

GEOMORFOLOGIA E DOBRAMENTOS DE FUNDO. HOMÓLOGOS ENTRE BRASIL E ÁFRICA DO SUL

Data de submissão: 16/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Roberto José Hezer Moreira Vervloet

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA
Vitória, Espírito Santo.

<http://lattes.cnpq.br/7092270850313289>

RESUMO: O artigo procura evidenciar a associação de compartimentos geomorfológicos condicionados por sistemas de dobramentos em duas regiões distintas geograficamente, mas com similaridades no que diz respeito à evolução geomórfica da paisagem: o Planalto Atlântico Capixaba, no Brasil, e o Planalto do Karoo, na África do Sul. Comparando a compartimentação morfológica desses dois planaltos é demonstrado como eles estão associados a sistemas de cinturões de dobras que condicionam a evolução de seus terrenos, controlando a evolução fluvial dos Knickpoints e a incisão da drenagem. Deste modo, discute também as zonas de seccionamento fluvial e de como as dobras condicionam de forma litoestrutural a evolução hidrogeomórfica da paisagem, com mecanismos que são muito similares no processo de evolução, mesmo estando em áreas distintas. As características da

compartimentação geomorfológica e os níveis altimétricos do relevo, controlados pelos elementos presentes nas dobras e falhas, também serão apresentados, possibilitando formular uma interpretação geomórfica condizente com a relação relevo – litoestrutura.

PALAVRAS-CHAVE: relevo, tectônica, drenagem, dobras e falhas.

GEOMORPHOLOGY AND FOLDING BELTS. COUNTERPARTS BETWEEN BRAZIL AND SOUTH AFRICA

ABSTRACT: The paper seeks to highlight the association of geomorphological compartments conditioned by folding systems in two geographically distinct regions, but with similarities with regard to the geomorphic evolution of the landscape: the Planalto Atlântico Capixaba, in Brazil, and the Planalto do Karoo, in South Africa. Comparing the morphological compartmentalization of these two plateaus shows how they are associated with fold belt systems that condition the evolution of their terrain, controlling the fluvial evolution of the Knickpoints and the drainage incision. In this way, it also discusses the river sectioning zones and how the folds lithostructurally

condition the hydrogeomorphic evolution of the landscape, with mechanisms that are very similar in the evolution process, even though they are in different areas. The characteristics of the geomorphological compartmentation and the altimetric levels of the landforms, controlled by the elements present in the folds and faults, will also be presented, making it possible to formulate a geomorphic interpretation consistent with the landforms – lithostructure relationship.

KEYWORDS: landforms, tectonics, drainage, folds and faults.

INTRODUÇÃO

Cinturões de dobramentos são porções da crosta terrestre caracterizados por grandes eixos de dobras de escala continental, subcontinental e local atingindo estruturas do embasamento dos continentes e de conjuntos de rochas regionais. São, dessa forma, os principais elementos que respondem pelas características de sistemas orogênicos instalados nas bordas de terrenos cratônicos (CONDIE, 1982; HASUY; SENA COSTA, 1990; OLSEN, 1995; FRISCH; MESCHEDÉ; BLAKEY, 2011; KEAREY; KLEPEIS; VINE, 2014; VERVLOET, 2015).

Sobre terrenos em que o relevo é sustentado por litoestruturas situadas em cinturões de dobras, a evolução geomórfica da paisagem ocorre de forma muito peculiar, com mecanismos específicos em que a compartimentação e a organização tectônica das rochas precisam ser especialmente consideradas (ALMEIDA, 1964; AB'SÁBER, 1964; AB'SÁBER, 2001; VERVLOET, 2009; 2013; 2014; 2021). Os relevos aí resultantes são de configuração muito característica, com paisagens portadoras de uma cenicidade que responde por um modelado dotado de marcantes silhuetas na geometria que caracteriza esses terrenos.

Seja em zonas de clima úmido, semiárido ou subúmido, a especificidade dos mecanismos que respondem pela evolução dos relevos presentes em cinturões de dobras, vai estar fortemente relacionada ao condicionamento litoestrutural e litotectônico das estruturas rochosas que sustentam esses relevos (KING, 1962; HACK, 1973; SUMMERFIELD, 2013; KEAREY; KLEPEIS; VINE, 2014).

Neste sentido é perfeitamente possível comparar e estudar relevos em cinturões de dobras presentes em zonas de climas distintos e condições geológico-geomorfológicas de continentes separados, identificando os mecanismos de atuação comum nessa evolução geomórfica.

É a partir deste contexto que este artigo procura apresentar estudo de comparação entre compartimentos geomórfico-estruturais na porção meridional da África do Sul, denominado de Planalto do karoo, e fachada atlântica do Brasil, no Planalto Atlântico Capixaba, associando processos geomorfológicos comuns a estes compartimentos.

Essas duas regiões possuem cinturões de dobras de fundo que condicionam a evolução de compartimentos regionais de relevo, sendo de suma importância investigar os processos geomórficos relacionados à associação entre relevo e organização

litoestrutural presente na supra superfície. Especificamente, serão evidenciados como as dobras condicionam litoestruturalmente a evolução hidrogeomórfica dos terrenos, com mecanismos muito similares no processo de evolução, mesmo estando em áreas distintas. As características da compartimentação geomorfológica e os níveis altimétricos do relevo, controlados pelos elementos presentes nas dobras e falhas, também serão apresentados, possibilitando uma interpretação geomórfica condizente com a relação relevo – litoestrutura.

LOCALIZAÇÃO, CLIMA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DOIS PLANALTOS EM ESTUDO

As duas regiões em estudo possuem as seguintes localizações: Região Serrana do Espírito Santo, sendo aqui denominada de Planalto Atlântico Capixaba, ocupando a porção central deste Estado e sua margem leste, estando situada entre as coordenadas geográficas 20°24'0" de Latitude Sul e 40°48'0" de Longitude Oeste (localização na fig.01). A outra região é o Planalto do karoo e o Cinturão de Dobras Cape (CDC), localizada na Província de Western Cape, na África do Sul, nas coordenadas 33°0'0" de Latitude Sul e 23°0'0" de Longitude Leste (localização na fig. 05).

Em termos climáticos, segundo Grab e Knight (2015, p. 06), grande parte da África do Sul, em especial o Planalto do Karoo, apresenta clima tropical sazonal, com chuvas de verão de novembro a março (temperatura média de 20° a 22° graus) e estação seca de maio a setembro (temperatura média de 10° a 12° graus). Os verões são quentes e úmidos, ao longo da costa leste e sul, e secos e muito quentes nas regiões oeste e norte. As chuvas estão principalmente associadas aos sistemas tropicais-temperados e fluxos de ar tropical de leste sobre o interior. Um sistema de alta pressão domina o interior durante o inverno (junho a agosto), resultando em condições frias e secas. A média de chuva na costa sul é de 250 a 500 mm por ano, e na porção interior no Planalto do karoo é de 100 a 250 mm. Portanto, clima semiárido.

Já o Planalto Atlântico Capixaba, de acordo com Vervloet (2015, p. 42), vai apresentar precipitações com significativos gradientes, sendo de 1.100 mm na região litorânea e 1.800 mm na parte interior, no topo do planalto. Os verões também são quentes e úmidos, com invernos mais secos. Os principais sistemas meteorológicos atuantes são os Sistemas de Circulação de Sul (FPA – Frente Polar Atlântica), atuantes nos meses de outubro a março; Sistemas de Circulação de W, atuantes nos meses de novembro a janeiro, mas de efeito secundário e Sistemas de Circulação de E, atuando nos meses de maio a junho, associadas a anticiclones, constituindo pseudofrentes. A temperatura varia conforme o clima tropical sazonal, tendo uma média mensal de 28° nos meses de dezembro a fevereiro e 22° de junho a agosto.

As duas regiões possuem importante relevância econômica para seus respectivos países, tanto para a África do Sul quanto para o Estado do Espírito Santo. Pois, tanto a

província de Western Cape (Planalto do Karoo) quanto o Planalto Atlântico Capixaba, a atividade econômica predominante é a agricultura e pecuária. No caso da África do Sul, em Western Cape ocorrem as principais vinícolas para produção de vinho e pecuária sul-africana, sendo uma das poucas regiões desse país onde é permitida a pecuária extensiva, inclusive devido às questões de relevo e clima. Há forte atividade turística crescente, principalmente em Cape Town. No caso do Espírito Santo, a região do Planalto Atlântico possui forte tradição na produção de hortaliças, café e avicultura, além da crescente atividade agroturística nos últimos anos. É nessa região que se encontra um dos principais polos de produção de carne de aves do Brasil.

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.

O processo investigativo desta pesquisa baseou-se no método da associação e indeterminação geomorfológica de Leopold e Langbein (1970), acompanhado de procedimentos técnicos de cartografia geomorfológica, geológica, tectônica, construção de perfis geológicos e dados de trabalhos de campo.

Este método consiste em um tipo de lógica científica, baseada numa construção argumentativa de raciocínio, a partir da associação de diferentes fatos geomórficos cartografados e compilados. Para se conduzir a linha de raciocínio e os argumentos associados realizou-se compilação de informações sobre os fatos geomórficos investigados, através de procedimentos técnicos de cartografia geomorfológica, geológica, tectônica e dados de trabalhos de campo.

Desta forma, foram realizados os seguintes procedimentos técnico-operacionais:

- 1 – Cartografia litológica e tectônica das duas regiões, elaborando mapas de unidades litológicas e tectônicas, compilando informações sobre a organização litoestrutural e litotectônica das estruturas (principais falhas, sistemas de dobras e lineamentos estruturais);
- 2 – Análise geomorfológica das duas regiões por meio da cartografia geomorfológica com mapas de províncias geomorfológicas, conforme metodologia de Grab e Knight (2015), onde foi possível obter informações sobre a compartimentação morfológica, grupos de macroformas de relevo, feições geomórficas lineares e feições fluviais em escala adequada;
- 3 – Elaboração de perfis topográficos e geológicos conforme procedimento de Nadalin e Nadalin (2016), associando características litoestruturais e litotectônicas, elementos de dobras e sistemas de falhas no controle dos grupos de formas e redes de drenagem em evolução, distribuídos ao longo das duas regiões e
- 4 – Trabalhos de campo, onde procurou-se corrigir e fazer controle dos fatos geomórficos cartografados e averiguar *in loco* os possíveis elementos litoestruturais e litotectônicos que atuam condicionando os grupos de formas de relevo e as respectivas redes de drenagem.

Para tal foram utilizados imagens de satélite SRTM, com resolução espacial de 30 metros, do site da NASA; imagens MDT (Modelo Digital de Terreno) do Instituto

Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo - IEMA, ano de 2015, com resolução espacial de 2 metros; fotografias aéreas com resolução espacial de 0,50 centímetros também do IEMA, ano de 2015 e imagens de satélite ALOS – PALSAR, com resolução espacial de 30 metros. Técnicas de interpretação geológica de fotografias aéreas e imagens de satélite, conforme Nadalin e Nadalin (2016), além de estereoscopia também foram utilizadas.

Ao longo deste processo investigativo as informações geomórficas, litoestruturais e litotectônicas foram cartografadas e compiladas com o objetivo de se fazer a associação de fatos e processos geomorfológicos, descobrindo quais os fatores estruturais e morfológicos que atuam na evolução da drenagem, resultando na síntese conclusiva sobre os mecanismos atuantes na evolução fluvial da paisagem e os processos comuns existentes.

RESULTADOS

Geologia e tectônica da porção meridional da África do Sul

A tectônica responsável pela organização das estruturas litológicas e tectônicas dobradas nessa porção da África do Sul é complexa, porém, consensualmente associada à aglutinação do supercontinente Gondwana sul e eventos tectônicos posteriores (JOHNSON et al. 2009; TANKARD et al. 2009; FINDLEY III, 2016).

Os processos responsáveis por essa aglutinação tiveram origem no Cambriano-Ordoviciano (começando há cerca de 510 milhões de anos e terminando há cerca de 350-330 milhões de anos) estendendo-se até o final do Jurássico, quando se iniciou a formação do Atlântico Sul (CLOETINGH et al. 1992; HÄLBICH et al. 1993). Neste sentido, o Cinturão de Dobras Cape, (CDC) seria um cinturão dobrado orogênico, gerado em colisão oblíqua de terrenos empilhados, com lascas de cavalgamento e falhas inversas de massas continentais que se chocaram do final do Paleozóico ao início do Cretáceo.

Segundo Tankard et al. (2009) e Johnson et al. (2009), durante a chamada Orogenia Saldaniana, no final do Cambriano, um espesso pacote de sedimentos foi depositado numa bacia oceânica derivada da separação de dois blocos continentais: o bloco da África ao norte, pertencente a placa Africana e o Platô das Malvinas ao sul, inserido na placa oceânica do Paleo-Pacífico. Ambos eram divergentes e responderam pela formação dessa bacia oceânica (proto-oceano), formada ao sul de Gondwana (local da região em estudo).

Nesta bacia foi depositado esse espesso pacote de sedimentos, de cerca de 8 km de espessura (TANKARD, et al. 2009), que responde pelas rochas sedimentares do Supergrupo Cape, distribuídas por todos os quadrantes meridionais da África do Sul, como podemos ver no mapa de unidades litológicas (fig. 01).

O Supergrupo Cape, formando por argilitos, arenitos e quartzitos da unidade Table Mountain e Bokkeveld (TANKARD, et al. 1982; VILJOEN; REILMOND, 1999) preencheu grande parte desta bacia oceânica, sendo que o seu fechamento, no final do Carbonífero,

a 330 milhões de anos, resultou no desenvolvimento de uma zona de subducção, ao longo da margem sul de Gondwana, e o deslocamento do Platô das Malvinas de volta à África, durante o Carbonífero e o início do Permiano (FINDLAY III, 2016).

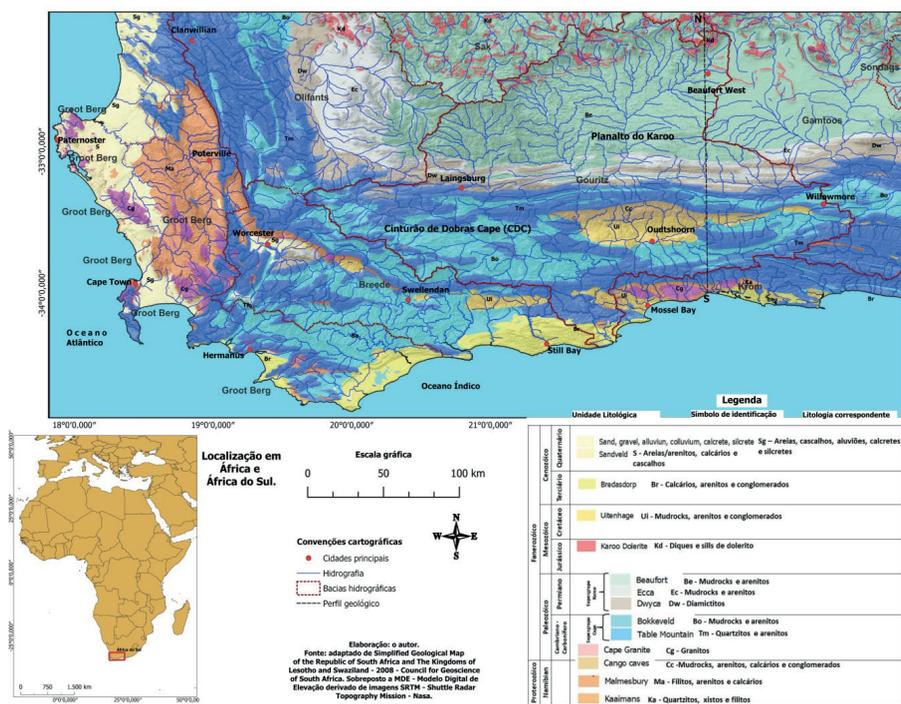


Fig. (01). Mapa de unidades litológicas e de localização da região em estudo. Elaboração: o autor.

Após o fechamento dessa grande bacia, instala-se uma tectônica de compressão de componente cisalhante que responde pela gênese de um sistema de dobramento sobre as rochas do Supergrupo Cape (PATON; UNDERHILL, 2004). Forma-se uma série de dobras e falhas paralelas, correndo principalmente de leste a oeste (com uma pequena seção de norte a sul e oeste, devido à colisão com a Patagônia que se move para leste). A contínua subducção da placa Paleo-Pacífica sob o Planalto das Malvinas e a resultante colisão deste último com a África Austral, levantou uma cordilheira de imensas proporções ao sul da antiga bacia, sendo que os quartzitos dobrados desse supergrupo sustentavam essa imponente cordilheira leste-oeste erodida posteriormente (MARÉ, et al., 2014; BORDY; HEAD; RUNDS, 2016).

O peso das rochas do Supergrupo Cape fez com que a crosta continental da África austral entrasse em processo de subsidência, formando um sistema retroarco *foreland*, no qual as rochas do Supergrupo Karoo foram depositadas, formadas por arenitos, diamictitos e argilitos. Eventualmente, grande parte do Supergrupo Cape ficou enterrada

sob esses depósitos do Supergrupo Karoo, vindo a aflorar no final do Jurássico Superior, após longo processo erosivo de exumação (KOUNOV, et al. 2007). Um hiato proeminente representando o intervalo de 330–302 milhões de anos separa o Supergrupo Cape do Supergrupo Karoo do Permiano ao Jurássico Inferior.

Portanto, o desenvolvimento do CDC é convencionalmente datado do intervalo 278–230 milhões de anos por Newton et al. (2009). Todavia, Tankard et al. (2009) sugerem que a iniciação é melhor representada por um hiato dentro da unidade Beaufort do Supergrupo Karoo, em cerca de 250 milhões de anos, com tectonismo estendendo-se até o final do Triássico.

Resumidamente esta porção da África do Sul é formada por rochas do Proterozóico compostas por quartzitos, xistos e filitos da Unidade kaaimans; filitos, arenitos e calcários da unidade Malmesbury; argilitos, arenitos, calcários e conglomerados da Unidade Cango Caves; rochas do Cambriano-Carbonífero, granitos Cape, quartzitos, argilitos e arenitos do Supergrupo Cape; do Permiano, argilitos, diamictitos e arenitos do Supergrupo karoo; do Jurássico, diques e sills de dolerito karoo; do Cretáceo, argilitos, arenitos e conglomerados do Uitenhage; do Terciário, calcários, arenitos e conglomerados do Bredasdorp e sedimentos Quaternários por areias, arenitos, calcários, silcretes e cascalhos (COUNCIL FOR GEOSCIENCE, 2008).

Em termos tectônicos o grande destaque são as dobras e falhas inversas do CDC, dispostos no sentido leste-oeste, com forte inflexão para norte na região de Worcester, mapa da fig. (02), notadas de forma muito visível em imagens de satélite.

As dobras e falhas ocorrem na forma de um verdadeiro sistema, parecendo terem continuidade por debaixo dos sedimentos que sustentam o Planalto do Karoo. Fato que levou Both (2002; 2011) a defender a hipótese de que as falhas inversas dessa região se formaram previamente, durante e após o dobramento. Segundo este autor a orientação do plano axial no sentido E-SO e a predominante vergência para norte indicaria que elas foram formadas por um evento de compressão N-NE, durante a orogenia Cape, sendo dobras profundas que atingiram todas as camadas da pretérita bacia, como demonstra os estudos sísmicos de Bräuer et. al. (2007).

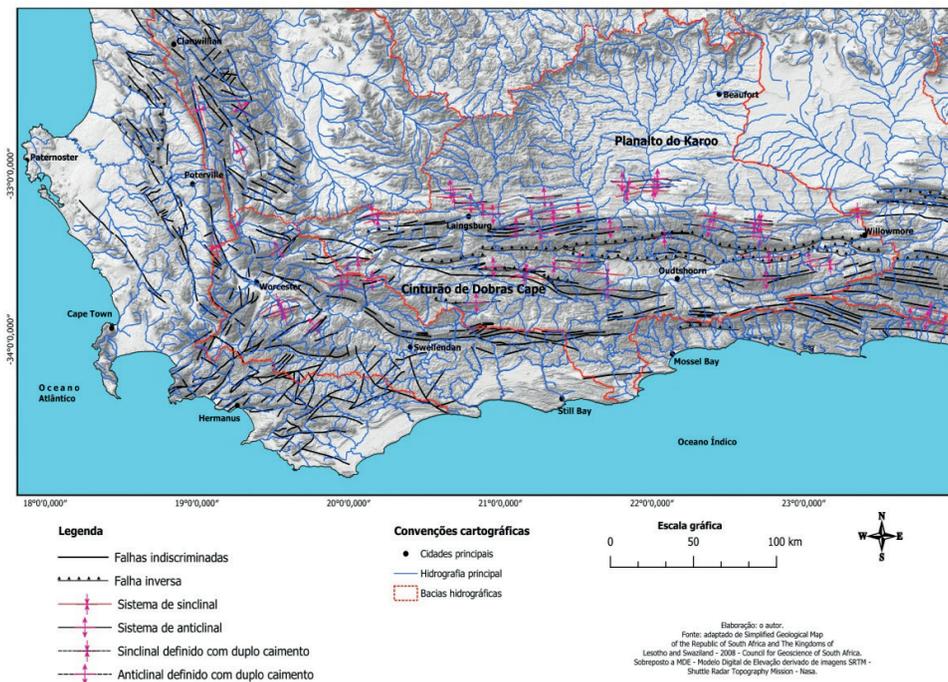


Fig. (02). Mapa tectônico da porção meridional da África do Sul. Elaboração: o autor.

Fagereng (2012) e Killick (2016) chamam atenção sobre a relação entre as falhas e as dobras na sua disposição espacial, embora com peculiaridades relacionadas a fatores que governaram essa distribuição, estando fortemente dependentes da competência das camadas, condições de pressão dos fluidos, taxa de deformação e relativa viscosidade.

Pelo mapa tectônico da fig. (02) nota-se que tanto as dobras quanto as falhas indiscriminadas e inversas ocorrem de forma sistêmica, condicionando fortemente o alinhamento do relevo e a dinâmica de dissecação da drenagem. Fato que será tratado adiante.

Dobras de fundo e compartimentação geomorfológica da África do Sul meridional

O relevo da porção meridional da África do Sul apresenta características distintas que possibilitam uma compartimentação peculiar. Trata-se de planaltos escalonados, com altitudes de 200 a 300 metros na parte costeira, seguidos por planaltos intermontanos de 300 e 400 metros de altitude, situados entre o Cinturão de Dobras Cape (CDC) e serras alinhadas desse sistema. Pela fig. (03) nota-se o Planalto do karoo, posicionado entre 600 e 900 metros de altitude, embutido entre este cinturão de dobras e a Grande Escarpa, acima de 1.000 metros, com variações que ocorrem devido aos sistemas de drenagem que o dissecam na direção N-S (KING, 1951).

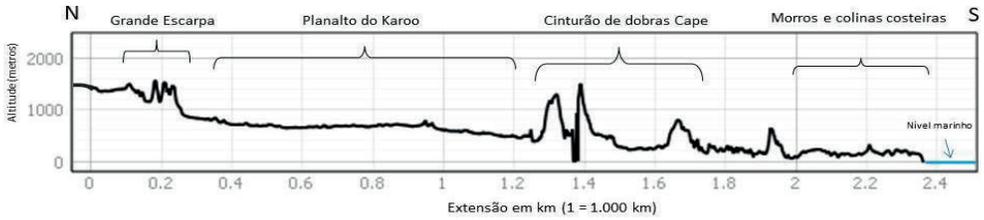


Fig. (03). Perfil topográfico N-S da porção meridional da África do Sul. Para localização vide fig. (04).
Elaboração: o autor.

Essa configuração de compartimentos geomorfológicos de escala macro é a grande característica dessa porção da África do Sul, muito bem visualizada nas imagens de satélite. Autores como Ollier e Marker (1985) descrevem as principais feições da África austral como um planalto delimitado pela Grande Escarpa e feições erosivas recentes situadas entre a costa e as escarpas do CDC.

Do mesmo modo, pesquisadores como King (1967, 1972) e Patridge e Maud (1987), historicamente, sempre enfatizaram a natureza escalonada desses planaltos, e a presença de superfícies planas em diferentes níveis dentro da região que teria supostamente sido elevada. O momento em que teria havido o soerguimento desse planalto é assunto de forte controvérsia e debate, com estimativas variando do Cretáceo Inferior ou anterior ao Plioceno (GREEN, et al. 2009; GREEN et al., 2017).

De outro lado, há autores como Kounov et al. (2014) e Bierman et al. (2014), que apresentam evidências substanciais de estabilidade tectônica relativa e baixa taxa de erosão prevalentes em toda porção austral da África do Sul, durante o Cenozóico, inclusive sem reativação de falhas. Para esses autores a topografia atual, em grande parte, seria herdada do Cretáceo, sendo ligeiramente esculpida por desnudamento durante esse período. Interpretação que é a mesma de Green et al. (2009) e Green et al. (2017), para quem as grandes escarpas situadas além do Planalto do Karoo teriam sido elaboradas depois da ruptura do Gondwana, sendo provenientes de erosão prevalente no final do Paleógeno e início do Neógeno (Oligoceno).

Como podemos observar do perfil topográfico da fig. (03), o Planalto do karoo é uma superfície embutida sustentada pelo sistema de montanhas em rochas dobradas do CDC denominadas, regionalmente, de Serra e Montanhas Swartberg (GRAB; KNIGHT, 2015).

Em termos de evolução geomórfica da paisagem nos interessa três províncias geomorfológicas para análise: o Planalto Sul do Karoo (Psk), o Planalto de Roggeveld karoo (Prk) e as Serras Dobradas Cape Central (Sdcc), podendo ser visualizadas pelo mapa de províncias geomorfológicas da fig. (04).

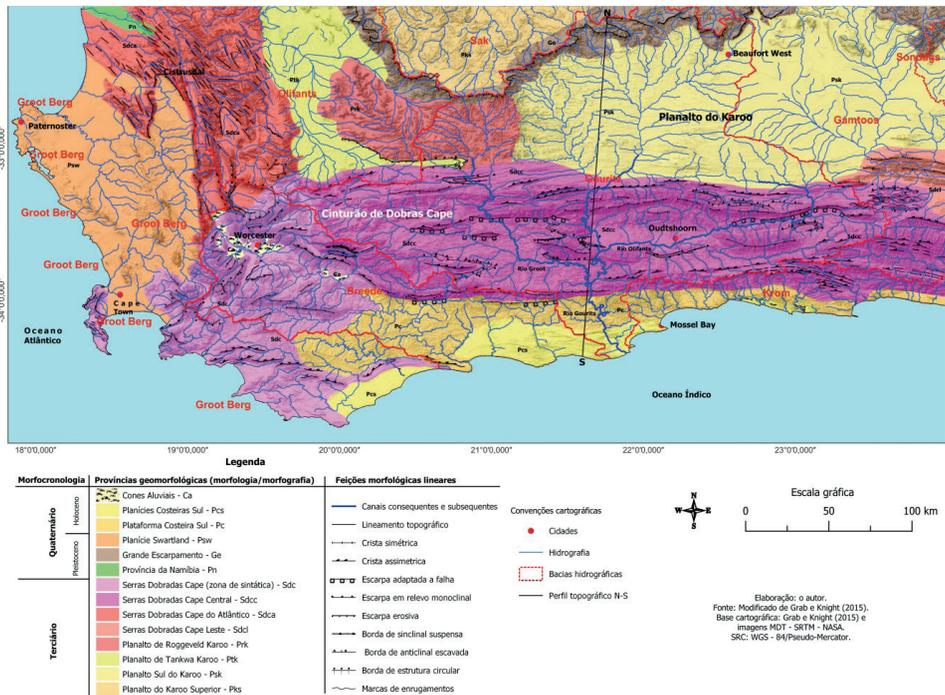


Fig. (04). Mapa de províncias geomorfológicas da porção austral da África do Sul. Elaboração: o autor.

Nossa tese é a de que o Planalto do Karoo e o do Roggeveld Karoo são superfícies embutidas que devem a sua existência a evolução geomórfica de sistemas de knickpoints da bacia do Rio Gourits, sobre rochas dobradas que condicionam uma evolução muito particular, análoga ao que Vervloet (2014, 2015; 2021) vem estudando na Região Serrana do Espírito Santo. Tal interpretação também havia sido utilizada por Oldknow e Hooke (2017) para explicar os processos de incisão fluvial do Rio Wilgerbosch mais ao leste da área em estudo.

Destaque deve ser dado, como pode ser observado neste mapa, ao Rio Gourits, no seu processo consequente ao romper os alinhamentos de serras dobradas leste-oeste do CDC e aos rios Groot e Olifants que possuem característica fortemente subsequente, encaixados em sinclinais dispostas neste alinhamento.

As outras províncias geomorfológicas que ocorrem na área e possuem compartimentação dependente desse sistema de evolução são as Planícies Costeiras do Sul (Pcs), Plataformas Costeiras (Pc), Grande Escarpamento (Ge) e o Planalto do Karoo Superior (Pks).

Geologia e tectônica da Região Serrana do Espírito Santo

O Espírito Santo está situado dentro dos domínios da Província Mantiqueira, unidade geotectônica Pré-Cambriana complexa definida por Almeida (1977, 1981), que se estende do centro leste da Bahia até o sul do país, delineando uma grande faixa de orientação NE-SO. Essa província configura-se como um sistema orogênico neoproterozóico-cambriano de natureza essencialmente diacrônica que engloba todo o conjunto de colagens responsáveis pela estruturação do embasamento da Plataforma Sul-Americana (BRITO-NEVES, 1999).

O período temporal que compreende a formação da Província Mantiqueira configura um lapso de tempo que teve início a 880 m.a. (Neoproterozóico) e término próximo de 480 m.a. (final do Cambriano), durante a Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana (Orogênese Brasileira). Essa orogenia teve como resultante a amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental, na passagem para o período Cambriano (BRITO-NEVES, 1999), (HEILBRON, et. al. 2004), (HASUY, et al., 2012).

A Província Mantiqueira é um sistema orogênico subdividido em vários orógenos, com base em critérios geotectônicos e estudos geocronológicos. Estes orógenos são denominados de Orógeno Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, segundo a proposta de compartimentação tectônica de Heilbron et. al. (2004).

O Planalto Atlântico Capixaba situa-se na transição entre os domínios do Orógeno Araçuaí e Ribeira, pois a percepção de uma zona de tectônica de conexão entre esses dois orógenos na região é bem evidente, como faz saber o trabalho de Karniol e Machado (2010).

Não há um consenso na literatura sobre a origem geotectônica dos orógenos Araçuaí e Ribeira. Para alguns autores eles seriam derivados de modelo baseado na orogenia intracontinental de alta pressão e temperatura por empilhamento de terrenos, com domínios distintos de metamorfismo (VAUCHEZ, et al. 2007; FOSSEN; CAVALCANTE; DE ALMEIDA, 2017; CAVALCANTE, et. al. 2019; MEIRA et al. 2019; MEIRA, et al. 2020; FOSSEN, et al. 2020). De outro lado, há autores para o qual eles seriam provenientes de uma geotectônica típica de sistema orogênico de colisão-subducção, com arco magmático e bacia oceânica confinada (PEDROSA-SOARES, et al. 2001; HEILBRON, et al., 2004; RICHTER, et al. 2016; HEILBRON; VALERIANO, 2019; PEDROSA-SOARES et al. 2020; CAXITO, et al. 2022; FONSECA, et al. 2023).

De certa forma as duas linhas de pesquisa concordam com o fato de que há uma geotectônica responsável pela formação de um sistema orogênico que, a despeito de não ser consensual a sua origem, houve formação de grandes eixos de dobras NE-SO, NNE-SSO e NNW-SSE.

As falhas inversas, zonas de cisalhamento e eixos alinhados de dobras atestam a origem orogênica das rochas que sustentam esse planalto de caráter residual visto nas imagens de satélite e MDT.

Essa orogenia seria responsável por uma organização litotectônica fundada na formação de núcleos de rochas anfíbolíticas e granulíticas que sustentam sistema de Knickpoints por onde os rios criaram níveis de base, condicionando a evolução do relevo.

As rochas mais antigas na região são os litotipos do Grupo São Fidelis (gnaisses e quartzitos) e Italva (ortognaisses e gnaisses leucocráticos), seguido pelas rochas do Complexo Nova Venécia (gnaisses e paragnaisses) que possuem a maior expressão espacial, conforme mapa da fig. (05).

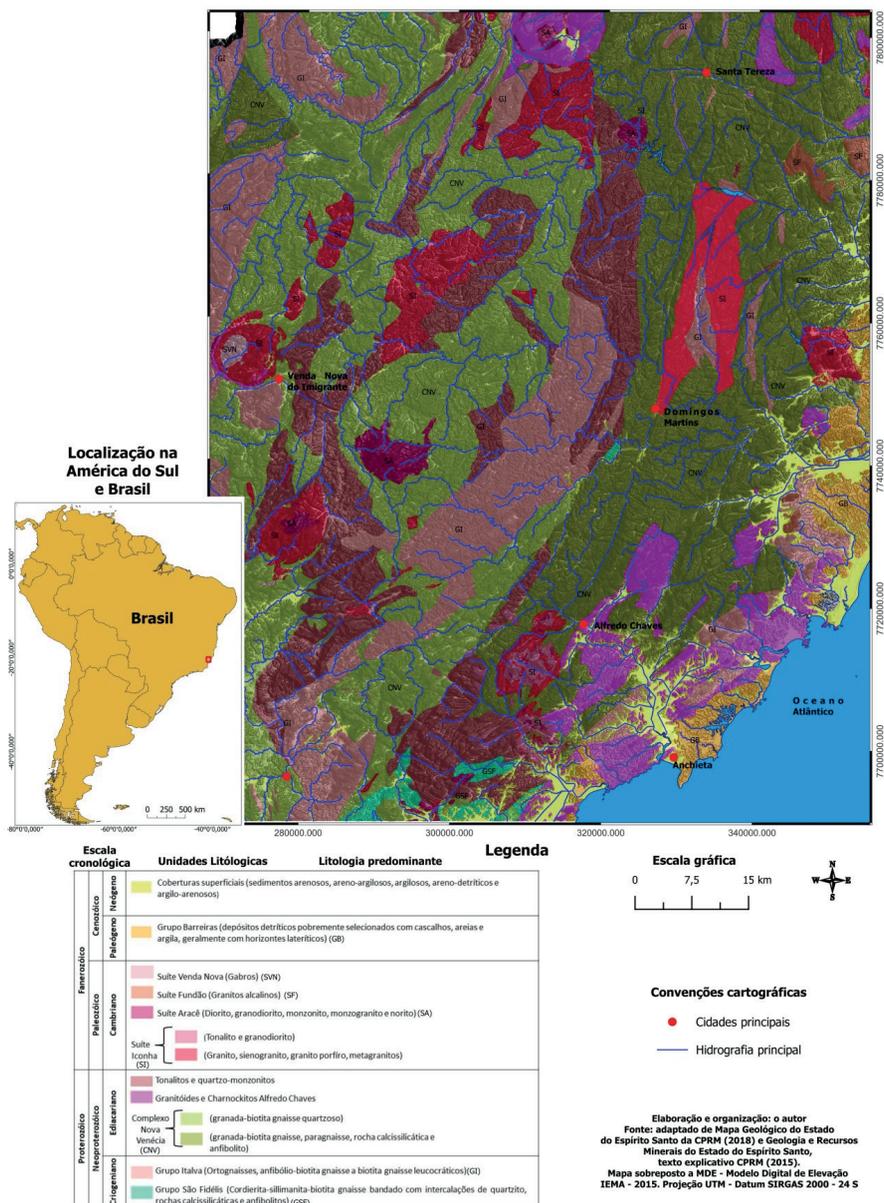


Fig. (05). Mapa de unidades litológicas e de localização geográfica do Planalto Atlântico Capixaba. Elaboração: o autor.

De idade mais recente ocorrem os granitoides Alfredo Chaves e as suítes intrusivas Iconha, Aracê, Fundão e Venda Nova. Essas suítes são compostas, em grande parte, por granitos, monzonitos, dioritos, granodioritos metagranitos, gabros e granitos pórfiros (VIEIRA; MENEZES, 2015).

No Planalto Atlântico Capixaba a configuração tectônica acompanha fielmente a complexidade litológica fig. (06).

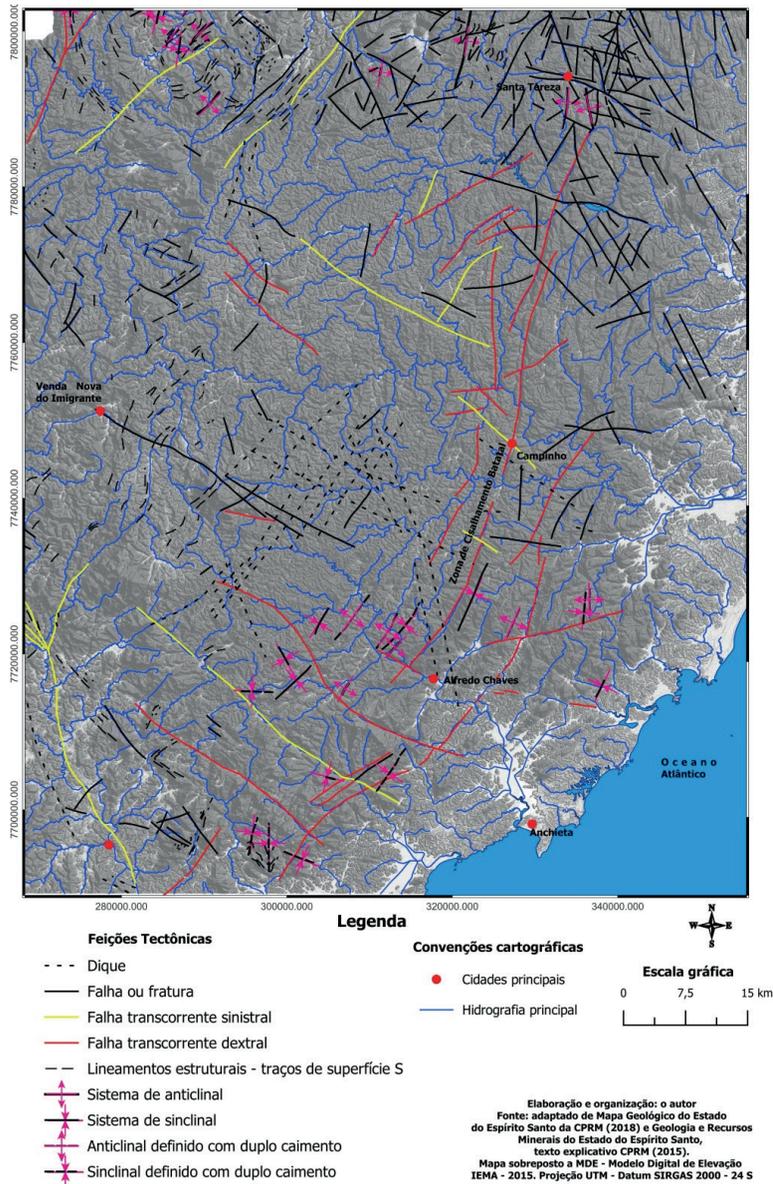


Fig. (06). Mapa tectônico do Planalto Atlântico Capixaba. Elaboração: o autor.

Sistemas de anticlinais e sinclinais ocorrem ao longo de toda a fachada leste do planalto, junto a falhas transcorrentes dextrais e sinistrais. Zonas de cisalhamento que possuem expressão regional cortam o planalto em todo o sentido N-S (FONSECA, et al. 2023).

Sistemas de falhas NW-SE cortam o planalto em diversos quadrantes. Uma falha de expressão regional, aqui denominada de Falha do Batatal e em zona de cisalhamento, ocorre no sentido N-S, saindo de Alfredo Chaves até as imediações de Santa Tereza, denominada de (VIEIRA; MENEZES, 2015).

Esses sistemas contribuem para uma relação compartimentação morfológica e tectônica que demarca as zonas de maior dissecação da superfície, sustentando formas de relevo escarpadas perfeitamente coincidentes com as falhas e eixos de dobras. De certa forma, chama atenção também, o sentido da drenagem E-W, cortando todas essas estruturas tectônicas, rompendo, em diversos setores, o nítido controle estrutural tectônico. Fato que levou Vervloet (2015) a defender a hipótese de que para tal processo ocorrer deveria haver num determinado período de tempo, o suprimento de carga do leito do tipo arenosa constante, para que os rios erodissem, por abrasão fluvial, a resistência das rochas.

Dobras de fundo e compartimentação geomorfológica do Planalto Atlântico Capixaba

Em termos de compartimentação geomorfológica o planalto capixaba possui características que vão ser parecidas com o que ocorre no Planalto do Karoo, ou seja, um peculiar escalonamento associado à maneira como se dispõe os sistemas de dobras, falhas e escarpas circundantes, condicionando fortemente os compartimentos de relevo.

Pelo mapa da fig. (07) é possível observar a principal província geomorfológica desse planalto, denominado aqui de Planalto Escalonado, segundo a metodologia de Grab e Knight (2015).

O caráter escalonado desse planalto é característico de um grande compartimento de relevo (fig. 08), sustentado por sistemas de Knickpoints que controlam a dissecação fluvial em todos os seus quadrantes. É circundado pelas Escarpas Contínuas e Fragmentadas, estando essa mais sujeita a erosão na fachada leste do planalto, ao passo que a outra possui maior solução de continuidade, na porção oeste e sul. Daí sua morfografia ser denominada de contínua, devido a sua peculiaridade marcante de possuir menores incisões fluviais, respondendo por maior uniformidade morfológica.

Trata-se, portanto, de um bloco rochoso resistente a erosão que é protegido pelos eixos de dobras e sistemas de falhas, atuantes no controle evolutivo dos knickpoints (VERVLOET, 2009; 2014; 2015; 2021).

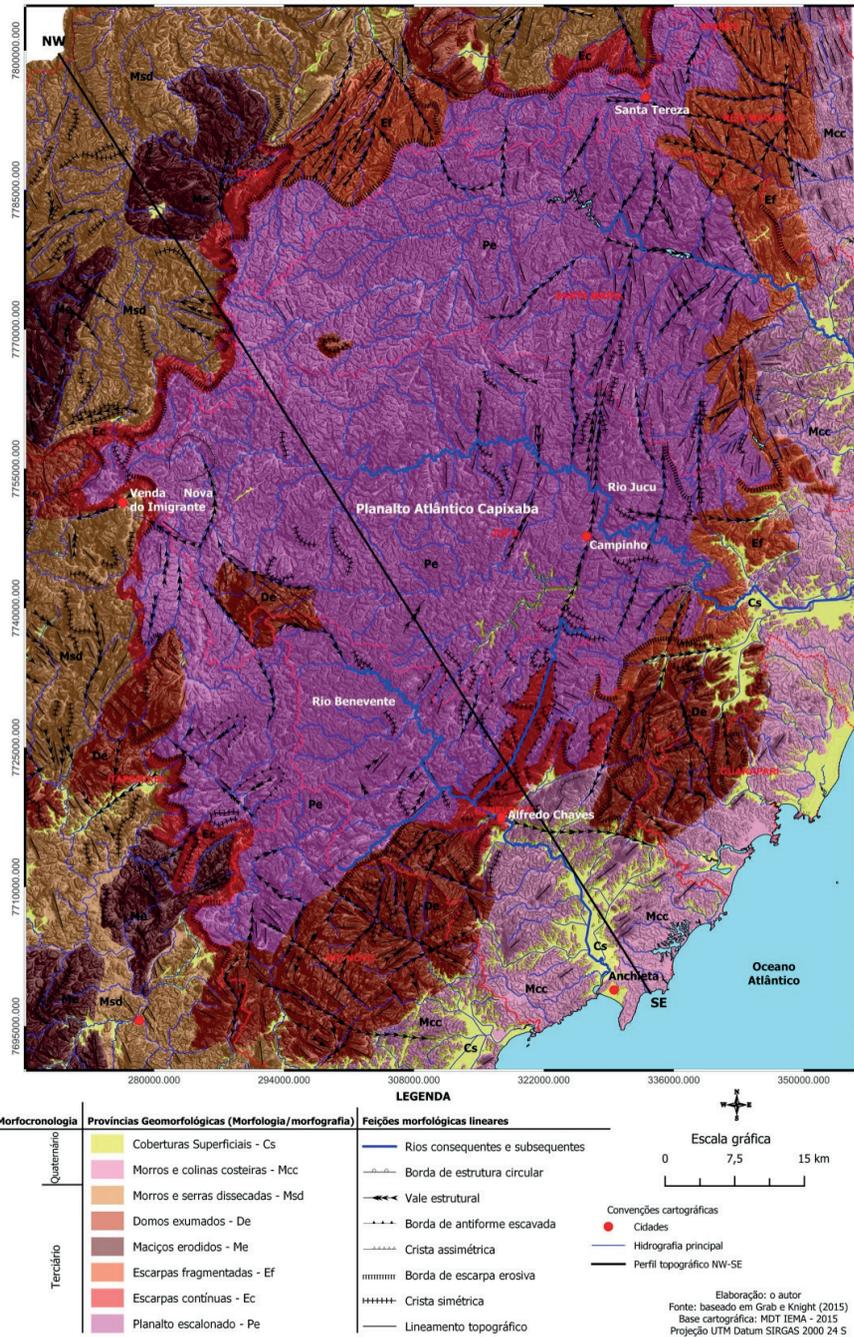


Fig. (07). Mapa de Provincias Geomorfológicas do Planalto Atlântico Capixaba. Elaboração: o autor.

Os níveis altimétricos são escalonados, estando o topo do planalto entre 800 e 1.000 metros de altitude, com desníveis relacionados a setores de vales rebaixados pela drenagem que não fica abaixo dos 800 metros. Em contrapartida, sua face leste é nitidamente compartimentada, com morros e colinas abaixo dos 200 metros de altitude, interpenetrada, em diversos setores, pelas planícies fluvio marinhas e costeiras.

Já na face oeste, os Morros e Serras Dissecadas situam-se entre altimetrias muito variadas, não sendo possível caracterizar uma uniformidade, embora no perfil topográfico é possível visualizar seu caráter também embutido, como ocorre com o Planalto do karoo, compartimentado entre as montanhas Swartberg e a grande escarpa sul africana.

De outro lado temos os compartimentos mais rebaixados tais como os Morros e Serras Dissecadas e os Maciços Erodidos, como terrenos em que a erosão vem atuando de forma mais intensa, onde as incisões fluviais dinamicamente foram mais pronunciadas.

Os grandes Domos Erodidos e os Morros e Colinas Costeiras completam o conjunto integrado de províncias geomorfológicas que caracterizam o Planalto Atlântico Capixaba, circundado toda a sua fachada leste, contribuindo pela sua grande expressão regional.

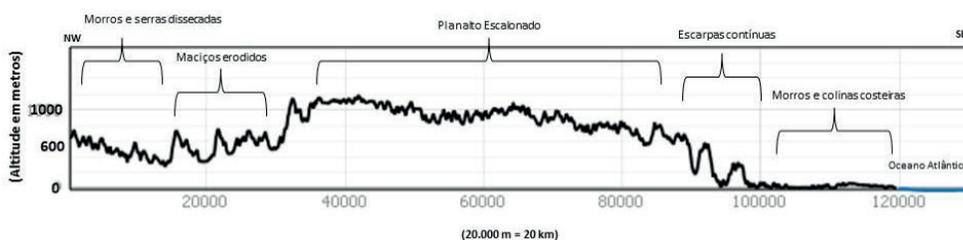


Fig. (08). Perfil topográfico NW-SE do Planalto Atlântico Capixaba. Localização vide fig. (07).
Elaboração: o autor.

São morfologicamente distintos, sendo os Domos Erodidos associados a suítes intrusivas de rochas graníticas, granodioríticas, sienograníticas de maior resistência aos processos erosivos diferenciais, ao passo que as colinas costeiras são sustentadas por rochas granodioríticas, charnockitos e, principalmente, sedimentos do Grupo Barreiras que ocorrem ao longo de quase todo o litoral, porém de forma irregular e expressivamente recortada.

DISCUSSÃO

Para compreendermos os processos geomórficos que respondem pela macro compartimentação do relevo nos planaltos em estudo, dois processos precisam ser discutidos: o seccionamento fluvial sobre estruturas ortogonais a direção dos canais fluviais e a incisão fluvial que controla os níveis de base do relevo (knickpoints).

Observando os mapas das figuras 04 e 07 é possível entender os principais

processos de seccionamento fluvial, levados a efeito pelos Rios Gourits, Groot e Olifants, na África do Sul, e Rio Benevente e Jucu, no Brasil. Estes rios seccionam estruturas dobradas dispostas no sentido totalmente ortogonal a direção dos canais, em marcante processo de consequência fluvial. São, neste sentido, canais do tipo consequente, nos trechos de secção e subsequente nos trechos em que estão encaixados sobre sistemas de falhas e/ou fraturas.

Entretanto, o mais importante são os setores onde é possível visualizar esses processos de seccionamento, como na fig. (09), pois são eles que irão condicionar os níveis de base regionais que determinarão o rebaixamento do relevo, junto a natureza das dobras que possuem forte relação com esse processo, pois são elas quem define graus distintos de resistência da incisão fluvial.

As províncias geomorfológicas evoluem na dependência direta da forma de dissecação das rochas sedimentares dobradas que oferecem níveis distintos de resistência à dissecação fluvial.

A rede de drenagem da bacia do Rio Gourits é o grande sistema que atua pelo esvaziamento das anticlinais e sinclinais das serras dobradas de Swartberg fig. (10).

Segundo Sklar e Dietrich (1998; 2001; 2004) o principal fator que determina a incisão fluvial, desde que não haja grandes modificações das variáveis hidráulicas (vazão, competência, capacidade e potência do escoamento), ao longo do tempo, é o suprimento de sedimentos para a carga do leito que precisa ser relativamente constante durante a vigência do processo de incisão fluvial. A carga do leito é quem responde pelos processos de abrasão fluvial devido ao atrito com o leito rochoso, sendo este o principal agente responsável pela incisão e independe do tipo de litologia do leito (SKLAR; DIETRICH, 2001).



Fig. (09). Na foto da esquerda, em segundo plano, o Cinturão de Dobras Cape – CDC, também denominado localmente de montanhas Swartberg, em setor rebaixado por seccionamento fluvial pronunciado, ocasionado por tributário do Rio Olifants, visada em direção a sul. Na foto inferior direita o local exato do seccionamento do sistema de dobras da foto esquerda, cortadas no sentido da drenagem e os knickpoints que controlam os níveis de base regionais. Visada para sul. Seta indica sentido do curso de água. Na foto superior direita, em primeiro plano, o imponente Planalto do karoo e, em segundo plano, a Grande Escarpa sul-africana. Para localização vide mapa da fig. (04). Fonte: fotos do autor.

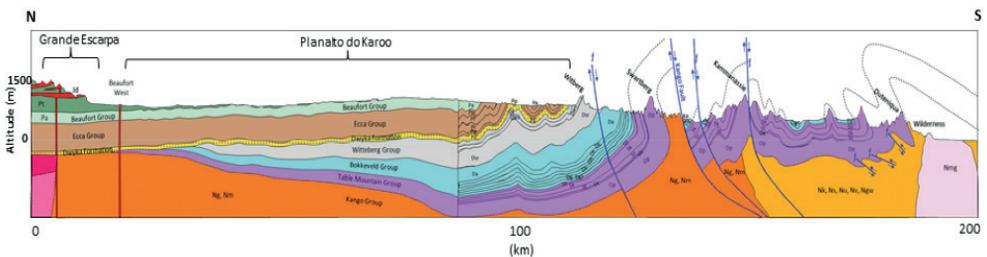


Fig. (10). Perfil geológico em seção transversal sobre a porção meridional da África do Sul. Localização vide fig. (01).

Fonte: Council for Geoscience (2008).

Esta constância do processo de seccionamento e incisão fluvial corrobora os estudos de Kounov et al. (2007) e Bierman et al. (2014), com relação a estabilidade tectônica da região, ou seja, a incisão fluvial dessas serras dobradas seria afetada caso não houvesse período de estabilidade climática e tectônica regional que respondesse por esse processo erosivo de rompimento das estruturas ortogonais ao canal.

A incisão fluvial é diretamente condicionada pela organização e distribuição espacial desses anticlinais e sinclinais, respondendo pela formação de superfícies interplanálticas embutidas que sustentam o caráter escalonado desses planaltos que tanto chamaram atenção de King (1967, 1972) e Patridge e Maud (1987).

No caso do Rio Benevente e Jucu os processos também são muito similares, pois se trata de canais fluviais que seccionam ortogonalmente as litoestruturas da zona de cisalhamento batatal e os eixos de dobras e sistemas de falhas ocorrentes de direção SO-NE ou NNE-SSO, fig. (10).

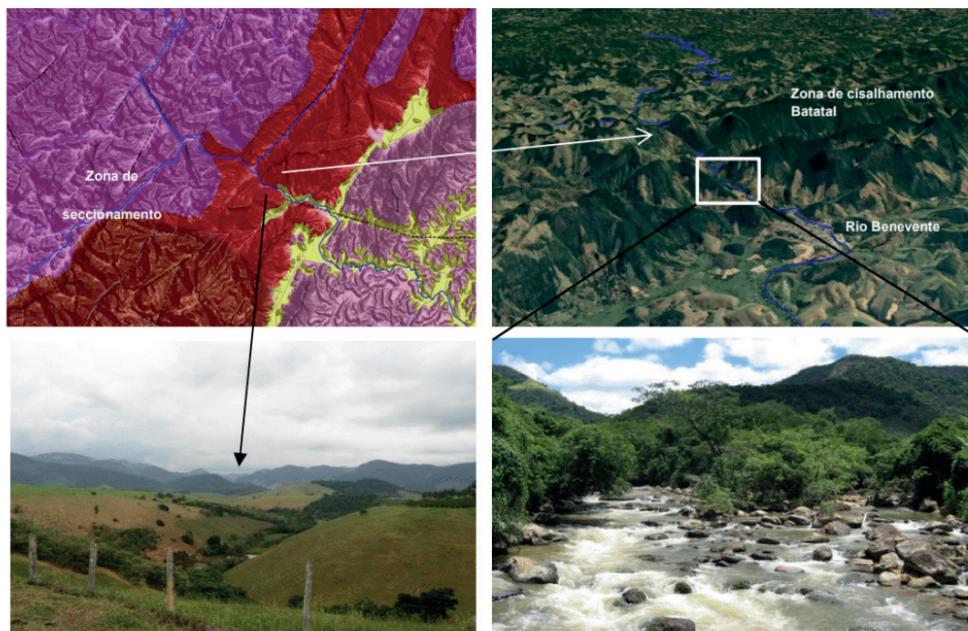


Fig. (10). O principal setor de seccionamento e incisão fluvial sobre sistemas de dobras da Zona de Cisalhamento Batatal ocasionado pelo Rio Benevente. Na imagem superior esquerda fragmento do mapa de províncias geomorfológicas da fig. 07; já a imagem superior direita foi extraída do 3D do Google Earth, com escarpas alinhadas. As fotos esquerda e direita ilustram este processo ao nível da paisagem e do canal fluvial do Benevente. Elaboração e fonte: o autor.

Neste caso, a incisão fluvial também é condicionada pelo flanco das dobras que, assim como ocorre no CDC, controla as taxas de resistência das rochas a abrasão fluvial, levada a efeito pelos canais fluviais. Neste contexto, observamos que tanto as dobras da fachada leste do Planalto Atlântico Capixaba, quanto as do CDC, condiciona os níveis de base da superfície controlando o rebaixamento desses planaltos.

Tanto a fachada atlântica do planalto capixaba quanto as montanhas do Cinturão de Dobras Cape vem sofrendo processos de recuo erosivo por essa drenagem subsequente ortogonal. No caso do Planalto do karoo elas vêm sendo erodidas mais lentamente do que os sedimentos menos resistentes dos depósitos do Supergrupo Karoo, ao norte. Neste

sentido, esse cinturão de dobras “irrompeu” da erosão da paisagem africana para formar as cordilheiras paralelas de montanhas que se estendem por 800 km ao longo da costa sul e sudoeste do Cabo. Na verdade, eles formam o litoral, ou se inclinam diretamente para o mar, ou são separados dele por uma planície costeira relativamente estreita, com colinas e morros bem setorizados e compartimentados.

No caso brasileiro, as escarpas leste do Planalto Atlântico Capixaba permanecem como os resíduos erosivos de maior resistência, protegidos por flancos e eixos de dobras dispostos ao longo de todos os quadrantes, sustentando o planalto do recuo erosivo que atinge essa região desde o final do Cretáceo e parece apresentar relativa estabilidade desde o final do Cenozóico.

CONCLUSÕES

Os planaltos do Karoo e Atlântico Capixaba se configuram como conjunto bem compartimentado de terras altas protegidas por sistemas de anticlinais e sinclinais da incisão fluvial. Nestes planaltos a drenagem fluvial tem se estabilizado após conseguir seccionar as litoestruturas menos resistentes do sistema de falhas e dobras, dispostas paralelamente ao sistema de drenagem.

Os níveis altimétricos de ambos os planaltos são similares, com os seus tetos situados entre 800 e 1.000 metros de altitude, caso do Brasil, e 600 a 900 metros, no caso africano. Ambos são protegidos da pronunciada dissecação fluvial por eixos de dobras profundas organizadas tectonicamente de forma ortogonal a drenagem que desagua diretamente no Oceano Atlântico e Índico. Os rios Gourits, Groot, Olifants, Benevente e Jucu são os principais canais que condicionam essa dissecação, estabelecendo graus sistemáticos de níveis de base sobre a qual os tributários se desenvolvem no processo de evolução.

Devido à escala macro de análise adotada neste trabalho o controle da superfície rochosa sobre a abrasão fluvial dos canais não pode ser diretamente associada aos flancos das dobras que controlam esses níveis de base, mas tal processo persiste de forma sistêmica em ambos os planaltos, podendo, tal tema, ser aprofundada em pesquisa posterior.

O método de investigação de Leopold e Langbein (1970) e a compartimentação geomorfológica de Grab e Knight (2015) aplicados neste trabalho se mostraram suficientemente adequados aos objetivos alcançados, junto aos procedimentos de cartografia geomorfológica, geológica, tectônica e trabalhos de campo realizados.

A compartimentação planáltica da porção meridional da África do Sul e da fachada atlântica capixaba do Planalto Brasileiro possuem similaridades geomórficas e morfográficas fortemente associadas a uma interpretação baseada na associação relevo-litoestrutura-hidrogeomorfologia. Atestamos que com essa associação fica mais fácil a compreensão

da cenicidade geomorfológica tão peculiar a esses dois expressivos planaltos separados geograficamente.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **O relevo brasileiro e seus problemas**. In: AZEVEDO, A. (Org.). **Brasil, a Terra e o Homem: as bases físicas**. São Paulo: Editora Nacional, vol. 1, 1964, p. 135-250.

AB'SÁBER, A. N. **Megageomorfologia do Território Brasileiro**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 71-106.

ALMEIDA, F. F. M. **Os Fundamentos Geológicos**. In: AZEVEDO, A. (Org.). **Brasil, a Terra e o Homem: as bases físicas**. São Paulo: Editora Nacional, vol. 1, 1964, p. 55-133.

ALMEIDA, F. F. M. **O cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, 7(4): 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. **O cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco**. SBG, Simpósio sobre o cráton do São Francisco e suas faixas marginais. Salvador: anais, p. 1-10, 1981.

BIERMAN, P. R.; COPPERSMITH, R.; HANSON, K.; NEVELING, J.; PORTENGA, E. W.; ROOD, D. H. **A cosmogenic view of erosion, relief generation, and the age of faulting in southern Africa**. The Geologic Society of America, GSA Today, v. 24, nº 9, september, 2014. Doi: 10.1130/GSATG206A.1.

BOOTH, P. W. K. **Thrust faults and fold vergence in the Palaeozoic middle and upper Witterberg Group, Cape Supergroup (Cape Fold Belt), Steytlerville: an interpretation of their relationship**. South African Journal of Geology, Johannesburg, vol. 105, p. 25-38, 2002,

BOOTH, P. W. K. **Stratigraphic, structural and tectonic enigmas associated with the Cape Fold Belt: challenges for future research**. South African Journal of Geology, Johannesburg, v. 114.3-4, p. 235-248, 2011. Doi:10.2113/gssajg.114.3-4.235

BORDY, E. M.; HEAD, H.; RUNDS, M. J. **Palaeoenvironment and provenance in the early Cape Basin of southwest Gondwana: sedimentology of the Lower Ordovician Piekenierskloof Formation, Cape Supergroup, South Africa**. South African Journal of Geology, Johannesburg, vol. 119.2 p. 399-414, 2016. Doi:10.2113/gssajg.119.2.399

BRÄUER, B.; RYBERG, T.; LINDEQUE, A. S. **Shallow seismic velocity structure of the Karoo Basin, South Africa**. South African Journal of Geology, Johannesburg, v. 110, p. 439-448, 2007. Doi: 10.2113/gssajg.110.2-3.439

BRITO-NEVES, B. B. de. **América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecionário andino**. Revista Brasileira de Geociências, 29(3): 379-392, 1999.

CAXITO, F. A.; HARTMANN, L. A.; HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; BRUNO, H.; BASEI, M. A. S.; CHEMALE, F. **Multi-proxy evidence for subduction of the Neoproterozoic Adamastor Ocean and Wilson cycle tectonics in the South Atlantic Brasiliano Orogenic System of Western Gondwana**. Precambrian Research, 376, (2022), 106678. doi.org/10.1016/j.precamres.2022.106678

CAVALCANTE, C.; FOSSEN, H.; ALMEIDA, R. P.; HOLLANDA, M. H. B. M.; SILVA, M. E. **Reviewing the puzzling intracontinental termination of the Araçuaí-West Congo orogenic belt and its implications for orogenic development.** *Precambrian Research*, 322, p. 85–99, 2019. Doi: [org/10.1016/j.precamres.2018.12.025](https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.12.025)

CLOETINGH, S.; LANKREIJER, A.; DE WIT, M.J., MARTINEZ, I., **Subsidence history analysis and forward modelling of the Cape and Karoo supergroups.** In: WIT, M.J.; RANSOME, I.G.D. (Eds.). **Inversion Tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of Southern Africa.** Rotterdam: A.A. Balkema, 1992, pp. 239–248.

CONDIE, K.C. **Plate tectonics and Crustal Evolution.** London: Pergamon Press, Oxford, 1982.

COUNCIL FOR GEOSCIENCE. **Simplified Geological Map of the Republic of South Africa and the kingdoms of Lesotho and Swaziland.** Conselho para Geociências da África do Sul, 2008. Disponível em <http://www.geoscience.org.za/> Acesso em junho de 2023.

FAGERENG, A. **A note on folding mechanisms in the Cape Fold Belt, South Africa.** *South African Journal of Geology*, Johannesburg, vol. 115.2 p. 137-144, 2012. Doi:10.2n3/gssajg.115.2.137

FINDLAY III, C. P. **Influence of the Gondwanide Magmatic Arc and Cape Fold Belt on the Karoo Basin - South Africa.** Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports, 5597, West Virginia University, Virginia, USA, 2016. Disponível em <https://researchrepository.wvu.edu/etd/5597> Acesso em junho de 2023.

FONSECA, A.; NOVO, T.; FONTES-BOA, T.; KUCHENBECKER, M.; FRAGOSO, D. G. C.; PEIFER, D.; PEDROSA-SOARES, A. C.; GRAVE, J. **Control of inherited structural fabric on the development and exhumation of passive margins – Insights from the Araçuaí Orogen (Brazil).** *Geoscience Frontiers*, 14, 2023, 101628. Doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101628

FOSSEN, H.; CAVALCANTE, C.; KONOPÁSEK, J.; MEIRA, V.T.; DE ALMEIDA, R. P.; HOLLANDA, M.H.B.M.; TROMPETTE, R. **A critical discussion of the subduction-collision model for the Neoproterozoic AraçuaíWest Congo orogen.** *Precambrian Research*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105715>

FOSSEN, H., CAVALCANTE, G. C.; DE ALMEIDA, R. P. **Hot versus cold orogenic behavior: Comparing the Araçuaí-West Congo and the Caledonian orogens.** *Tectonics*, 36, 2017, p. 2159–2178. Doi.org/10.1002/2017TC004743

FRISCH, W.; MESCHEDÉ, M.; BLAKEY, R. **Plate Tectonics - Continental Drift and Mountain Building.** Berlin: Springer-Verlag, Heidelberg, 2011.

GRAB, S.; KNIGHT, J. **Landscapes and Landforms of South Africa—An Overview.** In: GRAB, S.; KNIGHT, J. (ed.). **World Geomorphological Landscapes.** Switzerland: Springer International Publishing, 2015, p. 01-09. DOI 10.1007/978-3-319-03560-4_1

GREEN, P.F.; SWART, R.; JACOB, J.; WARD, J.; BLUCK, B. **Thermochronology and landscape development of southern Africa.** PESGB/HGS, Africa Meeting, London, extended abstract, 2009.

GREEN, P. F.; DUDDY, I. R.; JAPSEN, P.; BONOW, J. M.; MALAN, J. A. **Post-breakup burial and exhumation of the Southern margin of Africa.** *Basin Research*, 29, p. 96–127, 2017. Doi: 10.1111/bre.12167

- HACK, J. *Drainage Adjustment in the Appalachians*. IN: MORISAWA, M. (ed.). **Fluvial Geomorphology**. A Proceedings Volume of the Fourth Annual Geomorphology Symposia Series held at Binghamton, New York, 1973, p. 51-69.
- HÄLBICH, I. W.; BEER, J. H.; DU PLESSIS, A.; DÜRRHEIM, R. J.; MAHER, M. J.; PITTS, B. E.; SMITH, G. *The Cape Fold Belt – Agulhas Bank Transect Across the Gondwana Suture in Southern Africa*. Global Science Transect 9, Washington: American Geophysical Union & Inter-union Commission on the Lithosphere, USA, 1993.
- HASUY, Y.; SENA COSTA, J. B. *Zonas e cinturões de cisalhamento*. Belém: UFPA, 1990, 144 p.
- HASUY, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Org.). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.
- HEILBRON, M. et al. *Província Mantiqueira*. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca: São Paulo. Cap. XIII, p. 203-235, 2004.
- HEILBRON, M.; DE MORISSON VALERIANO, C. *Comment on “Tectono metamorphic evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: A case of Late Neoproterozoic intracontinental orogeny and flow of partially molten deep crust during the assembly of West Gondwana” by Meira et al.*. Tectonics, 39, (2020), e2019TC005897. Doi.org/ 10.1029/2019TC005897
- JOHNSON, M.R.; ANHAESSEUR, C.R.; THOMAS, R.J. *The Geology of South Africa*. Pretoria: Council for Geoscience of the South Africa, 2009.
- KARNIOL, T.; MACHADO, R. *Fluxo tectônico subparalelo ao Cinturão Ribeira no sul do Espírito Santo: análise das estruturas na seção Marechal Floriano-Ibatiba*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 40 (4): 455-467, dezembro de 2010.
- KEAREY, P.; KLEPEIS, K. A.; VINE, F. J. *Tectônica Global*. Tradução de Daniel Frago Godoy e Peter Christian Hackspacher, 3ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2014.
- KILLINCK, A. M. *The geological structure of the Muizenberg Block, Cape Peninsula, South Africa*. South African Journal of Geology, Johannesburg, v. 119.4, p. 677-690, 2016. Doi:10.2113/gssajg.119.4.677
- KING, L. *Morphology of the Earth*. London: Oliver and Boyd, 1962, 699 p.
- KING, L.C. *South African Scenery*. 2ª ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 379 p., 1951.
- KING, L.C. *The Morphology of the Earth*. 2ª ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967.
- KING, L.C. *The Natal Monocline: Explaining the Origin and Scenery of Natal, South Africa*. Geology Department, University of Natal, Durban, report, 134 pp., 1972.
- KOUNOV, A.; NIEDERMANN, S.; WIT, M. J.; VIOLA, G.; ANDREOLI, M.; ERZINGER, J. *Present denudation rates at selected sections of the South African escarpment and the elevated continental interior based on cosmogenic ³He and ²¹Ne*. South African Journal of Geology, Johannesburg, v. 110, p. 235-248, 2007. Doi:10.2113/gssajg.110.2-3.23

LEOPOLD, L. B.; LANGBEIN, W. B. **Asociación e Indeterminación en Geomorfología**. IN: ALBRITTON, C. C. J. (ed.). **Filosofia de La Geología**. Companhia Editorial Continental S. A. México, Argentina, Espanã, Chile, 1970.

MARÉ, L. P.; KOCK, M. O.; CAIRNCROSS, B.; MOURI, H. **Application of magnetic geothermometers in sedimentary basins: an example from the western karoo Basin, South Africa**. South African Journal of Geology, Johannesburg, volume 117.1 p. 1-14, 2014. Doi:10.2113/gssaj.117.1.1

MEIRA, V. T., GARCIA-CASCO, A., HYPPOLITO, T., JULIANI, C., & SCHORSCHER, J. H. D. **Tectono-metamorphic evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: A case of late Neoproterozoic intracontinental orogeny and flow of partially molten deep crust during the assembly of West Gondwana**. Tectonics, 38, p. 3182–3209, 2019. Doi.org/10.1029/2018TC004959

MEIRA, V. T.; GARCIA-CASCO, A.; HYPPOLITO, T.; JULIANI, C.; SCHORSCHER, J. H. D. **Reply to comment by Heilbron and Valeriano on “Tectono metamorphic evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: A case of late Neoproterozoic intracontinental orogeny and flow of partially molten deep crust during the assembly of West Gondwana”**. Tectonics, 39, (2020), e2020TC006307. Doi.org/10.1029/2020TC006307

NADALIN, R. J.; NADALIN, L. F. **Construindo e interpretando mapas geológicos**. In: NADALIN, R. J. (Ed.). **Tópicos Especiais em Cartografia Geológica**. 2ª ed., Curitiba: Departamento de Geologia, UFPR, 2016, p. 335-372.

NEWTON, A.R.; SHONE, R.W.; BOOTH, P.W.K. (2009). **The cape fold belt**. In: SON, M. R. J.; ANHAESSEUR, C.R.; THOMAS R.J. (Eds.). **The Geology of South Africa**. Pretoria: Council for Geoscience, chapter 24, 2009, pp. 521– 530.

OLDKNOW, C. J.; HOOKE, J. M. **Alluvial terrace development and changing landscape connectivity in the Great Karoo, South Africa. Insights from the Wilgerbosch River catchment, Sneeuwberg**. Geomorphology, 288, p. 12-38, 2017. Doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.009

OLLIER, C. D.; MARKER, M. E. **The great escarpment of Southern Africa**. Z. Geomorph. Suppl., 54, p. 37-56, 1985.

OLSEN, K. H. **Continental rifts: evolution, structure, tectonics**. Publication N° 264 of the International Lithosphere Program, ELSEVIER, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo 1995.

PATON, D.A.; UNDERHILL, J.R. **Role of crustal anisotropy in modifying the structural and sedimentological evolution of extensional basins: the Gamtoos Basin, South Africa**. Basin Research, 16, 2004, p. 339–359.

PARTRIDGE, T.C.; MAUD, R.R. **Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic**. South African Journal Geology, Johannesburg, 90, p. 179–208, 1987.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; WIEDEMANN, C. M.; PINTO, C. P. **The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly**. Precambrian Research, 110, p. 307–323, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C.; DELUCA, C.; ARAUJO, C. S.; GRADIM, C.; LANA, C. DE C.; DUSSIN, I.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M. **O Orógeno Araçuaí à luz da geocronologia: um tributo a Umberto Cordani**. In: BARTORELLI, A.; TEIXEIRA, W.; BRITO-NEVES, B. B. (Org.). **Geocronologia e evolução tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani**. São Paulo: Solaris Edições Culturais, 2020, pp. 250-272.

RICHTER, F.; LANA, C.; STEVENS, G.; BUICK, I.; PEDROSA-SOARES, A. C.; ALKMIM, F. F.; CUTTS, K. **Sedimentation, metamorphism and granite generation in a back-arc region: Records from the Ediacaran Nova Venécia Complex (Araçuaí Orogen, Southeastern Brazil)**. *Precambrian Research*, 272, p. 78–100, 2016. Doi.org/10.1016/j.precamres.2015.10.012

SKLAR, L.; DIETRICH, W. E. **River longitudinal profiles and bedrock incision models: stream power and the influence of sediment supply**. In: TINKLER, K. J.; WOHL, E. E. **Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels**. American Geophysical Union: Washington, DC, 1998, p. 237-260, (geophysical monograph 107).

SKLAR, L.; DIETRICH, W. E. **Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock**. *Geology*, v. 29, nº 12, p. 1087 – 1090, 2001.

SKLAR, L.; DIETRICH, W. E. **A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load**. *Water Resources Research*; v. 40, nº 6, 2004.

SUMMERFIELD, M. **Global Geomorphology – An introduction to the study of landforms**. New York, USA: Routledge, 2013.

TANKARD, A. J.; JACKSON, M. P. A.; ERIKSSON, K. A.; HOBDA, D. K.; HUNTER, D. R.; MINTER, W. E. L. **Crustal Evolution of Southern Africa**. Berlin: Springer, 1982.

TANKARD, A.; WELSINK, H.; AUKES, P.; NEWTON, R.; STETTLER, E. **Tectonic evolution of the Cape and Karoo basins of South Africa**. *Marine and Petroleum Geology*, Amsterdã, 26, p. 1379–1412, 2009.

VAUCHEZ, A.; EGYDIO-SILVA, M.; BABINSKY, M.; TOMMASI, A.; UHLEIN, A.; LIU, D. **Deformation of a pervasively molten middle crust: insights from the neoproterozoic Ribeira-Araçuaí orogen (SE Brazil)**. *Terra Nova*, 19, 278–286, 2007.

VERVLOET, R. J. H. M. **Condicionantes morfológicos e estruturais na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Benevente – Espírito Santo**. 2009, 481 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, FFLCH, USP, São Paulo, 2009.

VERVLOET, R. J. H. M. **Associação entre fatos geomórficos e os dobramentos de fundo na evolução de uma rede de drenagem na margem atlântica do Planalto Brasileiro: o caso da bacia hidrográfica do Rio Benevente – ES**. *Revista GEOUSP Espaço e Tempo*, 2013. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.75446

VERVLOET, R. J. H. M. **O papel das estruturas litológicas e tectônicas na evolução da rede hidrográfica da Região Serrana do Espírito Santo: o caso da bacia hidrográfica do Rio Benevente**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física – FFLCH/USP, São Paulo, 2014, 313 p.

VERVLOET, R. J. H. M. **Elementos de Geomorfologia Estrutural – Estudo aplicado a Região Serrana do Espírito Santo**. 1ª edição, Vitória: Editora Liro, 2015.

VERVLOET, R. J. H. M.; CAMPOS, F. L. ***Dobras de fundo e geomorfologia estrutural na evolução do relevo em margem Atlântica do Planalto Brasileiro: o caso da bacia hidrográfica do Rio Benevente – ES.*** Anais do XIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, UFJF, Juiz de Fora, 2021.

VIEIRA, V. S.; MENEZES, R. G. (org.). ***Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais.*** Belo Horizonte: CPRM, 2015.

VILJOEN, M. J.; REIMOLD, W. U. ***An Introduction to South Africa's Geological and Mining Heritage.*** Randburg: Mintek & Geological Soc. da África do Sul, 1999.