

Atributos físico-hídricos de solos nos municípios de Soure e Salvaterra, Ilha do Marajó, Estado do Pará

Physical and hydrological attributes of soils in the municipalities of Soure and Salvaterra, Marajó Island, State of Pará

Atributos físicos e hídricos de los suelos en los municipios de Soure y Salvaterra, isla de Marajó, estado de Pará

DOI: 10.34188/bjaerv8n3-094

Submetido: 30-05-2025

Aprovado: 15-06-2025

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

Eng. Agr., Pesquisador, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA. Brasil
E-mail: eduardo.maklouf@embrapa.br

Carlos Alberto Costa Veloso

Eng. Agr., Pesquisador, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA. Brasil
E-mail: carlos.veloso@embrapa.br

Moacir Azevedo Valente

Eng. Agr., Pesquisador Aposentado, Msc em Solos e Nutrição de Plantas
Belém, PA. Brasil
E-mail: chavesazevedo1@gmail.com

Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Junior

Biólogo, Pesquisador, M.sc. Métodos Quantitativos
Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA. Brasil
E-mail: moises.mourao@embrapa.br

Austrelino Silveira Filho

Eng. Agr., Pesquisador, Doutor em Agronomia
Embrapa Amazônia Oriental
Belém, PA. Brasil
E-mail: austrelino.silveira@embrapa.br

Arystides Resende Silva

Eng. Ftal., Pesquisador, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG. Brasil
E-mail: arystides.silva@embrapa.br

Raimundo Cosme de Oliveira Junior

Eng. Agr., Pesquisador, Doutor em Geoquímica Ambiental
Embrapa Amazônia Oriental
Santarém, PA. Brasil
E-mail: raimundo.oliveira-junior@embrapa.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar os atributos físico-hídricos de três perfis de solo nos municípios de Soure e Salvaterra, na Ilha do Marajó, Pará. A pesquisa, que dá continuidade a um trabalho anterior sobre a pedologia da região, visa aprofundar o conhecimento sobre um dos recursos naturais mais importantes da Amazônia. Foram analisados dois perfis em Salvaterra e um, em Soure. A metodologia consistiu na coleta de amostras deformadas e indeformadas em diferentes horizontes para análises físicas (granulometria, densidade do solo, porosidade) e o ajuste das curvas de retenção de água ao modelo de Van Genuchten. Os solos foram classificados como Latossolo Amarelo distrófico psamítico (perfis 1 e 2) e Latossolo Amarelo distrófico plintossólico (perfil 3). Apesar das limitações químicas, os solos apresentaram atributos físicos favoráveis à agricultura, com boa aeração, ausência de restrições para uso de maquinário e baixo risco de erosão, devido ao relevo plano. O manejo sustentável é essencial para a conservação do solo e a produtividade contínua, especialmente com o potencial para culturas adaptadas às condições locais.

Palavras-chave: Ilha do Marajó, solo, atributos físico-hídricos.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the physical and hydrological attributes of three soil profiles in the municipalities of Soure and Salvaterra, Marajó Island, Pará. As a follow-up to a previous study on the region's pedology, this research provides a deeper understanding of one of the Amazon's most important natural resources. Two profiles were analyzed in Salvaterra, and one, in Soure. The methodology consisted of collecting disturbed and undisturbed samples from different horizons for physical analyses (granulometry, bulk density, porosity) and fitting soil water retention curves to the Van Genuchten model. The soils were classified as dystrophic psammitic Yellow Latosol (profiles 1 and 2) and dystrophic plinthosolic Yellow Latosol (profile 3). Despite chemical limitations, the soils showed favorable physical properties for agriculture, with good aeration, no restrictions for machinery use, and a low risk of erosion due to the flat terrain. Sustainable management is essential for long-term soil conservation and productivity, particularly given the potential for crops adapted to local conditions.

Keywords: Marajó Island, soil, physical and hydric attributes.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar los atributos físico-hídricos de tres perfiles de suelo en los municipios de Soure y Salvaterra, en la isla de Marajó, Pará. La investigación, que da continuidad a un trabajo anterior sobre la pedología de la región, tiene como objetivo profundizar el conocimiento sobre uno de los recursos naturales más importantes de la Amazonía. Se analizaron dos perfiles en Salvaterra y uno en Soure. La metodología consistió en la recolección de muestras deformadas y no deformadas en diferentes horizontes para análisis físicos (granulometría, densidad del suelo, porosidad) y el ajuste de las curvas de retención de agua al modelo de Van Genuchten. Los suelos se clasificaron como Latossolo Amarelo distrófico psamítico (perfiles 1 y 2) y Latossolo Amarelo distrófico plintossólico (perfil 3). A pesar de las limitaciones químicas, los suelos presentaban atributos físicos favorables para la agricultura, con buena aireación, ausencia de restricciones para el uso de maquinaria y bajo riesgo de erosión, debido al relieve plano. El manejo

sostenible es esencial para la conservación del suelo y la productividad continua, especialmente con el potencial de cultivos adaptados a las condiciones locales.

Palabras clave: Isla Marajó, suelo, atributos físicos e hídricos.

1 INTRODUÇÃO

O Arquipélago do Marajó, localizado na foz do Rio Amazonas, no estado do Pará, é um ecossistema único de grande importância biológica. A singularidade da região, moldada pelo encontro das águas doces do rio com o Oceano Atlântico, cria uma dinâmica ambiental complexa que sustenta uma rica biodiversidade e serve de base para as atividades socioeconômicas das comunidades locais. Nesse contexto, o solo se apresenta como um recurso natural essencial, crucial para a sustentação da diversidade ecológica e da produção de alimentos.

O estudo aprofundado e a classificação dos solos são ferramentas indispensáveis para o manejo e a compreensão dos recursos edáficos. No Brasil, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2018) é fundamental para organizar o conhecimento sobre esses recursos, otimizar o uso da terra e prevenir problemas ambientais.

Nesse contexto, esse estudo se insere em uma iniciativa mais ampla da Embrapa Amazônia Oriental que busca a "Sustentabilidade produtiva e ambiental da pecuária leiteira bubalina na ilha do Marajó". Em particular, este trabalho faz parte da atividade "Identificação das limitações físicas do solo para o desenvolvimento de espécies arbóreas em pastagens da ilha do Marajó". Conforme descrito por Carvalho et al., 2025, a classificação taxonômica dos solos da área de estudo, o presente trabalho avança na compreensão, aprofundando-se nos atributos físico-hídricos. Essa investigação é de grande relevância, pois as propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade e capacidade de retenção de água, afetam diretamente a produtividade agrícola e a saúde dos ecossistemas.

Vale salientar, que a pesquisa contribui de forma significativa tanto para a teoria quanto para a prática. Teoricamente, ela amplia o conhecimento pedológico sobre a Ilha do Marajó, uma área com ecossistemas singulares e dinâmicas ambientais complexas. Os dados coletados sobre os atributos físico-hídricos dos solos de Soure e Salvaterra fornecem informações detalhadas que podem subsidiar futuras pesquisas e o desenvolvimento de modelos preditivos para a região. Praticamente, o estudo oferece subsídios concretos para o planejamento do uso da terra e a adoção de práticas de manejo adequadas, especialmente no contexto da pecuária bubalina. A compreensão da capacidade de retenção de água e de outros atributos físicos é crucial para otimizar o manejo de pastagens e o desenvolvimento de sistemas agrossilvipastoris, visando a sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas locais.

Assim, o objetivo central desta pesquisa é analisar e caracterizar os atributos físico-hídricos de três perfis de solo representativos nos municípios acima citados. A compreensão detalhada de propriedades como a densidade do solo, a porosidade e a capacidade de retenção de água é fundamental para o planejamento do uso da terra, o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas e a sustentabilidade da pecuária bubalina, contribuindo para a conservação dos ecossistemas locais em consonância com a legislação ambiental vigente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Ilha do Marajó, na foz do rio Amazonas, é um ecossistema de grande complexidade e heterogeneidade, moldado por um clima equatorial úmido e uma hidrologia de cheias periódicas. Essa dinâmica ambiental singular cria uma notável variabilidade de solos (Sioli, 1984), o que torna o estudo de suas características pedológicas crucial para o planejamento do uso da terra, o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis e a conservação dos ecossistemas (Embrapa, 2013). A pesquisa está focada nos municípios de Soure e Salvaterra, que integram a atual região imediata de Soure-Salaterra.

A gênese dos solos na ilha está diretamente ligada à complexa interação entre processos fluviais e marinhos (Cohen et al., 2003). A deposição de sedimentos do rio Amazonas e do Oceano Atlântico resulta na formação de solos com características distintas (Schaefer et al., 2015). Em áreas de influência fluvial, predominam solos aluviais com alta fertilidade natural, enquanto em zonas de influência marinha, são comuns os solos halomórficos, com altos teores de sais (Souza Filho et al., 2005).

A topografia predominantemente plana da ilha e sua extensa rede de drenagem favorecem a formação de solos hidromórficos, como Gleissolos e Planossolos, em áreas sujeitas a inundações sazonais (Santos et al., 2018). Esses solos apresentam características morfológicas, como cores acinzentadas, que refletem a redução do ferro em condições de baixa aeração. Por outro lado, em terraços não sujeitos a inundações, é comum a ocorrência de Latossolos Amarelos e Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2017).

Os atributos físico-hídricos do solo são a base para o seu manejo e aptidão para uso agrícola. A compreensão de sua capacidade de armazenar e fornecer água às plantas é essencial para a produtividade em ambientes tropicais úmidos (Hillel, 1998).

A textura do solo, definida pelas proporções de areia, silte e argila, influencia diretamente a retenção de água e a aeração. Solos argilosos retêm mais água, enquanto solos arenosos, com sua maior macroporosidade, promovem a infiltração e a aeração (Brady & Weil, 2017). A estrutura do solo, ou seja, o arranjo de suas partículas em agregados, também afeta a infiltração de água e a

resistência à erosão. Uma boa estrutura, estabilizada pela matéria orgânica, é fundamental (Lal, 2020).

A densidade do solo está diretamente ligada à compactação e ao volume de poros. Solos mais compactados têm maior densidade aparente e menor porosidade total, o que pode restringir o crescimento das raízes (Gheyi et al., 2018). A porosidade se divide em macroporosidade, essencial para a aeração e infiltração rápida da água, e microporosidade, responsável pela maior parte da retenção de água disponível para as plantas (Luxmoore, 1981).

A curva de retenção de água no solo (CRAS) descreve a relação entre o conteúdo de água e a tensão com que ela é retida (Campbell & Norman, 1998). Essa curva é essencial para determinar a água disponível para as plantas, que é a diferença entre a capacidade de campo (CC) – a água retida após a drenagem por gravidade – e o ponto de murcha permanente (PMP) – a tensão na qual a planta não consegue mais extrair água (Veihmeyer & Hendrickson, 1949).

Assim, o conhecimento detalhado dos solos da Ilha do Marajó é crucial, especialmente diante da crescente pressão sobre os recursos naturais na Amazônia (Fearnside, 2005). O desmatamento e a expansão agropecuária desordenada ameaçam a qualidade do solo, a biodiversidade e a subsistência das comunidades locais (Davidson et al., 2012).

Nesse contexto, a caracterização e classificação dos solos, são fundamentais para identificar potencialidades e limitações para atividades como a pecuária bubalina, que é tradicional na ilha. A compreensão das propriedades físico-hídricas é essencial para o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas que evitem a degradação e mantenham a fertilidade a longo prazo.

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) emerge como uma estratégia promissora para a recuperação de áreas degradadas e a intensificação sustentável do uso da terra (Velooso et al., 2024). Esse sistema propicia sinergias entre os componentes produtivos otimizando a produção de forma ecologicamente equilibrada. A pesquisa sobre os solos do Marajó é essencial como base científica necessária para a implementação de estratégias eficazes de conservação e uso sustentável.

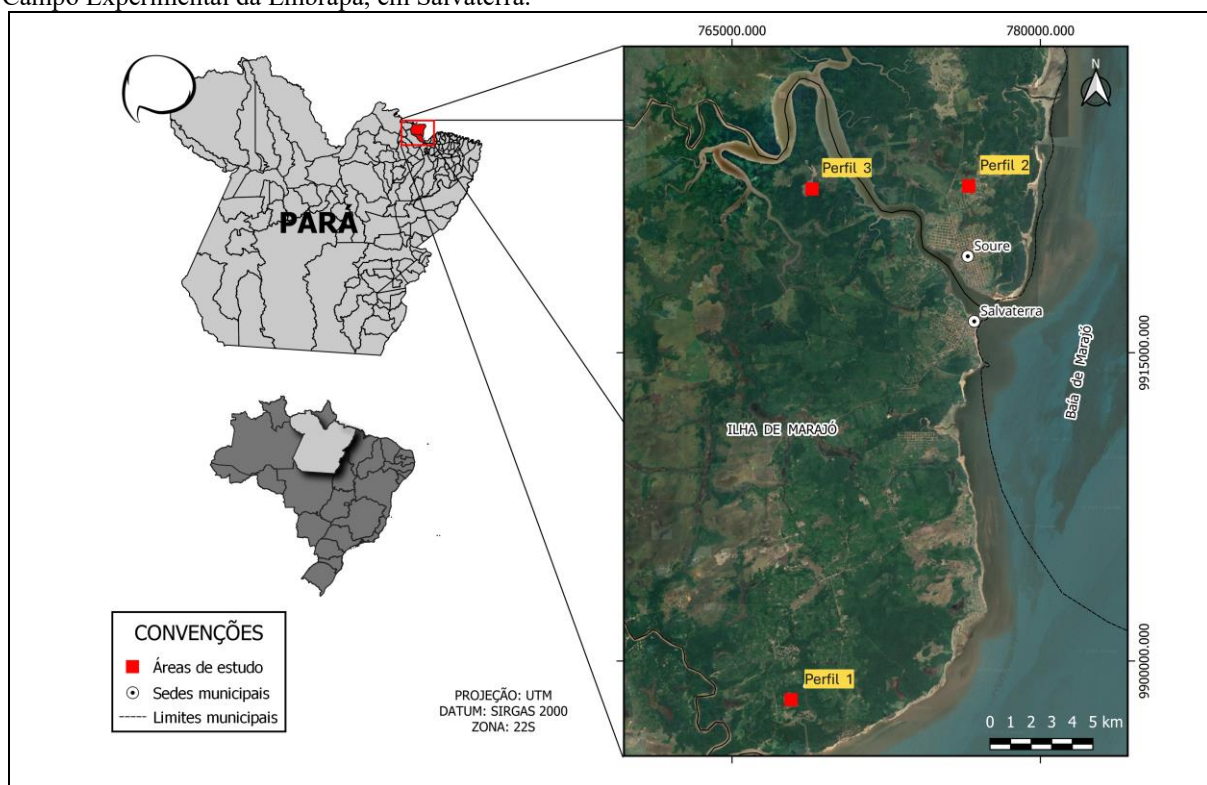
3 METODOLOGIA

As áreas de estudo para esta pesquisa são as mesmas exploradas por CARVALHO et al., 2025, gerada no âmbito do mesmo projeto. Este trabalho, portanto, dá continuidade à caracterização da pedologia local, utilizando os mesmos perfis de solo para aprofundamento dos dados. A pesquisa foi realizada em três propriedades rurais dedicadas à pecuária: o Sítio Ouro Branco, no município de Soure, e o Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental Emerson Salimos (CEMES) e o Sítio Taperebá, ambos situados em Salvaterra. Em conformidade com a classificação do IBGE

2017, os municípios de Soure e Salvaterra se inserem na região intermediária de Breves, anteriormente incluída na mesorregião do Marajó e microrregião de Arari.

A Figura 1 ilustra a localização desses municípios dentro da Ilha de Marajó. Em cada um dos locais de estudo, foram abertas trincheiras (perfis) para a descrição geral e morfológica dos solos, bem como para uma classificação taxonômica preliminar. A metodologia de campo e a coleta de amostras seguiram os procedimentos descritos no manual de Santos et al. (2015). Em cada perfil, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas. As amostras deformadas, retiradas de cada horizonte, foram utilizadas para análises químicas e físicas como granulometria, densidade de partículas, matéria orgânica e retenção de água a 1500 kPa. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 100 cm³ por horizontes para determinar a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e retenção de água.

Figura 1. Localização das áreas de estudo: Perfil 2 = Sítio Ouro Branco em Soure; Perfil 1 = Sítio Taperebá e Perfil 3 = Campo Experimental da Embrapa, em Salvaterra.



Fonte: Elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental (2025).

As análises laboratoriais, físicas e químicas, foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, segundo a metodologia do Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA. SNLCS, 1997). A granulometria foi determinada pelo método da pipeta e a densidade de partículas pelo balão volumétrico. A densidade do solo foi medida usando anéis volumétricos, e a porosidade total calculada pela equação $P_t = (1 - D_s/D_p)$. A microporosidade foi obtida a partir da

retenção de água a 6 kPa, e a macroporosidade pela diferença entre porosidade total e microporosidade. A retenção de água foi determinada em amostras indeformadas (tensões de 6 a 500 kPa) e deformadas (a -1500 kPa) usando a Câmara de Richards. Esses dados foram utilizados para ajustar a curva característica de retenção de água ao modelo de Van Genuchten (1980), onde a água disponível foi calculada considerando a capacidade de campo em -6 kPa e o ponto de murcha permanente em -1500 kPa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESCRIÇÕES GERAL, MORFOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS SOLOS

A caracterização de três perfis de solo em Soure e Salvaterra, na Ilha do Marajó, revelou particularidades distintas, conforme descrito por Carvalho et al. (2025). Os perfis 01 e 02, localizados na Fazenda Taperebá e no Sítio Ouro Branco, são morfologicamente semelhantes. Ambos apresentam uma sequência de horizontes bem desenvolvida, Ap, A2, AB, BA, BW1, BW2 e BW3, evidenciando um processo de pedogênese avançado (Figura 2). As cores dos horizontes variam de um cinzento-muito-escuro (munsell 10YR 3/1) nas camadas superficiais, típico de solos com algum acúmulo de matéria orgânica, para tons de amarelo e amarelo-avermelhado em profundidade, indicando a presença de óxidos de ferro. A textura é consistentemente franco-arenosa, a estrutura é maciça e a consistência friável quando úmida, características que sugerem uma baixa coesão entre as partículas e uma alta proporção de areia.

Figura 2. Perfis de Solo da Ilha do Marajó, Pará, Brasil.



Elaborado pelos autores, 2025

O perfil 03, coletado e descrito no Campo Experimental da Embrapa (CEMES), é similar aos outros dois até 110 cm de profundidade, mas se diferencia significativamente nas camadas mais profundas pela presença de um horizonte C plântico (C1f). A sequência de horizontes é Ap, A2, AB, Bw1, Bw2 e C1f. A textura do solo nesse perfil varia de franco-argilo-arenosa nas camadas intermediárias para argila-arenosa no horizonte plântico, e a estrutura é maciça em todo o perfil. A presença do horizonte plântico é notável por apresentar mosqueados de cores acinzentadas e avermelhadas, indicando um ambiente de oxidação e redução de ferro, típico de áreas com lençol freático flutuante (Embrapa, 2018).

Com base na interpretação dos atributos físicos e químicos, e na descrição morfológica, os solos foram classificados no 4º nível categórico (subgrupo) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). Os Latossolos Amarelos são solos minerais, profundos e bem drenados, caracterizados por um horizonte B latossólico (Bw) e um avançado estágio de intemperização. Esses solos, em geral, apresentam baixo nível de fertilidade química natural, pH fortemente ácido, elevados teores de alumínio trocável e baixa saturação por bases. Os perfis 01 e 02 foram identificados como Latossolo Amarelo distrófico psamítico, sendo a classe "distrófica" atribuída à baixa saturação por bases e a classe "psamítica" ao teor de argila total ser inferior a 200 g/kg. O perfil 03 foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico plintossólico, em decorrência da presença do horizonte plântico (C1f).

De forma geral, os solos da área de estudo estão em áreas de relevo plano sob floresta densa, são livres de rochiosidade e pedregosidade, e não apresentam sinais de erosão, o que proporciona uma base sólida para a análise aprofundada de suas características físico-hídricas.

4.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS

4.2.1 Análise Granulométrica e Textural

A Tabela 1 detalha a composição granulométrica e a classe textural dos três perfis de solo caracterizados neste estudo (Carvalho et al., 2025). A análise da granulometria é fundamental, pois, como apontam Brady e Weil (2017), a textura do solo, definida pelas proporções relativas das partículas minerais, influencia diretamente propriedades como a retenção de água, a aeração e a disponibilidade de nutrientes.

Tabela 1. Caracterização Granulométrica e Textural dos Perfis de Solo 1, 2 e 3 da Área de Estudo.

Latossolo Amarelo distrófico psamítico, textura média, A moderado, relevo plano								
Granulometria (g/kg)								
Horizonte	Prof (cm)	Areia (g/kg)			Silte	argila total	silte/argila	Classe textural
		grossa	fina	Total				
Ap	0-8	327	443	770	100	130	0,77	franco arenoso
A2	8-26	164	559	723	147	130	1,13	franco arenoso
AB	26-39	226	481	707	163	130	1,25	franco arenoso
BA	39-60	163	548	711	159	130	1,22	franco arenoso
Bw1	60-92	248	456	704	116	180	0,64	franco arenoso
Bw2	92-1,20 +	211	472	683	137	180	0,76	franco arenoso
Relação textural (B/A) = 1,26								
Perfil 2. Sitio Ouro Branco- Soure-Pa								
Latossolo Amarelo distrófico psamítico, textura média, A moderado, relevo plano								
Granulometria (g/kg)								
Horizonte	Prof (cm)	Areia (g/kg)			Silte	argila total	silte/argila	Classe textural
		grossa	fina	Total				
Ap	0-11	262	454	716	154	130	1,18	franco arenoso
A2	11-24	196	516	712	158	130	1,22	franco arenoso
AB	24-40	234	480	714	156	130	1,20	franco arenoso
BA	40-58	187	524	711	109	180	0,61	franco arenoso
Bw1	58-86	254	449	703	117	180	0,65	franco arenoso
BW2	86-130	186	504	690	130	180	0,72	franco arenoso
BW3	130-160 +	261	436	697	123	180	0,68	franco arenoso
Relação textural (B/A) = 1,38								
Perfil 3. Campo Experimental da Embrapa(CEMES) Salvaterra-Pa								
Latossolo Amarelo distrófico plintossólico, textura média/argilosa, A proeminente, relevo plano								
Granulometria (g/kg)								
Horizonte	Prof (cm)	Areia (g/kg)			Silte	argila total	silte/argila	Classe textural
		grossa	fina	Total				
Ap	0-11	213	343	556	264	180	1,19	Franco arenoso
A2	11-22	231	360	591	229	180	1,27	Franco arenoso
AB	22-35	192	422	614	206	180	1,14	Franco arenoso
BA	35-51	215	402	617	153	230	0,67	Franco argilo arenoso
Bw1	51-72	214	393	607	163	230	0,71	Franco argilo arenoso
Bw2	72-110	201	345	546	174	280	0,62	Franco argilo arenoso
C1f	110-140+	105	300	405	165	430	0,38	argila arenosa
Relação textural (B/A) = 1,37								

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2025)

Nos perfis 01 e 02, classificados como Latossolos Amarelos Distróficos psamíticos, observa-se uma predominância da fração areia em todos os horizontes, com teores totais variando entre 683 g/kg e 770 g/kg, o que resulta na classe textural franco-arenoso. Esses perfis se enquadram no grupamento de solos de textura média, com menos de 350 g/kg de argila e mais de 150 g/kg de areia,

excluídas as classes texturais areia e areia franca (Curi et al., 1993; Santos et al., 2018). As relações texturais (B/A) de 1,26 e 1,38 nesses perfis, respectivamente, indicam um acúmulo gradual de argila em subsuperfície. No entanto, os valores muito baixos não caracterizam a presença de um horizonte diagnóstico B textural (Bt), que é um critério para a classificação de Argissolos (Santos et al., 2018). Solos com alta proporção de areia tendem a apresentar boa aeração e infiltração, mas menor capacidade de retenção de água e nutrientes (Marshall & Holmes, 1988).

O perfil 03, um Latossolo Amarelo Distrófico plintossólico, exibe uma diferença notável em relação aos outros dois, especialmente nos horizontes mais profundos. Embora os horizontes superficiais (Ap, A2, AB) tenham textura franco-arenosa, a partir do horizonte BA ocorre um aumento progressivo no teor de argila, que chega a 430 g/kg no horizonte C1f. Essa transição é refletida pela mudança na classe textural de franco-arenosa para argilosa. A relação textural (B/A) de 1,37 reflete essa acumulação de argila em profundidade. A presença de um horizonte argiloso em subsuperfície pode influenciar a dinâmica da água no perfil, potencialmente restringindo a percolação e favorecendo a retenção de umidade em comparação com os perfis predominantemente arenosos (Brady & Weil, 2017). A designação "plintossólico" indica a presença de plintita, um material rico em ferro que endurece irreversivelmente sob condições de umedecimento e secagem alternadas, o que é comum em áreas com lençol freático oscilante (Embrapa, 2018).

De forma geral, a análise granulométrica dos três perfis de solo estudados demonstram uma variabilidade na composição textural, com os Perfis 1 e 2 apresentando um predomínio da fração areia e textura franco arenosa ao longo de todo o perfil, enquanto o Perfil 3 exibe uma transição para uma textura argilosa em profundidade, consistente com a sua classificação como plintossólico. Os valores baixos da relação silte/argila (0,3 a 0,7) nos horizontes B de todos os perfis também reforçam um alto grau de intemperização, uma característica típica dos Latossolos (Santos et al., 2018). Essa diversidade textural reflete a complexa interação dos fatores de formação dos solos na Ilha do Marajó, conforme Sioli, 1984 e Cohen et al., 2003, e terá implicações diretas no comportamento físico-hídrico desses solos e em seu potencial de uso. A maior retenção de água no horizonte argiloso do Perfil 3, por exemplo, pode ser relevante para o desenvolvimento de certas atividades agrícolas em comparação com os solos mais arenosos dos Perfis 1 e 2.

4.2.2 Propriedades Físico-Hídricas

A Tabela 2 apresenta dados de caracterização físico-hídrica dos três perfis de solo estudados. Os perfis 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, à Fazenda Taperebá-Salvaterra-Pa, Sítio Ouro Branco-Soure-Pa e Campo Experimental da Embrapa (CEMES)-Salvaterra-Pa. Os dados abrangem

densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade em diferentes horizontes de cada perfil.

A análise das propriedades físico-hídricas de três perfis de solo na região de Salvaterra, no estado do Pará, forneceu informações cruciais sobre a estrutura e a qualidade física do solo em diferentes ambientes de manejo. A interpretação desses dados é fundamental para a compreensão dos processos de aeração e retenção de água, essenciais para os sistemas agrícolas sustentáveis. Os perfis 1, 2 e 3, representativos da Fazenda Taperebá, Sítio Ouro Branco e Campo Experimental da Embrapa (CEMES), respectivamente, apresentaram variações significativas na densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), e nas frações da porosidade (total, macro e microporosidade), conforme detalhado na Tabela 2,.

A densidade do solo (Ds) é um dos principais indicadores da compactação do solo, com valores mais baixos geralmente associados a uma melhor estrutura do solo, maior volume de poros e, conseqüentemente, melhores condições para o desenvolvimento radicular. Observa-se nos três perfis uma tendência de aumento da Ds com a profundidade, uma característica comum em solos agrícolas onde a camada superficial (Ap) é frequentemente manejada, resultando em menor compactação e maior teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2017).

Portanto, observa-se, que a Ds aumenta com a profundidade em todos os perfis. No perfil 1 (Fazenda Taperebá), a Ds varia de 1,45 kg/dm³ (horizonte Ap) a 1,56 kg/dm³ (horizonte A2). No perfil 2 (Sítio Ouro Branco), a Ds varia de 1,52 kg/dm³ (horizonte Ap) a 1,60 kg/dm³ (horizonte BW3). Já no perfil 3 (Campo Experimental da Embrapa), a Ds varia de 1,31 kg/dm³ (horizonte Ap) a 1,59 kg/dm³ (horizontes Bw1 e C1f). A menor Ds no horizonte superficial (Ap) dos três perfis é esperada, devido ao maior teor de matéria orgânica e menor compactação em áreas de cultivo. Por outro lado, a densidade de partículas (Dp), que reflete a composição mineral do solo, manteve-se em uma faixa esperada para solos de origem mineral (2,38 a 2,62 kg/dm³), com pequenas variações atribuídas à heterogeneidade mineralógica dos horizontes (Reichardt; TIMM, 2012).

Tabela 2. Caracterização Físico-Hídrica do Solo referente à Densidade do Solo, Densidade de Partículas, Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade nos Horizontes dos Perfis 1, 2 e 3 da Área de Estudo.

Perfil 1. Fazenda Taperebá-Salaterra-Pa						
Latossolo Amarelo distrófico psamítico						
Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (kg/dm ³)		Porosidade (m ³ .m ³)		
		solo	partículas	total	macroporosidade	microporosidade
Ap	0-8	1,45	2,38	0,438	0,133	0,306
A2	8-26	1,56	2,45	0,383	0,166	0,217
AB	26-39	1,51	2,44	0,369	0,146	0,223
BA	39-60	1,53	2,47	0,355	0,149	0,206
Bw1	60-92	1,46	2,47	0,367	0,166	0,201

Bw2	92-1,20 +	1,47	2,49	0,350	0,154	0,195
Perfil 2. Sitio Ouro Branco- Soure-Pa						
Latossolo Amarelo distrófico psamítico						
Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (kg/dm ³)		Porosidade (m ³ .m ³)		
		solo	partículas	total	macroporosidade	Microporosidade
Ap	0-11	1,52	2,46	0,41	0,14	0,27
A2	11-24	1,43	2,49	0,43	0,13	0,29
AB	24-40	1,34	2,47	0,44	0,16	0,27
BA	40-58	1,37	2,51	0,43	0,17	0,26
Bw1	58-56	1,35	2,55	0,43	0,17	0,25
BW2	86-130	1,43	2,58	0,46	0,20	0,27
BW3	130-160 +	1,60	2,62	0,40	0,12	0,28
Perfil 3. Campo Experimental da Embrapa (CEMES) Salvaterra-Pa						
Latossolo Amarelo distrófico plintossólico						
Horizonte	Profundidade (cm)	Densidade (kg/dm ³)		Porosidade (m ³ .m ³)		
		solo	partículas	total	macroporosidade	Microporosidade
Ap	0-11	1,31	2,43	0,463	0,153	0,310
A2	11-22	1,41	2,53	0,427	0,138	0,289
AB	22-35	1,38	2,47	0,472	0,161	0,312
BA	35-51	1,48	2,51	0,387	0,138	0,250
Bw1	51-72	1,59	2,59	0,379	0,131	0,248
Bw2	72-110	1,54	2,55	0,380	0,131	0,249
C1f	110-140+	1,59	2,55	0,394	0,081	0,313

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A porosidade total, é dividida em macroporosidade e microporosidade. Os macroporos são responsáveis pela aeração e drenagem do solo, enquanto os microporos retêm a água disponível para as plantas. A macroporosidade geralmente apresenta valores abaixo de 0,10 m³/m³ são considerados limitantes para o crescimento das raízes, devido à baixa aeração. Todos os perfis e horizontes apresentam valores acima desse limite, sugerindo boas condições de aeração. No entanto, é possível observar uma tendência de diminuição da macroporosidade em profundidade em alguns perfis, como o perfil 3, onde a macroporosidade diminui de 0,153 m³/m³ no horizonte Ap para 0,081 m³/m³ no horizonte C1f, indicando um aumento da compactação e, conseqüentemente, uma redução na aeração e drenagem nas camadas mais profundas.

Com relação a microporosidade, os valores são relativamente altos em todos os perfis e horizontes, indicando boa capacidade de retenção de água. Os valores de microporosidade são maiores que os de macroporosidade em todos os casos, o que é característico de solos de textura fina, como os Latossolos mencionados na descrição.

Em uma análise comparativa geral, o Perfil 1 (Fazenda Taperebá), apresenta valores de D_s e porosidade total intermediários em relação aos outros perfis. A macroporosidade é relativamente constante nos horizontes superficiais, com uma leve diminuição em profundidade. A microporosidade é a fração dominante da porosidade total. O Perfil 2 (Sítio Ouro Branco), se destaca por apresentar os maiores valores de densidade do solo e os menores valores de porosidade total em comparação com os outros dois perfis. Isso sugere que o solo neste local é o mais compactado. A macroporosidade também é a mais baixa dos três perfis, o que pode limitar a aeração e a infiltração de água. No Perfil 3 (Campo Experimental da Embrapa), observa-se os menores valores de densidade do solo nos horizontes superficiais e, conseqüentemente, a maior porosidade total. Isso indica um manejo que resultou em melhores condições físicas do solo, pelo menos nas camadas mais superficiais. No entanto, o horizonte mais profundo (C1f) apresenta o valor mais baixo de macroporosidade ($0,081 \text{ m}^3/\text{m}^3$) de toda a tabela, sugerindo uma camada restritiva para o desenvolvimento das raízes. Isto se deve principalmente por este solo apresentar horizonte plintico (C1f), que é reconhecido pela presença de um material constituído por uma mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rico em ferro, ou ferro e alumínio, quartzo e outras matérias, que apresentam arranjo de cores vermelhas, acinzentadas, esbranquiçadas ou amarelo-avermelhadas, com muitos mosqueados, sendo mais adensado, conforme descrito por Carvalho et al. (2025).

Em suma, a análise dos dados da Tabela 2 revela diferenças significativas nas propriedades físicas dos solos dos três locais de estudo. O perfil do Sítio Ouro Branco é o mais compactado, com valores de densidade do solo mais altos e menor porosidade total. O perfil do Campo Experimental da Embrapa, por outro lado, apresenta melhores condições físicas nas camadas superficiais, com menor densidade e maior porosidade total, possivelmente devido a um manejo diferenciado. Contudo, a análise da macroporosidade em profundidade sugere a presença de uma camada restritiva neste perfil. A interpretação desses dados é crucial para entender a dinâmica hídrica e de aeração do solo, permitindo a adoção de práticas de manejo adequadas para cada localidade e horizonte de solo.

4.2.3 Curvas de retenção de água no solo

A capacidade do solo de reter e disponibilizar água para as plantas é uma propriedade físico-hídrica fundamental, diretamente influenciada pela textura, estrutura e densidade do solo. Para quantificar essa capacidade, foram utilizadas as curvas de retenção de água, que descrevem a relação entre o conteúdo de água no solo e o potencial mátrico (tensão). A confecção dessas curvas foi ajustada por meio do modelo de Van Genuchten (1980), o qual utiliza cinco parâmetros essenciais para descrever a curva: θ_s (umidade do solo na saturação), θ_r (umidade residual), α (parâmetro de escala relacionado à pressão de entrada de ar), n (parâmetro de forma da curva) e $m=1-1/n$.

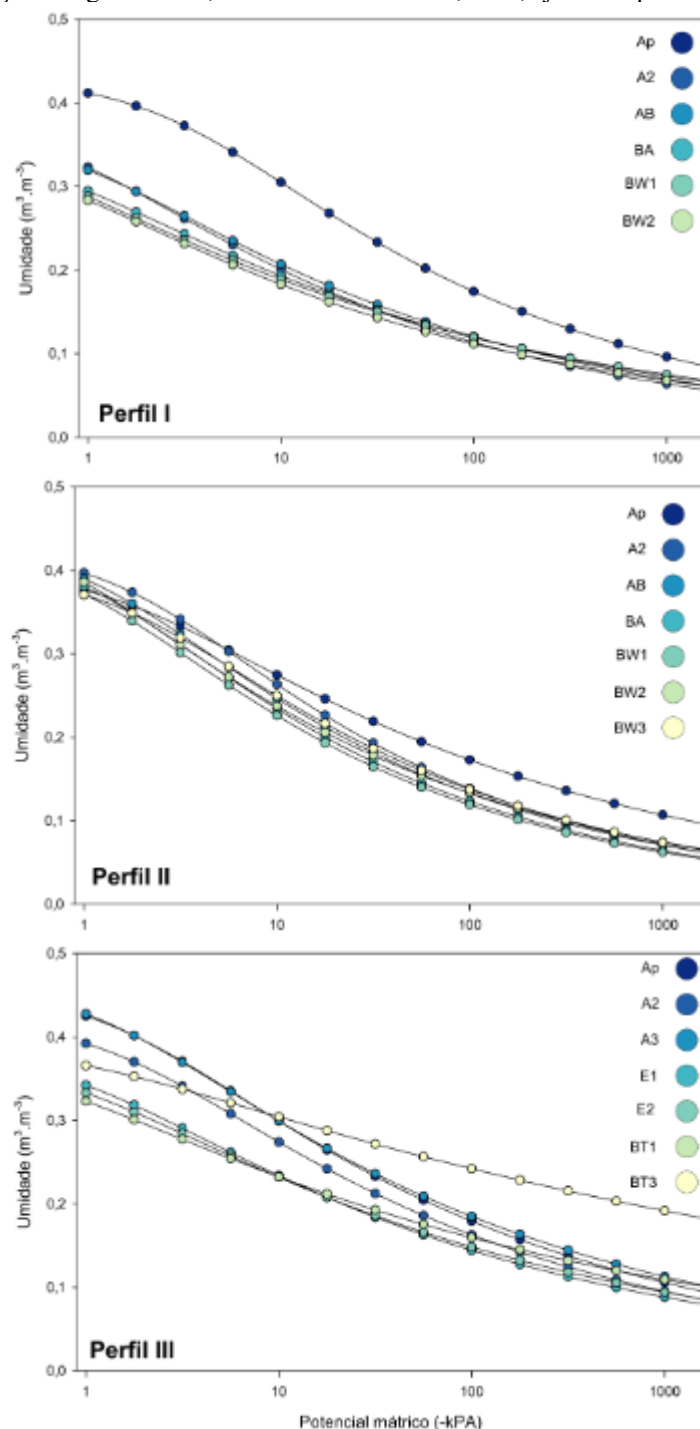
A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros para cada horizonte e perfil, enquanto a Figura 3 mostra as curvas resultantes. Os elevados valores do coeficiente de ajuste dos dados, presentes na Tabela 3, confirmam que o modelo de Van Genuchten foi eficiente para as curvas de retenção de umidade dos solos estudados, com desvios mínimos entre os valores observados e os calculados.

Tabela 3. Parâmetros referentes à equação de Van Genuchten (1980), nos diferentes Perfis e horizontes, usando-se o método no qual os valores extremos de umidade foram fixados em: $\theta_s = \theta_{\text{max}}$ ou de saturação e $\theta_r = \theta_{\text{min}}$ ou residual, com n dependente de m.

Perfil 1. Fazenda Taperebá-Salvaterra-Pa Latossolo Amarelo distrófico psamítico							
Horizonte	Prof (cm)	Parâmetros da equação de Van Genuchten					Coef. de Ajuste
		α	m	n	θ_r	θ_s	
		(1/cm)				$\text{m}^3 \cdot \text{m}^3$	
Ap	0-8	0,3167	0,2067	1,2606	0,0004	0,4299	0,9088
A2	8-26	1,2592	0,2012	1,2518	0,0005	0,3828	0,9816
AB	26-39	1,0651	0,1930	1,2392	0,0001	0,3682	0,9860
BA	39-60	1,6779	0,1755	1,2128	0,0001	0,3543	0,9878
Bw1	60-92	2,6477	0,1676	1,2013	0,0001	0,3666	0,9885
Bw2	92-1,20 +	1,9289	0,1782	1,2168	0,0001	0,3494	0,9888
Perfil 2. Sítio Ouro Branco- Soure-Pa Latossolo Amarelo distrófico psamítico							
Horizonte	Prof (cm)	Parâmetros da equação de Van Genuchten					Coef. de Ajuste
		α	m	n	θ_r	θ_s	
		(1/cm)				$\text{m}^3 \cdot \text{m}^3$	
Ap	0-11	0,5917	0,1874	1,2307	0,0001	0,4601	0,8890
A2	11-24	0,5969	0,1902	1,2349	0,0005	0,4252	0,9830
AB	24-40	0,7629	0,1775	1,2158	0,0005	0,4708	0,9826
BA	40-58	1,0005	0,1764	1,2141	0,0001	0,3868	0,9877
Bw1	58-86	1,1517	0,1650	1,1976	0,0001	0,3789	0,9943
BW2	86-130	1,9092	0,1418	1,1652	0,0003	0,3796	0,9988
BW3	130-160 +	1,1792	0,0925	1,1019	0,0008	0,3493	0,9955
Perfil 3. Campo Experimental da Embrapa (CEMES) Salvaterra-Pa Latossolo Amarelo distrófico plintossólico							
Horizonte	Prof (cm)	Parâmetros da equação de Van Genuchten					Coef. de Ajuste
		α	m	n	θ_r	θ_s	
		(1/cm)				$\text{m}^3 \cdot \text{m}^3$	
Ap	0-11	0,5717	0,1739	1,2105	0,0008	0,4042	0,9422
A2	11-22	0,4812	0,2249	1,2902	0,0003	0,4273	0,9726
AB	22-35	0,7571	0,2164	1,2762	0,0007	0,4374	0,9664
BA	35-51	0,8247	0,2217	1,2848	0,0002	0,4328	0,9885
Bw1	51-72	0,9080	0,2209	1,2835	0,0001	0,4277	0,9901
Bw2	72-110	1,3364	0,2034	1,2554	0,0009	0,4626	0,9939
C1f	110-140+	0,5299	0,2125	1,2699	0,0001	0,4011	0,9792

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Figura 3. Curvas de retenção de água no solo, referentes aos Perfis 1, 2 e 3, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten.



Ao analisar a Figura 3, observa-se que o Perfil 1 (Latossolo Amarelo distrófico psamítico) apresenta um comportamento típico de um solo com boa estruturação. O horizonte superficial (Ap), com maior porosidade total, exibe a curva mais à direita no gráfico, indicando uma maior retenção de água em tensões baixas. Com o aumento da profundidade, a curva se desloca para a esquerda, refletindo a diminuição da porosidade total e, conseqüentemente, da umidade do solo na saturação (θ_s). O parâmetro α (associado à pressão de entrada de ar) aumenta com a profundidade (de $0,3167 \text{ cm}^{-1}$ no Ap para $2,6477 \text{ cm}^{-1}$ no Bw1), o que sugere uma redução no volume de macroporos e a

necessidade de tensões maiores para iniciar a drenagem, confirmando a tendência de aumento da densidade do solo em profundidade.

O Perfil 2 ((Latossolo Amarelo distrófico psamítico), o mais compactado entre os solos estudados, apresenta curvas de retenção de água consistentemente mais à esquerda, especialmente nas camadas superficiais. Isso indica um menor volume de água retido em todas as tensões, resultado da menor porosidade total e maior densidade do solo. Os parâmetros θ_s variam de 0,4601 a 0,3493 m^3m^{-3} , e o valor de α aumenta significativamente com a profundidade, atingindo 1,9092 cm^{-1} no horizonte Bw2, o que reforça a presença de uma estrutura mais densa e compactada, com menor proporção de macroporos. A macroporosidade reduzida deste perfil limita a infiltração de água e a aeração, embora a microporosidade ainda garanta uma capacidade de retenção de água que pode ser aproveitada pelas plantas (Reichardt; TIMM, 2012).

Por fim, o Perfil 3 (Latossolo Amarelo distrófico plintossólico) apresenta as melhores condições físicas na superfície, com a curva de retenção do horizonte Ap sendo a mais à direita do gráfico, indicando a maior capacidade de retenção de água em tensões baixas de todos os perfis, devido à sua alta porosidade total (0,463 m^3m^{-3}). No entanto, a análise dos parâmetros em profundidade revela um ponto de atenção. A curva de retenção do horizonte C1f (110-140+ cm) é a mais à esquerda entre os horizontes mais profundos deste perfil, com um valor de α relativamente baixo (0,5299 cm^{-1}). Este comportamento, em conjunto com a macroporosidade subcrítica (0,081 m^3m^{-3}), indica a presença de um horizonte plíntico, uma camada adensada que restringe o fluxo de água e o crescimento de raízes. Essa plintita restritiva compromete a drenagem profunda do solo, podendo causar saturação hídrica nas camadas superiores em períodos de chuva intensa (EMBRAPA, 2018).

Em suma, a análise das curvas de retenção de água, ajustadas pelo modelo de Van Genuchten, permitiu uma compreensão aprofundada da dinâmica hídrica dos solos na região de Salvaterra. Os resultados mostram que as características de retenção de água variam significativamente entre os perfis e em profundidade, refletindo o impacto das propriedades físico-hídricas e do manejo do solo.

A interpretação desses dados é fundamental para a seleção de práticas de manejo que melhorem a eficiência do uso da água e a saúde do solo, como a adição de matéria orgânica, que aumenta a porosidade e a capacidade de retenção, ou o uso de plantas de cobertura para a descompactação biológica.

5 CONCLUSÕES

O estudo detalhado dos atributos físico-hídricos dos solos na Ilha do Marajó permitiu identificar as potencialidades e limitações edáficas dos diferentes perfis, permitindo as seguintes conclusões:

Esses resultados demonstram que o manejo do solo deve ser adaptado à sua diversidade pedológica. A heterogeneidade dos solos na Ilha do Marajó exige que o planejamento do uso da terra e as práticas agrícolas não sejam uniformes, mas considerem as particularidades de cada tipo de solo para otimizar a produtividade e garantir a conservação a longo prazo.

O potencial agrícola dos solos está diretamente condicionado ao manejo hídrico e à adição de matéria orgânica. Embora os Latossolos analisados apresentem características físicas favoráveis, como a ausência de impedimentos para o uso de maquinário e o baixo risco de erosão, é crucial adotar práticas que melhorem a capacidade de retenção de água e nutrientes, especialmente nos solos predominantemente arenosos dos perfis 1 e 2. Além disso, o horizonte plântico, identificado no Latossolo Amarelo distrófico plintossólico (perfil 3), representa uma barreira física significativa. O manejo nesse solo deve focar em evitar a compactação e garantir a drenagem superficial para mitigar o risco de saturação e anoxia, que podem comprometer o desenvolvimento das raízes.

A adoção de sistemas de produção sustentável, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), é a estratégia mais promissora para conciliar a produção com a conservação. A ILPF pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas, no aumento da matéria orgânica do solo e na melhoria de suas propriedades físico-hídricas, contribuindo para a resiliência e a sustentabilidade dos ecossistemas locais e das comunidades.

Os resultados desta pesquisa oferecem contribuições práticas e teóricas significativas. Para a sociedade, as conclusões fornecem um conhecimento científico detalhado que serve como base para práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, permitindo que agricultores e pecuaristas tomem decisões informadas, otimizando o uso de recursos, aumentando a produtividade e reduzindo o impacto ambiental. Para a academia, este estudo preenche uma lacuna de conhecimento sobre os atributos físico-hídricos dos solos na Ilha do Marajó, e os dados detalhados podem ser utilizados por outros pesquisadores como referência para estudos futuros.

Como limitações e recomendações, ressaltamos que a pesquisa se concentrou em apenas três perfis de solo, o que não abrange toda a diversidade pedológica da Ilha do Marajó. Assim, futuras pesquisas poderiam expandir a amostragem para outras áreas, permitindo uma compreensão mais abrangente das variações dos solos na região. Além disso, o monitoramento a longo prazo das propriedades do solo seria benéfico para entender a dinâmica sazonal e os efeitos cumulativos das práticas de manejo.

REFERÊNCIAS

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 15th ed. Pearson Education, 2017.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An Introduction to Environmental Biophysics**. 2nd ed. Springer, 1998.
- CARVALHO, E. J. M. et al. Caracterização e Classificação Taxonômica de Solos nos Municípios de Soure e Salvaterra, Ilha do Marajó, Estado do Pará. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 8, n. 1, p. 1-20, 2025.
- COHEN, M. C. L. et al. Sedimentology and paleohydrology of the Marajó Island coastal plains, northern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. 4, p. 815-826, 2003.
- CURI, N. et al. **Manual de Análise de Solo**. Viçosa: UFV, 1993.
- DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in a changing climate. **Nature**, v. 481, n. 7382, p. 321-328, 2012.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.
- EMBRAPA. **Solos e Sistemas de Produção na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2013.
- EMBRAPA. SNLCS. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: How to slow the pace. **Science**, v. 308, n. 5720, p. 201-202, 2005.
- GHEYI, H. R. et al. **Manual de manejo e conservação do solo e da água**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2018.
- HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. Academic Press, 1998.
- IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017.
- LAL, R. **Soil Degradation and Sustainable Agriculture**. CRC Press, 2020.
- LUXMOORE, R. J. Micro- and macroporosity and the transmission of water, solutes, and gases in soil. In: LAL, R. (Ed.). **Soil Taxonomy**. Academic Press, 1981. p. 483-515.
- MARSHALL, T. J.; HOLMES, J. W. **Soil Physics**. 2. ed. Cambridge University Press, 1988.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2012.
- SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, H. G. dos et al. **Manual de coleta e análise de solo para fins de classificação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Pedogenesis, classification and land use of soils from the Marajó Island, Eastern Amazonia, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 4, p. 1-13, 2015.

SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. **Developments in Hydrobiology**, v. 22, p. 1-763, 1984.

SOUZA FILHO, P. W. M. et al. Formação e evolução dos sistemas costeiros do nordeste paraense: uma abordagem geológica e geomorfológica. **Geologia**, v. 41, n. 2, p. 251-267, 2005.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture: a critical review. **American Geophysical Union Transactions**, v. 30, n. 5, p. 753-758, 1949.

VELOSO, G. S. et al. Economic and environmental analysis of integrated crop-livestock-forest systems in a tropical region. **Agronomy**, v. 14, n. 5, p. 12-25, 2024.