



BALANÇO DE DENUDAÇÃO NA BACIA DO RIO ARARAS, MUNICÍPIO DE ARARAS, SÃO PAULO

Fabiano Tomazini da Conceição ¹

RESUMO

Avaliações dos balanços de denudação associados ao intemperismo químico e remoção de solos, respectivamente, vêm sendo realizadas em bacias hidrográficas por todo o mundo. Contudo, poucos trabalhos abordam os impactos das atividades humanas nas taxas de denudação química e física, as quais são fundamentais para a compreensão da evolução de relevo. Assim, o presente trabalho estimou o balanço de denudação a partir dos resultados de vazão e das concentrações de sólidos dissolvidos (STD) e em suspensão (STS), em quatro pontos de amostragem ao longo da bacia do Rio das Araras, interior do estado de São Paulo. Em relação as características físico-químicas das águas fluviais, os valores de pH foram próximos à neutralidade, com as menores temperaturas obtidas nos meses de inverno; enquanto os valores de condutividade elétrica foram mais elevados nos meses de inverno. As concentrações de STS foram inversamente proporcionais aos valores obtidos para a concentração de STD, representando os processos de diluição das águas fluviais e remoção de solos pela erosão hídrica no período chuvoso. As taxas de denudação químicas e físicas em áreas mais próximas as condições naturais foram de $\sim 0,4$ e $1,6$ m/Ma, respectivamente, indicando um balanço de denudação de $-1,2$ m/Ma. Contudo, houve claramente influência antrópica nas taxas de denudação química e física ao longo da bacia do Rio das Araras, com os balanços de denudação de $-7,7$ e $-14,7$ m/Ma, especialmente devido ao lançamento de efluentes urbanos no Rio das Araras e remoção de solos nas áreas de plantações de cana-de-açúcar, respectivamente, indicando que os sistemas de paisagem humana estão afetando os processos naturais de denudação.

INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas representam importantes unidades da paisagem para realização de estudos de evolução de relevo, independentemente de sua escala, uma vez que os elementos/compostos presentes no escoamento fluvial refletem a dinâmica dos ecossistemas que abrigam, compreendendo tanto seus atributos físicos, químicos e biológicos, quanto a inter-relação de seus vários componentes, como rocha, solo, água, cobertura vegetal e atmosfera. Os processos naturais que ocorrem em bacias hidrográficas podem ser evidenciados pela geoquímica fluvial, permitindo a derivação de leis de denudação química (intemperismo químico) e física (remoção do solo) que governam a remoção de elementos/compostos dos continentes para os oceanos, além de estimar o impacto do intemperismo químico no ciclo global do carbono (Gaillardet et al., 1999; Dessert et al., 2003).

¹ Professor Titular em Geomorfologia no Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), Instituto de Geociências e Meio Ambiente (IGCE), UNESP – Rio Claro. fabiano.tomazini@unesp.br



O uso e ocupação da terra vem se modificando ao longo dos anos devido ao crescimento urbano e rural associado à falta de planejamento territorial, promovendo desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos e, conseqüentemente, na quantidade e qualidade dos recursos hídricos (Conceição & Bonotto, 2000; 2003; 2004; Conceição et al., 2010; 2015). Fernandes et al. (2020) estudaram as influências humanas nas taxas de denudação química e física da Depressão Periférica Paulista (DPP) no estado de São Paulo, indicando um aumento de ~ 4 e 8 vezes em relação as taxas de denudação obtidas em áreas naturais, respectivamente, o que evidencia a complexidade dos sistemas homem-paisagem. Assim, este estudo visa avaliar as influências antrópicas nas taxas de denudação química e física bacia do Rio das Araras, localizada no município de Araras interior do estado de São Paulo. Para isso, águas fluviais foram coletadas em quatro pontos de amostragem ao longo do Rio das Araras durante os meses de agosto e dezembro de 2018. Para correção dos aportes atmosféricos, foram coletadas amostras de águas pluviais durante o ano de 2019. Os resultados forneceram novos conhecimentos sobre como os sistemas homem-paisagem afetam os fluxos naturais dos elementos/compostos em bacias hidrográficas e, conseqüentemente, nas taxas de denudação.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A bacia do Rio das Araras (Fig. 1) está localizada dentro dos limites do município de Araras, na região Centro-Leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°15' e 22°25' S e meridianos 47°30' e 47°10' W, com área de 352,77 km² (Costa et al., 2015) e população estimada em 131.282 habitantes em 2017 (IBGE, 2018). Para a obtenção das taxas de denudação química e física na bacia do Rio das Araras foram conduzidas amostragens de águas fluviais e pluviais. Em relação as águas fluviais, foram coletadas no período de agosto a dezembro de 2018, em quatro pontos de amostragem, considerando as áreas naturais, urbanas e agrícolas no município de Araras. Os pontos de amostragem P1 e P2 representaram as áreas de contribuição das nascentes do Rio das Araras, antes da mancha urbana de Araras. O ponto de amostragem P3 foi estabelecido após a zona urbana de Araras. O ponto de amostragem P4 localiza-se em área de cultivo de cana-de-açúcar, próximo da confluência com o Rio



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Mogi-Guaçu. As coletas de águas pluviais foram conduzidas na área urbana de Araras, sendo realizadas com o uso de pluviômetro durante novembro de 2019 e janeiro de 2020 ($n = 22$), sempre em um intervalo máximo de 24 h após cada evento de chuva. Em ambos os casos, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 500 mL e armazenados a 4 °C de refrigeração.

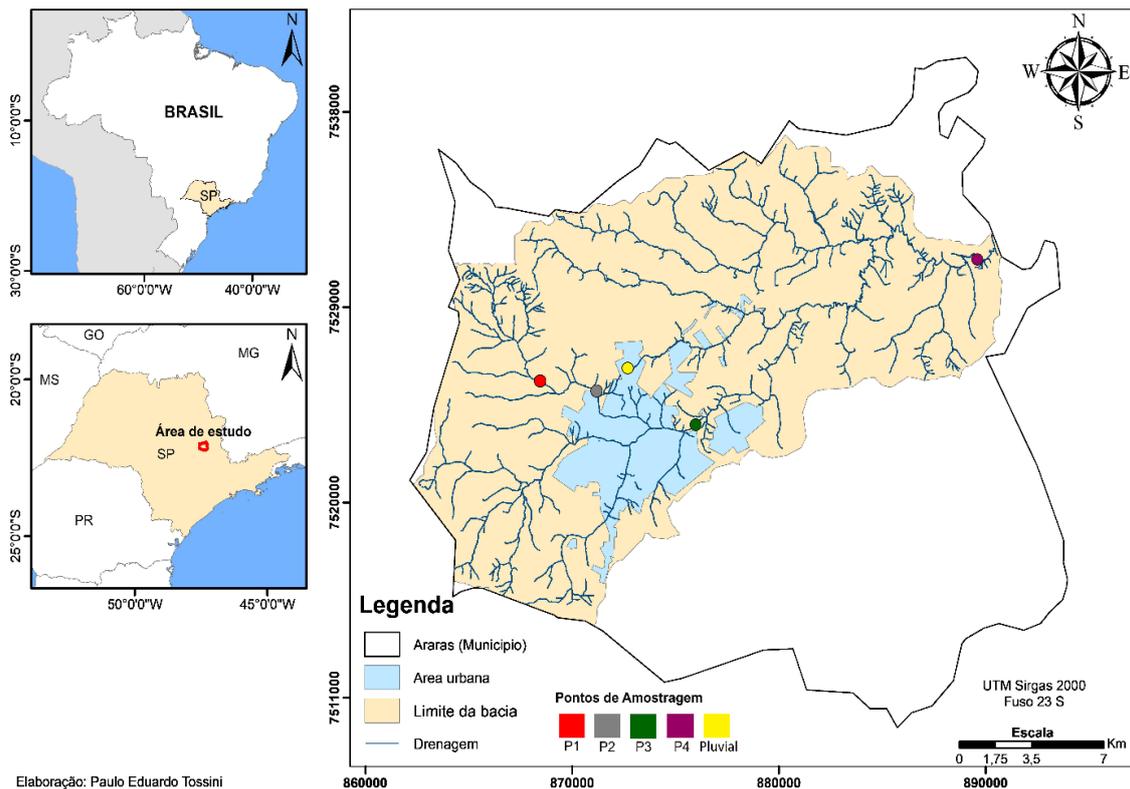


Figura 1. Localização do município de Araras e dos pontos de amostragem.

A cada coleta de águas fluviais foi determinada a vazão instantânea no respectivo ponto de amostragem. Ainda em campo, foram quantificados os parâmetros pH, temperatura (T, em °C), condutividade elétrica (CE, em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos (STD, em mg/L), utilizando-se uma sonda multiparamétrica YSI 556. Os sólidos totais em suspensão (STS, em mg/L) foram quantificados em laboratório através do Espectrofotômetro Hach DR 2800 (Método fotométrico de 2 a 750 ± 1 mg/L). Para as águas pluviais, foram caracterizados os valores de pH, CE e STD diretamente durante a amostragem, com os mesmos protocolos usados para as amostras de águas fluviais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar as influências antrópicas da área urbana da cidade de Araras no balanço de denudação na bacia do Rio das Araras foi necessário calcular os fluxos específicos anuais advindos dos processos de intemperismo químico (W_q) e de remoção de solo (W_m), uma vez que representam a massa anual dissolvida e em suspensão transportada pelo Rio das Araras relativizadas pelas áreas de contribuição de cada ponto de amostragem. Os fluxos foram calculados considerando os valores médios de Q , [STD] e [STS] obtidos para cada ponto de amostragem e uma precipitação anual de 1.624 mm. As taxas de denudação química e física foram obtidas usando-se as densidades das rochas de 2650 kg/m^3 e dos solos de 1600 kg/m^3 . De acordo com Penteadó (1978), o balanço de denudação (ΔD) pode ser obtido pela expressão $\Delta D = H_q - H_m$. Quando o valor de ΔD é igual a zero, há um equilíbrio entre as taxas, com a espessura dos solos permanecendo constante; já nos casos em que a taxa de denudação física é maior que a química ocorre a adelgaçamento dos solos e, se o processo é inverso, tem-se o espessamento dos solos. Os fluxos, taxas e balanço de denudação por ponto de amostragem são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de W_q , W_m , H_q , H_m e ΔD por ponto de amostragem na bacia do Rio das Araras.

Ponto de amostragem	W_q (t/km ² /a)	W_m (t/km ² /a)	H_q (m/Ma)	H_m (m/Ma)	ΔD (m/Ma)
P1	0,5	2,2	0,3	1,3	-1,0
P2	1,0	2,9	0,4	1,8	-1,4
P3	3,5	14,6	1,4	9,1	-7,7
P4	5,0	26,5	1,9	16,6	-14,7

As reais taxas de denudação química e física na bacia do Rio das Araras podem ser obtidas nos pontos de amostragem P1 e P2, pois nestes locais ainda não há entrada de efluentes domésticos no Rio Araras e nem são afetados pelas atividades agrícolas. Analisando as taxas médias de denudação química e física foram de $\sim 0,4$ e $\sim 1,6$ m/Ma, respetivamente, indicando que a taxa de denudação física foi ~ 4 vezes maior que a química, em consonância com o balanço global geralmente aceito para bacias



hidrográficas, onde a denudação física é cerca de até seis vezes maior que a química (Lasaga et al., 1994). Ainda, indica-se um balanço de denudação negativo para a bacia do Rio Araras, havendo uma diminuição da espessura dos solos de $\sim 1,2$ m/Ma.

No ponto P3, já há entrada de lançamentos de efluentes urbanos no Rio das Araras. Apesar de haver um ligeiro efeito de diluição entre os pontos de amostragem P3 e P4, que não diminuiu a [STD] ao longo do Rio das Araras, ainda houve um aumento nas taxas de denudação química, refletindo diretamente um aumento nas taxas de denudação química de $\sim 0,4$ m/Ma nas áreas próximas as nascentes para $1,9$ m/Ma na foz desta bacia hidrográfica. Em relação às taxas de denudação física, há contínuo aumento nas taxas de $\sim 1,6$ m/Ma para as áreas próximas as nascentes, passando de $\sim 9,1$ m/Ma após a área urbana da cidade de Araras, até $\sim 16,6$ m/Ma na foz do Rio das Araras. O primeiro aumento associa-se ao lançamento de esgotos, como já discutido. Porém, o segundo aumento deve-se às atividades agrícolas, mais especificamente a remoção de solos expostos nas plantações de cana-de-açúcar. Para finalizar, esse estudo mostra que os sistemas de paisagens humanas afetam as taxas de denudação física na Depressão Periférica Paulista e, com a expansão contínua das plantações de cana-de-açúcar, estas taxas podem aumentar ainda mais no futuro devido à política energética brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu melhor compreensão da influência antrópica sobre as taxas de denudação química e física que ocorrem em uma região tropical na Depressão Periférica Paulista, por meio da avaliação da dinâmica do transporte fluvial na bacia do Rio das Araras. Os valores da [STS] foram inversamente aos obtidos para [STD], representando os processos de diluição das águas fluviais e remoção de solos pela erosão hídrica no período chuvoso em todos os pontos de amostragem. As taxas de denudação química e física claramente foram influenciadas pelas atividades humanas que estão ocorrendo na bacia do Rio das Araras, especialmente pelo lançamento de efluentes na área urbana da cidade de Araras e remoção de solos nas áreas de plantações de cana-de-açúcar em sua área agrícola. Assim, o efeito das mudanças no uso da terra nas taxas atuais de denudação na Depressão Periférica Paulista é evidente, indicando



que os sistemas de paisagem humana estão afetando os processos naturais de denudação e, conseqüentemente, a evolução da paisagem na Depressão Periférica Paulista.

Palavras-chave: Evolução de relevo, Intemperismo químico, Remoção de solo, Atividades humanas, Bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo 308622/2023-5).

REFERÊNCIAS

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, V. 16, P. 01-21, 2002.

CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rates and fertilizer derived uranium at São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, V. 44, P. 408–418, 2003.

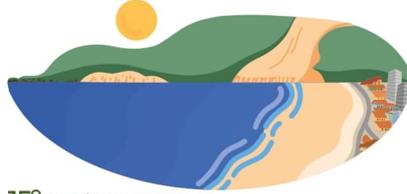
CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, V. 19, P. 575-591, 2004.

CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; NAVARRO, G.R.B. Anthropogenic influences on annual flux of cations and anions at Meio Stream basin, São Paulo State, Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, V. 205, P. 79–91, 2010.

CONCEIÇÃO, F.T.; SANTOS, C.M.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; GODOY, L.H. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, V. 233, P. 41-51, 2015.

COSTA, C.W.; PIGA, F.G.; MORAES, M.C.P.; DORICI, M.; SANGUINETTO, E.C.; LOLLO, J.A.; MOSCHINI, L.E.; LORANDI, R.; OLIVEIRA, L.J. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras – Araras, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 20, P. 946 – 958, 2015.

DESSERT, C., DUPRÉ, B., GAILLARDET, J., FRANÇOIS, L.M., ALLÈGRE, C.J., Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. **Chemical Geology**, V. 202, P. 257–273, 2003.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

FERNANDES, A.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; SPATTI JUNIOR, E.P.; COUTO JÚNIOR, A.A.; HISSLR, C.; MORTATTI, J. Hydrochemistry applied to assess the chemical weathering and soil removal rates in the Sorocaba River basin, São Paulo State. **Geomorphology**, V. 351, P.106955, 2020.

GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C. J. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. **Chemical Geology**, V. 159, P. 3-30, 1999.

IBGE. Cidades/São Paulo/Araras. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/araras/panorama>>. Acesso em: 15 mai 2018.

