



## CAPÍTULO 5

# TEMPO NA FORMAÇÃO DOS SOLOS DO MARANHÃO: EVOLUÇÃO GEOLÓGICA, ESTABILIDADE/REJUVENESCIMENTO E PEDOCRONOLOGIA

**Eduardo Carvalho da Silva Neto<sup>1</sup>**

Professor – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

### 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo discute o tempo como fator de formação dos solos no Maranhão, articulando a longa duração geológica às dinâmicas recentes de uso da terra. Parte-se do arcabouço geológico, tectônico e sedimentar, com destaque para a Bacia do Parnaíba e seus eventos magmáticos, que define materiais de origem e períodos de exposição ou soterramento. Em seguida, analisam-se os registros cenozoicos de estabilidade (aplainamentos, coberturas lateríticas e Grupo Barreiras) e de rejuvenescimento (soerguimentos, dissecação, deposição e truncamentos), que estruturam cronologias relativas de perfis. A posição do estado na transição Amazônia-Cerrado-Caatinga modula o ritmo de intemperismo, drenagem e bioturbação, gerando assinaturas temporais expressas em classes de solos e feições diagnósticas (p.ex., Latossolos em superfícies estáveis, Plintossolos sob oscilação hídrica, Neossolos em sistemas costeiros e eólicos; crostas/ferricretes, plintita/petroplintita, gleização e caráter coeso em tabuleiros). Por fim, o tempo antrópico é abordado tanto pelos usos recentes (expansão agrícola e pressões costeiras) quanto por solos de origem antrópica (antropossolos em sambaquis), evidenciando acelerações e inflexões nos processos pedogenéticos. Em síntese, reconhecer o tempo como fator modulador da relação solo–paisagem, em múltiplas escalas, aprofunda a compreensão da diversidade pedológica do Maranhão e orienta, com maior propriedade, o planejamento e o manejo dos solos.

O tempo é um fator estruturante da pedogênese. Conecta processos de formação e transformação dos solos em escalas muito distintas, desde a história geológica até as dinâmicas recentes do uso da terra (Bockheim et al., 2005). Abrange a dimensão temporal dos processos de intemperismo, de formação e transformação dos materiais de origem, a sucessão de fases de estabilidade e rejuvenescimento da paisagem,

além das oscilações climáticas e das intervenções humanas (Dudal, 2005). Por isso, compreender o tempo como fator de formação implica entender os solos como resultado de longa duração, em que atributos morfológicos, mineralógicos e químicos traduzem trajetórias cumulativas e, muitas vezes, não lineares.

No Maranhão, a análise do tempo como fator de formação do solo pode iniciar-se pelo aspecto geológico: um território dominado por rochas sedimentares e sedimentos, com ocorrências ígneas e metamórficas em determinadas regiões, e compartimentado em três grandes domínios — Pré-Cambriano, Bacias Sedimentares Fanerozoicas e Coberturas Superficiais Cenozoicas (Almeida et al., 2000; Vasquez et al., 2012, Klein et al., 2008; 2009). Essa compartimentação não é apenas descritiva: ela define os materiais parentais e os cenários de exposição/soterramento sobre os quais a pedogênese opera ao longo de milhões de anos.

Em escalas geomorfológicas, a história da paisagem ao longo do tempo inclui fases de aplainamento e a instalação de coberturas lateríticas e depósitos do Grupo Barreiras, que registram períodos prolongados de estabilidade superficial e intensa alteração no Cenozoico (Dantas et al., 2020). Esses pacotes cenozoicos funcionam como marcadores de tempo: quando conservados em posição, favorecem a evolução de perfis espessos e altamente intemperizados; quando retrabalhados, rejuvenescem sequências pedológicas e reordenam o “tempo pedológico” do solo.

O tempo no contexto climático-ecológico acrescenta outra camada: o Maranhão situa-se numa faixa de transição entre Amazônia, Cerrado e Caatinga (Ab’Saber, 1960; Ross, 1985). Em escalas seculares a milenares, variações no balanço hídrico e na cobertura vegetal modulam fluxos de energia e matéria (água, bases, sílica, carbono), alterando a velocidade do intemperismo, a drenagem e a bioturbação e, com isso, os processos pedogenéticos. Esse mosaico transicional ajuda a explicar por que coexistem, em curtas distâncias, ambientes úmidos litorâneos, áreas sazonalmente secas do interior e superfícies eólicas costeiras holocênicas, cada qual imprimindo assinaturas temporais distintas aos solos (Lopes, 2020).

O resultado é uma cobertura pedológica cuja composição reflete maior ou menor influência do tempo. Em superfícies estáveis, predominam Latossolos — a classe de maior ocorrência no estado, cujo grau de evolução reflete longo tempo de intemperismo e ciclos climáticos e geomorfológicos. Em ambientes com restrição de drenagem atual ou pretérita, os Plintossolos registram oscilações hidrológicas e flutuações do nível de base em escala holocênica a pleistocênica. Em sistemas costeiros e eólicos recentes, Neossolos, frequentemente Quartzarênicos, refletem menor tempo pedológico e o papel dos pulsos sedimentares na renovação da superfície (Silva, 2020). Em conjunto, essas classes exemplificam como a idade relativa dos perfis emerge da interação entre clima, organismos, relevo e material de origem ao longo do tempo.

Diante desse contexto, este capítulo discute o tempo como fator de formação dos solos do Maranhão, articulando escalas geológicas e pedológicas com os processos que definem a idade relativa, o grau de intemperismo e a diversidade pedológica no estado, bases para compreender a distribuição, propriedades e usos dos solos maranhenses.

## **2. TEMPO GEOLÓGICO E A EVOLUÇÃO GEOLÓGICA E MATERIAIS DE ORIGEM NO MARANHÃO**

### **2.1. Domínios Tectônicos e Implicações para os Materiais Parentais**

O Maranhão situa-se no norte da Plataforma Sul-Americana, inserido majoritariamente na Província Parnaíba e compartimentado em quatro domínios: (1) Fragmento Cratônico São Luís, (2) Cinturão Gurupi, (3) Bacias Sedimentares Fanerozoicas e (4) Coberturas Superficiais Cenozoicas. Os terrenos pré-cambrianos afloram apenas como pequenas “janelas” no Noroeste; mais de 98% do território é formado por bacias e coberturas sedimentares fanerozoicas (Klein e Souza, 2012). Essa compartimentação controla diretamente os materiais parentais que alimentam a pedogênese, desde rochas metamórficas/ígneas nos domínios pré-cambrianos até amplos pacotes sedimentares paleozoicos–mesozoicos e coberturas cenozoicas.

O Cinturão Gurupi constitui um orógeno neoproterozoico (NNW–SSE), com conjuntos metassedimentares e metavulcanossedimentares e várias gerações de rochas plutônicas (Almeida et al., 1976). Já o Fragmento Cratônico São Luís representa um fragmento de orógeno paleoproterozoico (Riaciano). Esses domínios, embora restritos em área, introduzem litologias mais antigas e variadas ao mosaico parental. As coberturas e bacias fanerozoicas, com destaque para a Bacia do Parnaíba — reúnem arenitos, folhelhos, carbonatos e evaporitos, enquanto as coberturas cenozoicas marcam fases de aplainamento, flutuações do nível do mar e intenso intemperismo, provendo espessas mantas areno-argilosas e pacotes lateríticos que funcionam como material de origem dos solos da região (Klein e Lopes, 2011).

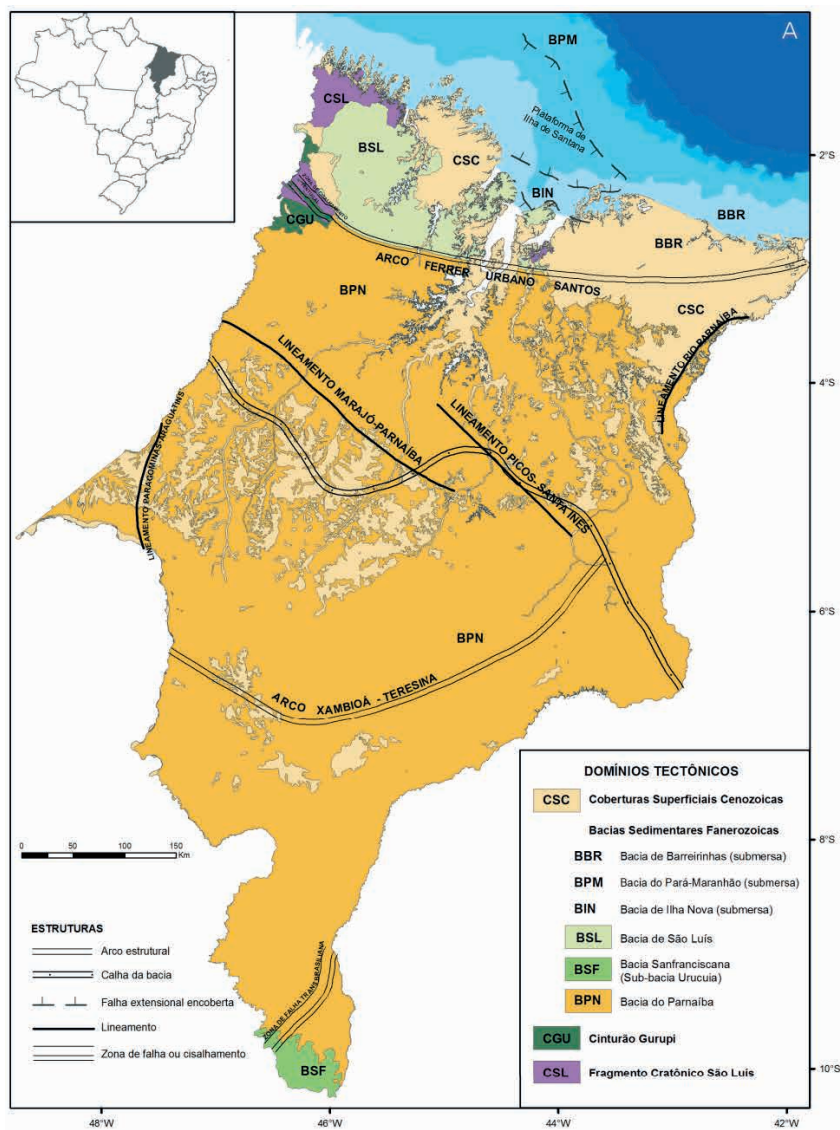


Figura 1. Mapa de domínios tectônicos no Estado do Maranhão. Fonte: CPRM (2012).

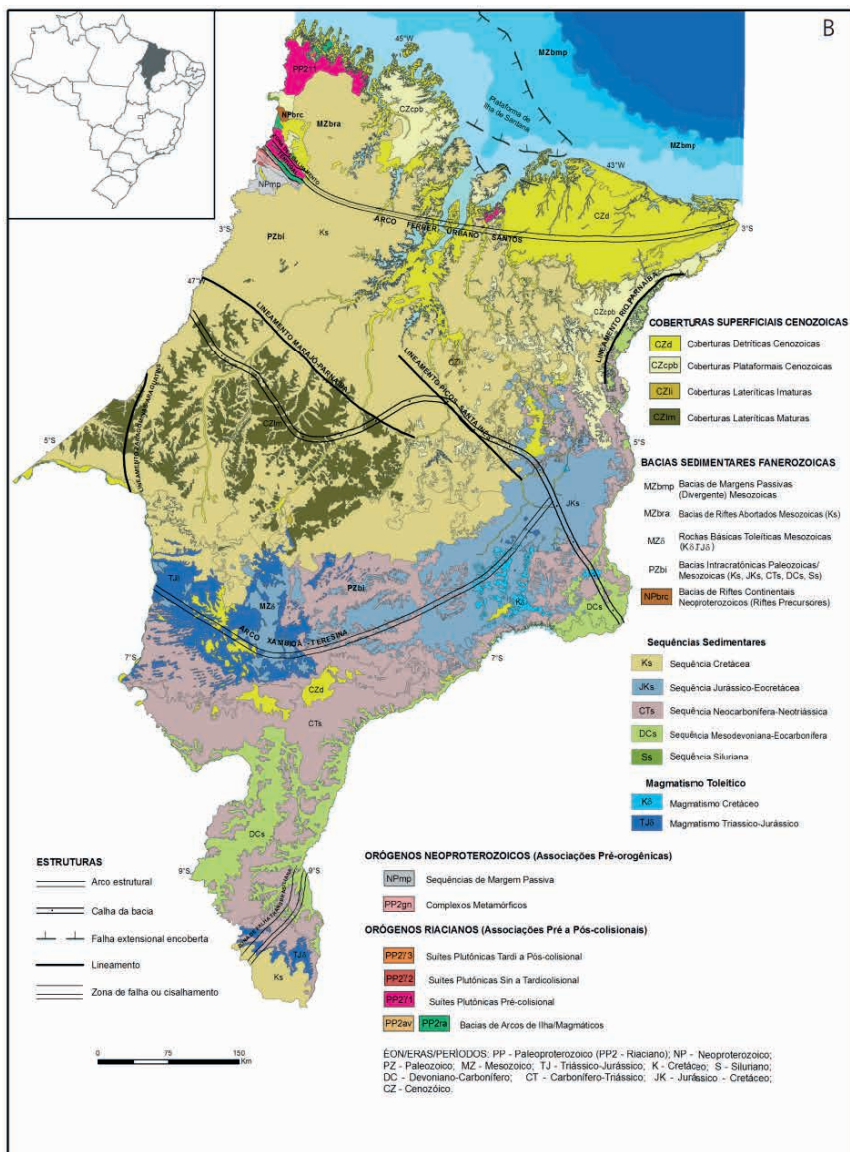


Figura 2. Mapa de associações tectônicas no Estado do Maranhão. Fonte: CPRM (2012).

Do ponto de vista pedológico, essa base litoestratigráfica explica a dominância de materiais parentais sedimentares (Itapecuru, Corda, Sambaíba, Barreiras e coberturas detríticas), dos quais derivam, por exemplo, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos extensos nos topos de platôs e chapadas (Dantas et al., 2020).

## **2.2. Sequências deposicionais da Bacia do Parnaíba e eventos magmáticos como marcos temporais**

A Bacia do Parnaíba registra cinco grandes sequências sedimentares: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana–Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera–Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica–Eocretácea (Pastos Bons/Corda) e Cretácea (Itapecuru, Grajaú, Corda/Codó), estabelecendo uma cronologia deposicional que alterna deposição, hiatos e discordâncias (Klein e Souza, 2012).

Intercalados a essas sequências, ocorreram um evento magmático toleítico no limite Triássico–Jurássico (Formação Mosquito; Diabásio Laranjal) e dois eventos cretáceos — um toleítico (Formação Sardinha) e um kimberlítico — que renovaram superfícies, introduziram rochas básicas e reorganizaram a paisagem. A distribuição espacial e a cronologia desses magmatismos são bem constrangidas: derrames basálticos Mosquito predominam a oeste; intrusões de diabásio cretáceas (Sardinha) são mais frequentes nas porções central, leste e nordeste; idades Ar–Ar datam o Mosquito em ~200–190 Ma, enquanto idades K–Ar situam a Sardinha em ~134–127 Ma, com possíveis pulsos intermediários. Tais eventos, além de fornecerem novos materiais parentais básicos, funcionam como “tempo-zero” do relógio superficial via intrusões/derrames, fraturamento, aporte térmico e posterior retrabalhamento sedimentar (Klein e Souza, 2012).

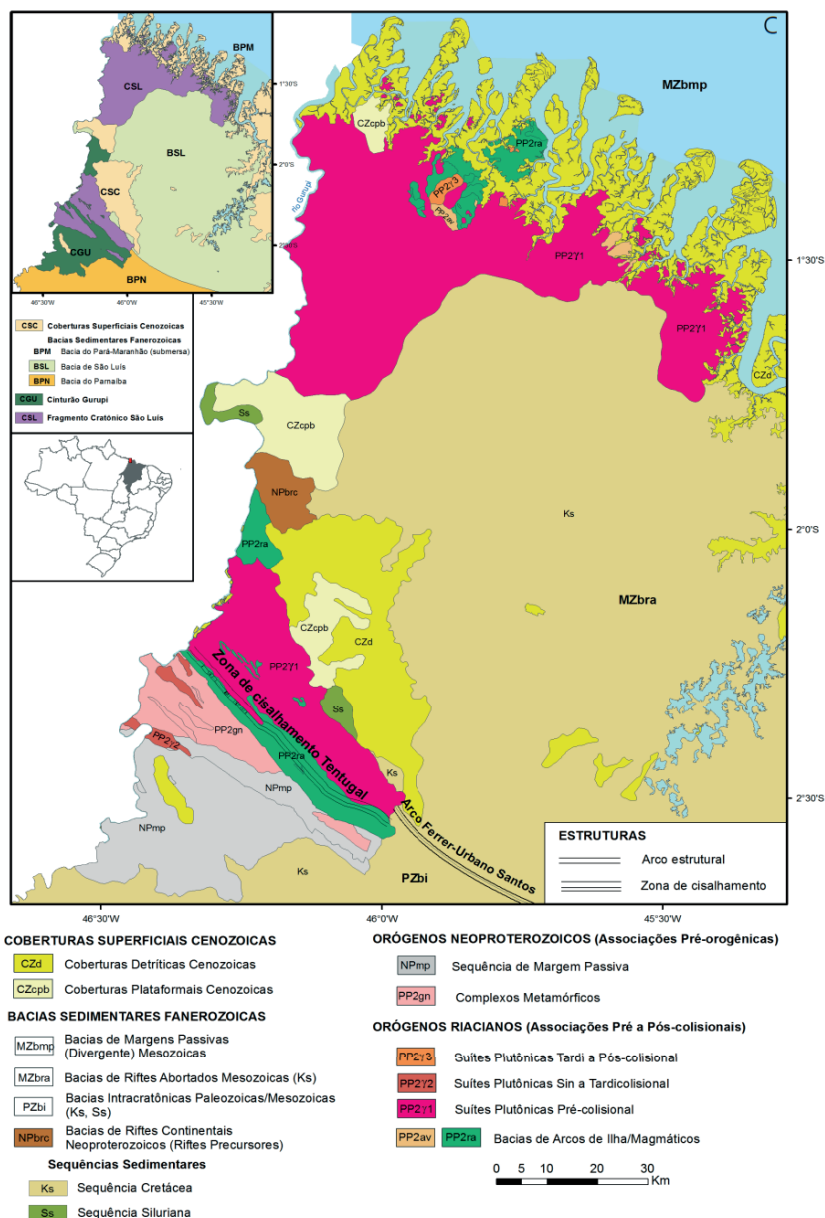


Figura 3. Mapa de detalhe das associações tectônicas do Fragmento Cratônico São Luís e do Cinturão Gurupi, no Estado do Maranhão. Fonte: CPRM (2012).



Em síntese, esses domínios tectônicos definem “de quando” vêm os materiais de origem, enquanto as sequências deposicionais e os pulsos magmáticos da Bacia do Parnaíba marcam “quando” e “como” esses materiais foram formados e rejuvenescidos. o pano de fundo temporal que condiciona a diversidade de materiais de origem e, por consequência, a variabilidade dos solos do Maranhão.

### **2.3. Tempo como determinante da relação solo-paisagem: estabilidade, rejuvenescimento e geoindicadores**

Fases prolongadas de estabilidade morfodinâmica ao longo do Paleógeno favoreceram o desenvolvimento de mantos de alteração decamétricos e de perfis lateríticos bauxítico-ferruginosos nos topos tabulares e chapadas, frequentemente correlacionáveis à Superfície Sul-Americana (King, 1956). Esses perfis antigos, de grande expressão regional, são associados sobretudo aos períodos Eoceno e Oligoceno. No litoral e nas bordas da bacia, as coberturas plataformais e o Grupo Barreiras registram pulsos deposicionais entre o Mioceno e o Plioceno, sucedidos por depósitos pós-Barreiras quaternários (eólicos, flúvio-lagunares, manguezais e pântanos), compondo uma sequência que também funciona como marcador temporal da renovação de superfícies.

Em contraponto, eventos de rejuvenescimento derivam de soerguimentos diferenciais, dissecação, deposição e truncamentos, muitas vezes condicionados por reativações ao longo do Lineamento Transbrasiliano e pela instalação de altos estruturais/arcs, que compartimentam a Bacia do Parnaíba e deslocam eixos deposicionais. Esses processos impõem hiatos e discordâncias que “reiniciam” o tempo pedogenético em porções da paisagem. O registro geomorfológico dessa alternância é claro: chapadas e frentes de cuevas relacionadas a uma superfície paleógena foram, depois, desniveladas por soerguimento diferencial e novos aplainamentos, gerando superfícies relativamente mais jovens durante o Neógeno (Lopes, 2020).

A geodiversidade maranhense é amplificada por sua posição em uma das maiores faixas de transição fitoclimática do país (Meio-Norte/Matas de Cocais), situada entre as terras baixas equatoriais amazônicas, as depressões semiáridas da Caatinga e os chapadões tropicais do Cerrado. Esse cenário produz gradientes de pluviosidade e sazonalidade que modulam, em escalas seculares a milenares, o ritmo do intemperismo, a drenagem e a bioturbação, definindo percursos pedogenéticos distintos no litoral úmido, no interior sazonal e nos sistemas eólicos (Dantas et al., 2020).

Em planícies litorâneas e tabuleiros costeiros, a infiltração favorecida e o acúmulo de matéria orgânica tendem a sustentar perfis espessos; em vertentes convexas e setores mais dissecados, a maior mobilidade hídrica intensifica perdas por erosão;



já em vertentes côncavas e fundos de vale, a saturação periódica condiciona solos hidromórficos. Esses controles de posição na encosta e balanço hídrico imprimem assinaturas temporais contrastantes na espessura, organização de horizontes e grau de intemperismo.

Outro exemplo da relação do tempo como mediador da relação solo-paisagem pode ser observado superfície sublitorânea de Bacabal, ajustada ao nível de base do Golfão Maranhense. Essa condição exemplifica a persistência de superfícies aplainadas com cotas muito baixas (10-70 m), onde se alternam Argissolos nos tesos e Gleissolos nas zonas abaciadas e planícies fluviais — um arranjo que evidencia, na escala da paisagem, como o tempo geomorfológico e o regime hídrico se refletem na cobertura pedológica (Silva, 2020).

Em topos tabulares e chapadas, crostas ferruginosas e mantos lateríticos indicam tempos longos de exposição sob estabilidade relativa. No quadro regional, diferenciam-se coberturas lateríticas maduras (perfil completo com horizontes pálido/transicional, argiloso, bauxítico/fosfático e crosta ferruginosa) e imaturas (sem o horizonte bauxítico/fosfático), com evidências de maturação no Eoceno–Oligoceno e retrabalhamentos no Neógeno; no Maranhão, essas feições são recorrentes em porções centro-oeste e centro-leste (Lopes, 2020).

Em tabuleiros costeiros associados ao Grupo Barreiras, Latossolos e Argissolos podem apresentar caráter coeso nos horizontes superiores — uma assinatura diagnóstica associada à interação entre material parental e regime hídrico nessa faixa transicional. Em áreas com restrição de drenagem atual ou pretérita, a presença de plintita/etroplintita e de Plintossolos reflete flutuações redox e variações do nível de base em escala quaternária, frequentemente em relevos planos a suavemente ondulados sobre litologias sedimentares (Itapecuru, Pedra de Fogo, Sambaíba, Barreiras). Nas planícies flúvio-marinhas (p. ex., Campo de Perizes), a hidromorfia associada ao regime hídrico e ao acúmulo de matéria orgânica favorece Gleissolos e outros solos hidromórficos — geoindicadores de condições úmidas recorrentes e de dinâmica deposicional ativa no Holoceno (Dantas et al., 2020; Silva, 2020).

Por fim, nos campos de dunas e sistemas eólicos da faixa costeira (e.g., Lençóis Maranhenses), a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos expressa juventude pedológica e alta taxa de renovação superficial, compondo o contraponto temporal dos perfis espessos e muito intemperizados de topos estáveis.

### 3. TEMPO NA ESCALA DE TEMPO HUMANA: SOLOS ANTRÓPICOS E USOS DA TERRA

A influência das atividades humanas ao longo do tempo se sobrepõe às trajetórias naturais de formação dos solos no Maranhão, condicionando processos e redistribuindo fluxos de matéria e energia na paisagem. Do ponto de vista taxonômico e arqueopedológico, o “tempo antrópico” está materializado em solos de origem antrópica. No litoral norte, em Sambaquis de Panaquatira (São José de Ribamar), foi descrito um Antropossolo Conchífero Psamítico hipocarbonático eútrico (Bandeira et al., 2020), com horizontes escuros ricos em nutrientes e carbono, presença de conchas, restos faunísticos e fragmentos cerâmicos - um geoindicador direto de ocupações humanas pretéritas e de forte modificação pedogênica local.

Em termos mais amplos, na Amazônia brasileira, as Terras Pretas de Índio (TPI/ADE) são reconhecidas como solos antrópicos formados por aportes associados a assentamentos pré-colombianos, com enriquecimento em matéria orgânica e nutrientes (p.ex., P, Ca, Mg) (Kämpf e Kern, 2005; 2010; Macedo et al., 2017; 2019; Alho et al., 2019). Esses usos e legados evidenciam como a ação humana reordena horizontes temporais pedológicos: acelera a erosão onde a cobertura e o manejo são inadequados; altera regimes de drenagem e redox em áreas costeiras e fluviomarinhas; e cria horizontes antrópicos diagnósticos (Au) (Santos et al., 2025) em sítios arqueológicos costeiros. Tais transformações exigem manejo conservacionista compatível com cada classe de solo.

Em paralelo, nas últimas décadas, dois vetores de uso da terra se destacam. No interior, a expansão agrícola sobre Latossolos e Argissolos — que “sustentam a expansão do agronegócio, notadamente nas culturas de grãos” — intensificou-se a partir do polo de Balsas e, mais recentemente, alcançou a microrregião de Chapadinha, em áreas de cerrado (MapBiomias, 2025). Nos Nitossolos, apesar do “uso agrícola intensivo” possível, recomenda-se adotar práticas para “evitar o processo erosivo”. Já os Luvisolos, de “erodibilidade elevada”, são mais adequados a projetos de agricultura familiar e demandam restrições ao uso intensivo. Em Plintossolos — amplos no centro-norte e majoritariamente usados com pecuária, a drenagem restrita condiciona o calendário de uso e o tráfego.

Na zona costeira e estuarina, o “Golfão Maranhense” reúne ambientes extremamente dinâmicos e sensíveis. Ali, estudos destacam a vulnerabilidade dos manguezais “à expansão urbana desordenada de São Luís e das atividades do porto de Itaqui”. Ainda assim, a Baixada Maranhense abriga usos tradicionais — pesca e pecuária de subsistência (bovinos e bubalinos) — que, segundo avaliações regionais, “não promovem significativos impactos ambientais” nas vastas áreas planas e mal drenadas. Esses contrastes de uso se refletem em respostas pedológicas distintas: do pisoteio e compactação potenciais nas várzeas ao escoamento superficial e à

erosão acelerada em encostas cultivadas, especialmente onde solos apresentam limitações intrínsecas (por exemplo, caráter coeso em Argissolos Amarelos dos Tabuleiros (Dantas et al., 2014).

Em síntese, reconhecer o tempo antrópico na relação solo-paisagem — seja pelo pulso recente do agronegócio e da urbanização costeira, seja pelos testemunhos arqueopedológicos (sambaquis e antropossolos) — é crucial para interpretar assinaturas pedológicas, planejar o uso das terras e orientar intervenções que reduzam a aceleração indesejada de processos geomorfológicos e pedogenéticos no Maranhão.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tempo estrutura a relação solo-paisagem no Maranhão desde a longa duração geológica até as dinâmicas recentes do uso da terra. A compartimentação tectônico-sedimentar, as sequências deposicionais da Bacia do Parnaíba e os eventos magmáticos definem o pano de fundo litoestratigráfico e as oportunidades de exposição/soterramento que alimentam a pedogênese. Sobre esse embasamento, alternâncias cenozoicas entre estabilidade (aplainamentos, coberturas lateríticas, depósitos do Grupo Barreiras) e rejuvenescimento (soerguimentos, dissecação, deposição e truncamentos) estabeleceram cronologias relativas de perfis e um mosaico de materiais de origem que se refletem diretamente na diversidade pedológica do estado.

A posição do Maranhão em uma faixa de transição climática e ecológica entre Amazônia, Cerrado e Caatinga modulou o ritmo do intemperismo, a drenagem e a bioturbação, imprimindo assinaturas temporais aos solos. Em superfícies estáveis e bem drenadas, Latossolos registram evolução prolongada; onde há oscilação do lençol, Plintossolos expressam controles hidrológicos em escala quaternária; em sistemas costeiros e eólicos recentes, Neossolos evidenciam juventude pedológica. Feições como crostas/ferricretes, plintita/petroplintita e gleização funcionam como geoindicadores que auxiliam a leitura do tempo relativo nos perfis e na paisagem.

Sobrepondo-se a essas trajetórias, o tempo antrópico acelera processos, reorganiza fluxos e, em certos contextos, constrói solos — como revelam solos antrópicos em sítios arqueológicos costeiros. Reconhecer essa camada temporal é essencial para o mapeamento e o planejamento (inferência de idades relativas, delimitação de unidades coerentes, avaliação de riscos) e para o manejo (práticas conservacionistas ajustadas a limitações intrínsecas, como o caráter coeso em Argissolos dos Tabuleiros, restrição de drenagem em Plintossolos ou baixa reserva em Neossolos quartzarênicos). Integrar indicadores de estabilidade e rejuvenescimento, com a leitura sistemática de geoindicadores, articulados a dados de clima e uso da terra, é o caminho para diagnósticos mais completos, uso sustentável e conservação dos solos maranhenses.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do estado do Maranhão. *Notícia Geomorfológica*, v. 3, n. 5, p. 35–45, abr. 1960.
- ALHO, C. F. B. V.; SAMUEL-ROSA, A.; MARTINS, G. C.; HIEMSTRA, T.; KUYPER, T. W.; TEIXEIRA, W. G. Spatial variation of carbon and nutrients stocks in Amazonian Dark Earth. *Geoderma*, v. 337, p. 322–332, mar. 2019.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. The Upper Precambrian of South América. *Boletim do Instituto de Geociências da USP*, v. 7, p. 45–80, 1976.
- ALMEIDA, F. F. M.; NEVES, B. B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Plataform. *Earth Science Reviews*, v. 50, n. 1/2, p. 77–111, 2000.
- BANDEIRA, A. M.; IKEOKA, R. A.; APPOLONI, C. R.; TEIXEIRA, W. G. Caracterização de um perfil de solo e de cerâmicas arqueológicas do Sambaqui de Panaquatira, município de São José de Ribamar, MA. In: SILVA, M. B.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GOMES, J. B. V.; SOUSA, D. M. G.; SOUSA, D. M. S. (orgs.). *Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – RCC do Maranhão*. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2020. p. 176–200.
- BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, v. 124, n. 1–2, p. 23–36, 2005.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (orgs.). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão*. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2012. 1 mapa. Escala 1:750.000.
- DANTAS, J. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. A.; CAMARGO, L. A.; BARBOSA, R. S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1039–1050, 2014.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; BANDEIRA, I. C. N.; LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; TEIXEIRA, W. G. Análise integrada das paisagens do estado do Maranhão. In: SILVA, M. B.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GOMES, J. B. V.; SOUSA, D. M. G.; SOUSA, D. M. S. (orgs.). *Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – RCC do Maranhão*. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2020. p. 92–147.
- DUDAL, R. The sixth factor of soil formation. *Eurasian Soil Science: C/C of Pochvovedenie*, v. 38, suplemento, p. S60, 2005.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. (org.). Tópicos em Ciência do Solo. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4, p. 277-320.

KÄMPF, N.; WOODS, W.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. Classificação das Terras Pretas de Índio e outros solos antrópicos antigos. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (eds.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. pt. 2, p. 87-102.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S. Geologia e recursos minerais da Folha Centro Novo do Maranhão SA.23-Y-B-I, estados do Pará: escala 1:100.000. Belém: CPRM, 2011.

KLEIN, E. L.; SANTOS, R. D.; PINHO, S. C. C.; COSTA, J. B. S.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochemistry and geochronology of Paleoproterozoic granitoid magmatism: further evidence on the crustal evolution of the São Luís Craton, Brazil. *Precambrian Research*, v. 165, n. 3/4, p. 221-242, 2008.

KLEIN, E. L.; SANTOS, R. D.; PINHO, S. C. C.; COSTA, J. B. S.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronology, Nd isotopes and reconnaissance geochemistry of volcanic and metavolcanic rocks of the São Luís Craton, northern Brazil: implications for tectonic setting and crustal evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 27, p. 129-145, 2009.

KOTSCHUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J. M. C. Evolução geológica da porção meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (Noroeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará e Oeste do Maranhão). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 2, p. 263-272, 2005.

LOPES, E. C. S. Geologia do estado do Maranhão. In: SILVA, M. B.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GOMES, J. B. V.; SOUSA, D. M. G.; SOUSA, D. M. S. (orgs.). Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2020. p. 57-92.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenetic processes in Anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. *PLoS ONE*, v. 12, n. 5, e0177127, maio 2017.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; SOUZA, A. C. G. de; SILVA, F. W. R.; ENCINAS, O. C.; NEVES, E. G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 14, n. 1, p. 207-227, jan./abr. 2019.

OLIVEIRA, F. S.; FURQUIM, S. A. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, C. D.; NETO, E. C. S.; CALEGARI, M. R.; COSTA, A. M. A pedologia e seus diálogos científicos: abordagens analíticas transversais para o estudo dos solos. In: *SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2021. v. 11, p. 1–54.

ROSS, J. L. S. Relevô brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 4, p. 25–39, 1985.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

SILVA, M. B. A XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – RCC do Maranhão. In: SILVA, M. B.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; GOMES, J. B. V.; SOUSA, D. M. G.; SOUSA, D. M. S. (orgs.). *Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – RCC do Maranhão*. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2020. p. 29–56.

TEIXEIRA, S. G.; SOUZA FILHO, P. W. M. Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, supl. 1, p. 69–82, 2009.

VASQUEZ, M. L.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S. Compartimentação tectônica. In: KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (orgs.). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão*. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2012. p. 21-38. Escala 1:750.000.