

## **ANÁLISE DAS RELAÇÕES MOLARES EM PERFIS DE GLEISSOLOS NA PLANÍCIE FLUVIAL DO ALTO MÉDIO RIO MOGI GUAÇU – MG**

Denise Silva Leão de Souza <sup>1</sup>  
Márcio Luiz da Silva <sup>2</sup>  
Alessandro Batezelli <sup>3</sup>

### **INTRODUÇÃO**

As transformações físicas, químicas e mineralógicas, resultantes do processo de intemperismo, desempenham um papel fundamental na modelagem do relevo e na remobilização dos elementos na superfície terrestre (BOULET, 1988).

Para entender a dinâmica de evolução dos solos e os elementos da paisagem é necessário considerar os fatores e processos de formação, como o clima, topografia, vegetação, material de origem e tempo, que influenciam a transformação e distribuição dos solos na paisagem (NAKASHIMA et al., 2017).

Nesse contexto, as planícies fluviais são formadas pela interação entre o canal fluvial, o padrão de drenagem e o regime hidrológico. Esses fatores influenciam a erosão, deposição e composição dos sedimentos, que variam conforme a morfometria do canal, o transporte e as condições hidrodinâmicas do rio (CELARINO e LADEIRA, 2017).

O uso de indicadores geoquímicos, através da análise da proveniência dos sedimentos e solos, possibilita investigar condições climáticas e ambientais passadas, além de fornecer uma compreensão detalhada sobre a dinâmica desses processos ao longo do tempo geológico (SHELDON e TABOR, 2009).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise geoquímica das relações molares, utilizando *proxies* para avaliar os processos pedogenéticos em Gleissolos na planície fluvial do Alto-Médio Rio Mogi Guaçu – MG.

### **METODOLOGIA**

O presente estudo foi conduzido nos solos da planície fluvial do Rio Mogi Guaçu, situada no município de Inconfidentes, na mesorregião do Sul de Minas Gerais.

A litologia da área é diversa, composta por rochas ígneas e metamórficas de diferentes idades geológicas, que variam desde o Arqueano até o Cenozoico (MIRA et al., 2022).

---

<sup>1</sup> Mestranda em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas, [denise.sleaosouza@gmail.com](mailto:denise.sleaosouza@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas, [marcgeo10@yahoo.com.br](mailto:marcgeo10@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Professor orientador: Doutor, Universidade Estadual de Campinas, [batezeli@unicamp.br](mailto:batezeli@unicamp.br)

O canal fluvial do Rio Mogi Guaçu é caracterizado por um padrão de drenagem de alta densidade, predominantemente dendrítico, e por uma morfologia que alterna entre configurações meândricas e retilíneas (CARVALHO et al., 2022).

Foram selecionadas três amostras de solo (P1, P2 e P3) a partir de horizontes diagnósticos das margens côncavas e convexas do Rio Mogi Guaçu, segundo metodologia proposta por Santos et al. (2015).

As amostras preparadas foram secas a 110 °C e submetidas à determinação da perda ao fogo a 1000 °C (%PF) para a preparação de discos de vidro em matriz de tetraborato de lítio conforme metodologia proposta por Vendemiatto e Enzweiler (2001).

A determinação das razões molares foi calculada dividindo as concentrações dos elementos (em % ou ppm) pelas suas massas molares, seguindo a metodologia proposta por Sheldon e Tabor (2009) e Silva (2016).

A análise química por espectrometria de fluorescência de raios X – (FRX) identificou as massas molares de  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$ ,  $Na_2O$ ,  $SiO_2$  e  $TiO_2$ , além de determinar as massas atômicas de Ba, Ce, La, Sr e Zr, permitindo a avaliação de razões molares.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis de solo foram classificados da seguinte forma: P1 e P2 como Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico (GXbdt) e P3 como Gleissolo Háplico Tb Alumínico típico (GXbat). A classificação das amostras foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Sete relações molares foram estabelecidas: Proveniência (P) ( $TiO_2/Al_2O_3$ ), Lixiviação (L) ( $Ba/Sr$ ), Material Parental 1 (M1) ( $TiO_2/Zr$ ), Material Parental 2 (M2) ( $La/Ce$ ), Oxidação (O) ( $(Fe_2O_3+MnO)/Al_2O_3$ ), Hidrólise (H) ( $(CaO+MgO+Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ ), e CIA-K ( $100 \times [(Al_2O_3+CaO+Na_2O)]$ ) apresentados na (Tabela 1) e (Figuras 1, 2, e 3).

No perfil 1 classificado como GXbdt a relação Ti/Al (P) foi menor nos horizontes Bg e Cg, indicando uma perda significativa de Ti e sugerindo que os horizontes Ag e ABg se formaram em depósitos distintos (Figura 1, Tabela 1). Ti e Al são estáveis durante o intemperismo geoquímico (PATON, 1978), uma relação contínua entre esses elementos ao longo do perfil é esperada; qualquer variação significativa sugere mudanças nos depósitos.

A relação Ba/Sr (L) que mede a taxa de lixiviação no perfil, apresentou seu maior valor no horizonte Cg (Figura 1). Uma razão Ba/Sr mais alta indica maior lixiviação, já que,

em condições semelhantes, o Sr é significativamente mais solúvel que o Ba (RETALLACK, 2001; SHELDON e TABOR, 2009).

**Tabela 1.** Relações molares.

PH	Prof (cm)	Relações Molares						
		TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba/Sr	TiO <sub>2</sub> /Zr	La/Ce	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(ΣBases)/A <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CIA-K
P1-Ag	17.5	0.172556992	4.065269313	0.003474443	0.495288276	0.240520145	0.443379617	92.85570005
P1-ABg	47.5	0.15275803	4.437083388	0.003771249	0.487078344	0.22801258	0.431545336	93.59798661
P1-Bg	65	0.087686309	5.015490676	0.005329048	0.451241477	0.199178903	0.255152238	96.50164158
P1-Cg	87.5	0.06647042	5.851100492	0.007535402	0.422467014	0.195154743	0.193202165	97.50214627
P2-Ag	15	0.092613368	5.222475336	0.003502015	0.487692511	0.176894422	0.274465711	95.82994492
P2-ABg	42.5	0.11325563	5.073481974	0.003883623	0.481908172	0.190999329	0.363665239	94.50589052
P2-Bg	72.5	0.104510384	5.065617477	0.003506057	0.473981141	0.187374834	0.330524267	95.24018225
P2-Cg	135	0.115736615	5.191427668	0.003144661	0.491979435	0.207474216	0.374667175	94.57425209
P3-Ag1	15	0.096184873	5.084453415	0.004254289	0.496944402	0.166247304	0.283376888	96.59088011
P3-C	50	0.078774689	5.199130858	0.002393317	0.384765928	0.169736597	0.471957998	93.49230414
P3-Ag2	83.5	0.070808012	4.894391843	0.007506707	0.411705447	0.126928422	0.19071268	98.19822398
P3-Bg1	115	0.067142533	5.403334553	0.003964593	0.47180332	0.200919323	0.185933789	98.57647788
P3-Bg2	153	0.093282553	4.349018537	0.011495399	0.537717364	0.171563745	0.308928789	96.67701453
P3-Cg	204	0.10721793	4.910403726	0.003218673	0.468810295	0.158548046	0.347068697	95.79006973
D (Sm)	265	0.208845464	2.214711036	0.001905796	0.561733945	0.212357388	0.53732971	90.81958263

PH: Perfil e horizonte; Prof: Profundidade; D: depósitos (Facies Sm).

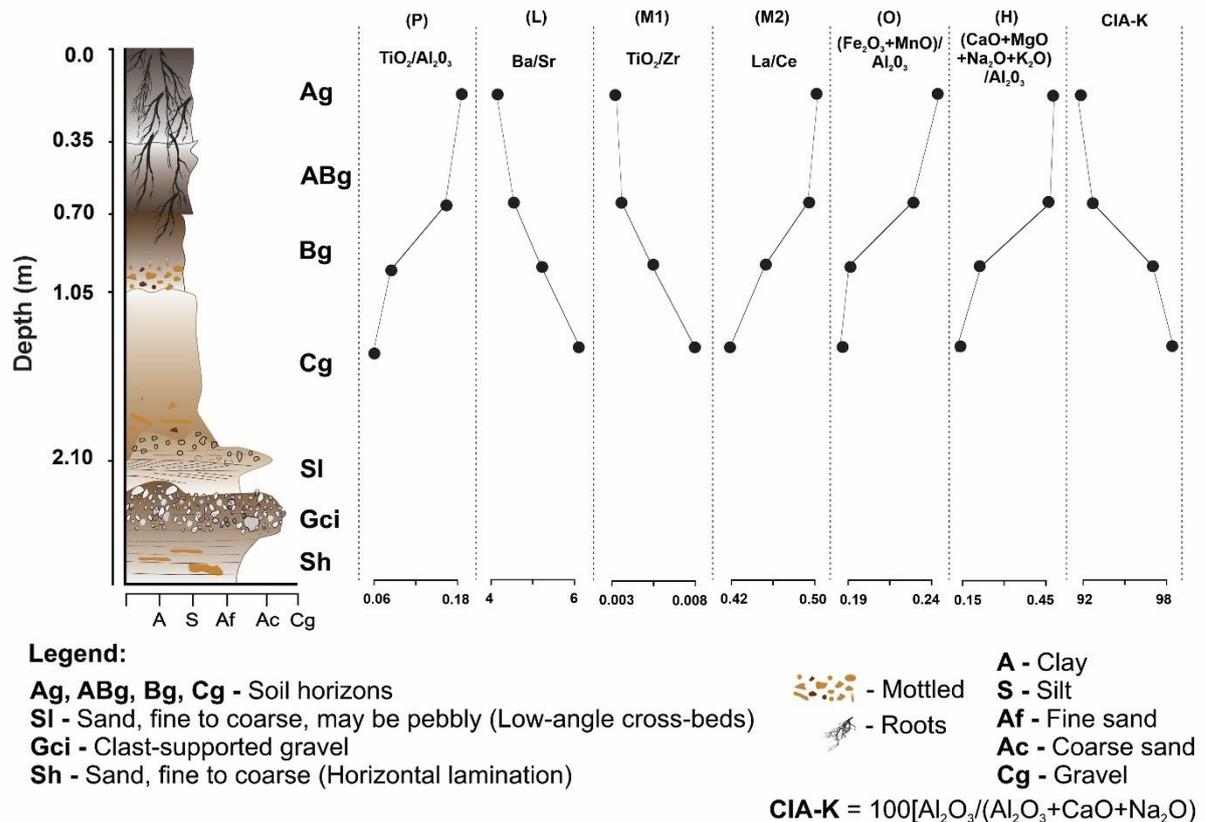
Na relação Ti/Zr (M1), que indica a origem do material parental, a maior concentração foi observada no horizonte Cg (Figura 1). Como Ti e Zr acumulam-se com o intemperismo, variações abruptas na relação M1 sugerem materiais parentais distintos (BIRKELAND, 1999).

As razões moleculares La/Ce (M2) também identificam a proveniência mineral do solo, apresentando um comportamento inverso à razão M1 (Figura 1). Variações na concentração desses elementos com a profundidade indicam que o perfil evoluiu a partir de depósitos distintos (SHELDON e TABOR, 2009).

A relações molares de oxidação (O) indicam as taxas de intemperismo dos perfis. No perfil 1 (Figura 1), as menores concentrações de oxidação foram nos horizontes Bg e Cg. Gleização, ou hidromorfismo, refere-se à redução in situ de Fe e Mn sob condições de encharcamento (BOCKHEIM e GENNADIYEV, 2000).

A relação de hidrólise (H), que avalia a intensidade do intemperismo, apresentou maiores concentrações nos horizontes Ag e ABg, variando com a profundidade do perfil (Figura 1). Essa relação aumenta conforme o intemperismo se intensifica (KRAUS, 2002).

O índice químico de alteração sem potássio (CIA-K) que também avalia o intemperismo mostrou um padrão inversamente proporcional à relação de hidrólise (H), com maiores concentrações nos horizontes Bg e Cg (Figura 1). Altos valores de CIA-K indicam alta precipitação, inferindo que esses solos foram intensamente alterados (SHELDON e TABOR, 2009).

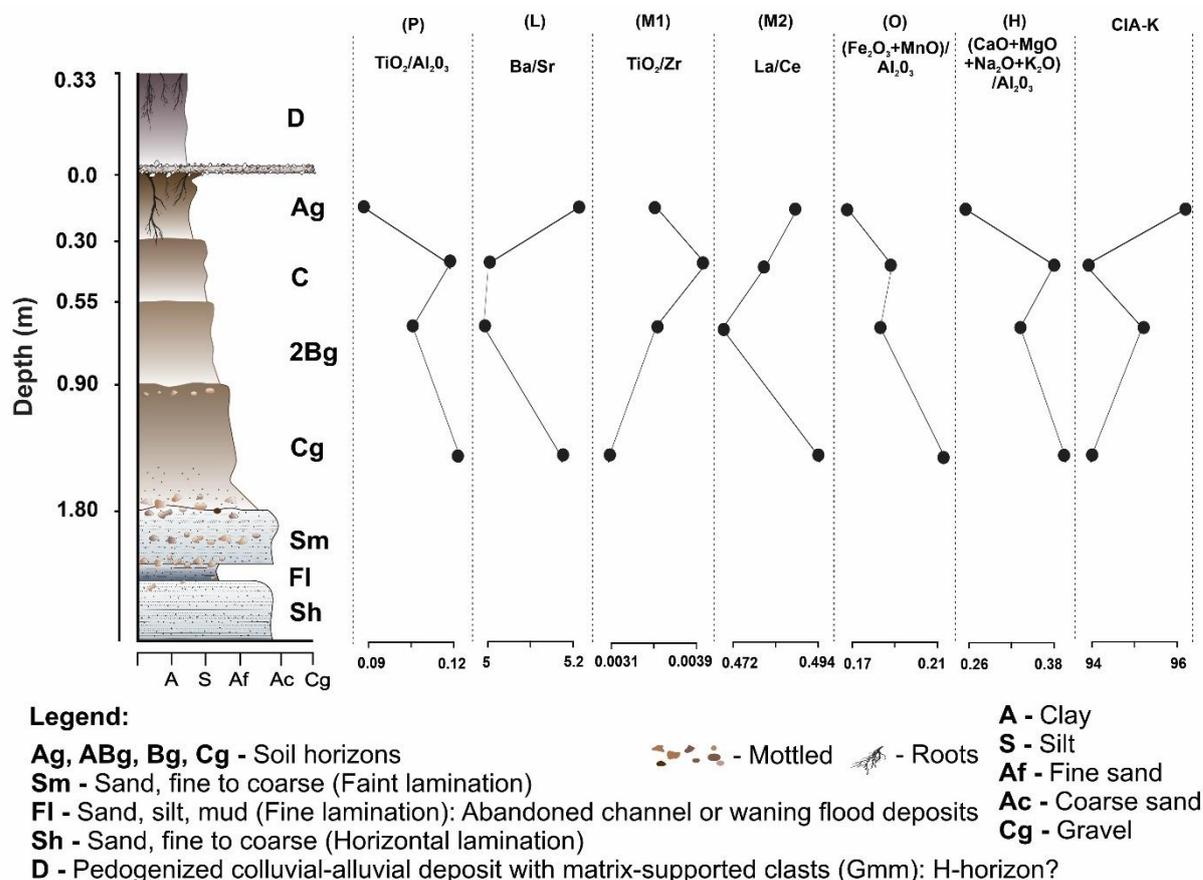


**Figura 1.** Resultado das razões moleculares do perfil 1 (P1).

O perfil 2, também classificado como GXbdt, apresentou uma relação Ti/Al (P) com maiores valores nos depósitos C e em Cg, a menor concentração foi em Ag. Isso sugere a influência de diferentes depósitos na evolução do solo (Figura 2 e Tabela 1). Os elementos Ti e Al são elementos relativamente imoveis, e essa razão deve permanecer constante durante a pedogênese. Em condição de pH ácido essa relação deve mudar, a depender do material de origem e pH no momento da formação (SHELDON e TABOR, 2009).

No perfil 3 (P3), classificado como GXbat, as relações molares P e L mostraram comportamento inversamente proporcional com a profundidade (Tabela 1 e Figura 3). Segundo Sheldon e Tabor (2009), os elementos Ba e Sr são alcalino-terrosos e possuem afinidades químicas semelhantes. Portanto, altos valores são esperados em horizontes mais

lixiviados, indicando variações nos depósitos ao longo do processo pedogenético no P3 (Figura 3).



**Figura 2.** Resultado das razões moleculares do perfil 2 (P2).

As relações de proveniência (M1 e M2) exibiram um comportamento quase diretamente proporcional ao longo da profundidade, mostrando variações (descontinuidades) que sugerem a formação possível de perfis compostos ou poligenéticos (Figura 3). Segundo Maynard (1992), o Ti e o Zr são encontrados em minerais que são resistentes à alteração, e se a relação Ti/Zr variar ao longo da profundidade do perfil, isso pode corroborar a origem alóctone para o perfil.

As razões de oxidação (O) e hidrólise (H) não apresentaram uma relação diretamente proporcional ao longo da profundidade do perfil 3 (Figura 3). Segundo Sheldon e Tabor (2009), em solos com condições redutoras, o  $Fe^{2+}$  é mais prevalente e móvel, enquanto o  $Fe^{3+}$  é estável em condições oxidativas. Em relação à hidrólise, o aumento do intemperismo resulta no esgotamento das bases e no consequente aumento da razão (KRAUS, 2002).

O índice CIA-K atingiu seu maior valor no perfil 3, alcançando quase 100 no horizonte 2Bg1 (Figura 3, Tabela 1), indicando um intemperismo mais intenso (KRAUS, 2002; SHELDON e TABOR, 2009).

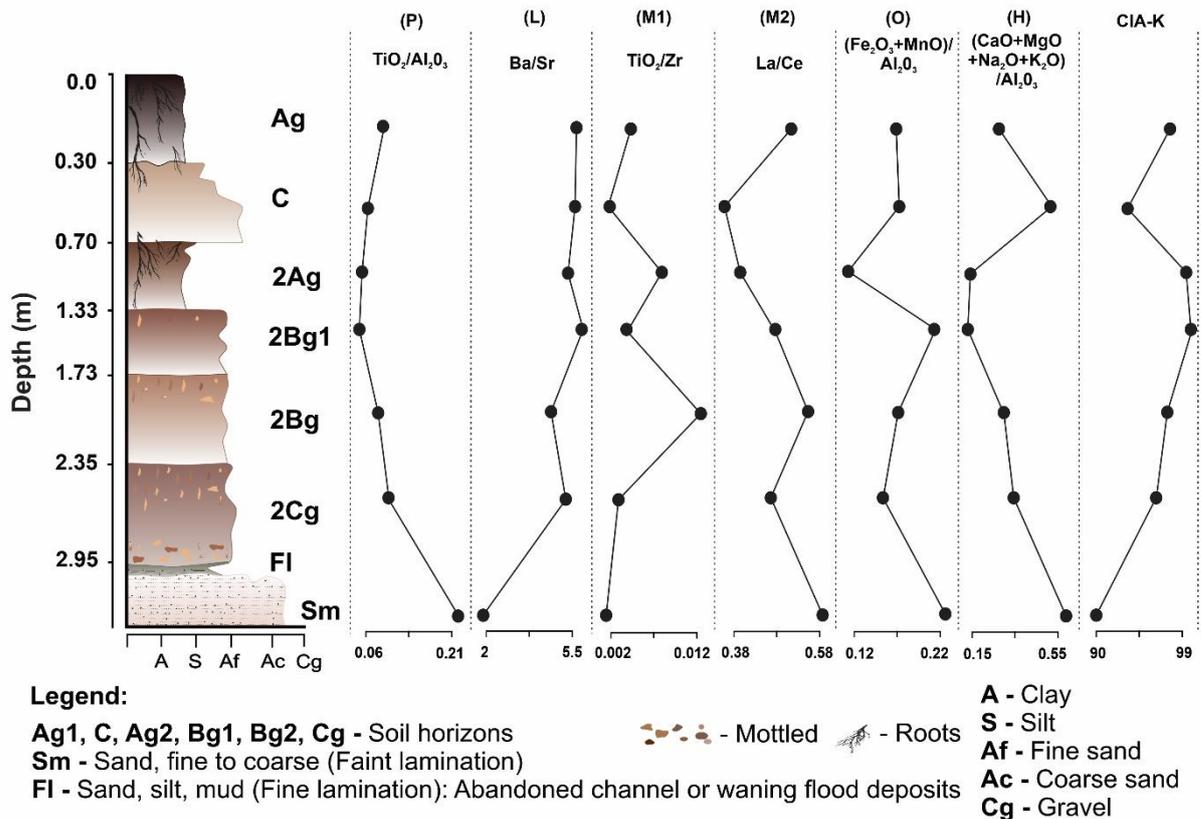


Figura 3. Resultado das razões moleculares do perfil 3 (P3).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das relações molares de proveniência (P), lixiviação (L), material parental (M1 e M2), oxidação (O), hidrólise (H) e pelo índice de alteração sem potássio (CIA-K), dos elementos analisados em relação à profundidade dos perfis (P1, P2 e P3) permitiu comparar a evolução pedológica dos perfis de Gleissolos.

Os teores e variações dos principais elementos nas proporções dos processos pedogênicos possibilitaram influências pedogenéticas da gênese dos perfis. O perfil P3 demonstrou entre os três analisados, pela relação de hidrólise (H) que avalia a intensidade do intemperismo químico, indicando concentração mais significativas indicando ser o perfil mais evoluído.

Dessa forma, a morfometria e a oscilação do lençol freático revelam diferentes agentes no incremento de taxas de sedimentação e erosão associadas ao gradiente de energia do canal.

Isso permitiu a formação e evolução de diversas classes de Gleissolos, incluindo perfis compostos ou poligenéticos, na planície fluvial do Alto-Médio Rio Mogi Guaçu, em MG.

**Palavras-chave:** Fluorescência de raios – X, geoquímica, pedogênese, solos de várzea.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores ao agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UNICAMP e ao CNPq, pela bolsa de Mestrado (131438/2021–2) e Bolsa de Produtividade CNPq (310734/2020–7). Agradecem também ao Grupo de Estudos Solos, Paleossolos, Depósitos e Evolução de Paisagens do IFSULDEMINAS do *campus* Inconfidentes – MG.

## **REFERÊNCIAS**

BIRKELAND, P. W. **Soil and geomorphology**. 3 ed. Oxford University Press, New York, 1999.

BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. **Geoderma**, v 95, p. 53-72, 2000.

BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 79-90, 1988.

CARVALHO, D. S.; SOUZA, D. S. L.; MIRA, I. R. C.; SILVA, M. L. Análise morfométrica da Bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo, Sul de Minas Gerais. **Rev. Ibero-Am. Ciênc**, v 13, p. 338-352, 2022.

CELARINO, A. L. S.; LADEIRA, F. S. B. How fast are soil-forming processes in Quaternary sediments of a tropical floodplain? A case study in southeast Brazil. **Catena**, v 156, p. 263-280, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. (Orgs), Brasília, EMBRAPA, 2018.

KRAUS, M. J. Basin-scale changes in floodplain paleosols: implications for interpreting alluvial architecture. **J. Sediment. Res.** 72, 500-509, 2002.

MAYNARD, J. B. Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols. **Journal of Geology** 100, 279-289, 1992.

MIRA, I. R. C.; CARVALHO, D. S.; SOUZA, D. S. L., & SILVA, M. L. Vulnerabilidade Ambiental da Sub-Bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v 15, 1352–1370, 2022.

NAKASHIMA, M. R.; ALVES, G. B.; BARREIROS, A. M.; QUEIROZ NETO, J. P. Dos solos à paisagem: uma discussão teórico-metodológica. **Revista da ANPEGE**, v 13, p. 30-52, 2017.

PATON, T. R. **The formation of soil material**. George Allen & Unwin Press, London, 1978.

RETALLACK, G. J. **Soils of the past: an introduction to paleopedology**. 2 ed. Unwin Hyman, London, 2001.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 102, 2015.

SILVA, M. L. **Sedimentação e pedogênese da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil**. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 339, 2016.

SHELDON, N. D.; TABOR, N. J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. **Earth-Science Reviews**, v 95, p. 1-52, 2009.

VENDEMIATTO, M. A.; ENZWEILER, J. Routine control of accuracy in silicate rock analysis by X-ray fluorescence spectrometry. Geostandards Newsletter, **The Journal of Geostandards and Geoanalysis**, v. 25, p. 103-112, 2001.