam, ao contrário, um aumento progressivo da sua capacidade. A disparidade entre esses dois domínios de um rio é *corrigida* com o tempo e, quando isso acontece, o rio é considerado em equilíbrio (DAVIS, 1899, 1909, 1922). Uma vez alcançada esta condição de equilíbrio, a “alteração do gradiente fluvial acontece apenas quando o volume e a carga de sedimentos modificam suas relações, e mudanças desse tipo são muito lentas” (DAVIS, 1899, p. 489, tradução nossa).

(6) A condição de equilíbrio dos rios é um importante fator de controle do Ciclo Geográfico Davisiano. Para Davis (1899), o estágio de maturidade é atingido quando o trecho tronco do rio atinge a condição de equilíbrio. Por sua vez, o estágio de maturidade é considerado muito avançado quando os rios de *cabeceira* atingem a condição de equilíbrio e, mais tarde no Ciclo, quando até os divisores de drenagem modelados por fluxos superficiais não canalizados alcançam o equilíbrio, a paisagem atinge o estágio de senilidade. No último estágio do Ciclo Geográfico, os gradientes topográficos devem ser obrigatoriamente iguais a zero (DAVIS, 1899). Assim, nas paisagens jovens, os canais fluviais são marcados por corredeiras e cachoeiras, enquanto nas paisagens senis até mesmo os trechos de cabeceira são caracterizados por gradientes suaves (DAVIS, 1899).

(7) Caso um rio jovem consequente não seja capaz de carregar a carga sedimentar fornecida por vertentes adjacentes e áreas de contribuição a montante, ele depositará a carga sedimentar excedente, implicando não somente na deposição da parte mais grossa da carga sedimentar, mas também no alargamento da planície de inundação inicial (DAVIS, 1899, 1909, 1922). Esse processo de agradação seguirá ativo até que o canal fluvial adquira capacidade suficiente para transportar o aporte sedimentar. Quando esse momento é alcançado, as mudanças sistemáticas Davisianas prosseguirão como o

esperado. Sendo assim, a condição de equilíbrio é alcançada mesmo quando um canal fluvial jovem não é capaz de escavar verticalmente o seu leito (DAVIS, 1899).

(8) O modelo Davisiano prevê um cenário onde o desenvolvimento de canais fluviais laterais subsequentes, ou seja, canais que se desenvolveram posteriormente ao canal principal, determina um aumento na área de vertentes que eram inicialmente íngremes (DAVIS, 1899). A evolução lateral das vertentes (que fornecem sedimentos aos canais fluviais) ao longo do Ciclo provoca, então, um aumento do aporte sedimentar, implicando que o fundo do vale principal – que nesse momento do Ciclo está sendo erodido verticalmente – seja abarrotado por sedimentos, levando a processos de agradaciação e progressivo preenchimento da planície de inundação (DAVIS, 1899). Esse processo de agradaciação prosseguirá até que uma condição de carga sedimentar máxima seja atingida, relacionada ao ganho máximo de área a partir do desenvolvimento lateral das vertentes, quando terá início uma lenta incisão fluvial, resultado, portanto, de um *feedback* negativo (DAVIS, 1899). Dessa forma, enquanto o início da fase de maturidade de uma paisagem pode estar ligado a um preenchimento moderado dos vales principais ao invés de sua dissecação, os estágios posteriores do Ciclo Geográfico serão obrigatoriamente relacionados à lenta e indefinidamente longa erosão dos vales fluviais até o estágio da planura sem relevo (DAVIS, 1899).

(9) O modelo Davisiano propõe uma longa sucessão de eventos relacionados ao crescimento de cursos fluviais consequentes, consequentes laterais, subsequentes e insequentes (isto é, tipos de cursos fluviais relacionados com a evolução da rede de drenagem no Ciclo Geográfico), que estabelecem a definição dos divisores de drenagem, bem como constantes rearranjos da topologia desses divisores ao longo do tempo. Davis (1899) argumenta que tal dinâmica de rearranjos dos divisores de drenagem seria característica de paisagens que evoluem sob configurações geológicas com camadas subverticais ao invés de camadas sub-horizontais, sendo, portanto, mais comuns em regiões montanhosas.

(10) Não se deve inferir que o trabalho dos rios é apenas o trabalho de erosão vertical de seus leitos, mas, sim, uma combinação do primeiro com os processos de transporte e meandramentos. Isso significa que os rios tendem a se desviar de caminhos irregulares, transformando-se em cursos sinuosos no quais oscilam, no fundo do vale, para a direita e para a esquerda (DAVIS, 1899). Quando os rios atingem uma condição de equilíbrio, a incisão vertical fluvial praticamente cessa e, no entanto, os processos de meandramento seguem ativos (DAVIS, 1899). No estágio de maturidade tardia, a rede de drenagem como um todo alcança uma condição de equilíbrio, e, neste ponto do Ciclo, os processos de rearranjo dos divisores de drenagem são interrompidos (DAVIS, 1899).

(11) Davis assume em seu modelo que os processos fluviais e de vertente são análogos, embora os processos de vertente sejam mais lentos do que os processos fluviais. Neste sentido, Davis (1899, p. 495, tradução nossa) indica que “um rio é uma mistura móvel de água e resíduos em proporções variáveis, mas principalmente água; enquanto uma camada de resíduos na vertente é uma mistura móvel de resíduos e água em

proporções variáveis, mas principalmente resíduos”. Estabelece assim, uma conexão estreita entre as vertentes e os rios que, embora pareçam diferentes, são “apenas os membros extremos de uma série contínua” (DAVIS, 1899, p. 495, tradução nossa). Para ilustrar essa ideia, ele introduz uma analogia da paisagem como uma folha, de modo que os rios representem as nervuras e as vertentes o limbo da folha. Assim, no modelo Davisiano as vertentes e os rios estão estritamente conectados em um sentido ontológico, ou seja, sua própria existência é conjunta; eles são membros da mesma unidade (DAVIS, 1899, 1909, 1922).

(12) Davis (1899) reconhece que os processos geológicos capazes de modificar a elevação da superfície em relação ao nível de base, conceito que ele “tomou emprestado” de Powell (1895), podem ocorrer em qualquer momento do ciclo (e que esses acontecem com frequência). Assim, “tais movimentos devem ser imaginados como pequenos ou grandes, simples, ou complexos, raros ou frequentes, graduais ou rápidos, precoces ou tardios” (DAVIS, 1899, p. 499, tradução nossa), implicando em uma *infinitude de interrupções* em um ciclo ideal.

2.3. Discutindo o modelo Davisiano

O modelo Davisiano dominou a geomorfologia por mais de meio século (CHORLEY, DUNN e BECKINGSALE, 1964; BISHOP, 2007; OMER, 2007; GREGORY e GOUDIE, 2014). Razões para essa prevalência foram discutidas, entre outros, por Chorley, Beckingsale e Dunn (1973), Bishop (1980), Higgins (1981), Rhoads e Thorn (2014), e Goudie (2014) e estão quase sempre relacionadas ao forte poder explicativo do modelo que parecia elucidar a história da maior parte das paisagens, bem como à eloquência e ao talento comunicativo de William Morris Davis. Seu modelo foi, no entanto, criticado desde sua publicação. Tarr (1898), por exemplo, identificou dois problemas lógicos principais no modelo: (i) as terras altas interpretadas como remanescentes de peneplano soerguidos têm variações significativas de elevação entre si; ou seja, a superfície projetada a partir da elevação desses “remanescentes” não é aplainada; e (ii) a existência de *monadnocks*, áreas de relevo pronunciado comparados às áreas vizinhas rebaixadas, é contrária à ideia central do Ciclo Geográfico, ou normal de erosão. Como apontado por Bishop (1980), o problema (i) foi explicado por defensores do modelo Davisiano através de um suposto basculamento dos remanescentes de peneplano soerguidos, enquanto o problema (ii) foi explicado pela maior resistência dos materiais compondo os *monadnocks* comparados às áreas vizinhas; nesse caso, argumentava-se que, caso o observador desse tempo suficiente, até mesmo os *monadnocks* seriam reduzidos ao nível de base.

Shaler (1899), por sua vez, problematizou a explicação do aparente alinhamento de remanescentes soerguidos de peneplano, considerados como a mais importante *confirmação* do modelo de Davis (BISHOP, 1980). Shaler (1899) sugeriu que a evolução natural de paisagens marcada por rios com espaçamentos regulares entre si, poderia resultar em um alinhamento dos divisores de drenagem, embora reconhecesse que os

argumentos e evidências apresentados por ele não resolviam o problema de forma definitiva.

Entre outros aspectos problemáticos da teoria Davisiana, destaca-se a dependência da evolução das paisagens com a ideia dos ciclos de mudanças sequenciais, o que pressupõe uma vinculação temporal (RHOADS e THORN, 2014). Ela teria sido formulada em analogia à evolução dos seres vivos, preconizada por Darwin (1859), que estava em alta no final do século XIX, também em outras ciências (OMER, 2007). No entanto, Chorley, Dunn e Beckingsale (1964) e Stoddart (1966) acreditam que, enquanto para Darwin a evolução era “um processo indireto”, para Davis, seria um método similar à sucessão ecológica, no qual destaca a estrutura, os processos e o estágio. O caráter cíclico do modelo Davisiano também é questionado, uma vez que este, sumarizado a princípio na concepção de uma trajetória “da redução das montanhas em um plano”, pode ser visto mais como “um modelo linear, não direcional” (OMER, 2007, p. 482, tradução nossa). Torna-se cíclico somente “porque permite que os acidentes geográficos sejam rejuvenescidos por um soerguimento estrutural e/ou queda do nível de base para que novos ciclos fossem iniciados” (OMER, 2007, p. 482, tradução nossa). Entre as críticas iniciais, destaca-se ainda a limitação do modelo apenas às regiões temperadas, sem preocupação com os elementos climáticos impostos na dinâmica evolutiva da paisagem; Davis (1905) buscou mais tarde corrigir a aplicação da sua teoria com a proposição de modelos para o clima árido e glacial das montanhas.

Discordâncias e desaprovações ao modelo evolutivo de Davis resultaram no desenvolvimento de propostas alternativas, tais como os modelos de Penck (1924/1953), King, (1953), Wayland (1934) e Büdel (1957). Mesmo considerando que esses modelos alternativos antecipam que a sequência das formas adquiridas pelas paisagens durante seu desenvolvimento seja diferente da esperada pelo modelo de Davis, a direção das mudanças e o estágio final da evolução acabam sendo os mesmos: uma planura regional sem relevo onde os processos superficiais atuam muito lentamente. Segundo Hack (1960), isto permitiria classificá-los como “cíclicos”, uma vez que aceitam como verdadeira a premissa básica da teoria Davisiana (HACK, 1960), que foi apresentada de maneira didática, por exemplo, por Leopold, Wolman e Miller (1964, p. 3, tradução nossa), ao afirmarem: “claramente, se não houvesse forças contrárias, deveríamos esperar que a superfície da Terra, com tempo suficiente, seja continuamente reduzida. Eventualmente, restará pouco ou nenhum relevo”. Ao aceitarem tal premissa, os que defendem esse modelo concordam, necessariamente, com o fato de que a trindade de controles Davisianos, estrutura, processo e tempo, não importa para a evolução de longo-termo das paisagens (BISHOP, 1980). Isto é claramente estabelecido por Davis (1899, p. 497, tradução nossa), ao afirmar que independentemente da elevação da superfície do terreno no estágio de juventude, ou da “da atitude das camadas e a resistência das rochas, uma planície quase sem relevo (uma peneplano) mostrando pouca simpatia com a estrutura, e controlada apenas por sua proximidade ao nível de base, deve caracterizar o penúltimo estágio do ciclo ininterrupto; e o estágio final seria uma planície sem relevo”.

Dessa maneira, a aceitação da premissa Davisiana implica no fato de que o Ciclo Geográfico representaria uma explicação correta para todas as formas de relevo e paisagens, pois é impossível pensar em um único exemplo empírico onde o ciclo não ocorra, significando, portanto, a aceitação da inexistência de um potencial contraexemplo que possa falsificar a hipótese, uma vez que toda e qualquer possibilidade de arranjo geológico terá, necessariamente, o mesmo caminho evolutivo.

A impossibilidade de se obter contraexemplos empíricos torna o modelo Davisiano e, por consequência as teorias que aceitam essa ideia central, irrefutáveis (BISHOP, 1980) e, assim, não-científicas, dentro de uma definição Popperiana de ciência (POPPER, 1963). Neste sentido, Hack (1960) aponta como um dos grandes problemas das teorias cíclicas o fato de que embora existam muitas paisagens que podem ser descritas como em um *estágio de maturidade*, não existiria nenhuma paisagem erosiva na superfície da Terra, em oposição, portanto, a um ambiente deposicional, que estivesse no estágio final das teorias cíclicas, ou seja, uma planura regional sem relevo que trunca estruturas ou qualquer anisotropia geológica. Nesse caso, os defensores das teorias cíclicas poderiam se livrar desta refutação usando dois argumentos simples: (i) caso o observador desse tempo suficiente, e esse tempo, como visto, pode ser infinito, ele encontraria paisagens representativas do estágio final de um ciclo; ou (ii) o observador não procurou o suficiente, isto é, as planuras regionais sem relevo existem na natureza e o observador precisa, apenas, procurar melhor. Este tipo de argumentação, de acordo com Popper (1963), é típica de teorias pseudocientíficas, tendo uma notável semelhança com as demais que assumem como verdadeiras as premissas cíclicas: a existência de um *impressionante* corpo de observações empíricas que as confirmam (BISHOP, 1980). Nesse sentido, Popper (1963, p. 34, tradução nossa) observa que: “essas teorias pareciam ser capazes de explicar praticamente tudo o que acontecia nos campos a que se referiam. O estudo de qualquer um deles parecia ter o efeito de uma conversão ou revelação intelectual, abrindo os olhos para uma nova verdade escondida daqueles ainda não iniciados”.

Em síntese, a leitura de parte do modelo Davisiano, no que foi aqui exposto, impressiona por sua modernidade; algumas das ideias desenvolvidas por William Morris Davis tais como rearranjos de divisores de drenagem e a conectividade entre canais fluviais e vertentes adjacentes, poderiam ser reescritas com facilidade de maneira similar aos conceitos que formam a base moderna da geomorfologia, como o equilíbrio dinâmico. Ainda assim, o modelo Davisiano é irrefutável (BISHOP, 1980) e, por isso, pseudocientífico ou cientificamente incorreto no sentido estrito (POPPER, 1963).

3. MODELO DE WALTER PENCK: SOERGUMENTO CRUSTAL VERSUS DEGRADAÇÃO

Walter Penck, um dos críticos do modelo de Davis, teve seu trabalho “*Morphologische Analyse*” consolidado por seu pai, Alfred Penck, em 1924, após morte prematura. Este trabalho foi objeto de uma tradução complicada, realizada pelo próprio

Davis em 1932 (RHOADS e THORN, 2014), tendo sido novamente traduzido e publicado em inglês com o título de “*Morphological Analysis of Land Form*” (PENCK, 1953). Suas ideias foram apresentadas em oposição às de Davis, que assume o modelado como resultado da estrutura e processos, ocorrendo em ciclos específicos (tempo). O postulado básico de Penck (1953) pode ser sumarizado na formulação de que as formas de relevo resultam da relação entre a taxa de soerguimento crustal e a taxa de degradação causada pelos processos exógenos, o que pressupõe que o modelado continua ocorrendo ao longo do soerguimento.

Possivelmente em uma crítica velada ao modelo Davisiano, Penck afirma (1953, p. 3) que não é possível ver as formas resultantes de denudação apenas como o resultado de um longo desgaste em ciclos, ou seja, de transferência exógena de uma superfície soerguida por transferência endógena. Penck (1953) associa, então, a denudação a três elementos: (1) processos exógenos; (2) processos endógenos e ao produto de ambos, que ele “coletivamente” designa como (3) “feições morfológicas atuais”. Segundo Penck (1953, p. 4), as forças exógenas (1) são compostas por dois grupos de processos: i) os de intemperismo, que levam à “redução” das rochas, e ii) os de deslocamento do material gerado. Ele assume que a maneira e as taxas de redução/transporte do material são determinadas pelo tipo de rocha e o clima, indicando, no entanto, que a estrutura da crosta terrestre, responsável pela litologia das rochas (2) é tão importante para a morfologia (3) “quanto a distribuição mundial das diferentes condições climáticas” (1). Penck (1953, p. 5, tradução nossa), argumenta, contudo, que a ação inicial da redução da rocha (intemperismo) “altera a composição e textura do material”(i), mas não produz, ela mesma, “a forma denudacional”, que apareceria apenas após a remoção (erosão) da rocha “reduzida”(ii), levando à “elaboração da feição”. A denudação responde, assim, de maneiras diferenciadas à intensidade e duração de soerguimento incluindo: a incisão dos vales, o desenvolvimento das vertentes e ao aplainamento das superfícies (HIGGINS, 1981; OMER, 2007; RHOADS e THORN, 2014).

Penck (1953, p. 4) defende que a maneira e as taxas de redução/transporte do material (3) são determinadas pelo tipo da rocha (2) e as condições climáticas (1) que têm, assim, efeitos “na magnitude dos processos” em áreas com características litológicas, estruturais e climáticas específicas. Pode-se assumir dessa maneira que, implicitamente, as variações desses fatores irão interferir e alterar a elaboração do relevo através da sua influência na relação entre *input* de energia (processos endógenos) e redução (processos exógenos), mudando o produto (formas de relevo). Penck (1953, p. ii, *apud* BEACH, 1981, p. 56, tradução nossa) deixa antever esta interpretação ao expor que o modelado assume “um forma particular dependendo da razão entre a intensidade da endogenia (e.g., soerguimento das montanhas) e deslocamento exogênico do material (e.g., intemperismo, erosão, transporte [...]). Os processos endógenos não têm efeito simultâneo e contínuo na paisagem, o que faz com que “as forças atuando sobre o modelado não funcionem uniformemente” (PENCK, 1953, p. 14, tradução nossa). Com base nessas premissas, o modelo Penckiano não poderia a rigor, como afirmado por alguns autores (e.g., HACK,

1960), ser classificado realmente como cíclico (e.g. OMER, 2007), embora Penck (1953) parta do princípio da existência de uma superfície inicial. No entanto, é possível que esta superfície inicial (*Primärumpf*), não corresponda àquela produzida no final do ciclo de Davis (peneplano), mas sim a qualquer superfície primordial, submetida às forças endógenas.

Outro aspecto interessante do modelo, é que para Penck (1953) todos os processos geomórficos obedecem às leis físicas, entendidas aqui como as leis que regem o comportamento de todos os materiais e os processos aos quais estes são submetidos. Essas leis se aplicariam também aos processos endógenos, definindo características próprias aos movimentos crustais e às propriedades estruturais das rochas, as quais podem variar localmente influenciando o tipo, velocidade e intensidade desses movimentos, embora isto não possa ser muitas vezes diretamente observado. Penck (1953, p. 178, tradução nossa) sumariza sua proposta de desenvolvimento das vertentes da seguinte maneira: (1) “a intensidade da erosão determina o gradiente da vertente que se levanta acima da rede de drenagem”; (2) “a sucessão, uma após a outra, das unidades da vertente com diferentes gradientes, fornece uma maneira sensata para seguir a intensidade erosiva em um ritmo definido, sendo as vertentes convexas uma evidência do aumento da intensidade erosiva e as côncavas a prova de decréscimo”, considerando, portanto, que a forma da vertente tem importância essencial como meio de diagnosticar a intensidade erosiva e suas causas. Lembra que “nem sempre as formas mais antigas do relevo existem em uma mesma área, podendo ter sido substituídas por outras mais jovens”, mostrando que seu modelo “permitia” a coexistência de formas de relevo elaboradas em diferentes épocas; (3) reafirma, por fim, seu postulado máximo de que é na superfície da Terra onde ocorre a reação “entre forças opostas, e a efetividade de uma depende da atividade precedente da outra”. Portanto, as ideias de Penck, em especial a de recuo paralelo das escarpas (*back wearing*) formando relevo escalonado em contraposição à planura resultante do rebaixamento da superfície (*down wearing*), teve apelo na formulação de outros modelos, sendo muito semelhante, de acordo com Omer (2007), à da pediplanação de King (1953), proposta anos mais tarde.

4. O MODELO DE LESTER KING: PEDIPLANAÇÃO

O modelo de evolução de Lester King (1953) foi desenvolvido como alternativa ao modelo Davisiano. King considerou duas proposições de Davis como especialmente problemáticas: (i) os solos profundos, que Davis (1899) antecipa como típicos de superfícies no estágio de senilidade, não são realmente característicos de *paisagens antigas*; e (ii) a redução do ângulo das partes superiores das vertentes ao longo do tempo, que o modelo Davisiano antecipa como mudanças sequenciais normais de qualquer paisagem em um estágio avançado de maturidade, ou seja, posteriores ao momento em que a rede de drenagem alcança o estado de equilíbrio, não ocorrem em muitas vertentes. King (1953) postula que a maior parte das vertentes se desenvolve ao longo do tempo através de um recuo paralelo a si mesmas, mantendo, assim, seus ângulos durante a sua

evolução, semelhante à proposição de Penck (1953). Para sustentar a posição (i), King dá exemplo de solos rasos em superfícies *antigas* localizadas no interior do continente Africano, comparando-as com alguns solos profundos e férteis de algumas superfícies jovens na Europa (KING, 1953). Para sustentar a posição (ii), ele apresenta uma interpretação diferente da Davisiana sobre a morfologia e comportamento geomórfico das vertentes, assumindo que apenas no momento em que os rios erodem ativamente seus leitos e margens é que eles controlam a forma das vertentes adjacentes; nesta situação, quando a incisão fluvial cessa, as vertentes são independentes do sistema fluvial (KING, 1953). Dessa maneira, são as vertentes que dominam as formas dos rios ao controlar o aporte de sedimentos que abastece o sistema fluvial. No modelo evolutivo de King, diferentemente do de Davis, vertentes e rios estão essencialmente desconectados (KING, 1953).

King assume como verdadeira a proposta de Wood (1942) sobre os elementos que compõem uma vertente: (i) a crista ou talude de lavagem; (ii) a escarpa ou face livre; (iii) o talude constante ou de detritos; e (iv) o pedimento ou talude decrescente. Nesta interpretação, cada elemento das vertentes evolui independentemente uns dos outros, embora ocorra algum grau de influência entre elementos. De maneira geral, os elementos (ii) e (iii) erodem a taxas mais rápidas do que (i), determinando que a evolução da vertente como um todo se dê através do recuo paralelo da vertente, considerado simplesmente como o resultado da diferença nas taxas erosivas entre esses elementos. Assim, cada elemento da vertente está associado com diferentes morfologias e processos geomórficos ativos: enquanto em (i) os processos ativos são o intemperismo e o rastejo e a morfologia é marcadamente suave, em (ii) e (iii), de morfologia mais declivosa, os processos ativos incluem escorregamentos, erosão em pequenos canais e ravinas, bem como fluxos torrenciais (KING, 1953). O elemento (iv), por sua vez, representa uma concavidade suave que se estende até a planície aluvial ou o rio adjacente, entendida como *o que restou*, que é frequentemente coberta por detritos, mas que em essência representa feições erosivas levemente inclinadas na direção dos rios. Geralmente ocorre uma quebra abrupta de declive na transição de (iii) para (iv), e essa quebra é mais abrupta quando a vertente não é recoberta por sedimentos; a ação erosiva das águas superficiais deve ser vista como o único processo ativo em (iv). De maneira geral, o elemento (iv) apresenta a maior distribuição de área em vertentes, que “em áreas estáveis, como o Sul da África, podem ocupar mais da metade de toda a paisagem” (KING, 1953, p. 748, tradução nossa).

Portanto, a presença e atividade geomórfica dos elementos (ii) e (iii) são fundamentais dentro do modelo evolutivo de King e, nesse sentido, fatores que favoreçam a formação e persistência desses elementos, tais como a presença de litologias resistentes, alta amplitude de relevo local, arranjo sub-horizontal das camadas rochosas, bem como uma gênese tectônica para a origem da vertente, favorecem também o recuo paralelo das vertentes (KING, 1953). Nesse modelo, uma paisagem antiga *ideal* corresponde a uma paisagem multi-côncava onde os interflúvios mantêm seus ângulos até que esses sejam consumidos pelo recuo paralelo das vertentes, e pedimentos em posições opostas a um

divisor de drenagem comum, isto é, em vales adjacentes, que se fundem ou combinam quando os interflúvios são *consumidos*, formando uma superfície plana, denominada de *pediplano* (KING, 1953). O modelo de King tem duas consequências importantes: (a) as cristas são preservadas, uma vez que erodem em taxas muito lentas comparadas a de outros elementos, até que sejam consumidas; e (b) onde a escarpa ou face livre e o talude de detritos não são bem desenvolvidos, a crista o será, podendo se encontrar diretamente com o pedimento e, nesse caso, a evolução dessa vertente se dará como no modelo Davisiano (KING, 1953).

Para King (1957, p. 88, tradução nossa), essa separação entre elementos das vertentes poderia ser “encontrada em todo o mundo, independentemente do clima”. Nesse sentido, “o principal agente que molda a paisagem tanto nos casos úmidos quanto nos áridos é o fluxo d'água, e isso deve produzir resultados comparáveis nos dois tipos de região” (KING, 1953, p. 724, tradução nossa), o que implica que paisagens desenvolvidas em climas diferentes devem ser consideradas análogas, com diferenças em grau e não em natureza. Além disso, King (1957) afirmou ter identificado os mesmos elementos e dinâmica em vertentes em diferentes arranjos tectônicos, indicando que a estrutura geológica não seria um fator relevante na evolução geomórfica de paisagens. Esse é um ponto controverso da teoria de King que levou alguns autores a apontar que esse modelo subestima a importância deste fator na evolução das paisagens erosivas (e.g., TWIDALE, 1992). Ainda assim, como demonstrado por Bryan (1942), existem numerosos exemplos de paisagens que apresentam os elementos de vertentes antecipados por King e onde as vertentes se desenvolvem a partir de um recuo paralelo (TWIDALE, 1992). Twidale (1992) aponta que em situações estruturais apropriadas, por exemplo, na presença de um substrato com resistência suficiente para sustentar os elementos (ii) e (iii), uma vertente se desenvolverá a partir de recuo paralelo. Este enunciado é diferente do modelo de King (1953), pois envolve certo arranjo geológico e, normalmente, um gatilho tectônico como, por exemplo, uma falha ativa.

King (1953) assume em seu modelo evolutivo que as superfícies antigas sobreviveriam como cristas/taludes de lavagem, que evoluem de maneira lenta comparada aos outros elementos das vertentes. Assim, o padrão de evolução das vertentes neste modelo determina, obrigatoriamente, um arranjo espacial no qual as superfícies *sobreviventes* se concentram seguindo um padrão concêntrico, onde superfícies mais novas e com menores elevações cercam, por todos os lados, superfícies de maior elevação, que também são mais antigas. Interrupções do ciclo foram explicadas por King (1952) como consequência da compensação flexural-isostática do esvaziamento erosivo da crosta; significando que o desenvolvimento natural de um ciclo de King leva a sua própria interrupção. Embora a cronologia de denudação proposta por King para muitas paisagens antigas possa ser contestada (TWIDALE, 1992), ela fornece uma base teórica para a possibilidade de sobrevivência de superfícies antigas até que essas sejam completamente removidas pelo recuo paralelo das escarpas.

5. O EQUILÍBRIO DINÂMICO DE JOHN T. HACK

O equilíbrio dinâmico tal qual formulado por Hack (1960) representa uma oposição consciente às teorias cíclicas como explicação da gênese e evolução das paisagens erosivas. Para Hack (1960), exemplos da fase final de um ciclo – uma planura erosiva sem relevo de dimensões regionais – não existem na superfície terrestre: “paisagens que foram erodidas até o estágio final de senilidade, como concebidas por Davis, são virtualmente inexistentes” (HACK, 1960, p. 84, tradução nossa). Pelo contrário, Hack (1960) argumenta que as superfícies que possuem características morfológicas similares às superfícies de aplainamento, configuram, na realidade, feições deposicionais, como por exemplo, planícies aluviais, deltas e planícies costeiras, ou descrevem paisagens consistentes com um estágio de maturidade avançada ao invés de representarem um membro final do ciclo. Além disso, Hack (1960) discute o modelo de recuo paralelo das vertentes (e os pediplanos resultantes), concluindo que tais formas estão longe de ser universais, restringindo-se a situações estruturais apropriadas; leia-se camadas rochosas sub-horizontais com resistências diferentes (HACK, 1960). Em contraste, Hack (1960) ficou tão impressionado com a grande quantidade de paisagens que poderiam ter sido descritas como em um *estágio de maturidade* que conjecturou se este não era o *estágio final* alcançado por uma paisagem erosiva em sua evolução. Nesse caso, Hack (1960) aponta que essa paisagem estaria ajustada para a remoção eficiente do material alterado ao invés de tender ao acúmulo de sedimentos, como antecipado para os estágios finais das teorias cíclicas. Portanto, para Hack (1960), a eficiência da paisagem para a remoção de detritos não diminuiria com o tempo, ao contrário do assumido no modelo Davisiano.

Os modelos evolutivos cíclicos conduzem obrigatoriamente a um estágio de evolução em que existe um contraste entre trechos fluviais *torrenciais*, em contexto de cabeceira, caracterizados por alta capacidade, contrastando com trechos *gentis* a jusante, de menor capacidade. Para Hack (1960), esse cenário teórico não é verdadeiro, pois em muitos rios naturais a velocidade média do fluxo e, portanto, a sua capacidade de transporte, tende a aumentar a jusante (*e.g.*, LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964). Nessa situação, Hack (1957) alega que o tamanho médio do material transportado por um rio não está diretamente relacionado com a inclinação do seu leito, dependendo também da vazão e outras variáveis, de modo que, em muitos rios, competência aumenta a jusante mesmo com a diminuição da inclinação. Hack (1960) conjectura que não é razoável assumir que os sistemas fluviais alcancem qualquer condição de equilíbrio a partir de uma sequência evolutiva que envolva redução gradual dos gradientes topográficos, como esperado pelos modelos cíclicos. Hack (1960) especula que seja provável que o único equilíbrio que exista na maioria dos rios seja o *quase-equilíbrio*, conceito formulado por Leopold e Maddock (1953), designando uma espécie de autoajuste entre oito variáveis hidráulicas (vazão, fluxo de sedimentos entregue ao canal; calibre dos sedimentos transportados; resistência ao fluxo; velocidade; largura; profundidade; inclinação) que ocorre de forma complexa e está em constante mudança (LEOPOLD e MADDOCK,

1953; LEOPOLD, WOLMAN e MILLER, 1964). Assim, para Hack (1960), tanto o gradiente fluvial quanto a capacidade de um rio, podem crescer em direção a jusante caso rochas resistentes sejam expostas nesses trechos.

O trabalho empírico de Hack em diferentes partes das Montanhas Apalachianas (e.g., HACK, 1957, 1960, 1975) demonstrou várias características e relações geomórficas que não eram explicadas pela abordagem cíclica tradicional: (i) a geometria das bacias de drenagem (e.g., a inclinação do canal fluvial e a curvatura dos topos das cristas), fortemente correlacionada com os tipos de rocha subjacentes; (ii) as feições geomórficas de topografia mais pronunciada em escala regional (cadeias de montanhas elevadas), diretamente relacionadas com a estrutura geológica; (iii) os rios principais “evitando” as rochas resistentes; (iv) a morfologia dos perfis longitudinais dos rios diretamente relacionada às variações espaciais de litologia e estrutura geológica; (v) a ocorrência, bem como a espessura, dos resíduos do intemperismo (não consolidados) como funções do tipo de rocha subjacente.

Como consequência de sua oposição teórica aos modelos cíclicos, Hack (1960) elaborou o princípio do equilíbrio dinâmico, inspirado no trabalho de Gilbert (1877), que assim pode ser enunciado: a topografia das feições geomórficas e das paisagens erosivas envolve um equilíbrio entre os processos de erosão, intemperismo, soerguimento de rocha (*diastrofismo*) e o transporte de sedimentos. Uma vez que tal equilíbrio esteja estabelecido, a topografia torna-se *fixa* (isto é, não se modifica com o passar do tempo), permanecendo essencialmente inalterada morfologicamente, se as taxas de soerguimento e erosão não mudarem (desde que rochas com resistências diferentes daquelas previamente expostas não sejam exumadas). Se as taxas relativas de erosão ou soerguimento se modificarem (tanto no espaço quanto no tempo), o estado de equilíbrio dinâmico também se alterar, a topografia então se transformará na direção de um novo estado de equilíbrio. Nesta formulação teórica da evolução da paisagem, a distribuição espacial de características geológicas constitui o controle primário da morfologia de canais fluviais e vertentes. Rochas resistentes ao intemperismo e à erosão estariam associadas, de uma maneira geral, a terrenos mais íngremes se comparados a áreas sob rochas adjacentes menos competentes. O princípio do equilíbrio dinâmico requer, obrigatoriamente, taxas de denudação uniformes para todas as áreas em equilíbrio, implicando que embora a morfologia da superfície varie em função da litologia, os gradientes topográficos sejam fixos no tempo (HACK, 1960). Hack (1960, 1975) argumenta que como a crosta terrestre é anisotrópica em todas as escalas, ocorrem variações consideráveis na composição e estrutura litológica mesmo em pequenos canais fluviais.

Segundo Hack (1960), a imutabilidade das formas de relevo em equilíbrio ao longo do tempo é filosoficamente próxima da ideia da topografia como uma “*coisa do agora*”, tal como preconizado na geomorfologia dinâmica de Strahler (1952). Ao mesmo tempo, ao analisar as observações deste último sobre um ajuste profundo entre a morfologia da superfície e a litologia nos Apalaches, Hack (1960) afirma que as mesmas levam “alguns

de nós a acreditar que tal ajuste profundo ocorreu durante erosão de muitos milhares de metros de rocha, ao longo de um longo período de tempo, e não durante um curto ciclo em que uma peneplanície foi dissecada apenas em alguns milhares de metros”(HACK, 1975, p. 101, tradução nossa), sinalizando que a *herança geológica* seria, assim, um fator importante na evolução das paisagens. O princípio do equilíbrio dinâmico de Hack (1960, p. 89, tradução nossa) é “uniformitarista em sua abordagem, pois tenta explicar as paisagens em termos de processos e taxas que existem hoje e, portanto, observáveis”. Possui também uma concepção semelhante à de Gilluly (1949), na qual o diastrofismo é contínuo ao longo do tempo ao invés de periódico (BISHOP, 2007). Os pressupostos enunciados por Hack (1960) para sua proposta do equilíbrio dinâmico são discutíveis e foram criticados em diferentes trabalhos (e.g., HUGGET, 1988; RHOADS e THORN, 1993; TWIDALE, 1991; TWIDALE e CAMPBELL, 1995). Mesmo assim, o equilíbrio dinâmico de Hack (1960) e, especialmente, a condição normativa de estado estacionário (*steady-state*), constitui a espinha dorsal da maior parte dos trabalhos geomórficos modernos que envolvem evolução da paisagem (BISHOP, 2007). O grande apelo do uso do princípio do equilíbrio dinâmico de Hack é, de certa forma, reflexo de sua relativa simplicidade e grande flexibilidade, uma vez que pode ser enunciado em uma linguagem matemática de *inputs* e *outputs* que pode ser usada para a resolução de diferentes problemas geomórficos.

A concepção do equilíbrio dinâmico representa, contudo, muito mais um princípio geral do que um modelo de evolução da paisagem (HACK, 1975). Quando o equilíbrio dinâmico é usado como modelo da evolução da paisagem, ele apresenta problemas teóricos. Hack desenvolveu suas ideias como uma *tentativa ativa* de superar as teorias cíclicas uma vez que não aceitava como verdadeiro o princípio fundamental das teorias cíclicas de que (i) a topografia, criada ativamente por forças geológicas, seria (ii) reduzida e, eventualmente, destruída pela ação dos processos superficiais, não importando qual a história e o contexto geológico da área (HACK, 1975). Ao mesmo tempo, reconhecia “que a evolução também é um fato da natureza” (HACK, 1975, p. 88, tradução nossa) e, portanto, que os processos erosivos ocorrem aqui e agora, o que determina, necessariamente, que a elevação de uma área onde não ocorre soerguimento das rochas se reduzirá com o tempo. Para ele, em uma paisagem que esteja em equilíbrio, “cada declive e cada canal fluvial em um sistema erosivo são ajustados uns aos outros, e, assim, quando a topografia está em equilíbrio e a energia erosiva permanece a mesma, todos os elementos da topografia estão diminuindo ao mesmo tempo” (HACK, 1960, p. 80, tradução nossa). Mesmo que a morfologia de uma paisagem que esteja decaindo topograficamente permaneça *fixa* ao longo do tempo, dado tempo suficiente, as áreas de menor elevação eventualmente alcançarão a elevação do nível de base e, a partir de então, as taxas erosivas não serão homogêneas ao longo de todo o sistema. Neste caso, as áreas de maior elevação continuariam a ser erodidas, enquanto as áreas com a elevação do nível de base deixariam de sê-lo. Consequentemente, mesmo em uma paisagem em equilíbrio, uma planura regional sem relevo seria efetivamente alcançada, dado tempo suficiente

(HACK, 1975). Isso implica no fato de que, caso o equilíbrio dinâmico seja tomado como modelo evolutivo, ele levará obrigatoriamente ao mesmo raciocínio cíclico do qual Hack (1960) tentou escapar e, por isso, Hack (1975) argumenta que o equilíbrio dinâmico não configura um modelo evolutivo.

Hack lutava com duas noções contraditórias da paisagem como uma “*coisa agora*”, que alcançou ou busca alcançar um estado estacionário, e as implicações necessárias da evolução das paisagens erosivas ao longo do tempo, o que inclui a ideia de *heranças geológicas*. Esta situação parece análoga à descrita por Popper (1963) sobre a rejeição de Hume da lógica indutiva. Hume demonstrou que a indução era logicamente inválida e, portanto, racionalmente injustificável, enfrentando, assim, o problema de explicar como o conhecimento humano poderia ser possível: através de um procedimento não indutivo ou por repetição e indução, sendo, dessa maneira, logicamente inválido? Esta última alternativa significaria necessariamente o fim da racionalidade, pois o conhecimento seria apenas uma espécie de crença, levando Popper (1963) a resolver esse problema com um procedimento não indutivo. Nesse sentido, tanto a lógica geomórfica, quanto a perspectiva filosófica da proposição de Hack (1960, 1975) são contraditórias com relação às teorias cíclicas. Embora Hack não tenha conseguido elaborar um modelo de evolução que fosse bem sucedido como oposição às teorias cíclicas, o equilíbrio dinâmico de Hack (1960, 1975) foi (e ainda é) uma ferramenta prolífica para resolver problemas geomorfológicos (BISHOP, 2007).

6. EXPANDINDO A ETCHPLANAÇÃO DE WAYLAND E BÜDEL: O MODELO DE TWIDALE

O modelo de evolução das paisagens de Twidale foi desenvolvido de modo a resolver o problema da sobrevivência de longo-termo de superfícies antigas, sejam elas exumadas ou subaéreas, que desafiavam (e ainda desafiam) os modelos tradicionais de evolução da paisagem (TWIDALE, 1976, 1991, 1999). Ele reconhece como fato, a existência de superfícies muito antigas, expostas aos processos erosivos desde sua origem, configurando feições geomórficas comuns na superfície terrestre (TWIDALE, 1976, 1991, 1999). Inicialmente, tais superfícies foram reconhecidas de maneira conjectural na Austrália e no sul da África em trabalhos como os de Hills (1934) e Dixey (1938). É conhecido, hoje, com um grau razoável de certeza, que paleosuperfícies podem ser identificadas não apenas nos continentes do Sul, ou seja, derivadas da desintegração do Gondwana, mas também preservadas no que foi a Laurásia (TWIDALE, 1999), persistindo apesar dos efeitos da glaciação (TWIDALE, 1976; YOUNG, 1983; TWIDALE e VIDAL ROMANI, 1994). A persistência de longo-termo dessas superfícies geomórficas antigas é contraditória aos modelos cíclicos que lhes atribuem limites máximos de idade (TWIDALE, 1980; TWIDALE, 1992). Ao mesmo tempo, qualquer observador que considere as taxas dos processos superficiais em diferentes contextos geomórficos (GILLULY, 1955; SCHUMM, 1963; JUDSON e RITTER, 1964), bem como o exame de evidências empíricas convincentes de que muitas formas de relevo são

recentes, tais como movimentos de massa em geral (KENT, 1966; TWIDALE, 1999), pequenos sulcos e ravinas desenvolvidas pela ação do fluxo superficial canalizado em granitos frescos (TWIDALE, 1999) e dolinas ou sumidouros desenvolvidos em lateritas (TWIDALE, 1999), chegaria à conclusão de que, parte significativa das formas de relevo e das paisagens erosivas é de origem recente, talvez, não mais antigas do que o Cenozoico tardio (TWIDALE, 1999). O modelo de evolução de Twidale precisou, dessa maneira, resolver o paradoxo da coexistência contemporânea de feições geomorfológicas antigas e recentes, o que é semelhante à dicotomia enfrentada por Hack (1960, 1975): a paisagem é uma *construção do agora*, uma vez que os processos estão agindo agora, ou é o resultado de um desenvolvimento de longo-termo?

Em resposta, o modelo de Twidale se sustenta em larga medida em duas hipóteses desenvolvidas por Crickmay, a saber: (i) o conceito de *panplanation* e (ii) a *atividade desigual* (CRICKMAY, 1932, 1972, 1974, 1975). A hipótese (i) antecipa que, em um contexto de rios próximos ao nível de base absoluto a migração lateral dos rios, em conjunto com processos de deposição aluvial, irá produzir extensas planícies aluviais (CRICKMAY, 1932). Essa hipótese é diferente das superfícies de aplainamento de Davis, pois as mesmas seriam restritas a áreas próximas do mar, enquanto os peneplanos de Davis adentram o interior continental. A hipótese (ii), por sua vez, foi desenvolvida por Crickmay (1972, 1974, 1975) para explicar a dinâmica e morfologia de áreas distantes do nível de base (TWIDALE, 1993). Segundo Twidale (1993), essa hipótese representa uma expansão de uma proposição inicial de Knopf (1924) de que algumas das terras altas estavam fora do alcance dos processos erosivos. Crickmay (1972, 1974, 1975) questionou, então, a eficiência dos processos erosivos de vertente quando comparada à eficiência do trabalho fluvial, assumindo que os processos fluviais operam de forma mais rápida e intensa. Para ele, o poder erosivo dos rios estaria restrito às áreas do canal fluvial e, no máximo, porções distais de vertentes imediatamente adjacentes. No próprio conceito de *atividade desigual* existe, portanto, uma desconexão marcante entre os processos fluviais e os de vertente. Essa desconexão é também um dos corolários do modelo de King (1953) e, no entanto, o modelo de King é marcadamente diferente da hipótese de *atividade desigual*. Para King (1953), essa desconexão significa que o sistema fluvial não interfere na forma e na dinâmica das vertentes. Para Crickmay (1972, 1974, 1975), não apenas rios e vertentes são desconectados, mas eles operam em taxas muito diferentes (vertentes seriam quase *inativas* se comparadas aos canais fluviais). Por isso, embora Crickmay (1972, 1974, 1975) aceitasse de maneira geral a noção de recuo paralelo de vertentes de King, ele negava que qualquer vertente (ou escarpa) recuasse a taxas uniformes e, na verdade, afirmava que algumas vertentes (e escarpas) estariam praticamente estagnadas. Para Twidale (1993, p. 364, tradução nossa), “o conceito de Crickmay encontra apoio em paisagens em muitas partes do mundo”, dando exemplos de áreas que, a partir de uma configuração estrutural *adequada* (ou seja, com fortes contrastes litológicos), a erosão fluvial seria restrita aos canais, sem afetar as vertentes adjacentes.

O modelo de evolução de Twidale (1999) assume que a estrutura geológica é o principal controle na evolução da paisagem. As influências estruturais na morfologia das paisagens englobariam efeitos ativos e passivos, maiores e menores, bem como um grande número de formas de relevo estruturais, que estão completamente desconectadas de condições climáticas (TWIDALE e LAGEAT, 1994). Dessa maneira, o contexto geomórfico de uma área será fortemente influenciado por seu contexto tectônico, limite de placa/intraplaca, o tipo de limite de placa analisado, e a relação com plumas do manto e *hotspots* associados. Exemplos de controle estruturais na morfologia da superfície incluem: a orientação de muitas feições geomorfológicas regionais, tais como os cursos de grandes rios, a geometria de planaltos e grandes bacias hidrográficas, que muitas vezes refletem a presença de lineamentos herdados (*e.g.*, TWIDALE e CAMPBELL, 1995); contrastes na resistência das rochas expostas aos processos erosivos, resultando em morfologias diferentes (*e.g.*, HACK, 1960; TWIDALE e CAMPBELL, 1995); campos locais de tensões e o acúmulo de deformações em estruturas herdadas, como fatores importantes na explicação de um conjunto de formas (*e.g.*, JENNINGS e TWIDALE, 1971; TWIDALE e SVED, 1978; TWIDALE e LAGEAT, 1994) e terremotos como fator de *gatilho* para deslizamentos de terra e outros movimentos de massa (TWIDALE e LAGEAT, 1994).

O conceito de *etch* ou paisagem em dois estágios (FALCONER, 1911, JUTSON, 1914; WAYLAND, 1934; BÜDEL, 1982; THOMAS 1989a, 1989b) é também central no modelo de evolução de Twidale (1991). Isto, porque as águas subterrâneas são onipresentes e a água reage com os minerais formadores de rocha, a maioria dos quais são, em maior ou menor grau, solúveis, especialmente quando *carregados* quimicamente a partir, por exemplo, da atividade da biota; tais reações resultam no desenvolvimento do regolito (TWIDALE e CAMPBELL, 1995). O raciocínio é que o regolito é friável e menos coeso do que o substrato rochoso e, assim, dadas condições adequadas, o regolito seria erodido e o substrato rochoso exposto. A forma do *front* de intemperismo (na interface com as rochas subjacentes) segue as condições de contorno de diferentes arranjos geológicos, tanto em textura quanto em composição, mas também se encontra relacionado com fraturas ou densidade de fraturas (TWIDALE e VIDAL ROMANI, 1994). Essas superfícies de *etch* (ou seja, as superfícies expostas a partir da erosão do regolito não coeso) se desenvolvem em dois estágios, conseqüentemente, com duas idades: uma, indicando o período de intemperismo subsuperficial e esculturação no *front* de intemperismo; e a outra, o período de remoção do regolito e conseqüente exposição das rochas subjacentes (TWIDALE, 1990).

Essa hipótese de desenvolvimento em dois estágios foi bem-sucedida em explicar muitas feições geomorfológicas intrigantes que até então, não tinham sido satisfatoriamente explicadas (TWIDALE, 1990). Na proposta, a natureza do agente erosivo no segundo estágio de uma superfície *etch* é de menor importância, uma vez que as superfícies *etch* não devem ser entendidas como o resultado do trabalho dos agentes erosivos subaéreos, mas sim do intemperismo, refletindo, de maneira geral, antigos

eventos magmáticos, tectônicos e/ou térmicos (TWIDALE e VIDAL ROMANI, 1994; CAMPBELL e TWIDALE, 1991). Já a fase de remoção do regolito pode ser desencadeada por soerguimento ativo, isostasia/flexura ou por mudanças climáticas (TWIDALE, 1991). Quaisquer das superfícies de aplainamento, incluindo as superfícies *etch*, podem ser soterradas por sedimentos ou lava, o que configuraria uma discordância estratigráfica, podendo ser, posteriormente, reexpostas como superfícies exumadas (TWIDALE e VIDAL ROMANI, 1994; CAMPBELL e TWIDALE, 1995). A esse respeito, Twidale e Campbell (1995, p. 32, tradução nossa) afirmam que “não surpreendentemente, e compreensivelmente, ainda há muitos que acham difícil até mesmo aceitar que formas de relevo tão antigas quanto as postuladas aqui possam ter persistido, a menos que enterradas e exumadas”. Contudo, quando as superfícies são inferidas como tendo sido *exumadas*, a sua *preservação*, ao longo de escalas de tempo de dezenas a centenas de milhões de anos, é encarada como *razoável* caso elas tenham sido enterradas (FALCONER, 1911; WILLIS, 1936; TWIDALE, 1976; BRUNSDEN, 1993). Twidale e Campbell (1995, p. 32, tradução nossa) mostram, no entanto, que, na Austrália, “não há nenhuma evidência, ou mesmo uma probabilidade, de que maciços como Eastern Uplands, Arnhem Land Plateau, Hamersley Ranges, Ayers Rock, o Gawler Ranges, a maior parte das Flinders Ranges, o Mt. Lofty Ranges e o Planalto Arcoona já tenham sido inundados pelos mares e sedimentos do Cretáceo”. As paisagens descritas por Twidale e Campbell (1995) foram provavelmente expostas há centenas de milhões de anos, tendo sobrevivido desde então aos processos erosivos (como feições subáreas), configurando, hoje, áreas de topografia pronunciada. Deve-se notar que essa persistência de longo-termo não implica “que essas formas de terra comprovadamente ou supostamente antigas sobreviveram inalteradas, mas que suas características essenciais permanecem” (TWIDALE e CAMPBELL, 1995, p. 31, tradução nossa).

As razões de Twidale para a sobrevivência de superfícies subáreas antigas, podem ser enunciadas como: (i) configurações intraplaca, que favorecem a sobrevivência de paisagens antigas, pois as mesmas estão longe da influência orogênica recente, implicando uma relativa estabilidade tectônica (TWIDALE e CAMPBELL, 1995). Nesse sentido, Watchman e Twidale (2002) sugerem estabilidade não em um sentido absoluto, mas sim, que as configurações intraplaca são mais estáveis do que as configurações de limite de placa; (ii) a exposição na superfície de rochas resistentes que “sobrevivem” ao intemperismo e erosão por mais tempo do que rochas pouco resistentes (TWIDALE, 1976, 1991, 1999); (iii) mudanças no nível do mar afetando principalmente as áreas costeiras, o que implica que as perturbações eustáticas têm menor probabilidade de causar reações em drenagens localizadas no interior profundo de um continente (TWIDALE, 1999); (iv) a *atividade desigual* da erosão fluvial e de vertentes no interior continental, que favorece a sobrevivência de superfícies antigas elevadas (TWIDALE, 1976, 1991, 1999). A localização e geometria dos divisores de drenagem são, no entanto, inicialmente determinadas por fatores estruturais (TWIDALE, 1976, 1991, 1999), enquanto a distribuição espacial de rochas com resistência diferencial determinará diferenciação

topográfica entre essas áreas (TWIDALE, 1999); e (v) *feedbacks* positivos que acentuam os impactos da erosão desigual. Por exemplo, um rio principal é dominante e atrai progressivamente mais escoamento superficial e fluxos subterrâneos (TWIDALE, 1976, 1991, 1999).

O modelo de evolução de Twidale envolve um cenário onde paleosuperfícies muito antigas coexistem com superfícies jovens em muitas áreas. Essas feições jovens seriam, para Twidale (1999), mais frequentemente relacionadas a movimentos de massa e processos de erosão acelerada do regolito. Como exemplo, Twidale (1999) aponta que o sul da África consistiria em extensos remanescentes de superfícies muito antigas (DIXEY, 1942; KING, 1942, 1950, 1962; PARTRIDGE e MAUD, 1987) coexistindo com áreas com processos recentes ativos de erosão acelerada do das encostas. Todavia, áreas marcadas por erosão acelerada estariam confinadas a materiais regolíticos friáveis, de modo que processos de ravinamento e voçorocamento seriam ineficazes onde rochas (coesas) estão expostas Twidale (1999).

Twidale também correlacionou o seu modelo com algumas noções de cronologia da denudação, que podem ser resumidas em cinco pontos (WATCHMAN e TWIDALE, 2002): (i) a maioria das feições geomorfológicas não se desenvolvem instantaneamente, mas ao longo do tempo, e o mesmo ocorre dentro de uma faixa de idade; (ii) a idade de uma superfície se refere ao tempo de sua origem; (iii) após a sua origem, uma superfície não permanece necessariamente inalterada e imutável; (iv) a Lei da Superposição que preconiza: quanto mais alto, mais antigo; e (v) uma superfície é provavelmente mais jovem do que as rochas mais novas que ela corta, mas mais velha do que a rocha mais antiga que ela corta.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O esforço teórico de Davis pretendia fazer da geomorfologia algo mais do que a mera descrição da morfologia das paisagens, através do desenvolvimento de uma *explicação* sobre como elas vieram a ser como as observamos empiricamente. Nesse sentido, há uma diferença significativa entre o que é uma *explicação* e o que são *observações* e *descrições* das formas de relevo. Por exemplo, imaginem que alguém passou a vida inteira catalogando observações de certas espécies de peixes em um determinado rio (adaptado de POPPER, 1963). Essa pessoa desenvolveu um método que garante a precisão de suas observações e esse catálogo foi publicado. No entanto, por mais precisas que sejam essas observações, elas não produzem nenhuma explicação sobre nada que possa ser do interesse de um biólogo, como o desenvolvimento, características e comportamento dessas espécies. Isso ilustra o que Davis queria modificar na geografia: explicar, ao invés de simplesmente *descrever*, mostrando que, para construir uma explicação, é necessário usar faculdades mentais como a *imaginação*. Isto se opõe à tradição positivista, que assume a *explicação* como uma questão subjetiva ou *metafísica* contrastando-a, de forma desfavorável, com a *descrição*, cujos defensores desta tradição consideravam como o único método legítimo da ciência empírica (Popper, 1963). Neste

aspecto, Davis não teve sucesso, uma vez que a tradição positivista era (e ainda é) forte dentro da Geomorfologia (BAKER e TWIDALE, 1991; RHOADS e THORN, 1993; HARRISON, 2001; WATCHMAN e TWIDALE, 2002). Uma explicação geomorfológica é muitas vezes enunciada como tendo sido construída a partir de evidências empíricas (ou seja, observações) na busca por explicá-las e com elas ser consistentes. A própria natureza da geomorfologia é considerada por muitos geomorfólogos como inerentemente conectada a trabalhos de campo e dados observacionais (BAKER e TWIDALE, 1991; RHOADS e THORN, 1993).

Desde o trabalho de Hume (1740) e com os desenvolvimentos posteriores de Kant (1781) e Popper (1963), o mito baconiano de uma ciência natural indutiva não pode ser considerado verdadeiro. De maneira resumida: Hume demonstrou que a indução é logicamente inválida e, como consequência, não é verdadeira a ideia de que temos um conhecimento certo (ou real) de leis universais da natureza, denominado *episteme*, mas sim que o conhecimento humano é tentativo e incerto, denominado *doxa* (HUME, 1740). Kant, por sua vez, entendeu que os humanos não são *receptores* passivos da natureza, mas sim *ativos*: as leis da natureza não são descobertas, mas sim impostas ativamente sobre a natureza, implicando que o mundo, como o conhecemos, é uma interpretação da realidade à luz de teorias criadas por nós mesmos (KANT, 1781). Popper propôs uma ligeira modificação à formulação de Kant (POPPER, 1963), a de que nós não extraímos nossas leis da natureza, mas, em vez disso, tentamos impor as nossas leis a ela, com diferentes graus de sucesso. A diferença entre a proposição de Popper e de Kant é que Kant (1781) estava convencido de que a teoria de Newton era verdadeira, o que implicaria que poderíamos impor nossas leis à natureza com sucesso (POPPER, 1963). No entanto, Popper (1963, p. 191, tradução nossa) afirma que a teoria de Einstein refutou a teoria de Newton: “graças a Einstein, agora vemos esta teoria como uma hipótese (ou um sistema de hipóteses), talvez a hipótese mais magnífica e mais importante na história da ciência, e certamente uma aproximação surpreendente da verdade”. Sugerimos que o leitor leia Popper (1963) para uma demonstração de porque a indução é logicamente inválida.

O fato de que a indução é um procedimento logicamente inválido é muito impactante para as ciências naturais e, por extensão, para a geomorfologia. Os empiristas geralmente acreditam que a base empírica de seu trabalho consiste em observações inquestionáveis (dados), e que esses dados são a base de seu raciocínio. Considerando que a indução é inválida, os dados são sempre interpretados à luz de teorias; não há nenhuma evidência final que não seja interpretada (LAKATOS, 1960; POPPER, 1963). A ideia de que a observação é carregada de teoria foi bem capturada nos trabalhos de Baker e Twidale (1991) e Rhoads e Thorn (1993), que demonstram como a confiança cega em dados é prejudicial à geomorfologia.

Esse entendimento é importante, uma vez que todas as teorias discutidas anteriormente foram propostas para explicar as mesmas feições geomorfológicas: paisagens pós-orogênicas, onde o último evento tectônico se deu dezenas ou centenas de milhões de anos atrás. Enquanto Davis enxergou nessas paisagens, peneplanos; King

afirmou que os peneplanos de Davis eram, na realidade, pediplanos; Hack declarou que peneplanos não existem em nenhuma parte do mundo, mas que, na realidade, a maior parte das paisagens pós-orogênicas parecem paisagens erosivas (ainda) montanhosas e controladas por processos fluviais; já Twidale assume que essas paisagens foram esculpidas em dois estágios, ou sejam, eram superfícies *etch*. Seria fácil seguir aqui um raciocínio relativístico e propor que cada um desses modelos estaria, até certo ponto, correto, ou argumentar, como Twidale (1999), que o declínio dos ângulos das vertentes (modelo Davisiano) poderia ocorrer em paisagens desenvolvidas em rochas pouco resistentes, enquanto o recuo paralelo das vertentes poderia acontecer quando rochas resistentes são expostas; o equilíbrio dinâmico poderia ocorrer em áreas úmidas tectonicamente ativas, e que superfícies *etch* seriam praticamente onipresentes na superfície da Terra. No entanto, em sentido estrito, todos esses modelos são incorretos como explicação da evolução geomórfica de paisagens pós-orogênicas (e.g., BISHOP, 2007), embora sua influência no pensamento moderno seja duradoura.

Afirmar que uma proposição é incorreta não significa dizer que essa proposição não tenha valor. Na verdade, qualquer conjectura tem um conteúdo *verdadeiro* e um conteúdo *falso*: por exemplo, se propusermos que *hoje é sexta-feira*, a consequência lógica desta proposição implica que *hoje não é sábado* e que *hoje não é segunda-feira*, e assim por diante (adaptado de POPPER, 1963). Obviamente que *hoje* deve ser um dia da semana, então se segue que mesmo que *hoje seja terça-feira*, nossa conjectura é falsa, mas, ainda assim, tem algum conteúdo verdadeiro, uma vez que uma das consequências da nossa afirmativa é que *hoje não é quinta-feira*.

Sintetizando, podemos dizer que uma vez que a indução é inválida e o conhecimento humano é tentativo (*doxa*), toda e qualquer proposição (ou conjectura, hipótese, teoria) tem como *destino* estar *errada* e, ainda assim, pode *funcionar* (leia-se, ser congruente com observações empíricas) como um caso limite, que seja consistente com o que se destina a explicar quando desenvolvida. Além disso, é impossível mapear todas as consequências lógicas de uma dada conjectura, ou seja, o seu conteúdo empírico de falsificadores potenciais no sentido de Popper (1963) considerando que toda hipótese têm um contexto histórico/temporal. Um exemplo é quando a teoria, ou sistema de teorias, de Newton foi proposta, ninguém poderia prever que uma de suas consequências lógicas seria a não-teoria de Einstein (POPPER, 1963).

De maneira geral, as teorias cíclicas não são explicações científicas para as paisagens antigas no sentido de que não existe nenhum falsificador empírico potencial para elas, e disso se segue que as teorias cíclicas são necessariamente verdadeiras em todos os mundos possíveis (BISHOP, 1980), o que é amplamente uma desvantagem para qualquer teoria. Como Popper (1963) demonstra, toda boa teoria consiste em proibições (de que certas coisas aconteçam) e que quanto mais uma teoria proíbe, melhor ela é, uma vez que os seus falsificadores potenciais aumentam e sua probabilidade de estar correta, diminui (POPPER, 1963). Assim, embora Hack tenha desenvolvido o princípio do equilíbrio dinâmico em oposição às teorias cíclicas, ele não conseguiu enunciar o

equilíbrio dinâmico como um modelo evolutivo que explicasse a evolução de paisagens pós-orogênicas (HACK, 1960, 1975). Hack enfrentou um problema que ele não conseguiu superar: “a evolução é um fato da natureza” (HACK, 1960, p. 88, tradução nossa), ou seja, a erosão está acontecendo aqui e agora. Portanto, como aceitar, ao mesmo tempo, a longa permanência de características geomorfológicas com a ideia de que a morfologia da superfície é resultado dos processos atuando agora? Hack (1975) não foi capaz de resolver esse problema e, ainda assim, o seu princípio do equilíbrio dinâmico permanece como a espinha dorsal da geomorfologia moderna (BISHOP, 2007). O modelo de Twidale (e também de Crickmay) representa um avanço nesse sentido, pois implica que as paisagens contemporâneas envolvem a coexistência de feições geomorfológicas muito antigas e feições jovens, rompendo, portanto, com o caminho evolutivo das teorias cíclicas. Além disso, o modelo de Twidale prescreve o aumento da amplitude do relevo com o tempo (sobretudo devido à *atividade desigual*), ao contrário do antecipado pelas teorias cíclicas (TWIDALE, 1999).

Especificamente sobre o modelo de Twidale, caso a superfície *etch* seja vista como um substituto aos peneplanos ou pediplanos, ela apresentará problemas teóricos. A ideia de que intemperismo é uma pré-condição para a maior parte dos trabalhos erosivos é robusta e coerente, o que explica porque, de certa forma, quase todas as paisagens podem ser consideradas como uma forma *etch* (TWIDALE, 1999). No entanto, a maior parte das explicações geomórficas que se sustentam no conceito das superfícies *etch* está explicando a evolução das formas de relevo a partir de contrastes de composição/textura ou de fraturas em áreas adjacentes; isto é, as formas refletem essas diferenças/anisotropias em sentido amplo. Ou seja, algo é mais resistente do que a área adjacente e o desenvolvimento dessas diferenças implicarão em uma diferenciação morfológica. Se o intemperismo diferencial é impulsionado por anisotropias e, conforme exposto por Twidale e Lageat (1994, p. 326, tradução nossa), “efeitos de reforço ou feedback positivo levam à exploração de qualquer contraste inicial em relevo”, como alguém pode esperar que uma forma *etch* seja a de uma planura regional/continental sem relevo e sem as condições estruturais apropriadas (leia-se, camadas sub-horizontais)? Se as anisotropias direcionam os processos de intemperismo, qual processo explicaria que se fossem apagadas todas as anisotropias em escala continental? Nesse caso, como apontado Twidale (1999), a forma final de superfície *etch* não deve ser a mesma daquela esperada pelas teorias cíclicas. Além disso, as superfícies *etch* moldadas pelo intemperismo e a erosão de materiais não coesos não são aplainadas, mas sim inclinadas; mesmo as planícies deposicionais apresentam um gradiente, mesmo que seja um declive suave, e qualquer declive implica mudança de elevação: por exemplo, 1 grau de declive implica em mudança de 17,5 m/km (WATCHMAN e TWIDALE, 2002).

Hack (1960, 1975) compreendeu que a crosta terrestre não é isotrópica em nenhuma escala de análise. Este é o corolário: anisotropias são a regra. Uma maneira de se entender o papel das anisotropias na evolução das paisagens envolve os conceitos de seleção de *gradiente* e de *resistência* (PHILLIPS, 2011), ou seja, a seleção de gradiente estaria

relacionada ao raciocínio tradicional do “caminho de menor resistência”. Isto é facilmente observado e compreendido através de exemplos de escoamento superficial, que também acontece em nível subterrâneo, uma vez que esse fluxo também segue os caminhos de menor resistência, incluindo macroporos, fraturas e zonas de maior condutividade hidráulica, e que são reforçados pela ação dos processos de intemperismo e erosão. Phillips (2011) argumenta que mesmo em materiais *homogêneos*, o crescimento instável de pequenas variações como, por exemplo, no teor de umidade, pode evoluir para desigualdades, que passam a serem exploradas pelos processos intempéricos e erosivos. A seleção de resistência, por sua vez, representa o inverso da seleção de gradiente no sentido de que, dada uma tensão/esforço aplicado, feições geomórficas mais resistentes *sobreviverão* por mais tempo inalteradas do que feições menos resistentes (PHILLIPS, 2011).

Por fim, é importante destacar que vários elementos dos modelos clássicos de evolução das paisagens discutidos nesse capítulo, tais como nível de base, superfícies de aplainamento, equilíbrio, forma e dinâmica de vertentes e sistemas fluviais, e reorganização da rede de drenagem, estão direta ou indiretamente presentes no entendimento moderno sobre como as paisagens erosivas evoluem. Podemos sumarizar esse entendimento como: as paisagens erosivas tendem a alcançar uma condição de estado estacionário onde há um equilíbrio de longo-termo entre os inputs geomórficos de energia e matéria em escala de paisagem (decorrente de processos tectônicos resultando em soerguimento de rochas pela janela crustal rasa) e as saídas geomórficas (através de processos erosivos modulados por controles litológicos e climáticos), resultando em uma topografia constante ao longo do tempo (PENCK, 1953; SCHUMM e LICHTY, 1965; HOWARD, 1994; WHIPPLE e TUCKER, 1999, 2002). A condição de equilíbrio é uma noção normativa que depende da uniformidade das condições de contorno de uma paisagem em estado estacionário, ou seja, o seu contexto tectônico, climático e litológico (WHIPPLE e TUCKER, 1999). Mudanças espaciais e temporais nas condições de contorno podem determinar modificações no nível de base relativo (isto é, uma confluência, uma estrutura ativa, ou o nível do mar), causando ajustes na forma do canal e uma resposta transiente da rede de drenagem direção da condição de estado estacionário (HOWARD, 1994; WHIPPLE e TUCKER, 1999; WHIPPLE e TUCKER, 2002; KIRBY e WHIPPLE, 2012). A duração, o padrão e o estilo da resposta da paisagem a tais forças transitórias são função das características da perturbação, da escala da paisagem e de feedbacks com processos de vertente (HOWARD, 1994; KOOI e BEAUMONT, 1996; WHIPPLE e TUCKER, 1999, 2002; BINNIE *et al.*, 2007; OUMET, WHIPPLE e GRANGER, 2009; KIRBY e WHIPPLE, 2012). Embora as teorias clássicas de evolução das paisagens tenham sido relegadas a uma posição de pouco prestígio na geomorfologia moderna, buscou-se mostrar que uma boa parte dos problemas geomorfológicos que intrigam os geomorfólogos de hoje, encontram-se ancorados em conceitos que estão relacionados, de alguma maneira, com o desenvolvimento das teorias clássicas de evolução das paisagens.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através de uma Bolsa de Pós-Doutorado CAPES-Print para D.P. (n. 88887.367976 / 2019-00).

Referências Bibliográficas

BALDWIN, J.A.; WHIPPLE, K.X.; TUCKER, G.E. Implications of the shear stress river incision model for the timescale of postorogenic decay of topography. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 108, n. B3, 2003. DOI 10.1029/2001JB000550.

BAKER, V.R.; TWIDALE, C.R. The reenchantment of geomorphology. **Geomorphology**, v. 4, n. 2, p. 73-100, 1991. DOI 10.1016/0169-555X(91)90021-2.

BEACH, L.G. **Geographical Geomorphology: Historical Development Contemporary Problems, and Future Prospects**. Dissertação – Departamento de Geografia, Oregon State University, 1981. 105 p.

BELTON, D.X.; BROWN, R.W.; KOHN, B.P.; FINK, D.; FARLEY, K.A. Quantitative resolution of the debate over antiquity of the central Australian landscape: implications for the tectonic and geomorphic stability of cratonic interiors. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 219, n. 1, p. 21-34, 2004. DOI 10.1016/S0012-821X(03)00705-2.

BINNIE, S.A.; PHILLIPS, W.M.; SUMMERFIELD, M.A.; FIFIELD, L.K. Tectonic uplift, threshold hillslopes, and denudation rates in a developing mountain range. **Geology**, v. 35, n. 8, p. 743-746, 2007. DOI 10.1130/G23641A.1.

BISHOP, P. Popper's principle of falsifiability and the irrefutability of the Davisian cycle. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 310-315, 1980. DOI 10.1111/j.0033-0124.1980.00310.x.

BISHOP, P. Long-term landscape evolution: linking tectonics and surface processes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, n. 3, p. 329-365, 2007. DOI 10.1002/esp.1493.

BRUNSDEN, D. Mass movements; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. **Geomorphology**, v. 7, p. 85-128, 1993. DOI 10.1016/0169-555X(93)90013-R.

BRYAN, K. Gully gravure-a method of slope retreat. **Journal of Geomorphology**, v. 3, p. 89-107, 1940.

BÜDEL, J. Die Doppelten Einebnungsflächen in den Fenchten Tropen. **Zeitschrift Fur Geomorphologie**, v. 1, n. 2, p. 201-228, 1957.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphology** (Vol. 443). Princeton: Princeton University Press, 1982. 443 p.

CAMPBELL, E.M.; TWIDALE, C.R. The evolution of bornhardts in silicic volcanic rocks in the Gawler Ranges. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 38, n. 1, p. 79-93, 1991.

CHORLEY, R.J.; DUNN, A.J.; BECKINGSALE, R.P. **The history of landforms, or the Development of Geomorphology, v. 1: Geomorphology before Davis**. New York: Methuen, 1964. 678 p.

- CHORLEY, R.J.; BECKINSALE, R.P.; DUNN, A.J. **The History of the Study of Landforms** (Vol. 2). Methuen: London, 1973. 874 p.
- CRICKMAY, C.H., The significance of the physiography of the Cypress Hills. **Canadian Field Naturalist**, v. 46, p.185-186, 1932.
- CRICKMAY, C.H. Discovering a meaning in scenery. **Geological Magazine**, v. 109, p. 171-177, 1972. DOI 10.1017/S0016756800039571.
- CRICKMAY, C.H. **The Work of the River: A Critical Study of the Central Aspects of Geomorphology**. London: Macmillan, 1974. 271 p.
- CRICKMAY, C.H. The hypothesis of unequal activity. *In*: MELHORN, W.N.; FLEMAL, R.C. (org.). **Theories of Landform Development**. State University of New York Press: Binghamton, NY, 1975. p. 103-109.
- DARWIN, C. **On the Origin of Species**. John Murray: London, 1859.
- DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**, v. 14, p. 481-504, 1899. DOI 10.2307/1774538.
- DAVIS, W.M. The geographical cycle in an arid climate. **The Journal of Geology**, v. 13, n. 5, p. 381-407, 1905.
- DAVIS, W.M. The systematic description of land forms. **The Geographical Journal**, v. 34, n. 3, p. 300-318, 1909. DOI 10.2307/1777147.
- DAVIS, W.M. Peneplains and the geographical cycle. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 33 n. 3, p. 587-598, 1922. DOI 10.1130/GSAB-33-587.
- DAVIS, W.M. The geographical cycle in an arid climate. **The Journal of Geology**, v. 13, n. 5, p. 381-407, 1905.
- DIXEY, F. Some observations on the physiographic development of central and southern Africa. **Transactions Geological Society South Africa**, v. 41, p. 113-172, 1938.
- DIXEY, F., Erosion cycles in central and southern Africa. **South African Journal of Geology**, v. 45, p. 151-181, 1942. DOI 10520/AJA10120750_2587.
- FALCONER, J. D. **The Geology and Geography of Northern Nigeria**. London: Macmillan, 1911. 295 p.
- GILBERT, G. K. Report on the Geology of the Henry Mountains (Utah). **USGS Professional Paper**, 1877. 160 p. DOI 10.3133/70039916.
- GILLULY, J. Distribution of mountain building in geologic time. **Geological Society of America Bulletin**, v. 60, n. 4, p. 561-590, 1949. DOI 10.1130/0016-7606(1949)60[561:DOMBIG]2.0.CO;2.
- GILLULY, J. Geologic contrasts between continents and ocean basins. **Geological Society of America Special Paper**, v. 62, p. 7-18, 1955.
- GOUDIE, A. Geomorphology: Its Early History. *In*: GREGORY, K.J.; GOUDIE, A.S (org.). **The SAGE Book of Geomorphology**. London: SAGE Publication Ltd, 2014. p. 23-35.
- GOUDIE, A.; LEWIN, J.; RICHARDS, K.; ANDERSON, M.; BURT, T.; WHALLEY, B.; WORSLET, P. **Geomorphological Techniques**. London: George Allen & Unwin, 1981. 395 p.

- GREGORY, K.J.; GOUDIE, A.S. (org.). **The SAGE Handbook of Geomorphology**. London: SAGE, 2014. 610 p.
- HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. **United States Geological Survey Professional Paper**, 294-B, p. 45-97, 1957.
- HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, v. 258A, p. 80-97, 1960.
- HACK, J. T. Dynamic Equilibrium and Landscape Evolution. *In*: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (org.). **Theories of Landform Development**. New York: State University of New York, 1975. p. 87-102.
- HARRISON, S. On reductionism and emergence in geomorphology. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 26, n. 3, p. 327-339, 2001. DOI 10.1111/1475-5661.00025.
- HIGGINS, C.G. Theories of Landscape Development: a Perspective. *In*: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (org.). **Theories of Landform Development**. New York: State University of New York, 1975.
- HILLS, E. S., 1934. Some fundamental concepts in Victorian physiography. **Proceedings of the Royal Society of Victoria**, v. 47, p. 158-174, 1934.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. DOI 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2.
- HOWARD, A.D. A detachment-limited model of drainage basin evolution. **Water Resources Research**, v. 30, n. 7, pp.2261-2285, 1994. DOI 10.1029/94WR00757.
- HUGGETT, R.J. Dissipative systems: implications for geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 13, p. 45- 49, 1988. DOI 10.1002/esp.3290130107.
- HUME, D. **A treatise of human nature**. New York, NY: Dover, 1740 (p. 1-403).
- JENNINGS, J.N.; TWIDALE, C.R., Origin and implications of the A-tent, a minor granite landform. **Australian Geographical Studies**, v. 9, n. 1, p. 41-53, 1971. DOI 10.1111/j.1467-8470.1971.tb00242.x.
- JUDSON, S.; RITTER, D.F. Rates of regional denudation in the United States. **Journal of Geophysical Research**, v. 69, n. 16, p. 3395-3401, 1964. DOI 10.1029/JZ069i016p03395.
- JUTSON, J. T. An outline of the physiographical geology (physiography) of Western Australia. **Geological Survey of Western Australia Bulletin**, v. 61, 1914.
- KANT, I. **Crítica da razão pura**. Tradução: DOS SANTOS. Lisboa, Portugal: Gulbenkian, 1985. (Original publicado em 1781).
- KENT, P.E. The transport mechanism in catastrophic rock falls. **The Journal of Geology**, v. 74, n. 1, p. 79-83, 1966. DOI 10.1086/627142.
- KING, L.C. **South African Scenery**. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1942. 308 p.
- KING, L.C. The study of the world's plainlands: a new approach in geomorphology. **Quarterly Journal of the Geological Society**, v. 106, n. 1-4, p. 101-131, 1950. DOI 10.1144/GSL.JGS.1950.106.01-04.06.

- KING, L.C., Canons of landscape evolution. **Geological Society of America Bulletin**, v. 64, n. 7, p. 721-752, 1953. DOI 10.1130/0016-7606(1953)64[721:COLE]2.0.CO;2.
- KING, L.C. **Morphology of the Earth**. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1962. 699 p.
- KIRBY, E.; WHIPPLE, K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54-75, 2012. DOI 10.1016/j.jsg.2012.07.009.
- KNOPF, E.B. Correlation of residual erosion surfaces in the eastern Appalachian Highlands. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 35, n. 3, p. 633-668, 1924.
- KOOI, H.; BEAUMONT, C. Large-scale geomorphology: Classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface processes model. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 101, n. B2, p. 3361-3386, 1996. DOI 10.1029/95JB01861.
- LAKATOS, I. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. *In*: LAKATOS, I; MUSGRAVE, A. (org.). **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge University Press, 1970. p. 170-196.
- LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. Hydraulic geometry of streams and some physiographic implications, **USGS Professional Paper**, v. 252, p. 1-57, 1953.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology**. W. H. Freeman and Co.: San Francisco, 1964. 522 p.
- MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C. (org.). **Theories of Landform Development**. New York: State University of New York, 1975.
- ORME, A.R. The Rise and Fall of the Davisian Cycle of Erosion: Prelude, Fugue, Coda, and Sequel. **Physical Geography**, v. 28, n. 6, p. 474-506, 2007. DOI 10.2747/0272-3646.28.6.474.
- OUIMET, W.B.; WHIPPLE, K.X.; GRANGER, D.E. Beyond threshold hillslopes: Channel adjustment to base-level fall in tectonically active mountain ranges. **Geology**, v. 37, n. 7, p. 579-582, 2009. DOI 10.1130/G30013A.1.
- PARTRIDGE, T.C.; MAUD, R.R. Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic. **South African Journal of Geology**, v. 90, n. 2, p. 179-208, 1987.
- PENCK, W. **Morphological analysis of landforms**: St. Martin`s Press: New York, 1953. 429 p.
- PHILLIPS, J.D. Emergence and pseudo-equilibrium in geomorphology. **Geomorphology**, v. 132, n. 3-4, p. 319-326, 2011. DOI 10.1016/j.geomorph.2011.05.017.
- PITTY, A.F. **The Nature of Geomorphology**. London: Methuen. 1982. 160 p.
- POPPER, K. **Conjectures and Refutations**. London: Routledge & Kegan Paul, 1963. 587 p.
- POWELL, J.W. Physiographic processes. *In*: **The Physiography of the United States: Ten Monographs (National Geographic Society)**. The American Book Company: New York, 1895. 344 p.
- RICHARDS, K.; CLIFFORD, N. The Nature of Explanation in Geomorphology. *In*: GREGORY, K.J.; GOUDIE, A.S. (org.). **The SAGE Book of Geomorphology**. London: SAGE Publication Ltd, 2011. p. 36-58.

- RHOADS, B.L.; THORN, C.E. Geomorphology as science: the role of theory. **Geomorphology**, v. 6, n. 4, p. 287-307, 1993. DOI 10.1016/0169-555X(93)90052-4.
- RHOADS, B.L.; THORN, C.E. The Role and Character of Theory in Geomorphology. *In*: GREGORY, K.J.; GOUDIE, A.S. (org.). **The SAGE Book of Geomorphology**. London: SAGE Publication Ltd, 2011. p. 59-77.
- SCHUMM, S. A. The disparity between present rates of denudation and orogeny. **USGS Professional Paper**, v. 454-H, 1963. p. 1-13.
- SCHUMM, S.A.; LICHTY, R.W. Time, space, and causality in geomorphology. **American Journal of Science**, v. 263. p. 110-119, 1965. DOI 10.1177/030913339702100305
- SHALER, N. S., Spacing of Rivers with Reference to the Hypothesis of Base-levelling. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 19, p. 263-276, 1899. DOI 10.1130/GSAB-10-263.
- STODDART, D.R. Darwin's impact on geography. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 56, n. 4, pp.683-698, 1966. DOI 10.1111/j.1467-8306.1966.tb00585.x
- STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952. DOI 10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2.
- SUMMERFIELD, M.A., 1991. **Global Geomorphology**. Longman: London, 1991. 479 p.
- TARR, R. S. The Peneplain. **American Geologist**, v. 21. p. 351-370, 1898.
- THOMAS, M. F. The role of etch processes in landform development. I. Etching concepts and their applications. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 33. p. 129-142, 1989a.
- THOMAS, M. F. The role of etch processes in landform development. II. Etching and the formation of relief. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 33, p. 257-274, 1989b.
- THORNBURY, W. D. **Principles of Geomorphology**. 2. ed. Wiley: New York, 1969.
- TWIDALE, C.R., On the survival of palaeoforms. **American Journal of Science**, v. 276, p. 77-95, 1976. DOI 10.2475/ajs.276.1.77.
- TWIDALE, C.R. The origin of bornhardts. **Journal of the Geological Society of Australia**, v. 27, n. 1-2, p. 195-208, 1980. DOI 10.1080/00167618008729134.
- TWIDALE, C.R. The origin and implications of some erosional landforms. **Journal of Geology**, v. 98, n. 3, p. 343-364, 1990. DOI 10.1086/629409
- TWIDALE, C.R. A model of landscape evolution involving increased and increasing relief amplitude. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 35, n. 1, p. 85- 109, 1991.
- TWIDALE, C.R. King of the plains: Lester King's contributions to geomorphology. **Geomorphology**, v. 5, p. 491-509, 1992. DOI 10.1016/0169-555X(92)90021-F.
- TWIDALE, C.R. C.H. Crickmay, a Canadian rebel. **Geomorphology**, v. 6, n. 4, p. 357-372, 1993. DOI 10.1016/0169-555X(93)90055-7.
- TWIDALE, C.R. Landforms ancient and recent: the paradox. **Geografiska Annaler**, v. 81, n. 3, p. 431-441, 1999. DOI 10.1111/1468-0459.00072.

- TWIDALE, C.R.; SVED, G. Minor granite landforms associated with the release of compressive stress. **Australian Geographical Studies**, v. 16, n. 2, p. 161-174, 1978. DOI 10.1111/j.1467-8470.1978.tb00326.x.
- TWIDALE, C.R.; LAGEAT, Y. Climatic geomorphology: a critique. **Progress in Physical Geography**, v. 18, n. 3, p. 319-334, 1994. DOI 10.1177/030913339401800302.
- TWIDALE, C.R.; VIDAL ROMANI, J.R. The Pangaeian inheritance. **Cuadernos Laboratorio Xeoloxico de Laxe**, v. 19, p. 7-36, 1994.
- TWIDALE, C.R.; CAMPBELL, E.M. Pre-Quaternary landforms in the low latitude context: the example of Australia. **Geomorphology**, v. 12, p. 17-35, 1995. DOI 10.1016/0169-555X(94)00074-2.
- WATCHMAN, A.L.; TWIDALE, C.R. Relative and 'absolute' dating of land surfaces. **Earth-Science Reviews**, v. 58, p. 1-49, 2002. DOI 10.1016/S0012-8252(01)00080-0
- WAYLAND, E.J. Peneplains and some erosional landforms. **Geological Survey of Uganda Annual Report**, v. 1, p. 77-79, 1934.
- WHIPPLE, K. X.; TUCKER, G. E. Dynamics of the stream-power incision model: implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 104, n. 17, p. 661-674, 1999. DOI 10.1029/1999JB900120.
- WHIPPLE, K. X.; TUCKER, G. E. Implications of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. B2, 2002. DOI 10.1029/2000JB000044.
- WILLIS, B. East African plateaus and rift valleys. **Studies in Comparative Seismology**. Washington, DC: Carnegie Institute, 1936.
- WOOD, A. The development of hillside slopes, Proceedings of the Geologists' Association, v. 53, p. 128-138, 1942.
- YOUNG, A. **Slopes**. In: CLAYTON, K.M. (org.). London: Longman, 1972. 288 p.
- YOUNG, R.W. The tempo of geomorphological change: evidence from southeastern Australia. **Journal of Geology**, v. 91, p. 221-230, 1983. DOI 10.1086/628758.