



C A P Í T U L O 7

CLASSES DE SOLOS DO ESTADO DO MARANHÃO

Marcos Gervasio Pereira

Professor - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Professora - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Marlen Barros e Silva

Professora - Universidade Estadual do Maranhão

Maria de Lourdes Mendonça-Santos

Pesquisador – EMBRAPA SOLOS

Glécio Machado Siqueira

Professor - Universidade Federal do Maranhão

1. INTRODUÇÃO

Situado em uma região de transição entre o trópico úmido e o semiárido, o estado do Maranhão, com seus 331.937,45 km² de área e a segunda maior costa litorânea do Brasil, apresenta cobertura pedológica diversificada (Figura 1). Essa diversidade pedológica reflete diretamente os contrastes geomorfológicos e geoambientais do território maranhense, que se estende da planície costeira atlântica até os altos platôs do sul do estado, passando por áreas de planaltos dissecados, tabuleiros e depressões interplanálticas (Dantas et al., 2013; Batistella et al., 2014).

A compartimentação geomorfológica do Maranhão, caracterizada, predominantemente, por feições do domínio sedimentar e cristalino, exerce influência direta sobre a distribuição dos solos, bem como sobre seus atributos físicos, químicos e morfológicos (Klein; Sousa, 2012; Lopes; Teixeira, 2013). Associam-se a essas características os distintos regimes climáticos identificados segundo a classificação de Köppen, os quais variam entre os tipos equatorial úmido (Af), tropical úmido (Am) e tropical com estação seca (Aw), condicionando processos pedogenéticos diferenciados ao longo do território (Köppen, 1936; Batistella et al., 2014).

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais classes de solos em nível de Ordem e Subordem, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2025) identificadas no território maranhense, destacando suas características, os processos pedogenéticos envolvidos na sua formação, a sua distribuição e relações com os diferentes ambientes naturais. Para isso, serão considerados dados de levantamentos pedológicos pregressos, análises de paisagens, aspectos geológicos e climáticos, em uma abordagem integrada que visa compreender a complexidade do meio físico do estado.

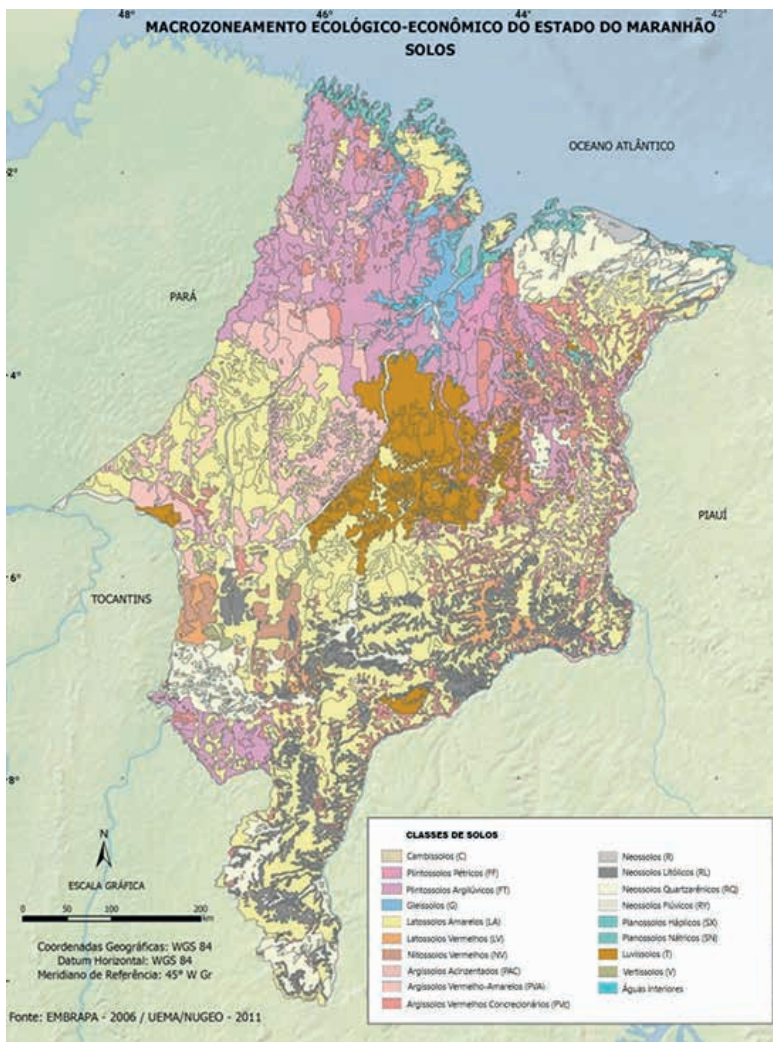


Figura 1. Mapa pedológico do estado do Maranhão. Fonte: Batistella et al. (2014).

Os primeiros estudos e mapeamento de solos do estado do Maranhão foram realizados por Jacomine *et al.*, (1980 e 1986). Esses estudos forneceram a primeira visão abrangente sobre a distribuição de classes de solos no estado. Sua metodologia de campo rigorosa, combinada com as tecnologias cartográficas mais avançadas de sua época, gerou uma base de dados que foi posteriormente digitalizada e incluída na Base de Dados de Solos da Embrapa (<https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/1753>). Essa digitalização permitiu que os dados fossem integrados a diferentes Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para diferentes usos, bem como para o Mapeamento Digital de Solos (Mendonça-Santos *et al.*, 2020; Horst *et al.*, 2025 - Capítulo 8 deste livro) e, de forma decisiva, para o Zoneamento Ecológico-Econômico do estado do Maranhão - ZEE-MA (MARANHÃO, 2020). Nesses estudos, ficou evidenciada a predominância de Latossolos e Argissolos, que, segundo estudos contemporâneos, são os solos mais expressivos e explorados economicamente no Maranhão. O documento original, disponível em acesso aberto, continua a orientar outros trabalhos e políticas de uso da terra, a expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável.

A seguir, descreve-se cada uma das classes de solos que ocorrem no estado do Maranhão, evidenciando suas características, distribuição espacial, potencialidades e uso atual.

2. ARGISSOLOS

Caracterizados pela presença de horizonte subsuperficial subjacente a um horizonte A ou E, com acúmulo significativo de argila em quantidade suficiente para a identificação do horizonte diagnóstico B textural (Bt) (sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C), os Argissolos apresentam argila de baixa atividade (capacidade de troca catiônica – CTC menor ou igual a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila), admitindo-se ainda argila de alta atividade, desde que esta seja conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico na maior parte do horizonte B (Santos *et al.*, 2025). Caso apresentem também horizontes plínticos, concrecionários, litoplínticos ou glei, estes não podem estar sobrejacentes e nem coincidentes com o horizonte Bt (Santos *et al.*, 2025).

Na formação do gradiente textural (incremento de argila) exigido para o reconhecimento dos Argissolos, destaca-se os processos pedogenéticos específicos de lessivagem ou argiluviação, que envolve eluviação (saída) e iluviação (acúmulo) das argilas (Quénard *et al.*, 2011; Kämp; Curi, 2012; Pereira *et al.*, 2023). Favorecido em condições de declive suave e boa drenagem, o processo da argiluviação (eluviação/iluviação) consiste na translocação mecânica (física) de partículas finas de argila que se encontram dispersas no horizonte superficial ou intermediário, para a subsuperfície,

levadas em suspensão pela solução do solo através dos poros, resultando em aumento absoluto no teor de argila em profundidade. Adicionalmente, em áreas de declive acentuado, pode ocorrer o processo pedogenético específico da elutriação, isto é, a remoção (perda) seletiva das partículas de argila dos horizontes superficiais por erosão, resultando no aumento relativo do teor de argila em subsuperfície (Kämpf; Curi, 2012). Processos secundários, como ferrólise e neoformação de argilas também podem contribuir para a formação de gradiente textural (Phillips, 2004, 2007).

Os Argissolos, amplamente distribuídos em diferentes formas de relevo – desde superfícies suave-onduladas até montanhosas, constituem uma das classes de solos mais heterogêneas (Lepsch, 2011). Essa variabilidade expressa-se em atributos como profundidade, que pode variar de rasa a muito profunda, saturação por bases, que pode ser alta ou baixa, e no tipo de transição entre horizontes, a qual pode ocorrer de forma gradual ou abrupta.

No Maranhão, os Argissolos correspondem à segunda classe de solos mais extensa, cobrindo aproximadamente 18% do território estadual (Jacomine et al., 1986) (Figura 2).

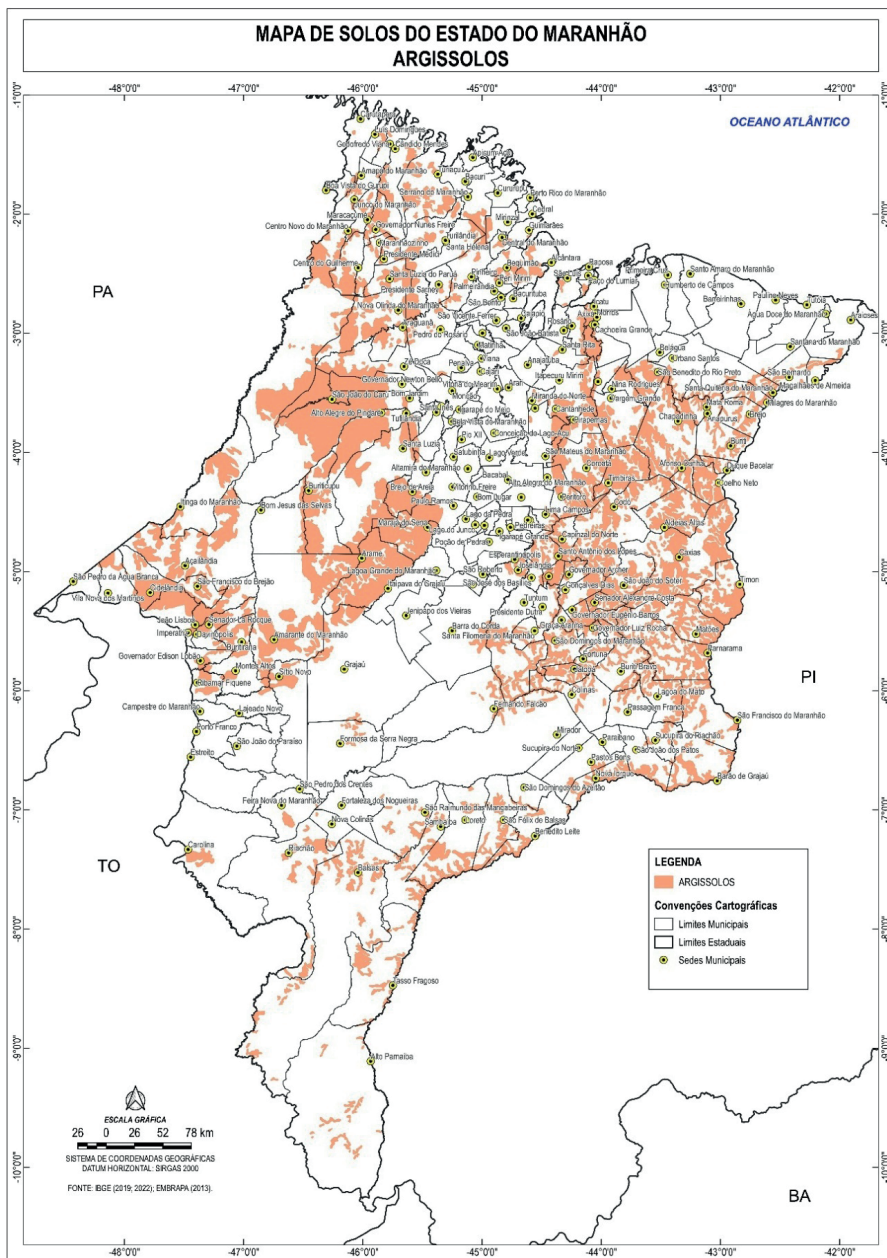


Figura 2 – Distribuição espacial dos Argissolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

Estão distribuídos por todo o estado, com predominância da subordem Argissolos Vermelho-Amarelos (Figura 3a), mais comuns na porção centro-norte, onde se associam a Plintossolos Argilúvicos e Pétricos, em relevos que variam de planos a ondulados, recobertos pela “Mata dos Cocais”, vegetação símbolo do estado, onde são explorados principalmente com pecuária bovina. Nessas áreas, desenvolvidos a partir de litologias da Formação Itapecuru, os Argissolos Vermelho-Amarelos são, em sua maioria Distróficos, bem a moderadamente drenados e de baixa fertilidade química natural – condição também observada para os Argissolos Vermelho-Amarelos localizados nos topos de chapadões no sul e sudoeste maranhense, onde se encontram associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos nas áreas de cerrado. No centro do estado, Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos desenvolvem-se a partir de rochas carbonáticas, fosfáticas ou pelíticas da Formação Itapecuru (Dantas et al., 2013), ocorrendo associados a Luvisolos Crômicos e Luvisolos Hápicos. Em menor proporção, registram-se Argissolos Amarelos (Figura 3b) associados a Latossolos Amarelos nos baixos platôs do leste maranhense, região considerada a nova fronteira agrícola do estado, onde vem se expandindo os cultivos de soja e eucalipto. Derivados de sedimentos do Grupo Barreiras, esses Argissolos Amarelos podem apresentar, por vezes, caráter coeso (Lopes et al., 2024).

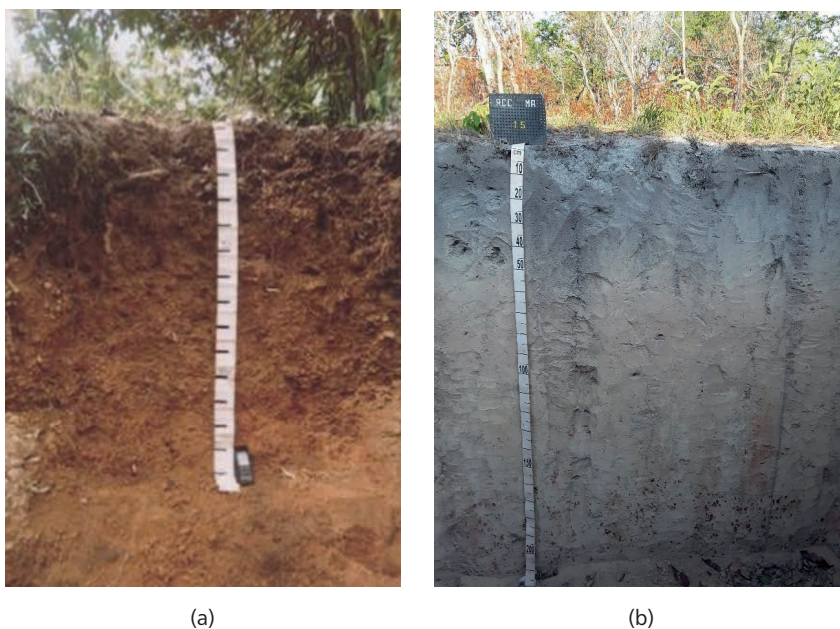


Figura 3 – Perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo, em Axixá (a) e Argissolo Amarelo, em Anapurus (b), Maranhão. Fotos: Raimundo Carvalho Filho (in memoriam) (a) e Marlen Barros e Silva (b).

Como principais potencialidades destes solos, destaca-se, nos perfis de classes de texturas média ou mais argilosa, a boa agregação e a elevada capacidade de armazenamento de água, favorecendo o seu uso agrícola, desde que bem manejados com práticas conservacionistas.

Quanto à aptidão agrícola, os Argissolos apresentam potencial variável, tendo como limitações a suscetibilidade à erosão hídrica, devido, principalmente, à presença de gradiente textural, que condiciona diferenças no fluxo interno de água favorecendo o escoamento superficial, principalmente em áreas de maior declividade, o que pode ser intensificado em função do tipo de manejo.

Outro fator limitante é a baixa reserva de nutrientes e, em muitos casos elevada acidez em condições naturais, sendo necessário o emprego de correções, calagem e adubação, para a produção agrícola. Nos Argissolos de textura arenosa no horizonte superficial, a erosão eólica pode ser significativa, principalmente em áreas de relevo plano. Essa textura mais grossa em superfície também reduz a capacidade de retenção de água e acelera a decomposição da matéria orgânica, aumentando a fragilidade do solo em sistemas intensivos, sejam eles de lavouras, pastagens ou silvicultura.

Assim, essa classe de solo, embora não apresente o mesmo potencial agrícola dos Latossolos ou Nitossolos, tem grande importância pela sua ampla distribuição no território estadual. Com manejo adequado, podem ser integrados de forma produtiva a sistemas de agricultura e pecuária, mas sua exploração exige atenção especial às limitações químicas, físicas e morfológicas que os caracterizam.

3. CAMBISSOLOS

A ordem dos Cambissolos (Figura 4) é definida no SiBCS (Santos et al., 2025) pela presença de horizonte diagnóstico subsuperficial incipiente (Bi) não sendo observada a presença de horizonte superficial hístico com mais de 40 cm de espessura, ou horizonte A chernozêmico se o B incipiente apresentar argila de atividade alta (CTC da fração argila maior ou igual a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila) e eutrófico (saturação por bases, V%, maior ou igual a 50). São solos de classes de textura média ou mais argilosa, que possuem baixo grau de desenvolvimento pedogenético e grande diversidade de atributos, podendo ser rasos ou profundos, distróficos ou eutróficos, argilas de atividade alta ou baixa etc. Em função do seu baixo grau de pedogênese, não são relacionados a processos pedogenéticos específicos.

No estado do Maranhão a área ocupada pelos Cambissolos corresponde a cerca de 266 km², sendo observados em diferentes condições de paisagem, desde relevo movimentado até suave ondulado ou plano nos terraços e planícies fluviais e formados a partir de distintos materiais de origem. No estado, as principais subordens observadas são os Cambissolos Háplicos e os Cambissolos Flúvicos.

Quanto às potencialidades e limitações, estas variam em função da natureza do material de origem e posição da paisagem em que se encontram, o que faz que possam ter diferentes usos. A fertilidade natural varia de baixa a alta, bem como a capacidade de retenção de cátions e de armazenamento de água.

Nos Cambissolos Háplicos, localizados em áreas de relevo ondulado ou de maior declividade, além do favorecimento do processo erosivo, é comum a pequena espessura do solo e presença de fragmentos de rocha no B incipiente ou mesmo em superfície, que irá limitar o desenvolvimento do sistema radicular de espécies perenes e reduzir o armazenamento de água. Muitos Cambissolos Háplicos estão localizados em áreas de proteção permanente, devendo ser assim destinados pela sua importância na provisão de outros serviços ecossistêmicos que não a produção de alimentos. Para os Cambissolos Flúvicos, localizados nas planícies fluviais em associação com Neossolos Flúvicos e Gleissolos, as maiores limitações estão associadas à deficiência sazonal de oxigênio, devido ao encharcamento do solo nos períodos de maior precipitação pluviométrica, e, em alguns solos, à baixa fertilidade química natural, sendo, entretanto, de bom potencial para lavouras de ciclo curto e agricultura familiar.



Figura 4 – Perfil de Cambissolo Háplico, em Formosa da Serra Negra - Maranhão. Foto: Marcelino Silva Farias Filho

4. CHERNOSSOLOS

Os Chernossolos constituem uma classe de ocorrência muito restrita no Maranhão, mas de grande interesse pedológico e agrícola em razão de suas propriedades químicas e morfológicas peculiares (Figura 5). A ordem é definida no SiBCS (Santos et al., 2025) pela presença de horizonte diagnóstico superficial A chernozêmico, espesso, com cores escuras, argila de atividade alta e saturação por bases alta. O horizonte A chernozêmico pode estar sobrejacente a horizonte C cálcico, petrocálcico ou carbonático (sequência A – C) ou ainda a um B textural ou B incipiente (sequência A - Bt - C ou A - Bi - C), desde que este apresente argila de atividade alta e seja eutrófico.

Do ponto de vista pedogenético, os Chernossolos resultam principalmente da melanização, evidenciado pelo escurecimento dos horizontes superficiais decorrente da estabilização da matéria orgânica pela formação de humatos de cálcio, levando à formação de cores escuras, mesmo com baixos valores de carbono orgânico total (Kämpf; Curi, 2012). Quando observada a presença de um horizonte B textural, a argiluviação (eluviação/iluviação) soma-se à melanização, reforçando o contraste textural entre os horizontes. Já nos perfis originados de rochas calcárias, o processo pedogenético de carbonatação, caracterizado pelos teores mais elevados de carbonatos no horizonte subsuperficial, ou mesmo em um horizonte C logo abaixo do horizonte superficial, soma-se ao de melanização.

No Maranhão, onde representam menos de 1% do território, observam-se Chernossolos Argilúvicos na porção central do estado, desenvolvidos a partir do intemperismo de calcários existentes na Formação Itapecuru e folhelhos e calcários da Formação Codó, associados a Luvisolos Crômicos e Argissolos Vermelhos.

Quanto à aptidão agrícola, os Chernossolos se destacam como uma das classes mais férteis do estado, com boa disponibilidade de nutrientes e reduzida acidez, além de sua relevância pelo estoque de carbono e elevada capacidade de troca catiônica e de armazenamento de água, decorrentes da argila de atividade alta. Nos solos com elevados teores de carbonatos, pode ocorrer menor disponibilidade de fósforo e de alguns micronutrientes, quando os valores de pH do solo são elevados. No estado, grande parte destes solos localiza-se em áreas declivosas e, quando mal manejados, é comum a remoção do horizonte superficial pelo processo erosivo. Apesar da sua elevada fertilidade natural, as propriedades físicas e a condição de relevo, em geral, tornam esses solos limitantes ao uso agrícola em lavouras intensivas ou mesmo para a silvicultura e pecuária extensiva. Podem apresentar potencial para agricultura familiar, exigindo, porém, manejo apropriado pela suscetibilidade à erosão, que é acentuada em função da distribuição de chuvas no estado do Maranhão.



(a)



(b)



(c)

Figura 5 – Perfil de Chernossolos em Loreto, Maranhão (a) e São José dos Patos, Maranhão (b), e Chernossolo Rêndzico Lítico Fragmentário em Timon, Maranhão (c). Foto: Amanda Alves Sales (a) e (b) – Marcelino Silva Farias Filho (c)

5. ESPODOSSOLOS

De acordo com o SiBCS (Santos et al., 2025), os Espodosolos são definidos pela presença de horizonte B espódico, identificado pela acumulação iluvial de compostos organo-metálicos, geralmente acompanhada de coloração escura ou amarelada em contraste com os horizontes subjacentes. O horizonte diagnóstico pode apresentar-se nas formas Bh (acúmulo iluvial de matéria orgânica), Bs (acumulação de material amorfo, principalmente alumínio, podendo ou não conter ferro) ou Bhs (com acúmulo combinado de matéria orgânica e compostos alumínio, com ou sem ferro) (Figura 6).

Constituem uma das classes de solos de maior relevância ambiental no litoral nordeste do estado do Maranhão, no domínio geomorfológico dos Lençóis Maranhenses, muito embora tenham sido pouco descritos em levantamentos pedológicos anteriores. Contudo, estudos recentes (Dantas et al., 2013; Silva et al., 2020) têm demonstrado que esses solos ocorrem em proporção significativa em áreas de dunas fixas recobertas por vegetação de restinga (Espodosolos Hápticos) (Figura 6a) e em baixadas interdunares sob vegetação campestre e campos higrófilos (Espodosolos Hidromórficos) (Figura 6b), em associação com Neossolos Quartzarênicos. Datações por luminescência opticamente estimulada indicam que os horizontes espódicos da região apresentam idades entre 2.600 e 57.600 anos, evidenciando tanto fases deposicionais distintas quanto formação poligenética de alguns perfis (Santos & Silva, 2009).

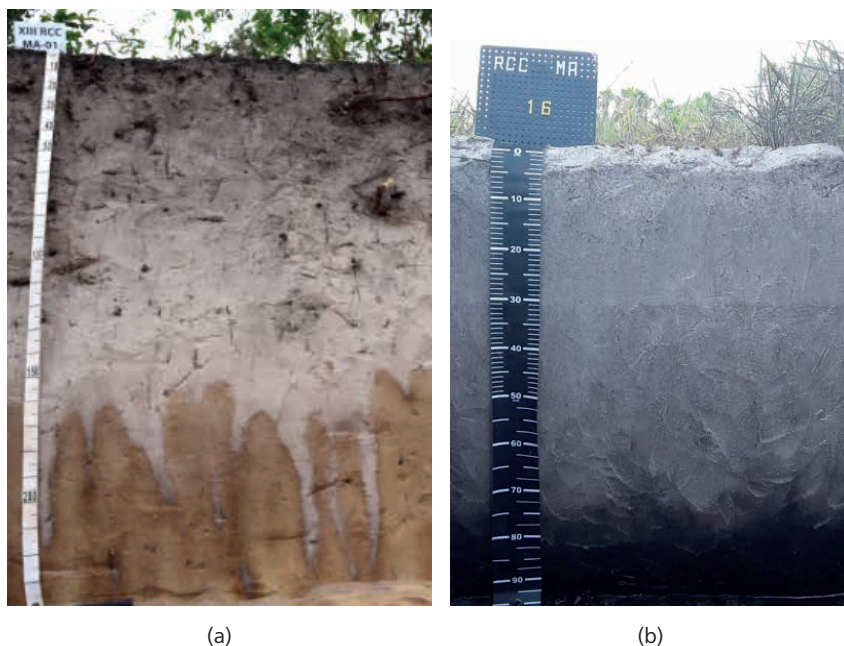


Figura 6 – Perfil de Espodossolo Háptico, município de Icatu (a), e Espodossolo Hidromórfico em Morros (b), Maranhão. Fotos: Sergio Hideiti Shimizu (a) e Marlen Barros e Silva (b).

Sua gênese está associada ao processo de podzolização, caracterizado pela mobilização de matéria orgânica e de compostos de alumínio e ferro, os quais são translocados para os horizontes subsuperficiais, originando horizontes espódicos bem desenvolvidos. No estado do Maranhão, onde são observados no litoral leste, são formados a partir de sedimentos arenosos de origem marinha com retrabalhamento eólico.

Trata-se de solos predominantemente distróficos, de baixa fertilidade química natural, elevada acidez e, em alguns perfis, alta saturação por alumínio. A textura arenosa em todo o perfil, com predominância de areia fina sobre a grossa, reflete a contribuição sedimentar costeira, contribui para a baixa retenção de água e nutrientes, favorecendo a rápida decomposição da matéria orgânica e aumentando a sua suscetibilidade à erosão eólica.

As limitações ao uso agrícola desses solos são expressivas, decorrentes da combinação de fatores como baixa fertilidade química, reduzida capacidade de retenção de água, elevada suscetibilidade à erosão e restrições ao crescimento radicular em ambientes hidromórficos, no caso dos Espodossolos Hidromórficos. Apesar disso, práticas agrícolas adaptadas podem permitir o uso sustentável dessas áreas, destacando-se o cultivo de espécies frutíferas adaptadas a solos arenosos, como cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) e coqueiro-da-baía (*Cocos nucifera*, L.), bem como sistemas agroextrativistas e a criação de pequenos animais. Tais alternativas devem ser associadas a práticas conservacionistas, incluindo fertirrigação, consorciação de culturas e eliminação de queimadas, a fim de mitigar a fragilidade natural desses ambientes.

Nesse contexto, os Espodossolos do Maranhão possuem maior valor ambiental do que agrícola, atuando como reguladores hidrológicos em ecossistemas de restinga e dunas, além de contribuírem para a manutenção da biodiversidade. Contudo, o avanço recente dos estudos pedológicos, como os desenvolvidos na XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (Silva et al., 2020) e em pesquisas acadêmicas, tem permitido compreender melhor a gênese, a distribuição e as restrições agrícolas de uso desses solos, oferecendo subsídios fundamentais para o planejamento territorial, o manejo sustentável e a conservação dos ecossistemas costeiros maranhenses.

6. GLEISSOLOS

A ordem dos Gleissolos, conforme definida pelo SiBCS (Santos et al., 2025), compreende solos minerais que apresentam horizonte subsuperficial glei (Bg ou Cg), caracterizado pelo predomínio de cores acinzentadas na matriz, com ou sem a presença de mosqueados ou variegados em tonalidades mais vivas (Figura 7). Esse

horizonte ocorre imediatamente abaixo de um horizonte A ou de um horizonte superficial H hístico, cuja espessura não é suficiente para enquadrar o solo como Organossolo. Os Gleissolos abrangem diferentes classes texturais, que podem variar em profundidade, apresentando no horizonte glei, sobretudo nos solos mais argilosos, estrutura predominantemente maciça.

A gênese dos Gleissolos está relacionada ao processo específico da gleização, que ocorre sob condições de hidromorfismo, isto é, excesso de água permanente ou periódica no solo, comum em planícies fluviais, baixadas mal drenadas, margens de rios, igarapés e áreas de várzea, onde a água se acumula de forma contínua ou sazonal. Nessas condições, a baixa disponibilidade de oxigênio leva à redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} , solúvel e móvel, que pode ser removido através da solução do solo ou precipitar em condições mais oxidadas, formando mosqueados e concreções ferruginosas. Dessa forma, o processo da gleização é influenciado pelos fatores relevo, que contribui para a restrição de drenagem; organismos, que fornecem a matéria orgânica para o processo anaeróbico de redução do ferro; e o clima, que em função da precipitação pluviométrica, influencia nos diferentes graus de gleização.

No Maranhão, onde representam cerca de 4,2% do estado, os Gleissolos, das subordens Háplicos, Sállicos e Tiomórficos, Melânicos, ocorrem na forma de Unidades de Mapeamento em associações ou complexos, especialmente nos campos inundáveis do Golfão e Baixada Maranhenses, constituídos por sedimentos holocênicos, onde ocorrem em associação com Vertissolos, Neossolos Flúvicos e, em menor proporção, com Organossolos Háplicos (Ebeling et al., 2011) (Figura 7). São comuns também nos fundos de vales e planícies fluviais dos principais rios, como Mearim, Itapecuru, Pindaré e Parnaíba, bem como nos ambientes de transição com manguezais, onde predominam Gleissolos Sállicos, Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Háplicos em associação a Organossolos (IBGE, 2011a). Estão fortemente associados à vegetação higrófila, incluindo campos alagados, buritizais (*Mauritia flexuosa*) e matas ciliares.

Quimicamente, os Gleissolos apresentam grande variabilidade. Em várzeas recentes, podem apresentar fertilidade natural relativamente alta, devido ao aporte de sedimentos com elevados teores de nutrientes transportados pelos rios. Em áreas mais antigas, dominam os Gleissolos Distróficos, de baixa fertilidade, com acidez elevada e alta saturação por alumínio. Nas áreas sob influência marinha atual ou pretérita, a presença de sais, de materiais sulfídricos ou horizonte sulfúrico representam sérias limitações ao uso agrícola.

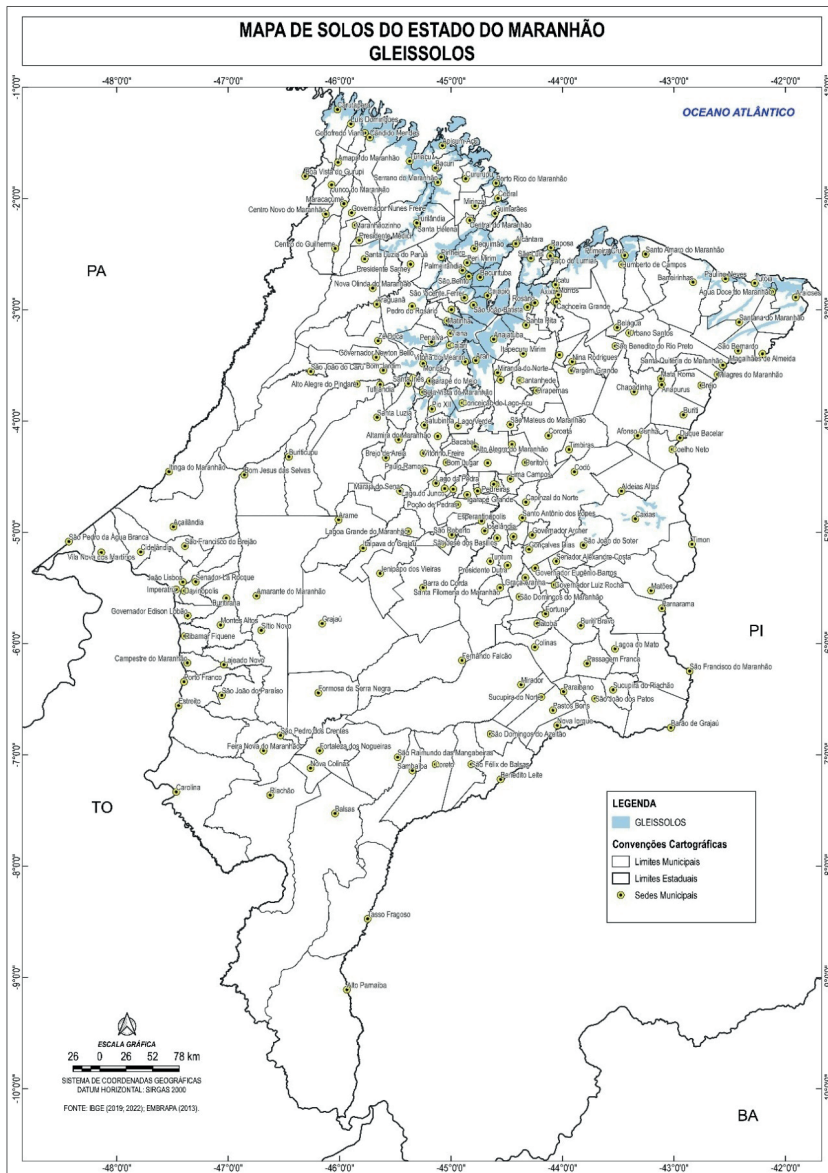


Figura 7 – Distribuição espacial dos Gleissolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

Quanto às potencialidades, os Gleissolos Melânicos e Háplicos são aptos ao cultivo de espécies adaptadas a condições úmidas (arroz, açaí, entre outras) ou lavouras de ciclo curto em áreas com drenagem artificial e pastagem natural nos períodos de estiagem. A principal limitação está no excesso de água e consequente deficiência de oxigênio, em especial no período de maior precipitação pluviométrica. Adicionalmente, destacam-se os riscos de compactação e os impedimentos a mecanização nos solos de textura mais argilosa e, nos Gleissolos Sállicos (Figura 8), limitações por salinidade e sodicidade. Nos Gleissolos Tiomórficos, também surge como limitação a elevada acidez, que é intensificada se a área for drenada. Esses solos devem ser preservados como áreas de proteção permanente, pela sua vulnerabilidade e importância para sistemas hidrológicos e preservação de espécies endêmicas. É de grande relevância observar também a legislação ambiental no que se refere à proteção de matas de galeria, limitando o uso à extração do açaí e outras espécies nativas por comunidades tradicionais.



Figura 8– Perfil de Gleissolo Sállico, município de Vitória do Mearim (MA). Foto: Sergio Hideiti Shimizu.

Verifica-se que os Gleissolos representam uma classe de solos de grande relevância ecológica e socioeconômica no estado, ocupando áreas estratégicas para a conservação de recursos hídricos e para o uso agropecuário em várzeas. Embora suas limitações sejam severas, sobretudo no que se refere à drenagem, esses solos podem ser explorados de forma produtiva em sistemas agrícolas e pecuários específicos, desde que manejados com técnicas apropriadas que considerem a sua natureza hidromórfica e sua fragilidade ambiental.

7. LATOSSOLOS

Os Latossolos, um dos solos mais comuns nas regiões tropicais úmidas, representam, em área, a principal classe de solo do Maranhão, correspondente a cerca de 35% do território estadual (Figura 9).

Formados em condições de intensa intemperização química, em áreas altas de relevo plano a suave ondulado, favoráveis à infiltração da água, sob clima quente e úmido, com elevadas taxas de precipitação e temperatura média anual, os Latossolos têm como principais processos pedogenéticos específicos a dessilificação (perda parcial ou total de sílica e bases) e a latossolização, ferralitização ou latolização (acumulação residual de minerais secundários do tipo 1:1 e oxihidróxidos de ferro e alumínio na fração argila) (Kämpf; Curi, 2012).

A ação intensa e continuada desses processos resulta em solos profundos, com pouca diferenciação entre horizontes, drenagem boa a excessiva, ausência ou presença de quantidades traços de minerais primários facilmente intemperizáveis, textura variando de média a muito argilosa, sequência de horizontes A-B-C, com pouca diferenciação entre seus subhorizontes e com horizonte B latossólico (Bw) com espessura mínima de 50 cm (Santos et al., 2025). Adicionalmente, caracterizam-se por uma baixa capacidade de troca de cátions da fração argila (Tb), conjugada com baixos teores de minerais primários facilmente intemperizados e ausência de estruturas da rocha, características que evidenciam o avançado intemperismo desses solos e de seus materiais de origem.

Graças à intensa remoção de bases ocorrida durante a sua gênese, são comumente, de baixa fertilidade química, sendo observado pH ácido e baixa saturação por bases, podendo ser classificados como distróficos ou até alumínicos¹.

¹ Solos com teor de alumínio extraível ≥ 4 cmolc kg⁻¹ e saturação por alumínio $\geq 50\%$.

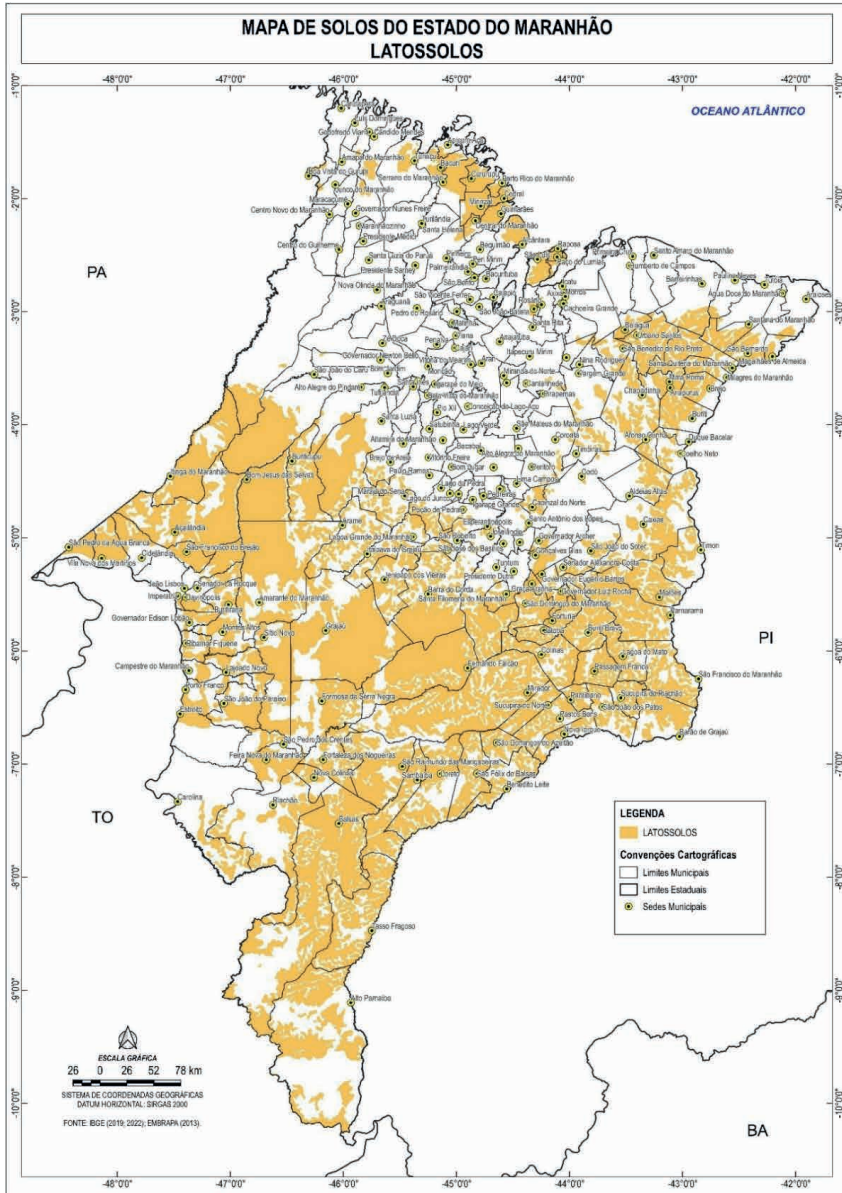


Figura 9 – Distribuição espacial dos Gleissolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

No Maranhão, os Latossolos, das subordens Amarelos (Figura 10a) e Vermelho-Amarelos (Figura 10b), estão distribuídos, sobretudo, na porção centro-sul, no topo plano dos chapadões, recobertos por vegetação de cerrado e campo cerrado, desenvolvidos a partir das formações sedimentares Corda, Pedra de Fogo e Motuca, frequentemente em associação com Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos. Também nos Tabuleiros Costeiros situados no litoral ocidental e na região leste, considerada como a nova fronteira agrícola do Maranhão, nos Tabuleiros relacionados a sedimentos Cenozóicos do Grupo Barreiras, verifica-se a ocorrência de Latossolos Amarelos, comumente com caráter coeso, no topo de baixos platôs, associados a Argissolos Amarelos, também coesos (Dantas et al., 2014). Em menor extensão, ocorrem Latossolos Vermelhos na porção sudoeste do estado, derivados de basaltos da Formação Mosquito, em associação com Nitossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos, derivados do intemperismo de arenitos da Formação Sambaíba, onde são observados em associação com Neossolos Quartzarênicos.

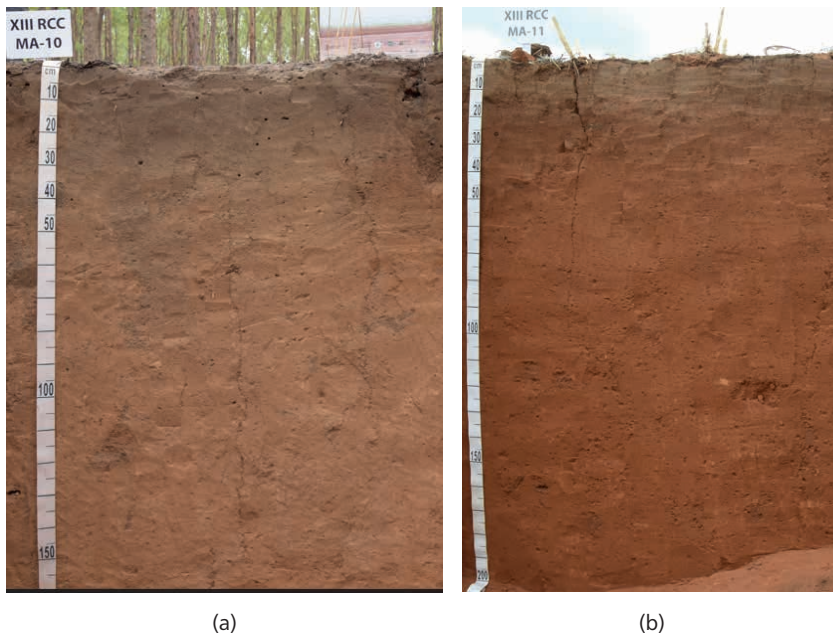


Figura 10 – Perfil de Latossolo Amarelo, em Balsas (a) e Latossolo Vermelho-Amarelo em São Raimundo das Mangabeiras (b), Maranhão. Fotos: Sergio Hideiti Shimizu.

Em função de suas propriedades físicas favoráveis, representadas por ausência de pedregosidade e rochiosidade, elevado grau de flocculação, profundidade e boa drenagem, apresentam elevado potencial agrícola em especial para as lavouras de grãos, com destaque para a soja. Nas áreas de relevo plano, principalmente no bioma cerrado, possuem elevado potencial para operações agrícolas com mecanização, em sistemas de lavouras, silvicultura ou mistos (silvo-pastoris, integração lavoura-pecuária-floresta).

Quanto às propriedades químicas, em função da baixa reserva de nutrientes, elevada acidez e presença de argilas de baixa atividade, que contribuem para a baixa retenção de cátions, esses solos exigem calagem e adubações para se tornarem produtivos. Nos Latossolos Vermelhos, a fixação de fósforo pode ser uma limitação adicional, exigindo manejo diferenciado deste macronutriente, assim como nos Latossolos com caráter ácrico², que possuem capacidade de troca aniônica.

Embora sejam amplamente utilizados em monoculturas para a produção de grãos e silvicultura, os Latossolos de textura leve, como os Latossolos Amarelos derivados de sedimentos do Grupo Barreiras, são altamente suscetíveis à erosão eólica e hídrica, bem como à degradação, em razão da rápida mineralização da matéria orgânica, o que reduz a capacidade de troca catiônica do horizonte superficial.

Na região conhecida como Matopiba, formada pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, a expansão da fronteira agrícola vem promovendo o uso intensivo desses solos, principalmente para a produção de grãos. Essa intensificação, entretanto, levanta preocupações quanto aos impactos ainda pouco estudados sobre o estoque de carbono, as emissões de gases de efeito estufa, a conservação de espécies endêmicas e a manutenção de sistemas hidrológicos, essenciais para a sustentabilidade ambiental e produtiva da região.

Assim, os Latossolos do Maranhão, embora representem a base da ocupação agrícola moderna no estado, exigem manejo técnico criterioso para garantir sua utilização sustentável, conciliando produtividade agrícola, preservação ambiental e manutenção dos modos de vida locais.

8. LUVISSOLOS

Os Luvisolos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2025), constituem uma ordem definida pela presença de horizonte A ou E, sobrejacente a um horizonte subsuperficial com acúmulo de argila em quantidade suficiente para caracterizar o horizonte diagnóstico B textural (Bt).

² Condição em que o solo apresenta soma de bases trocáveis + alumínio extraível por KCl 1 mol L⁻¹ ≤ 1,5 cmolc kg⁻¹ de argila (Santos et al., 2025).

Formados também pelo processo pedogenético específico da lessivagem ou argiluviação (eluviação/iluviação), assim como os Argissolos, distinguem-se destes por possuírem saturação por bases elevada ($V\% \geq 50$) conjugada com argila de atividade alta ($CTC \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila), não sendo admitida a presença de horizonte A chernozêmico em sua definição. Em sua gênese, fatores como o clima – menos úmido e material de origem – rico em minerais primários, reduzem a intensidade das transformações dos minerais primários e perda de bases e de sílica, resultando em solos eutróficos e com mineralogia de argilas predominantemente de alta atividade.

No Maranhão, onde recobrem cerca de 7% da superfície, os Luvisolos, das subordens Crômicos (Figura 11a) e Háplicos (Figura 11b), apresentam-se distribuídos, sobretudo, na porção central do estado (Figura 12). Desenvolvidos a partir de rochas carbonáticas, fosfáticas ou pelíticas da Formação Itapecuru, do Cretáceo, ou a partir de folhelhos e calcários da Formação Codó (Dantas et al., 2020), encontram-se comumente associados a solos de boa fertilidade química, como Chernossolos Argilúvicos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e Vertissolos Háplicos (Dantas et al., 2020).

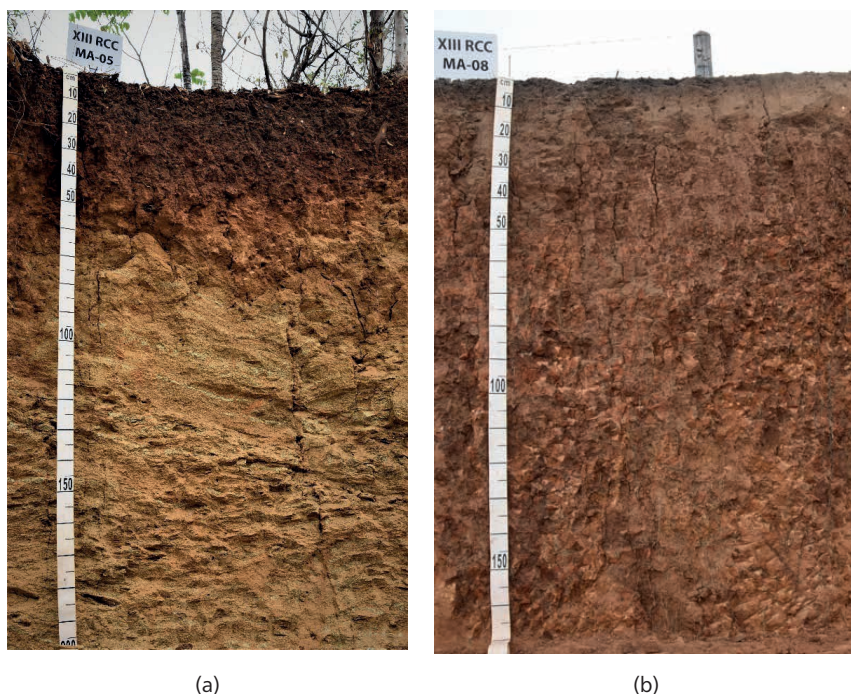


Figura 11– Perfil de Luvissolo Crômico, em São João dos Patos (a) e Luvissolo Háplico em Dom Pedro (b), Maranhão. Fotos: Sergio Hideiti Shimizu.

Quanto à fertilidade natural, destacam-se por apresentar altos teores de cálcio, magnésio e potássio, o que os diferencia da maioria dos solos do estado. Assim, não apresentam limitações químicas significativas para a produção agrícola, sendo considerados solos de alta a média fertilidade natural. No entanto, a suscetibilidade à erosão, devido ao horizonte B textural, mudança textural abrupta e relevo declivoso, e impedimentos à mecanização pela presença de pedregosidade sobre a superfície e/ou na massa do solo, são fortes limitantes ao seu uso, em especial para lavouras de grãos e mecanizadas. Em Luvisolos de menor espessura e mais argilosos, a expansão e contração devida à presença de argilas de alta atividade, pode ser um forte limitante para lavouras perenes e silvicultura.

Portanto, os Luvisolos do Maranhão, embora apresentem potencial agrícola elevado pela fertilidade natural, exigem práticas conservacionistas rigorosas e planejamento de uso compatível com suas limitações. O manejo adequado deve considerar técnicas de controle de erosão, uso de culturas adaptadas às condições de solo e relevo, além da adoção de sistemas agroflorestais em áreas de maior risco ambiental.

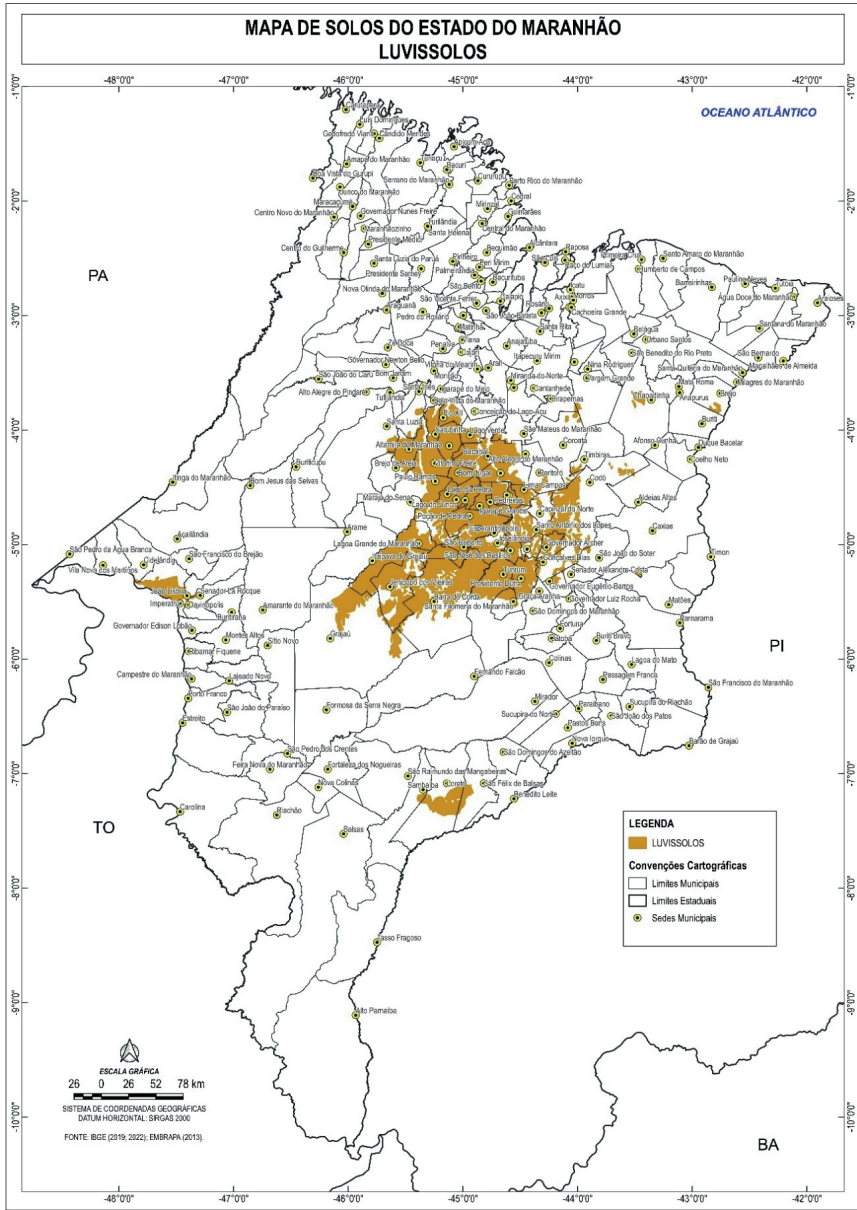


Figura 12 – Distribuição espacial dos Luvissois no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

9. NEOSSOLOS

A ordem dos Neossolos é definida no SiBCS (Santos et al., 2025) pela ausência de horizonte diagnóstico subsuperficial. A pequena diferenciação de horizontes no perfil, com A seguido de C ou R, ou Bi com espessura menor que 10 cm, e o predomínio de características herdadas do material originário, que pode ser rocha ou sedimentos, são indicativos do baixo grau de evolução pedogenética. Quando ocorre um horizonte orgânico (O) sobre a rocha (R) este não possui espessura para atender aos Organossolos, ou ainda, se o A é chernozêmico não atende a exigência de carbonatos para Chernossolos.

O baixo grau de intemperismo resulta da ação de diferentes fatores que, isoladamente ou em conjunto, retardam a formação dos solos. Podem ser listados: a elevada resistência ao intemperismo do material de origem; clima árido ou mesmo semiárido; relevo com declives acentuados que propiciam as perdas por erosão e desfavorecem a infiltração da água reduzindo o intemperismo; curto tempo de exposição da rocha ou ainda a recente deposição de sedimentos. Dessa forma, os processos múltiplos de adição, translocação, transformação e perda ocorrem de forma restrita ou diferenciada, originando solos de ampla variabilidade e baixo grau de desenvolvimento pedogenético.

No estado do Maranhão, os Neossolos ocupam cerca de 14% da superfície, estando distribuídos em diferentes compartimentos geomorfológicos (Figura 13). As principais subordens identificadas são os Neossolos Litólicos (8%), os Neossolos Quartzarênicos (cerca de 8%) e os Neossolos Flúvicos (0,5%), além da ocorrência restrita de Neossolos Regolíticos, estes últimos reconhecidos com menor expressão. A distribuição espacial das subordens está fortemente associada ao relevo, ao regime hídrico e à natureza do material parental.

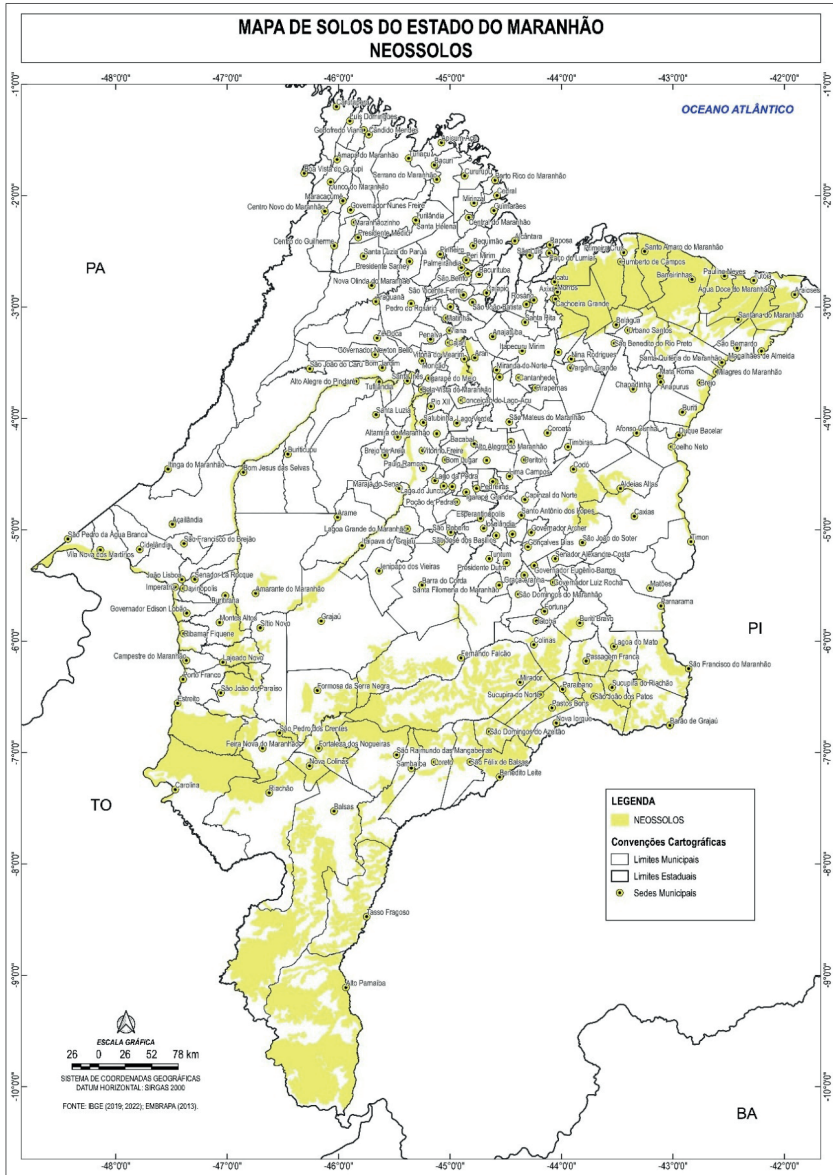


Figura 13 – Distribuição espacial dos Neossolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

9.1. Neossolos Litólicos

Os Neossolos Litólicos ocorrem, sobretudo, nas vertentes escarpadas dos chapadões do sul e sudeste do estado, onde derivam do intemperismo de rochas sedimentares. Apresentam perfil raso, com sequência A-R, muitas vezes contendo fragmentos de rocha e afloramentos frequentes. A pequena profundidade efetiva restringe o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água, constituindo limitação severa ao uso agrícola. Adicionalmente, a associação de relevo declivoso e horizonte superficial pouco espesso favorece a erosão, tornando essas áreas mais adequadas ao uso com pastagens nativas, extrativismo vegetal e conservação ambiental do que para a agricultura mecanizada.

9.2. Neossolos Flúvicos

Os Neossolos Flúvicos, com sequência de horizontes A-C e material de origem de sedimentos fluviais, embora de fertilidade natural, granulometria e mineralogia variada, possuem, em geral, potencial para agricultores familiares, principalmente lavouras de ciclo curto. Frequentemente em associação com Gleissolos Háplicos, em planícies aluviais e fundos de vales, apresentam como principais limitações agrícolas riscos de inundação no período das chuvas, o que pode levar a problemas com deficiência de oxigênio e impedimentos à mecanização, mais severos para lavouras perenes e silvicultura. Vale destacar a necessidade de observar a legislação ambiental no que se refere à faixa de proteção da mata ciliar.

9.3. Neossolos Quartzarênicos

De textura essencialmente arenosa, das classes areia e areia franca até 200 cm de profundidade (Santos et al., 2025), os Neossolos Quartzarênicos ocupam maiores extensões na faixa litorânea, onde derivam de depósitos arenosos do Quaternário, nos topos dos chapadões do sul do estado, em associação com Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos sob vegetação de cerrado e campo-cerrado e na região das Chapadas das Mesas, no sudoeste maranhense, derivados de arenitos eólicos da Formação Sambaíba. Sua textura arenosa confere baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa capacidade de retenção de água e alta suscetibilidade à lixiviação de nutrientes. Tais características tornam os Neossolos Quartzarênicos restritos para culturas de sequeiro. Em áreas de expansão agrícola no cerrado maranhense, têm sido explorados mediante sistemas altamente dependentes de irrigação, correção da acidez e adição intensiva de insumos. Entretanto, a fragilidade ambiental desses solos levanta preocupações quanto à contaminação de aquíferos e à degradação acelerada pela rápida mineralização da matéria orgânica

10. NITOSSOLOS

Os Nitossolos constituem uma classe de solos de ocorrência restrita no Maranhão, mas de grande relevância agrícola, devido às suas excelentes propriedades físicas e químicas.

A ordem dos Nitossolos é definida no SiBCS (Santos et al., 2025) pela textura argilosa, com 350 g kg⁻¹ ou mais de argila, inclusive no horizonte A, e por horizonte subsuperficial de acúmulo de argila, denominado B nítico, com estrutura de grau moderado ou forte do tipo blocos subangulares ou angulares ou prismática, com cerosidade expressiva e/ou caráter retrátil. Os Nitossolos são ainda profundos, com pequena variação de textura e cor ao longo do perfil, bem drenados, e com elevada estabilidade estrutural, características que os distinguem de outras classes de solos argilosas (Figura 14).

A gênese dos Nitossolos está vinculada ao intemperismo de rochas básicas e intermediárias através do processo pedogenético específico da rubificação ou rubefação, que ocorre em climas quentes com alternância de estações secas e úmidas, levando à alteração de hidróxidos de ferro de baixa cristalinidade com a formação de cristais de hematita e goethita, conferindo aos solos cores vermelhas (Kubiena, 1970). Dessa forma, entre os principais fatores de formação desta classe de solos destacam-se: o material de origem – rico em minerais básicos; o relevo, favorável a uma boa drenagem e translocação de argila; e o clima, cuja precipitação pluvial contribui para a intemperização dos minerais primários e deposição da argila nos poros e agregados, levando à formação da cerosidade.



(a)



(b)

Figura 14 – Perfil de Nitossolo Vermelho, município de Campestre do Maranhão (MA) (a); cerosidade na superfície de um agregado estrutural em Nitossolo. Fotos: Sergio Hideiti Shimizu.

No Maranhão, onde correspondem a apenas 1,6% da área (Jacomine et al., 1986) (Figura 15), os Nitossolos Vermelhos encontram-se correlacionados ao afloramento de rochas vulcânicas: basaltos da Formação Mosquito, no sudoeste do estado, onde ocorrem associados a Latossolos Vermelhos em áreas de relevo plano a suave ondulado; e diabásios da Formação Sardinha, a sudeste, onde se encontram em associação com Luvisolos.

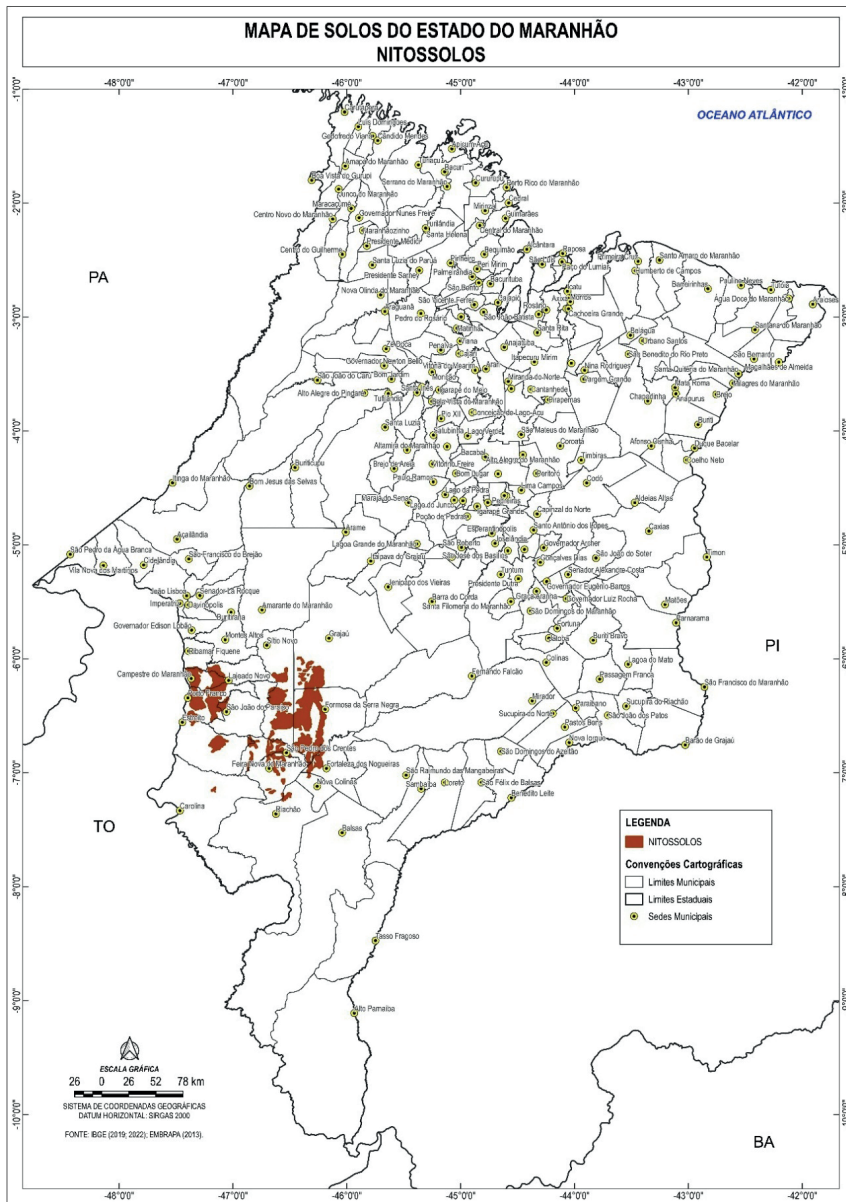


Figura 15 – Distribuição espacial dos Nitossolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

Quimicamente, os Nitossolos apresentam como principais características: elevada fertilidade natural, capacidade de troca catiônica moderada a alta, saturação por bases variável e pH variando de ligeiramente ácido a neutro, o que permite ampla adaptação a diferentes culturas agrícolas, mesmo com níveis relativamente baixos de insumos. Do ponto de vista físico, destacam-se pela alta estabilidade estrutural e profundidade, que contribuem tanto para o armazenamento de água quando para o desenvolvimento do sistema radicular.

Quanto ao uso e manejo, os Nitossolos possuem elevada aptidão agrícola, sendo recomendados para culturas anuais, como milho, soja, arroz e feijão, bem como para culturas perenes, como café, cana-de-açúcar e fruticultura diversificada. Também apresentam grande potencial para sistemas integrados de produção agropecuária, como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). No entanto, esses solos, quando localizados em áreas de relevo mais acidentado, apresentam risco de erosão hídrica, intensificado pelo gradiente textural (ainda que menor que o observado para os Argissolos e Luvisolos) e pelo manejo inadequado. Além disso, devido ao maior teor de argila, são suscetíveis à compactação pelo pisoteio em pastagens. Práticas conservacionistas, como terraceamento, cultivo em nível, manutenção da cobertura vegetal e rotação de culturas, são essenciais para preservar a fertilidade e a sustentabilidade desses solos.

Em resumo, embora espacialmente restritos no estado, os Nitossolos representam um recurso pedológico de elevado valor agrícola, combinando profundidade, boa drenagem, alta fertilidade natural e excelente estrutura física, o que os coloca entre os solos mais produtivos, desde que adequadamente manejados.

11. PLANOSSOLOS

A ordem dos Planossolos é definida no SiBCS (Santos et al., 2025) como solos imperfeitamente drenados, com marcante mudança textural entre o horizonte superficial (A) ou eluvial (E) e o horizonte subsuperficial (B) subjacente (Figura 16). O horizonte B de acúmulo de argila é denominado de B plânico que possui cores acinzentadas ou a presença de cores mosqueadas ou variegadas, decorrentes da permeabilidade lenta, que resulta em uma zona de acumulação de água (lençol freático suspenso) entre os horizontes. No horizonte B plânico pode ser observada estrutura em blocos de tamanho grande, prismática ou até mesmo colunar e maciça nos solos com elevado teor de sódio (Na^+).

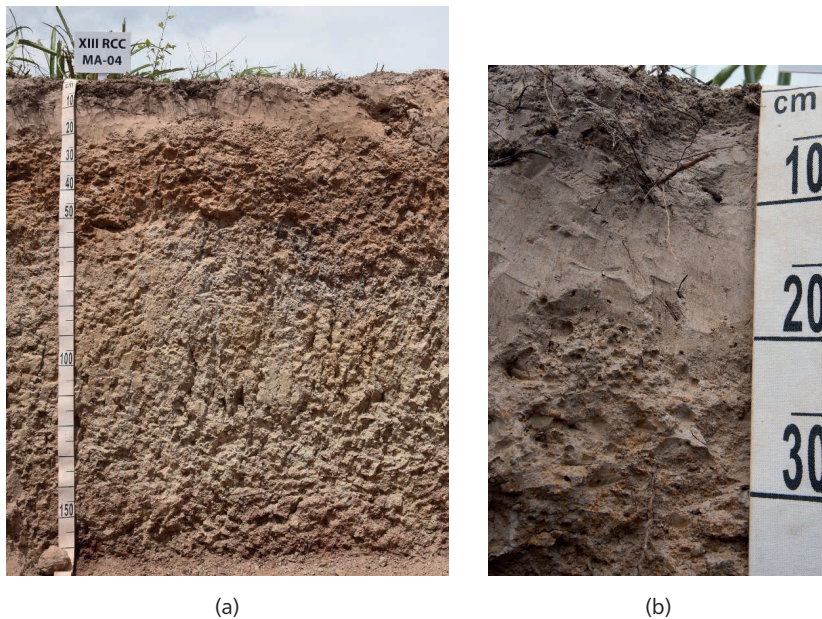


Figura 16 – Perfil de Planossolo Háplico, município de São Mateus do Maranhão (MA) (a); detalhe da transição abrupta entre os horizontes E e 2Btgcf. Fotos: Sergio Hideiti Shimizu.

Os Planossolos se desenvolvem a partir de dois processos pedogenéticos específicos principais: a lessivagem, caracterizada pela intensa translocação de argila que resulta na formação de um horizonte E bem definido, e a ferrólise, na qual ocorre acidificação e destruição das argilas dos horizontes superficiais através de hidromorfismo temporário (Mafra et al., 2001). Como fatores destacam-se o clima, com maior precipitação pluviométrica ao menos em parte do ano, e o relevo plano a suave-ondulado que condiciona a drenagem impedida e as cores acinzentadas. Quanto aos processos múltiplos, alternam-se as perdas de ferro para o lençol freático, nos períodos mais chuvosos, e a adição deste elemento e posterior translocação e precipitação em partes do perfil com a formação de mosqueados.

Quanto às subordens são verificados os Planossolo Nátricos e os Háplicos. Nos Planossolos Nátricos, além dos processos anteriormente listados, destaca-se o processo de solonização, com saturação por Na $\{(Na/T)*100\}$ superior a 15% e pH alcalino. Para o desenvolvimento desse processo, destaca-se a influência do fator clima (mais seco), contribuindo para a adição e translocação do sódio no solo a partir do lençol freático ou lateralmente na paisagem.

Os Planossolos Háplicos correspondem a apenas 0,3% do mapa de solos do estado do Maranhão, já os Planossolos Nátricos têm expressão ainda menor ocorrendo apenas como inclusões em algumas unidades de mapeamento.

Os Planossolos apresentam como limitações a baixa permeabilidade, que favorece o acúmulo de água no horizonte superficial e, portanto, aumenta a deficiência de oxigênio, além de impedir o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade. Nos Planossolos Nátricos os altos teores de sódio e a elevação de pH acarretam fortes limitações por fertilidade e até mesmo deficiência de água no período seco. Os Planossolos Háplicos podem ser utilizados com pastagens ou culturas de ciclo curto e ainda lavouras adaptadas a condições de hidromorfismo, como exemplo o arroz.

No Maranhão, os Planossolos representam uma classe de ocorrência restrita, mas ambientalmente relevante, por se localizarem em áreas de transição e apresentarem forte interação com os regimes hidrológicos locais. Seu manejo exige planejamento cuidadoso, privilegiando práticas conservacionistas, sistemas de cultivo adaptados ao encharcamento e uso sustentável em áreas com maior fragilidade ambiental.

12. PLINTOSSOLOS

Formados pelo processo pedogenético específico da plintitização, caracterizados pela presença de horizonte subsuperficial plíntico (Bf ou Cf), concrecionário (Bcf) ou litoplíntico (F), subjacente a um horizonte A ou E, geral e drenagem imperfeita a má, os Plintossolos representam, em extensão, a terceira maior classe de solo do Maranhão (cerca de 15% do território) (Jacomine et al., 1986).

Na plintitização, processo pedogenético responsável pela formação da plintita - uma mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro, ou em ferro e alumínio (Santos et al., 2025)-, destacam-se dois mecanismos principais: (i) a transformação do ferro por meio de reações de oxirredução e (ii) a translocação do ferro reduzido, seguida de sua precipitação. Esses processos são condicionados, sobretudo, por dois fatores determinantes: o material de origem, como fonte de ferro, e o clima (atual ou pretérito), que controla tanto a mobilização quanto a concentração do ferro no perfil, resultando no acúmulo deste elemento na forma de plintita. Quando submetida a ciclos de dessecação, a plintita pode se transformar em petroplintita, que é utilizada na identificação do horizonte concrecionário (subscrito c), ou, após um longo tempo, no horizonte litoplíntico, no qual ocorre a coalescência da petroplintita formando um horizonte contínuo ou praticamente contínuo, identificado pela letra F.

No Maranhão, na gênese dos Plintossolos, destaca-se a contribuição dos arenitos ferruginosos da Formação Itapecuru, do Cretáceo, em áreas de relevo plano a suavemente ondulado na porção centro-norte do estado (Figura 17), recobertas por babaquais

da “mata dos cocais”, onde o clima, caracterizado por forte variação sazonal, com dois períodos bem definidos — um chuvoso, de novembro a abril, e um seco, de maio a outubro, favorece a dinâmica de redução e oxidação do ferro, levando à segregação deste elemento e à formação da plintita (f). Características importantes a serem ressaltadas sobre os Plintossolos relacionados à Formação Itapecuru, são os elevados conteúdos de silte ($> 300 \text{ g kg}^{-1}$), comumente superiores aos de argila e, conseqüentemente, elevada relação silte/argila. Outra característica marcante é a argila de atividade alta, além de teores de magnésio (Mg^{2+}) geralmente superiores aos de cálcio (Ca^{2+}), sobretudo, em subsuperfície (Anjos et al., 1995; 2007; Silva et al., 2020).

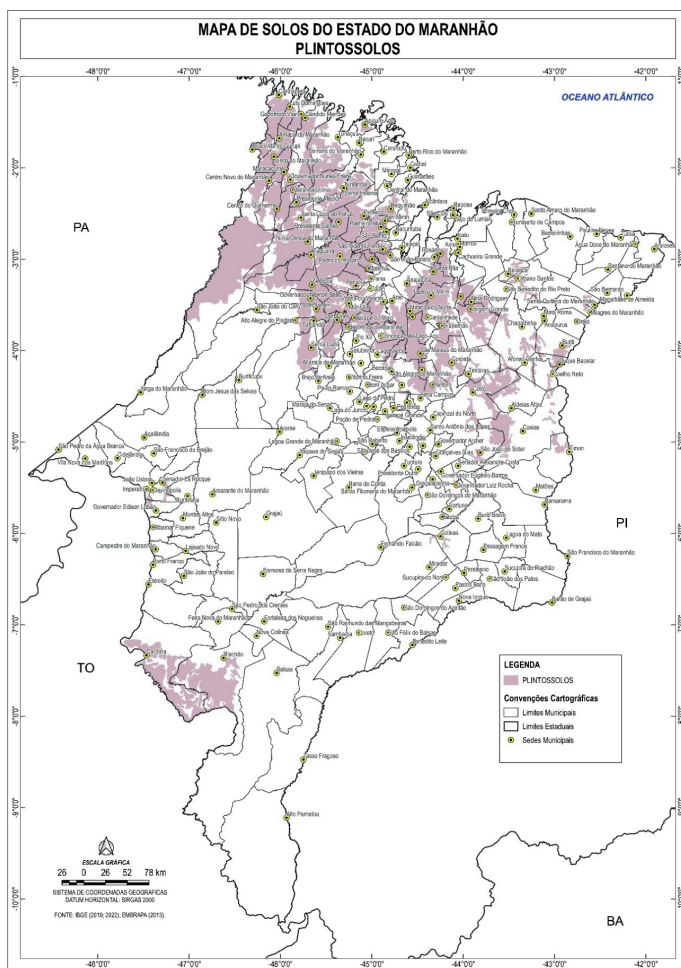


Figura 17 – Distribuição espacial dos Plintossolos no estado do Maranhão. Elaboração: Conceição Filho, J. F. da.

As três subordens de Plintossolos reconhecidas no SiBCS (Santos et al., 2025) são encontradas no estado: os Plintossolos Argilúvicos (Figura 18a), representando cerca de 9,6% do território, os Plintossolos Pétricos (Figura 18b), correspondendo a, aproximadamente, 6,9% da área e os Plintossolos Háplicos (Figura 18c), compreendendo cerca de 2,6% da área. Quanto à distribuição espacial, os Plintossolos Argilúvicos são encontrados, sobretudo, na região rebaixada entre o Golfão Maranhense e a divisa do estado do Pará, recoberta pela Mata dos Cocais, em associação com Argissolos Vermelho-Amarelos, ambos distróficos, de baixa fertilidade química natural. Já os Plintossolos Pétricos distribuem-se, sobretudo, a leste do estado, na região do Baixo Parnaíba, recoberta originalmente por vegetação de floresta tropical caducifólia, frequentemente em associação com Planossolos Háplicos e Argissolos Vermelho Amarelos plintossólicos (Dantas et al., 2020), enquanto Plintossolos Háplicos se distribuem nas demais regiões do estado, sobretudo, nos bordos das chapadas e chapadões em associação com Plintossolos Pétricos (Jacomine et al., 1986; Dantas et al., 2013), bem como em jovens superfícies aplainadas, desenvolvidas a partir dos atuais fundos de vales (IBGE, 2011).

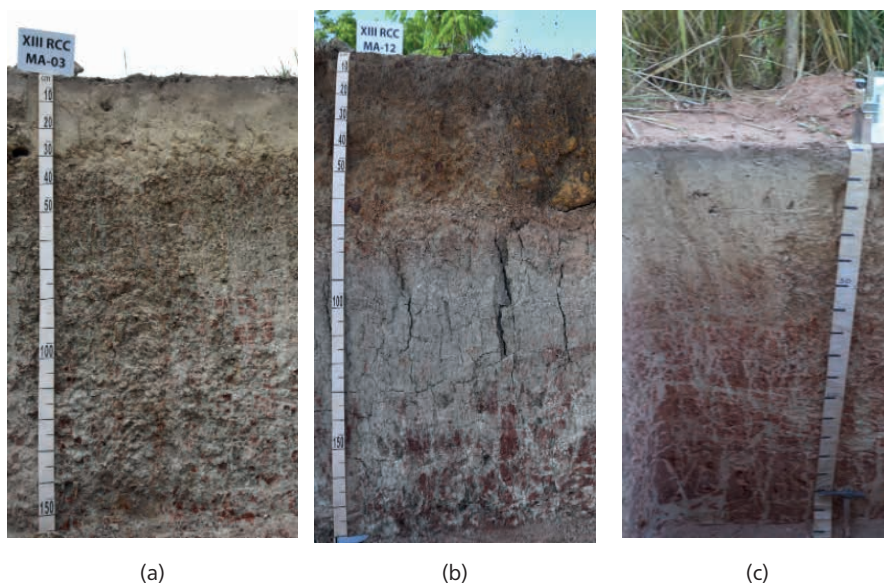


Figura 18 – Perfil de Plintossolo Argilúvico (a), Plintossolo Pétrico (b) e Plintossolo Háplico (c), respectivamente, nos municípios de Itapecuru-Mirim, Igarapé do Meio e Santa Inês (MA). Fotos: Sergio Hideiti Shimizu (a) e Marlen Barros e Silva (b, c).

Do ponto de vista agrícola, os Plintossolos apresentam limitações importantes, como baixa fertilidade natural, na grande maioria, deficiência de oxigênio (nos Argilúvicos e Háplicos), suscetibilidade à erosão (principalmente nos Argilúvicos) e restrições à mecanização e ao desenvolvimento radicular (nos Pétricos, devido à presença de petroplintita). Apesar disso, podem ser aproveitados em sistemas agroflorestais, especialmente os Argilúvicos e alguns Háplicos com melhor drenagem, e em cultivos tolerantes à umidade, como o arroz, em áreas de relevo plano e com drenagem impedida. Também são aproveitados para pastagens naturais ou manejadas durante o período seco.

Algumas áreas de Plintossolos são muito importantes para a proteção dos babaçuais (*Attalea speciosa* Mart.), palmeira nativa de relevante interesse para comunidades tradicionais maranhenses, como as quebradeiras de coco babaçu, que desempenham papel crucial na manutenção da cultura tradicional e na conservação ambiental, mas enfrentam pressões da expansão agropecuária.

13. VERTISSOLOS

Apesar de sua ocorrência restrita no Maranhão (< 1%) (Jacomine et al., 1986), os Vertissolos constituem uma classe de solos de grande relevância pedológica e agrícola em áreas específicas do estado.

A ordem dos Vertissolos, definida no SiBCS (Santos et al., 2025) pela presença do horizonte diagnóstico vértico (Biv ou Cv) e pela textura argilosa ou com no mínimo, 300g de argila kg⁻¹ de solo no horizonte A, tem sua gênese intimamente relacionada a materiais ricos em minerais 2:1 expansivos, principalmente a esmectita, resultantes do intemperismo de rochas básicas, ultrabásicas, margas, calcárias ou de depósitos argilosos recentes de origem flúvio-lacustre. Em geral compreende solos rasos ou pouco profundos e com drenagem que varia de imperfeita a mal drenados, em função do período das chuvas.

O processo pedogenético específico é o da vertização, que tem como principais fatores de formação o material de origem, o clima e o relevo, e é caracterizado por variações pronunciadas de volume do solo em função da variação do conteúdo de água entre os períodos chuvoso e seco. Na estação seca, a retração da massa argilosa provoca a formação de fendas largas e profundas (com mais de 30 cm de profundidade e 1 cm de largura); já durante a estação chuvosa, a expansão das argilas fecha essas fendas e promove o revolvimento interno do solo, originando as típicas estruturas cuneiformes e paralelepípedicas e evidências de movimentação da massa do solo sob a forma de superfícies de fricção ("slickensides") e superfícies de compressão. Esse processo confere aos Vertissolos características morfológicas e físicas muito peculiares, como baixa diferenciação de horizontes (seqüência de horizontes A-Cv ou A-Biv-Cv), elevada plasticidade, pegajosidade acentuada, quando úmidos, e grande dureza quando secos, além da ocorrência de microrrelevo "gilgai".

No Maranhão, os Vertissolos ocorrem em manchas localizadas sobretudo na região sudoeste do estado, em áreas associadas aos basaltos da Formação Mosquito, onde Vertissolos Ebânicos aparecem em associação com Nitossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos. Na Baixada Maranhense, derivados de depósitos argilosos fluvio-marinhos, em áreas de relevo plano a suavemente ondulado, frequentemente com presença de salinidade e/ou tiomorfismo em um ou mais horizontes, verificam-se Vertissolos Hidromórficos, associados a Gleissolos Sâlicos ou Tiomórficos, enquanto na porção central do estado, em áreas correlacionadas ao afloramento de folhelhos e calcários da Formação Codó, verificam-se Vertissolos Háplicos.

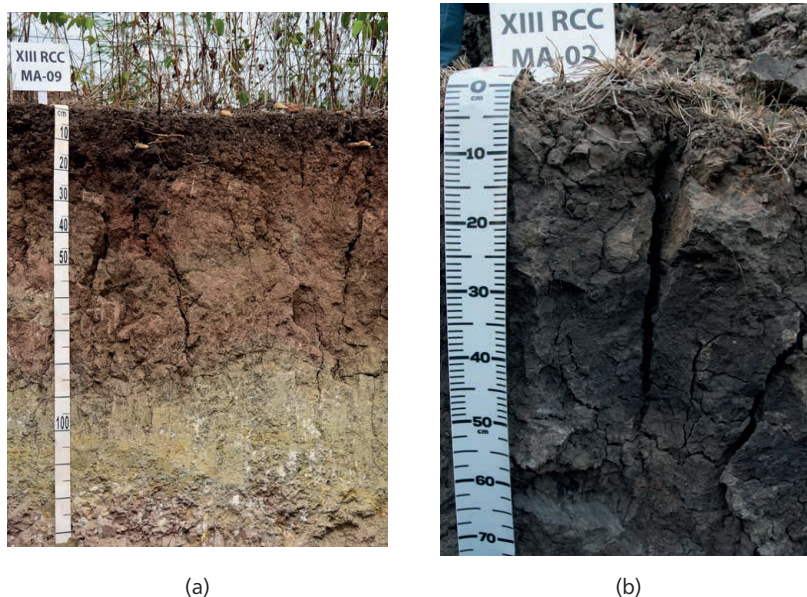


Figura 19 – Perfil de Vertissolo Háplico, município de Presidente Dutra (a) e Vertissolo Hidromórfico, município de Bacabeira (MA). Fotos: Sergio Hideiti Shimizu.

Do ponto de vista químico, os Vertissolos, sobretudo os Ebânicos e Háplicos, apresentam alta fertilidade química natural, com elevados valores de capacidade de troca catiônica e saturação por bases, pH neutro a ligeiramente alcalino e relativamente boa disponibilidade de nutrientes, o que os torna potencialmente favoráveis à agricultura. Os Vertissolos Hidromórficos da Baixada e Golfão Maranhenses, entretanto, apresentam limitações devido à presença de salinidade e até sodicidade, ou até mesmo potencial de tiomorfismo. Do ponto de vista físico, os Vertissolos apresentam limitações importantes relacionadas principalmente à

sua dinâmica: na seca, as fendas abertas provocam a ruptura de raízes, diminuindo a absorção de água e nutrientes e favorecendo o ataque de patógenos, além de prejudicarem a mecanização agrícola; na estação chuvosa, a grande expansividade e a elevada pegajosidade reduzem a trafegabilidade de máquinas, dificultando o preparo do solo. Além disso, em áreas de relevo plano a suave-ondulado, durante a estação chuvosa, a baixa condutividade hidráulica saturada favorece a criação de lâmina d'água na superfície, limitando ainda mais a mecanização e o cultivo de espécies mais sensíveis à deficiência de oxigênio.

Por suas características, sobretudo, físicas, os Vertissolos são recomendados para culturas anuais tolerantes às variações de umidade, como milho, feijão, sorgo e especialmente o arroz em áreas de drenagem mais deficiente, sendo ainda indicados para pastagens naturais e cultivadas. Contudo, seu aproveitamento agrícola exige práticas de manejo específicas, incluindo o planejamento cuidadoso das operações mecanizadas para evitar o tráfego excessivo em períodos de elevada umidade. Por outro lado, fornecem importantes serviços ecossistêmicos, para espécies de plantas e animais e para as comunidades locais, principalmente nos ambientes de deltas e das planícies costeiras, o que leva à recomendação de seus mapeamentos detalhados e sua destinação como áreas de preservação ou uso de baixa intensidade com culturas anuais adaptadas e pastagem natural.

14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise detalhada da diversidade pedológica encontrada no estado do Maranhão, conforme abordada neste capítulo, evidencia a estreita relação entre os processos pedogenéticos e as particularidades geoambientais e climáticas do Maranhão. A predominância de Latossolos e Argissolos, dentre as principais classes de solos do Maranhão, reflete um avançado estágio de intemperismo do ambiente e evidencia o potencial agrícola desses solos, especialmente na região dos Cerrados – área de expansão da fronteira agrícola do Estado. Contudo, suas limitações químicas e a susceptibilidade à degradação, especialmente em monoculturas, exigem um manejo técnico rigoroso e conservacionistas da matéria orgânica do solo e a retenção de água, a exemplo dos cultivos rotacionados, plantio direto e ILP/ILPF (integração lavoura-pecuária/integração lavoura-pecuária-floresta). Por outro lado, a ocorrência de solos com características específicas, como os Luvisolos, de alta fertilidade natural; os Gleissolos, associados a ambientes de várzeas; os Espodosolos, de grande valor ecológico em zonas costeiras; e os Plintossolos, que ocorrem em grande parte desse território (3a. classe de solo de maior ocorrência no Estado) e que são muito importantes na manutenção das florestas de babaquais, típicas do estado, mas com limitações severas de uso, devido à sua natureza concrecionária, demonstra a complexidade pedológica do estado do Maranhão, demandando estratégias de uso

da terra diferenciadas e específicas, tendo em vista não apenas o potencial agrícola dos solos, mas também seu papel ambiental, na produção de serviços ecossistêmicos e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A compreensão dos atributos físicos, químicos e morfológicos de cada classe de solos e de suas variedades, em conjunto com os fatores de formação dos solos, é fundamental para o planejamento territorial e para a implementação de políticas públicas, a exemplo do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). As considerações apresentadas por esse documento e outros estudos de solos e seus ambientes, reforçam a necessidade de conciliar a expansão da fronteira agrícola do Estado com boas práticas de manejo e conservação dos solos, minimizando impactos ambientais e garantindo a sustentabilidade a longo prazo, para além da produtividade agrícola.

Em síntese, o conhecimento aprofundado da gênese e da distribuição espacial dos solos do Maranhão e de seus atributos, não é apenas uma base para a pesquisa científica, mas um instrumento estratégico e crucial para garantir o desenvolvimento sustentável do Estado, permitindo uma gestão territorial com conhecimento de seus recursos naturais e edáficos, face aos desafios ambientais e socioeconômicos do planeta.

REFERÊNCIAS

ANJOS, L. H. C. dos et al. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão state, Brazil. *Geoderma*, v. 64, n. 3-4, p. 257-279, 1995.

ANJOS, L. H. C. dos et al. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1035-1044, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500020>.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; BANDEIRA, I. C. N.; SOUZA, L. V. de; RENK, J. F. C. Compartimentação geomorfológica. In: BANDEIRA, I. C. N. (org.). *Geodiversidade do estado do Maranhão*. Teresina: CPRM, 2013. p. 33-60. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/14761/livro_geodiversidade_MA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

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, n. 4, p. 1039-1050, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v38n4/01.pdf>.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; GOMES, F. W. F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias químicas em Organossolos de várias regiões do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 2, p. 325-336, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/v35n2a04.pdf>.

IBGE. Mapa exploratório de solos do estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 2011a. 1 mapa, color. Escala 1:400.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/ma_pedologia.pdf.

JACOMINE, P. K. T. et al. Estudo expedito de solos no Estado do Maranhão para fins de classificação, correlação e legenda preliminar. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCs; Recife: SUDENE-DRN, 1980. 220 p. (EMBRAPA-SNLCs. Boletim técnico, 61; SUDENE-DRN. Série Recursos de solos, 13). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/336095>. Acesso em: 21 ago. 2025.

JACOMINE, P. K. T. et al. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCs/SUDENE-DRN, 1986. 2 v. (EMBRAPA-SNLCs. Boletim de pesquisa, 35; SUDENE-DRN. Recursos de solos, 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/336095>.

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

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (org.). Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão: texto explicativo. Belém: CPRM, 2012. 150 p. Escala 1:750.000.

KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.). Handbuch der klimatologie. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936. v. 1, pt. C. Disponível em: http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf.

KUBIENA, W. L. Micromorphological features of soil geography. New Brunswick: Rutgers University Press, 1970. 254 p.

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LOPES, A. da S. et al. Proposal of a revision scale of the degree of cohesion and tensile strength to aid in the diagnosis of the cohesive character in soils. *Catena*, v. 245, 2024. 108284.

LOPES, E. C. dos S.; TEIXEIRA, S. G. Contexto geológico. In: BANDEIRA, I. C. N. (org.). Geodiversidade do estado do Maranhão. Teresina: CPRM, 2013. p. 17-27. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/14761/livro_geodiversidade_MA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MAFRA, A. L.; SILVA, E. F.; COOPER, M.; DEMATTE, J. L. I. Pedogênese de uma sequência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 2, p. 355-369, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200012>.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA): meio físico. São Luís: IMESC, 2022. Disponível em: <http://zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/Sumario-Executivo-VOLUME-1.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MENDONÇA-SANTOS, M. L. et al. Aplicação de técnicas de mapeamento digital de solos no âmbito do zoneamento ecológico-econômico do bioma Amazônia no Maranhão. *Embrapa Cocais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 3. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1129349>. Acesso em: 21 ago. 2025.

QUÉNARD, L. et al. Lessivage as a major process of soil formation: A revisitation of existing data. *Geoderma*, v. 167, p. 135-147, 2011.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; SILVA NETO, E. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R. Solos do Rio de Janeiro: Gênese, classificação e limitações ao uso agrícola. Ponta Grossa: Editora Atena, 2023. 231 p. DOI: 0.22533/at.ed.273232510.

PHILIPS, J. D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. *Catena*, v. 58, n. 3, p. 275-295, 2004.

PHILIPS, J. D. Development of texture contrast soils by a combination of bioturbation and translocation. *Catena*, v. 70, n. 1, p. 92-104, 2007.

SANTOS, J. H. S.; SILVA, J. X. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. Resumos Expandidos. Viçosa, MG: [s. n.], 2009. v. 1, p. 1-17.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SILVA, M. B.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. Á. de (ed.). Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020.