

TEMPO

Marcos Gervasio Pereira

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia – Ciência do Solo, Professor Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Eduardo Carvalho da Silva Neto

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento

Geólogo, Mestre em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

5.1 INTRODUÇÃO

O tempo é um fator de formação que indica a intensidade de atuação dos fatores e processos pedogenéticos e diz respeito à idade e à história do solo. Possui uma relação tanto cronológica, quanto de maturidade e evolução (KÄMPF e CURI, 2012), cabendo aqui uma distinção entre cronologia e maturidade. A cronologia pode

ser definida como o tempo transcorrido desde o início da exposição do material de origem na superfície terrestre até um determinado momento avaliado; já a maturidade refere-se ao grau de evolução atingido pelo solo, o qual depende intrinsecamente da combinação de condições dos demais fatores de formação.

Mesmo diante da enorme complexidade, os solos vêm sendo cada vez mais estudados no espaço-tempo, tanto por uma abordagem relativa, quanto absoluta. Na primeira, discute-se o tempo do solo, ou tempo pedológico, como seu grau de desenvolvimento, considerando que solos mais velhos serão aqueles mais desenvolvidos pedogeneticamente, e o contrário para solos mais jovens. O que identifica os solos como mais ou menos desenvolvidos pode variar, incluindo desde o grau de intemperismo dos minerais, as assembleias minerais formadas, a composição geoquímica e sua diferenciação daquela do material de origem, até a diversificação de horizontes e pedofeições.

5.1.1 Datação de solos

A idade cronológica dos solos pode ser determinada através de métodos de datação absoluta, utilizando métodos aplicados em datações de rochas e sedimentos. Seus componentes orgânicos e minerais podem ser datados por diversas técnicas, sendo as principais os métodos radiométricos, de liberação de energia térmica e luminosa, radionuclídeos cosmogênicos e por bioindicadores (SCHAETZL e ANDERSON, 2005).

Pela relativa abundância de material orgânico nos solos, uma das técnicas mais empregadas é a do isótopo radioativo ^{14}C . Assim que produzido, o isótopo radioativo ^{14}C , bem como ^{12}C e ^{13}C , são incorporados a moléculas de CO_2 da atmosfera, integrando o ciclo biogeoquímico global do C. Uma das possíveis rotas seguidas é a absorção pelas plantas por meio da fotossíntese. Durante o ciclo de vida, as plantas mantêm constante a absorção de ^{14}C . No entanto, com a morte da planta, a concentração desse composto em seus tecidos diminui (decaimento) a taxas derivadas de sua meia-vida, que é em torno de 57 mil anos. Nesse sentido, o princípio da datação radiométrica do isótopo estável ^{14}C baseia-se na determinação da quantidade desse isótopo remanescente, o que indica o tempo decorrido desde a morte da planta.

Apenas as técnicas utilizadas pela Geocronologia que buscam a idade de materiais muito antigos, da ordem de milhões a bilhões de anos, como, por exemplo, as datações pelos pares de isótopos radioativos K-Ar, Rb-Sr, U-Th-Pb, Sa-Nd, Lu-Hf e Re-Os, não são usualmente aplicadas a solos. Embora os solos possuam componentes passíveis de serem datados de forma absoluta a partir de técnicas consagradas da Geocronologia, estabelecer uma idade precisa do solo é tarefa bastante controversa, e os resultados obtidos são de difícil interpretação. Isso se deve ao fato de o solo possuir uma série de compostos lábeis, com uma grande variedade de compostos orgânicos, argilominerais silicatados, oxihidróxidos de Fe e Al e precipitados, que atuam como sistemas abertos no sentido químico, trocando livremente elementos químicos e seus isótopos com o ambiente. Assim, por se tratar de um sistema aberto, os dados cronológicos provenientes de métodos radiométricos tradicionais, baseados no comportamento químico de elementos-pai e elementos-filho, devem ser interpretados de maneira cuidadosa (SOARES *et al.*, 2021).

Apesar de a escala do tempo geológico fornecer informações sobre idades das rochas ou sedimentos, a sua relação com a pedogênese, na maioria das vezes, não é direta, tendo em vista que a idade da rocha nem sempre corresponde ao início da sua exposição a ação dos processos de intemperismo. Além disso, o retrabalhamento de materiais clásticos ao longo do tempo geológico proporciona menor estabilidade das superfícies, sendo raras as paisagens que preservam as superfícies estáveis antigas (KÄMPF e CURI, 2012). No estado do Rio de Janeiro, como na maior parte do território brasileiro, muitos solos são formados a partir dos produtos de alteração de rochas, que foram modificados ao longo de diversos ciclos climáticos (ver Cap 1 e Cap 2), logo, com distintas condições ambientais influenciando a formação do solo ao longo do tempo.

5.1.2 Evolução pedogenética

Apesar de fornecer uma concepção de formação do solo muito útil, o modelo fatorial concebido por V. Dokuchaev e equacionado por Jenny (1941) tem algumas limitações: (1) não permite visualizar os processos ativos no sistema solo; (2) não considera o caráter poligenético dos solos, decorrente da inconstância de fatores; e (3) dada a impossibilidade natural de isolar-se o efeito de um fator e manter os demais constantes, o modelo inviabiliza uma solução matemática para a equação, a qual é, portanto, apenas uma expressão qualitativa ou semiquantitativa da formação do solo (KAMPF e CURI, 2012). A equação de formação do solo traz consigo a premissa de que é possível testar a ação de um fator de formação ao isolá-lo em relação aos demais fatores, em estudos de pedossequências (clima, bio, topo, lito e cronossequência). No entanto, essa perspectiva apresenta um problema relacionado à equação de formação dos solos – a equação pressupõe que todas as variáveis sejam independentes, quando, na verdade, a única variável independente é o tempo. O clima e a vegetação, principalmente, são passíveis de mudanças em função do tempo.

Segundo esse modelo, todos os solos começaram a ser formados a partir de um tempo-zero. A partir desse referencial, os materiais deram origem ao solo; tanto a rocha quanto produtos já intemperizados e remanejados, como as coberturas provenientes de retrabalhamentos, começaram a ser submetidos a uma série contínua de transformações, as quais foram mais intensas ou rápidas quanto mais agressivas foram as ações dos processos pedogenéticos atuantes. Outro importante aspecto relacionado ao fator tempo é a variação dos ciclos climáticos úmidos e secos, que, por sua vez, proporcionam mudanças na taxa de intemperismo e, conseqüentemente, na evolução dos solos.

De uma forma geral, a formação dos solos é ilustrada através da alteração progressiva da rocha *in situ* pelos agentes do intemperismo, sob a influência dos demais fatores e da ação dos processos pedogenéticos, com a diferenciação de horizontes e camadas (Figura 60) cujas características refletem esses fatores e processos. Esses solos são identificados como “autóctones”. Porém, muitos deles são formados a partir de materiais transportados de outras partes da paisagem, sedimentos, que podem ser sobrepostos aos materiais de alteração da rocha (saprolito), e estes são então identificados como “alóctones”.

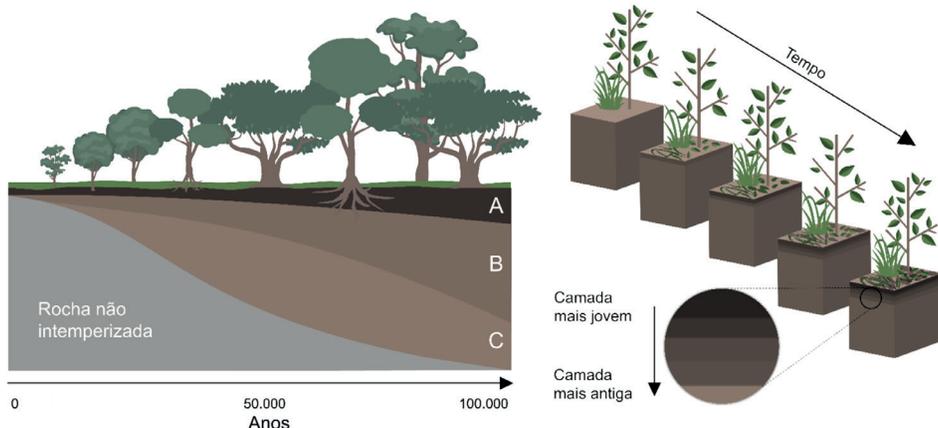


Figura 60. Diagrama de evolução pedogenética em solos autóctones formados a partir de alteração de rocha *in situ*.

Fonte: Eduardo Carvalho da Silva Neto.

Universalmente, a estimativa do grau de desenvolvimento genético de um solo é baseada na diferenciação de horizonte, sendo interpretado que, quanto maior o número e variação dos horizontes, mais desenvolvido é o solo (JENNY, 1941). Porém, essa afirmação nem sempre é verdadeira, pois solos formados em ambientes de clima tropical, como os Latossolos, apresentam um elevado grau de evolução pedogenética, expresso por suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, porém com uma pequena distinção entre horizontes. Nesses solos, embora haja várias subdivisões do horizonte diagnóstico subsuperficial, esses sub-horizontes são muito similares, portanto, há uma pequena diferenciação.

Outro aspecto a ser destacado é o papel dos solos como arquivos de mudanças paleoambientais. Registros de mudanças ambientais ao longo do tempo geológico podem ser observados com mais clareza em solos com acúmulo significativo de matéria orgânica, como os Organossolos ou solos com horizonte A húmico. Mudanças na cobertura vegetal resultam em mudanças no material aportado ao solo, fazendo com que este se comporte como um registro de eventos ambientais pretéritos. Portanto, os solos podem ser considerados arquivos naturais de condições ambientais do passado, fornecendo informações sobre temperatura, umidade ou precipitação, composição química da atmosfera, vegetação etc.

No estado do Rio de Janeiro, ambientes como os campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia são ideais para estudos paleoambientais e de datação da matéria orgânica. O clima frio e úmido favorece o acúmulo e preservação da matéria orgânica do solo depositada ao longo do tempo. Soares *et al.* (2016) estudaram Organossolos nesses ambientes, com datação da matéria orgânica de dois perfis de solo pelo método de ^{14}C . As análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ mostraram uma diferença na contribuição dos materiais

vegetais nesses solos e a datação ^{14}C indicou idades de 3280 ± 80 anos A.P. (antes do presente) e 2005 ± 5 anos A.P. Pereira *et al.* (2022) estudaram os registros paleoambientais em Latossolos com A húmico de ambientes altomontanos no estado do Rio de Janeiro. Os autores dataram a fração mais estável da matéria orgânica do solo e encontraram idades de ~ 2.300 anos A.P. Através de variações isotópicas e proxies ambientais (fitólitos), os autores identificaram modificações climáticas ocorridas durante o Holoceno tardio, com predominância de vegetação mista composta por plantas dos ciclos fotossintéticos C3 e C4.

5.1.3 Cronologia dos solos e materiais de origem no Rio de Janeiro

O Escudo Atlântico, que inclui a área do estado do Rio de Janeiro, expõe rochas cristalinas, profundas, que formam o embasamento das bacias sedimentares paleozoicas do continente e das bacias sedimentares mesocenozoicas da margem continental brasileira. A exumação de grande parte da crosta continental superior permitiu a exposição de rochas ígneas plutônicas e metamórficas de alto grau pré-cambrianas e paleozoicas no território fluminense. Essas rochas são cortadas por plútons e diques pós-paleozoicos e são cobertas, localmente, por sedimentos cenozoicos em fossas tectônicas e sedimentos quaternários continentais e litorâneos (HEILBRON *et al.*, 2016) (ver Cap 1).

A sedimentação quaternária mais antiga no território fluminense, no Pleistoceno, foi sobreposta ou retrabalhada por sedimentos recentes. Sedimentos pleistocênicos continentais encontram-se preservados em terraços fluviais do Rio Paraíba do Sul e no topo das bacias de Resende e Volta Redonda. Parte dos depósitos de tálus situados nas escarpas das serras do Mar e Mantiqueira e de maciços litorâneos isolados pode ter se desenvolvido no Pleistoceno. Dentre esses depósitos, destacam-se os grandes corpos de tálus situados ao redor do Complexo Alcalino do Itatiaia. Cordões marinhos arenosos pleistocênicos são encontrados a sul da foz do Rio Paraíba do Sul, entre Barra do Furado e Macaé. Sedimentos continentais vêm sendo depositados no Holoceno após o último período glacial e estão relacionados às mudanças do nível do mar nessa época (ver Cap 2). A maior área de deposição holocênica se localiza nas baixadas Fluminense e Campista, cada uma com cerca de 1.600 km^2 .

No estado do Rio de Janeiro, predominam duas formações extremas da coluna geológica - os terrenos Arqueozóicos e os Cenozóicos -, o que indica a possibilidade de ocorrência de solos com um elevado grau de desenvolvimento pedogenético e solos com um baixo grau de pedogênese, respectivamente, desde que milhões de anos separam essas formações.

De maneira geral, aos terrenos arqueanos estão associados os solos mais antigos, que foram submetidos a uma ação mais intensa dos processos pedogenéticos e por maior tempo, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos, ocorrendo,

porém, Cambissolos, em função do relevo movimentado. Na paisagem dos Tabuleiros Costeiros (Terciário) predominam os Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, formados a partir dos sedimentos do Grupo Barreiras (ver Cap. 2), que, na sua origem, já apresentam um elevado grau de intemperização. Já nas formações Cenozóicas Pleistocênicas e Holocênicas atuais ocorrem Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Cambissolos Flúvicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estado do Rio de Janeiro, do litoral para o interior, em função da variação cronológica dos materiais de origem, os solos apresentam maior evolução pedogenética, sendo esta influenciada pelos demais fatores de formação, em especial o relevo.

Os estudos sobre o fator tempo na formação de solos são particularmente relevantes diante do cenário atual. Os solos são importantes registros de mudanças paleoclimáticas, relevantes para a compreensão das dinâmicas de alterações em propriedades edáficas e na vegetação, com impactos em sistemas como a biosfera e a atmosfera, incluindo a emissão de gases de efeito estufa e o aquecimento global.

REFERÊNCIAS

BARROS, H. da C.; DRUMOND, J. L.; CAMARGO, M. N.; LEMOS, P. de O. e C.; LEMOS, R. C. de; MENDES, W. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal**: (contribuição a Carta de Solos do Brasil). Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas, 1958, 350p.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MC DANIEL, P. A. **Soil genesis and classification**. 6th ed. Chichester, Willey-Blackwell, 2011, p. 543.

HEILBRON, M. Compartimentação tectônica. In: HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Belo Horizonte: CPRM, p. 19-20. 2016.

KAMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia**: Fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 207-302, 2012.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation**. New York, McGraw-Hill. 1941, p. 191.

PEREIRA, M. G.; DA SILVA, R. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; DA SILVA NETO, E. C.; FONTANA, A.; SCHIAVO, J. A.; PACHECO, A. A. A multi-proxy study of Umbric Ferralsols genesis in a high-mountain environment in Rio de Janeiro state. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 48, n. 4, p. 721-734, 2022.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. Cambridge; Cambridge University Press, 2005, p. 817.

SOARES, F. S.; FURQUIM, S. A. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, C. D.; SILVA NETO, E. C.; CALEGARI, M. R.; COSTA, A. M. A pedologia e seus diálogos científicos: Aborbagens analíticas transversais para o estudo dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 11, p. 1-54, 2021.

SOARES, P. F. C.; ANJOS, L. H. C. D.; PEREIRA, M. G.; PESSENDA, L. C. R. Histosols in an upper montane environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, 2016.