

## IMPORTÂNCIA DA DENUDAÇÃO DIFERENCIAL NOS GRANITOIDES DA SERRA DO MAR PARA A EVOLUÇÃO DO RELEVO DA REGIÃO DA BAÍA DE ANTONINA – PR, BRASIL

Breno Ribeiro Marent<sup>1</sup>  
André Augusto Rodrigues Salgado<sup>2</sup>  
Leonardo Cordeiro Santos<sup>3</sup>  
Eduardo Vedor de Paula<sup>4</sup>  
Helen Nébias Barreto<sup>5</sup>  
César Augusto Chicarino Varajão<sup>6</sup>

**Resumo:** O presente trabalho objetivou compreender a importância dos afloramentos graníticos na evolução do relevo da serra do Mar no Paraná. A metodologia se baseou na mensuração dos processos denudacionais utilizando o isótopo cosmogênico <sup>10</sup>Be. Os resultados demonstraram que áreas com granitos apresentam taxas de denudação inferiores às registradas em seus entornos. O relevo também influencia nas taxas denudacionais, pois as porções mais rebaixadas das escarpas e de menor declividade proporcionam as maiores taxas de denudação em virtude do maior manto de alteração, proporcionado pelo maior acúmulo de água. As planícies costeiras configuram-se como áreas propícias para a retenção de sedimentos. Deste modo, identificou-se que a associação do contexto litológico com o geomorfológico constituem importantes fatores controladores da evolução da paisagem da serra do Mar paranaense.

**Palavras chaves:** Pães de açúcar; Evolução da paisagem; <sup>10</sup>Be; Manto de alteração

## IMPORTANCE OF DIFFERENTIAL DENUDATION IN GRANITOIDES OF THE SERRA DO MAR TO THE EVOLUTION OF RELIEF ANTONINA BAY REGION – PR, BRAZIL

**Abstract:** The objective of this research was understand the importance of granites outcrops in the relief of evolution of the *serra do Mar* in *Paraná*. The methodology is based on the measurement of denudational processes use cosmogenic isotope <sup>10</sup>Be. The results showed that areas of granite have denudation rates less the rest of hydrographic basin. The relief also affects denudational rates for the more lowered portions and lower slopes provide the highest denudation rates because of the increased alteration mantle due the greater accumulation of water. The coastal plains are characterized as areas favorable for the retention of sediments.

---

<sup>1</sup> Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia - Departamento de Geografia - pela Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: brenomarent@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: aarsalgadoufmg@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná. E-mail: santos@ufpr.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná. E-mail: eduardovedordepaula@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Professora Doutora do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Maranhão. E-mail: helennebias@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Professor Doutor aposentado do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. E-mail: cesarvarajao@gmail.com

Thus, it was found that the combination of lithological context with the geomorphological are controllers important factors of landscape evolution of *serra do Mar paranaense*.

**Keywords:** Sugar loafs; Landscape evolution;  $^{10}\text{Be}$ ; Mantle of change

## IMPORTANCIA DE LA DENUDACIÓN DIFERENCIAL EN LOS GRANITOIDES DE LA *SERRA DO MAR* PARA LA EVOLUCIÓN DEL RELIEVE DE LA REGIÓN DE LA BAHÍA DE ANTONINA – PR, BRASIL

**Resumen:** El artículo tiene el objetivo de buscar comprender la importancia de los afloramientos graníticos en la evolución del relieve de la *serra do Mar* en el estado de *Paraná*, región sur de Brasil. La metodología es basada en la medición de los procesos denudacionales utilizando el isótopo cosmogénico  $^{10}\text{Be}$ . Los resultados muestran que las áreas con granitos presentan tasas de denudación inferiores a las registradas en sus entornos. El relieve también influye en las tasas de denudación, pues las porciones más rebajadas de los acantilados y de menor declividad proporcionan las tasas más elevadas de denudación por causa del manto de alteración más espeso, causado por la mayor acumulación de agua. Las planicies costeras se configuran como áreas propicias para la retención de sedimentos. De este modo, se identificó que los contextos litológico y geomorfológico constituyen importantes factores controladores de la evolución del paisaje de la *serra do Mar paranaense*.

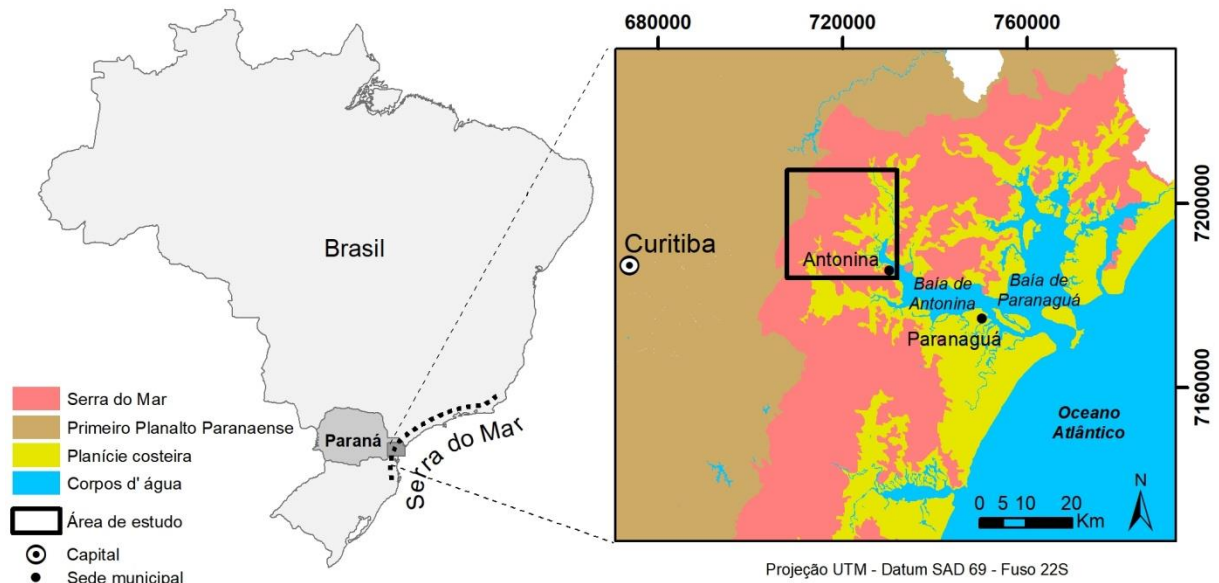
**Palabras claves:** Panes de azúcar; Evolución del paisaje;  $^{10}\text{Be}$ ; Manto de alteración

## INTRODUÇÃO

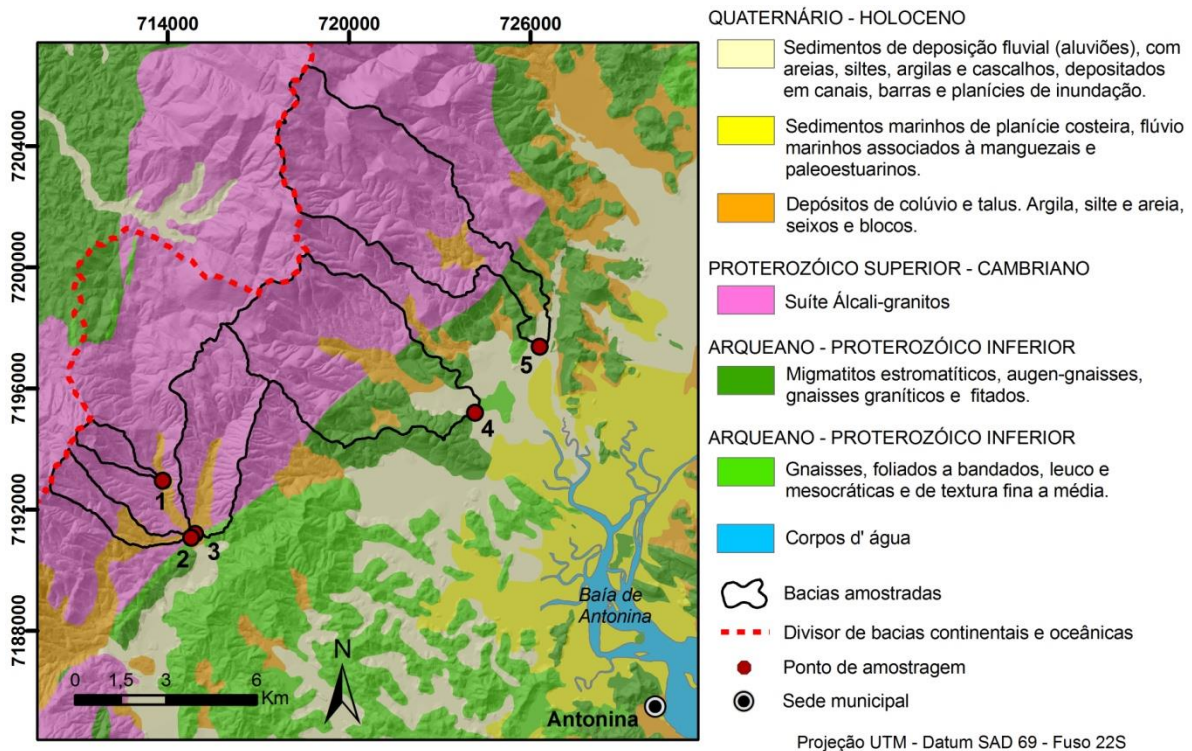
A *serra do Mar* localiza-se na porção leste do território brasileiro e se estende de Santa Catarina até o estado do Rio de Janeiro, com cerca de 1.000km de extensão (Figura 1) (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998; SALGADO *et al.*, 2015; VIEIRA & GRAMANI, 2015; VIEIRA *et al.*, 2015). No estado do Paraná faz parte do Escudo Atlântico (Figura 1) (Primeiro Planalto Paranaense, *Serra do Mar* e Planície Costeira). O compartimento do Primeiro Planalto Paranaense é constituído de rochas cristalinas, tais como xistos e gnaisses. A *serra do Mar* é constituída basicamente por gnaisses, migmatitos e granitos, frequentemente associados a rochas intrusivas relacionadas a ciclos metamórficos mais jovens (Figura 2). A planície costeira foi preenchida principalmente por sedimentos recentes, como areias e lamas, e secundariamente por cascalhos e argilas (MINEROPAR & UFPR, 2006).

Os granitos tiveram origem a partir de intrusões plutônicas no Neoproterozoico (~600Ma) durante a Orogenia Brasileira, sendo considerados mais resistentes frente ao intemperismo e a erosão do que os migmatitos e gnaisses do entorno (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998; SALGADO *et al.*, 2014). Esses granitos tendem a apresentar uma continuidade litológica ao longo da *serra* coincidindo com as porções mais elevadas da mesma (Figura 2). No entanto, algumas áreas não expressam topografias elevadas apesar de constituírem áreas serranas. Essas se situam em cotas muito inferiores em relação às mais

elevadas, apresentando-se como discontinuidades topográficas (Figura 3).



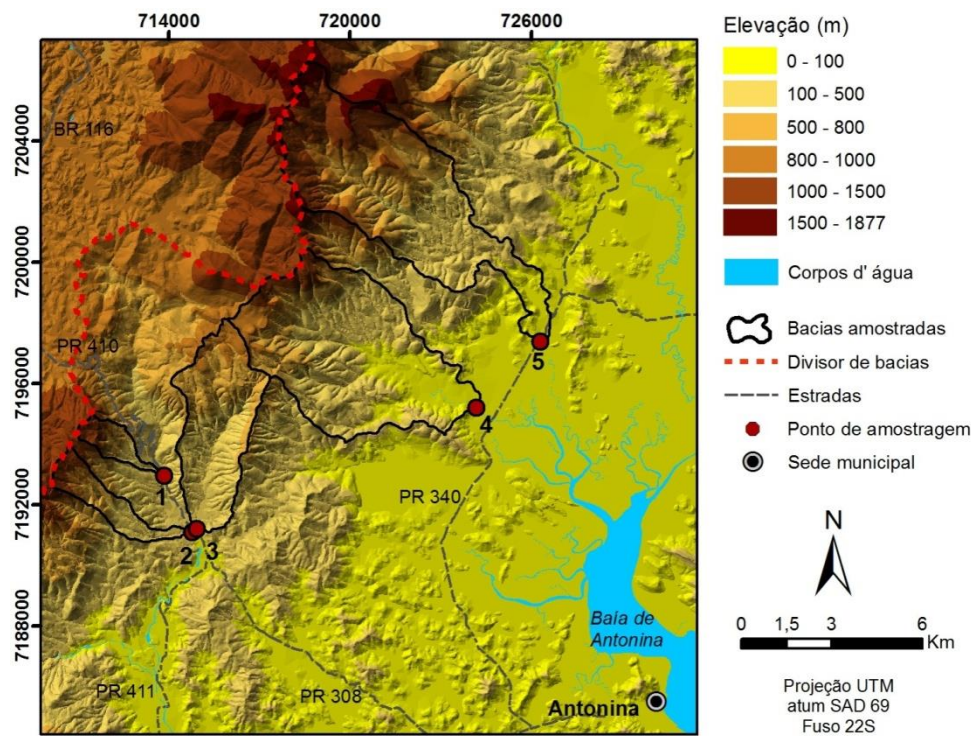
**Figura 1:** Localização geográfica da serra do Mar no Brasil e da área de estudo.



**Figura 2:** Mapa geológico representando a litologia da serra do Mar no entorno da baía de Antonina - PR, com as bacias hidrográficas em análise.

**Fonte:** adaptado de PARANÁ (2003).

Apesar de Almeida & Carneiro (1998) terem verificado a resistência dos granitoides através da sua natureza petrográfica e estrutural como responsável pela sustentação de destacadas elevações, o fato de existirem descontinuidades topográficas no mesmo domínio litológico ainda não foi completamente explicado. Nesse contexto, o presente trabalho procurou compreender os processos denudacionais em bacias hidrográficas compostas por granitoides e com abundância de pães de açúcar, na serra do Mar, no entorno da baía de Antonina-PR. Esse trabalho possui por originalidade o fato de realizar o estudo baseado na comparação entre as taxas de denudação mensuradas, a configuração do relevo e o tipo de solo que recobre a área.



**Figura 3:** Modelo de Elevação Digital do Terreno apresentando hipsometria na região da serra do Mar no entorno da baía de Antonina - PR, com as bacias hidrográficas em análise.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento utilizado foi a mensuração do isótopo cosmogênico  $^{10}\text{Be}$  em sedimentos fluviais (fração areia) de cinco bacias hidrográficas (denominadas 1, 2, 3, 4 e 5) que drenam a escarpa Atlântica da serra do Mar no entorno da baía de Antonina/PR. Os critérios de escolha dessas cinco bacias hidrográficas foram: (i) áreas exibindo diferentes constituições geológicas: granitos intrusivos, gnaisses, migmatitos e sedimentos recentes

(Figura 2); (ii) representatividade geomorfológica (figuras 3, 5 e 6; Tabela 1), exibindo porções na escarpa e planície e áreas constituídas pela presença e ausência de granitos intrusivos destacados; (iii) áreas em diferentes contextos pedológicos - com e sem a presença de manto de alteração (Figura 4); e (iv) baixa interferência antrópica, pois a mesma poderia alterar as taxas naturais de denudação (Figura 5).

Os sedimentos – aproximadamente 70g na fração areia grossa – foram coletados no meio dos canais fluviais. Após isso, foram pré-purificados no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Nesta pré-purificação foram eliminados todos os minerais diferentes do quartzo. Para tanto, as 70 gramas de areia de cada ponto amostral foram colocadas em um frasco nalgene tendo sido acrescido ácido clorídrico (50ml) e hexafluorsilícico (50ml). Após isso, as amostras foram agitadas em agitador por 24 horas para, posteriormente, serem lavadas eliminando-se o líquido sobrenadante. Esta operação foi repetida mais duas vezes. Posteriormente, o quartzo pré-purificado foi encaminhado ao Laboratório Nacional de Isótopos Cosmogênicos do *Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement* (CEREGE) na França.

No CEREGE, as amostras terminaram a etapa de purificação por meio de três adições sequenciais de 20ml de ácido fluorídrico puro com intervalos de 24h entre cada adição. Estas adições de ácido fluorídrico visaram eliminar o  $^{10}\text{Be}$  atmosférico das amostras bem como extinguir traços de qualquer outro mineral, que não o quartzo, que porventura tivessem resistido a pré-purificação. Em sequencia, em cada amostra foi adicionado 0,3ml de  $^9\text{Be}$  que serviu como elemento traçador. As amostras então foram solubilizadas em ácido fluorídrico puro. Extrações químicas sucessivas com base em resina, solventes e ácido nítrico permitiram a recuperação do  $^9\text{Be}$  e do  $^{10}\text{Be}$  dissolvidos na solução de ácido fluorídrico. Após essa recuperação a concentração de  $^{10}\text{Be}$  de cada amostra foi mensurada por acelerador espectrômico de massas (*ASTER AMS, Aix-en-Provence/França*) através do qual foi possível calcular as taxas médias de denudação de cada bacia hidrográfica. A mensuração da relação entre  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  foi calibrada segundo *The National Institute of Standards and Technology* (NIST). Para validação dos resultados foi utilizado o padrão internacional SRM 4325  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  ( $26,8 \pm 1,4$ ) x  $10^{-12}$ . A porcentagem de erro do método de mensuração do  $^{10}\text{Be}$  inclui 3% referentes a passagem do elemento no acelerador, 1% de erro estatístico na contagem do elemento e 6% na produção *in situ* no quartzo amostrado (STONE, 2000).

As taxas médias de denudação foram mensuradas através da concentração da produção do isótopo  $^{10}\text{Be}$  utilizando-se das análises laboratoriais e dados de altitude, latitude,

profundidade na qual a amostra foi coletada e densidade da rocha subjacente, calculados por meio da seguinte equação (LAL, 1991; SIAME *et al.*, 2000; BRAUCHER *et al.*, 2004):

$$C(x; t) = \frac{P_o \cdot P_n}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_n} + \lambda} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\Lambda_n}\right) + \frac{P_o \cdot P_{\mu s}}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_{\mu s}} + \lambda} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\Lambda_{\mu s}}\right) + \frac{P_o \cdot P_{\mu f}}{\frac{\varepsilon}{\Lambda_{\mu f}} + \lambda} \cdot \exp\left(-\frac{x}{\Lambda_{\mu f}}\right)$$

Onde  $C(x; \varepsilon)$  é a concentração de  $^{10}\text{Be}$  produzido *in situ* (em  $\text{g}^{-1}$ );  $X$  é a profundidade ( $\text{g cm}^{-2}$ );  $P_n$  é a taxa média de produção de *spallation* da bacia hidrográfica (átomos  $\text{g}^{-1} \text{y}^{-1}$ ),  $P_{\mu s}$  e  $P_{\mu f}$  são contribuições de *muons* lentos e rápidos com base em Braucher *et al.* (2011),  $\Lambda_n$ ,  $\Lambda_{\mu s}$  e  $\Lambda_{\mu f}$  são os comprimentos efetivos de atenuação aparente ( $\text{g/cm}^2$ ), para nêutrons, *muons* lentos e *muons* rápidos, respectivamente. Todos os cálculos foram realizados utilizando comprimentos de atenuação de 150, 1500 e  $4320 \text{g/cm}^2$ ;  $\Lambda$  é a constante de decaimento radioativo ( $\text{y}^{-1}$ ), que tem um valor de  $4.997 \pm 0.043 \times 10^{-7}$ ; e  $\varepsilon$  é a taxa de denudação ( $\text{g cm}^{-2} \text{y}^{-1}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a área de pesquisa apresenta elevadas taxas de denudação e recuo do escarpamento que evoluí de forma diferenciada (Tabela 1). Estas variam entre 15,5 e 47,7mm/ka e são em média muito mais elevadas do que outras mensuradas no Sudeste do Brasil através da utilização do mesmo método (SALGADO *et al.*, 2007, 2008, 2012; CHEREM *et al.*, 2012; BARRETO *et al.*, 2013; REZENDE *et al.*, 2013). Entretanto são muito similares àquelas mensuradas por Salgado *et al.* (2016) para a mesma Serra do Mar na região de Paraty/RJ ou com àquelas determinadas por Sordi *et al.* (2018) no contato entre a Serra Geral e o Planalto de Santa Catarina. Esse trabalho mensurou para aquela porção da serra do Mar, em seu escarpamento oceânico, taxas denudacionais que variaram entre 21,3 e 48,8 mm/ka. Logo, além de demonstrar um mesmo padrão denudacional em termos de agressividade dos processos erosivos de longo-termo, tal fato indica que, apesar da existência dos resistentes pães de açúcar, a serra do Mar apresenta, em média, altas taxas denudacionais.

Evidentemente, essas elevadas taxas de denudação possuem relação com a tectônica, pois o soerguimento da serra do Mar se manteve contínuo - com diferentes intensidades -

graças a isostasia, desde a abertura do oceano Atlântico até a atualidade (SUMMERFIELD, 1991). Entretanto, a tectônica isoladamente não é capaz de explicar essas taxas. Inclusive em razão de que as mesmas variaram em até três vezes entre bacias hidrográficas vizinhas entre si (Tabela 1 e figuras 2 e 3). Logo, se essas altas taxas não podem ser explicadas unicamente pela resistência litológica e pela tectônica, parecem ter relação também com o clima muito úmido da região e com o relevo que favorece a acumulação de água e o consequente intemperismo em algumas porções da serra ou o rápido movimento de sedimentos em outras (Figura 3).

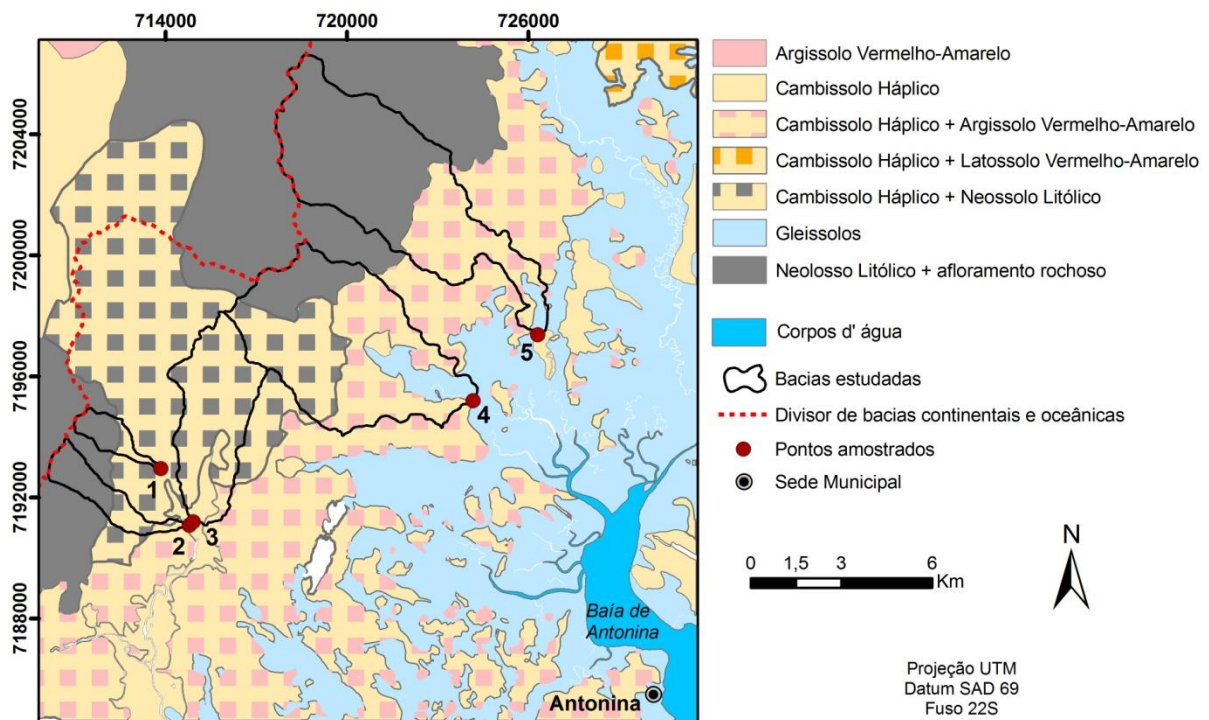
**Tabela 1:** Taxas de denudação mensuradas através do isótopo cosmogênico  $^{10}\text{Be}$ .

| Bacia | Relevo           | Geologia (área %) |       |      |       | Altitude - máx. e mín (m) | Amplitude (m) | $^{10}\text{Be}$ (at/g) | Taxas de denudação (mm/Ka) |
|-------|------------------|-------------------|-------|------|-------|---------------------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
|       |                  | Gr.*              | Mig.* | Gn.* | S.r.* |                           |               |                         |                            |
| 1     | Escarpa          | 99,74             | —     | —    | 0,26  | 1450 - 170                | 1280          | 152.264                 | 29,9 ± 1,39                |
| 2     | Escarpa          | 68,86             | —     | —    | 31,14 | 1400 - 100                | 1300          | 264.698                 | 15,5 ± 0,51                |
| 3     | Escarpa          | 87,17             | —     | 1,72 | 11,12 | 920 - 100                 | 820           | 80.752                  | 47,7 ± 5,65                |
| 4     | Escarpa-planície | 59,29             | 24,75 | 0,47 | 15,49 | 1380 - 10                 | 1370          | 196.352                 | 17,0 ± 1,13                |
| 5     | Escarpa-planície | 87,03             | 4,97  | —    | 8,00  | 1870 - 10                 | 1860          | 216.902                 | 20,1 ± 0,71                |

\*Gr.: granitos; Mig: migmatitos; Gn.: gnaisses; S.r.: sedimentos recentes

De fato, o mapa pedológico (Figura 4) apresenta nítida associação entre a geomorfologia e a litologia, com resposta no manto de alteração. No escarpamento do entorno da baía de Antonina as bacias 1, 2, 4 e 5 possuem porções em elevadas altitudes (1380-1870m) com suas cabeceiras em altas declividades (> 30%) sobre granitos intrusivos (Figura 5). Nessas bacias, predominam Neossolos Litólicos associados a afloramentos rochosos (ITGC, 2008; SANTOS *et al.*, 2009). As taxas denudacionais mensuradas nessas bacias se situaram entre 15,5 e 29,9mm/ka (Tabela 1). O relevo íngreme proporciona menores condições de armazenamento de água que, aliado à resistência da rocha, tende a reduzir o intemperismo e a produção de material disponível para a denudação. Por outro lado, na bacia

(3) de menor altitude máxima (920m), com cabeceiras em declividades mais baixas (~8 a 30%), predominam Cambissolos Háplicos associados a Neossolos Litólicos (ITGC, 2008; SANTOS *et al.*, 2009) apresentando maior taxa de denudação (47,7mm/ka) (Figura 4 e Tabela 1). A porção do relevo de menor declividade permite maior retenção de água que favorece o intemperismo e a produção de maior manto de alteração para ser retirado pelos processos denudacionais.



**Figura 4:** Mapa pedológico da serra do Mar no entorno da baía de Antonina - PR, com as bacias hidrográficas em análise.

**Fonte:** adaptado de ITGC (2008) e Santos *et al.* (2009).





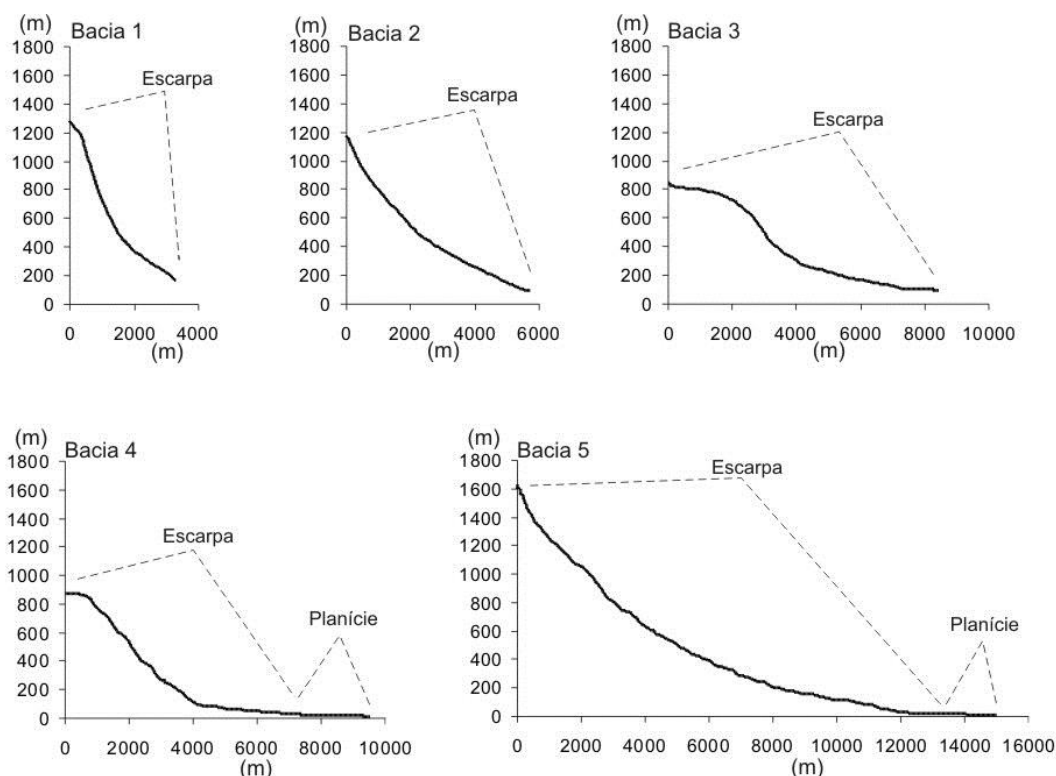
**Figura 5:** Serra do Mar, no entorno da baía de Antonina - PR, exibindo a escarpa oceânica na região das bacias hidrográficas 1, 2 e 3.

A bacia analisada com manto de alteração mais desenvolvido é a que apresenta maior taxa de denudação (Figura 5). Isto indica que a erodibilidade depende da susceptibilidade a produção de sedimentos e esta é muito menor em áreas mais escarpadas onde a água tende a permanecer menos tempo para promover o intemperismo. Granger *et al.* (2001) e Heimsath *et al.* (2006) identificaram que as rochas graníticas expostas são denudadas mais lentamente que a média de bacias hidrográficas. Segundo Granger *et al.* (2001) quanto mais rápido o manto de alteração é denudado mais a rocha sã é exumada, o que leva a diminuição da denudação por um processo de *feedback* negativo. À medida que as encostas íngremes ficam em exposição sua taxa de denudação diminui drasticamente, pois a denudação da rocha sã é mais lenta do que a do manto de alteração. Logo, com a contínua evolução do relevo a tendência é que porções com afloramentos rochosos (“Pães de Açúcar”) se destaquem cada vez mais na paisagem (Figura 5). Isso se deve, segundo Granger *et al.* (2001), pela diminuição das taxas de denudação devido à baixa produção de material intemperizado. Como os sopés das vertentes também apresentam um manto de alteração mais desenvolvido esses são denudados a uma velocidade maior em relação às porções com afloramentos rochosos.

Vale ressaltar que as bacias 4 e 5 apresentaram taxas entre 17,0 e 20,1mm/ka (Tabela 1) mesmo com boa parte de suas áreas sobre Cambissolos associados a Argissolos (Figura 5) que correspondem em grande parte às porções sobre gnaisses e migmatitos (Figura 2; Tabela 1). Essas litologias foram identificadas por Paula *et al.* (2010) e Salgado *et al.* (2014) como mais friáveis frente à denudação em relação aos granitos intrusivos. No entanto, um percentual da área dessas bacias se encontra na planície costeira o que promove uma retenção natural dos sedimentos pela baixa declividade, ao contrário das bacias 1, 2 e 3 que se encontram completamente na escarpa (Figura 6). Logo, essas taxas de  $^{10}\text{Be}$  demonstraram as mesmas relações que Milliman & Syvitski (1992) encontraram investigando a produção de sedimentos em regiões montanhosas e planícies do globo terrestre, taxas mais altas nas porções mais elevadas altimetricamente e mais baixas nas planícies.

A serra do Mar paranaense, segundo Silveira *et al.* (2014), é reconhecida como um ambiente com elevada suscetibilidade a movimentos de massa. A taxa de denudação da bacia 3 (47,7mm/ka) por se destacar das demais poderia ser interpretada como decorrente desses processos. Entretanto, de acordo com o mapeamento preliminar realizado pelos mesmos autores, as áreas classificadas como “muito alta suscetibilidade” localizam-se nas porções mais elevadas do relevo e estão associadas às declividades mais elevadas. Logo, os processos que determinam as elevadas taxas da bacia 3 (47,7mm/ka) envolvem outros processos erosivos além daqueles relacionados aos movimentos de massa.

Interessante foi a baixa taxa de denudação mensurada na bacia 2 (15,5mm/ka), uma vez que essa bacia apresenta características pedológicas, geomorfológicas e litológicas muito semelhantes à bacia 1 (29,9mm/ka) (figuras 2, 3, 4, 5 e 6; Tabela 1). No entanto, sobre quase 30% da sua porção jusante encontram-se depósitos de colúvio associados a tálus (Figura 2; Tabela 1). Provavelmente os fragmentos rochosos (tálus) que permanecem na baixa vertente acabam causando a diminuição da denudação pela proteção que promovem ao solo subjacente à sua retirada. Esse fato foi constatado por Granger *et al.* (2001) na serra Nevada, Califórnia, em pesquisa que se utilizou do mesmo procedimento metodológico. Outra possibilidade para explicar a baixa taxa mensurada na bacia 2 é que sua área de cabeceira produz pouca quantidade de material e esse pouco material é retido na baixa vertente onde ocorrem os depósitos de colúvio associados a tálus. Isso também poderia justificar as baixas taxas de denudação encontradas para essa bacia.



**Figura 6:** Perfis longitudinais das bacias amostradas com distribuição das áreas de escarpa e planície, na serra do Mar no entorno da baía de Antonina - PR.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desse trabalho foi possível identificar acerca da denudação dos granitoides na serra do Mar, no estado no Paraná, que:

- (i) Áreas ricas em afloramentos rochosos em granitos intrusivos (“Pães de Açúcar”) apresentam taxas de denudação inferiores ao restante da bacia na qual se inserem, fato que provoca o seu destaque na paisagem ao longo do tempo geológico.
- (ii) A baixa declividade influencia nos processos de alteração das rochas proporcionando acúmulo de água e, conseqüentemente, manto de alteração mais espesso. Nesse caso, as porções mais baixas das escarpas proporcionam uma maior taxa de denudação devido a maior quantidade de material disponível para ser removido.
- (iii) Áreas com maior ocorrência de pães de açúcar são aquelas que apresentam maior declividade e isso tenderia a acelerar o processo denudacional. Entretanto, na área investigada

ocorre uma inversão do padrão esperado no processo denudacional. As áreas mais íngremes, graças a ausência de material facilmente removível e de tempo de residência de água para causar o intemperismo, são denudadas mais lentamente do que aquelas que apresentam menor declividade.

(iv) As planícies costeiras são ambientes geomorfológicos com boa capacidade natural de retenção de sedimentos e constituem importantes níveis de base para as vertentes.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela bolsa de estudo e ao CNPq (Projeto de Pesquisa CNPq Universal 441501/2014-1) pelo financiamento. Agradecemos a Marcio Grochocki pela ajuda e apoio no trabalho de campo. Também agradecemos o apoio dos doutores Régis Braucher e Didier Bourlès, pesquisadores do CEREGE-França, que viabilizaram a segunda etapa do procedimento laboratorial. Por fim, agradecemos ao convênio CAPES COFECUB 869/15.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, 28 (2): 135-150, 1998.
- BARRETO, H.N.; VARAJÃO, C.A.C.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D.L.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.F.D.C. Denudation rates of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil, determined by in situ-produced cosmogenic beryllium-10. **Geomorphology**, 191: 1-13, 2013.
- BRAUCHER, R.; LIMA, C.V.; BOURLÈS, D.L.; GASPAR, J.C.; ASSAD, M.L.L. Stone-line formation processes documented by in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  ditribution, Jardim River Basin, DF, Brasil. **Earth and Planetary Science Letters**, 222: 645-651, 2004.
- BRAUCHER, R.; MERCHEL, S.; BORGOMANO, J.; BOURLÈS, D.L. Production of cosmogenic radionuclides at great depth: a multi element approach. **Earth and Planetary Science Letters**, 309: 1-9, 2011.
- CHEREM, L.F.S.; VARAJÃO, C.A.C.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.F.D.C. Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil. **Geomorphology** 173-174: 118-127, 2012.
- GRANGER, D.E.; RIEBE, C.S.; KIRCHNER, J.W. & FINKEL, R.C. Modulation of erosion on steep granitic slopes by boulder armoring, as revealed by cosmogenic  $^{26}\text{Al}$  and  $^{10}\text{Be}$ . **Earth and Planetary Science Letters**, 186: 269-281, 2001.
- HEIMSATH, A.M.; CHAPPELL, J.; FINKEL, R.C.; FIFIELD, K.; ALIMANOVIC, A. Escarpment erosion and landscape evolution in southeastern Australia. **Geological Society of America**, 398: 173-190, 2006.
- ITCG (Instituto de Terras Cartografia e Geociências). **Mapa de Solos**, 2008. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 14 de julho de 2009.

LAL D. Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. **Earth and Planetary Science Letters**, 104: 424-439, 1991.

MILLIMAN, J.D.; SYVITSKI, P.M. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. **The Journal of Geology**, 100: 525-544, 1992.

MINEROPAR (Minerais do Paraná S/A); UFPR (Universidade Federal do Paraná). **Atlas geomorfológico do estado do Paraná** – Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000; Curitiba, 63p., 2006.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa Floresta Atlântica. **Mapeamento geológico da região de ocorrência da Floresta Atlântica no Paraná**. Curitiba: SEMA / MINEROPAR. 2003. CD-ROM. Escala 1:50.000.

PAULA, E.V.; SANTOS, L.J.C.; UBER, J. A. Análise da suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos na área de drenagem da Baía de Antonina/PR. **Revista de Geografia (Recife)** 2: 134-147, 2010.

REZENDE, E.A.; SALGADO, A.A.R.; SILVA, J.R.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; LÉANNI, L. Fatores controladores da evolução do relevo no flanco NNW do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil: uma análise baseada na mensuração dos processos denudacionais de longo-termo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 14 (2): 221-234, 2013.

SALGADO A. A. R., VARAJÃO C. A. C., COLIN F., BRAUCHER, R., VARAJÃO A. F. D. C., NALINI JR. H. A. Study of the erosion rates in the upper Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG, Brazil) by the in situ produced cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  method. **Earth Surface Processes and Landforms**, 32 (6): 905-911, 2007.

SALGADO, A.A.R.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F.; VARAJÃO, A.F. D.; NALINI JUNIOR, H.A. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of ( $^{10}\text{Be}$ ) cosmogenic nuclei. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 52: 317-323, 2008.

SALGADO, A.A.R.; SOBRINHO, L.C.G.; CHEREM, L.F.S.; VARAJÃO, C.A.C.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; MARENT, B.R. Estudo da evolução da escarpa entre as bacias do Doce/Paraná em Minas Gerais através da quantificação das taxas de desnudação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 13 (2): 213-222, 2012.

SALGADO, A.A.R., MARENT, B.R., CHEREM, L.F.S., BOURLÈS, D., SANTOS L.J.C., BRAUCHER, R., BARRETO, H.N. Denudation and retreat of the Serra do Mar escarpment in southern Brazil derived from in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  concentration in river sediment. **Earth Surface Processes and Landforms**, 39: 311-319, 2014.

SALGADO, A.A.R.; BUENO, G. T.; DINIZ, A. D.; MARENT, B.R. Long-Term Geomorphological Evolution of the Brazilian Territory. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS L. J. C. **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht. 2015.

SALGADO A.A.R., REZENDE E.A., BOURLÈS D., BRAUCHER R., GARCIA R.A. Relief evolution of the Continental Rift of Southeast Brazil revealed by in situ-produced  $^{10}\text{Be}$  concentrations in river-borne sediments. **Journal of South America Earth Science**, 67: 89-99, 2016.

SANTOS, L.J.C.; PAULA, E.V.; GROCHOCKI, M.A.F. Mapeamento geomorfológico como subsídio à identificação e à estimativa dos solos na área de drenagem da baía de Antonina (PR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 10 (2) : 29-36, 2009.

SIAME, L.L.; BRAUCHER, R. & BOURLÈS, D.L. Les nucléides cosmogéniques produits in situ: de nouveaux outils en géomorphologie quantitative, **Bull. Soc. Géol. France**, 171(4): 383-396, 2000.

SILVEIRA, C.T.; FIORI, A.P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S.M. Mapeamento preliminar da

suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 15 (1): 3-22, 2014.

SORDI de, M. V.; SALGADO, A. A. R.; SIAME, L.; BOURLÈS, D.; PAISANI, J. C.; LÉANNI, L.; BRAUCHER, R.; DO COUTO, E.V.; AND ASTER TEAM. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. **Geomorphology**, 306: 155-169, 2018.

STONE J. O. Air pressure and cosmogenic isotope production. **Journal of Geophysical Research**, 105 (B10): 23753-23759, 2000.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**: an introduction of the study of landforms. Longman Scientific & Technical, Essex. 1991.

VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS L. J. C. **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht. 2015.

VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Serra do Mar: The Most “Tormented” Relief in Brazil. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS L. J. C. **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht. 2015.

Recebido em 11 de junho de 2017.

Aceito em 18 de março de 2018.