



Contrastes físico-hídricos em Latossolo, Nitossolo e Argissolo na Transamazônica (Medicilândia, Pará, Brasil)

Physical-hydric contrasts in Latosol, Nitisol and Argisol along the Trans-Amazonian Highway (Medicilândia, Pará, Brazil)

Contrastes físico-hídricos en Latosol, Nitisol y Argisol en la Transamazónica (Medicilândia, Pará, Brasil)

DOI: 10.55905/oelv24n2-015

Receipt of originals: 1/9/2026

Acceptance for publication: 2/5/2026

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
Endereço: Belém, Pará, Brasil
E-mail: eduardo.maklouf@embrapa.br

Carlos Alberto Costa Veloso

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
Endereço: Belém, Pará, Brasil
E-mail: carlos.veloso@embrapa.br

Arystides Resende Silva

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil
E-mail: arystides.silva@embrapa.br

Austrelino Silveira Filho

Doutor em Agronomia
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
Endereço: Belém, Pará, Brasil
E-mail: austrelino.silveira@embrapa.br

Raimundo Cosme de Oliveira Junior

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
Endereço: Santarém, Pará, Brasil
E-mail: raimundo.oliveira-junior@embrapa.br

Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Junior

Mestre em Métodos Quantitativos

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: moises.mourao@embrapa.br

RESUMO

A caracterização físico-hídrica de solos amazônicos é fundamental para o planejamento do uso da terra e para o manejo agrícola sustentável. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e comparar três solos representativos do município de Medicilândia, PA — Latossolo Amarelo Distrófico (LA), Nitossolo Háptico Eutrófico (NH) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (AVA) — com ênfase na granulometria, estrutura e atributos físico-hídricos. Três perfis foram descritos em campo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, e amostras indeformadas e deformadas foram coletadas em diferentes horizontes para determinação de densidade do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, curva de retenção de água ajustada pelo modelo de Van Genuchten e água disponível. O LA e o AVA apresentaram textura predominantemente franco-arenosa, maiores densidades e porosidade dominada por macroporos, resultando em baixa capacidade de retenção de água. O NH apresentou textura argilosa em todo o perfil, menor densidade, maior porosidade total e predominância de microporos, o que se refletiu em maior retenção de água e maiores valores de água disponível. As curvas de retenção evidenciaram diferenças sistemáticas entre os solos, com comportamento intermediário do AVA em relação ao LA e ao NH. Os resultados indicam forte controle da textura e da estrutura sobre a dinâmica hídrica dos solos e reforçam a necessidade de estratégias de manejo específicas para cada classe de solo em sistemas agrícolas da Transamazônica.

Palavras-chave: Física do Solo, Curva de Retenção, Porosidade, Água Disponível, Amazônia, Manejo do Solo.

ABSTRACT

The physical and hydric characterization of Amazonian soils is essential for land-use planning and sustainable agriculture. This study aimed to characterize and compare three representative soils of Medicilândia, Pará State, Brazil — a Yellow Latosol (LA), an Eutrophic Hapludox (NH) and a Red-Yellow Argisol (AVA) — focusing on particle-size distribution, structure and soil physical-hydric attributes. Three soil profiles were described in the field according to the Brazilian Soil Classification System, and disturbed and undisturbed samples were collected from different horizons to determine bulk and particle density, total porosity, macro- and microporosity, soil water retention curves fitted with the Van Genuchten model, and available water. LA and AVA showed predominantly sandy loam textures, higher bulk density and porosity dominated by macropores, resulting in low water retention. NH exhibited a clayey texture throughout the profile, lower bulk density, higher total porosity and predominance of micropores, which led to greater water retention and higher available water values. The water retention curves revealed systematic differences among soils, with AVA showing an intermediate

behavior between LA and NH. The results highlight the strong control exerted by texture and structure on soil water dynamics and reinforce the need for soil-specific management strategies in agricultural systems along the Trans-Amazonian Highway.

Keywords: Soil Physics, Water Retention Curve, Porosity, Available Water, Amazon, Soil Management.

RESUMEN

La caracterización físico-hídrica de los suelos amazónicos es fundamental para la planificación territorial y la gestión agrícola sostenible. Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar y comparar tres suelos representativos del municipio de Medicilândia, PA: Latosol Amarillo Distrófico (LA), Nitosol Háptico Eutrófico (NH) y Argisol Rojo-Amarillo Distrófico (AVA), con énfasis en la granulometría, la estructura y los atributos físico-hídricos. Se describieron tres perfiles en campo según el Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos (SBS), y se recolectaron muestras perturbadas e inalteradas de diferentes horizontes para determinar la densidad del suelo y de las partículas, la porosidad total, la macro y microporosidad, la curva de retención de agua ajustada por el modelo de Van Genuchten y el agua disponible. El LA y el AVA presentaron una textura predominantemente franco-arenosa, mayores densidades y una porosidad dominada por macroporos, lo que resultó en una baja capacidad de retención de agua. El suelo del NH presentó una textura arcillosa en todo el perfil, menor densidad, mayor porosidad total y predominio de microporos, lo que resultó en una mayor retención de agua y mayores valores de agua disponible. Las curvas de retención mostraron diferencias sistemáticas entre los suelos, con un comportamiento intermedio del suelo AVA en relación con los suelos LA y NH. Los resultados indican un fuerte control de la textura y la estructura sobre la dinámica hídrica de los suelos y refuerzan la necesidad de estrategias de manejo específicas para cada clase de suelo en los sistemas agrícolas de la región Transamazónica.

Palabras clave: Física del Suelo, Curva de Retención, Porosidad, Agua Disponible, Amazonía, Manejo del Suelo.

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica apresenta um dos mais complexos mosaicos de solos do planeta, resultado da interação entre fatores de formação altamente dinâmicos, como clima úmido, elevada pluviosidade, material de origem profundamente intemperizado e intensa atividade biológica. No estado do Pará, em especial no município de Medicilândia, tais características se expressam em solos que, embora altamente

intemperizados, sustentam sistemas agrícolas tradicionais e comerciais, sendo fundamentais para a produção regional.

A compreensão das propriedades físico-hídricas desses solos é essencial para o manejo adequado, especialmente em áreas sujeitas à mecanização agrícola, expansão da agricultura familiar e cultivo intensivo de culturas como cacau, mandioca, banana e pimenta-do-reino. A variabilidade textural e estrutural influencia diretamente processos fundamentais, como retenção de água, infiltração, drenagem, armazenamento de água disponível e capacidade de suporte à vegetação — parâmetros que impactam diretamente a produtividade agrícola e a sustentabilidade do uso do solo.

A literatura clássica já demonstrava a importância da física do solo na compreensão dos processos de manejo e produtividade (Baver, 1956; Brady, 1989; Reichardt, 1988), apontando que densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade estão entre os atributos mais afetados pelo uso e pelo preparo do solo. Estudos posteriores reforçam que tais propriedades são altamente sensíveis às alterações antrópicas, sendo modificadas conforme o tipo de preparo e intensidade de uso (Kiehl, 1979; Vieira, 1981; Cassel & Nielsen, 1986; Libardi, 2005).

A densidade do solo é uma propriedade relativamente instável, variando de solo para solo e dentro de um mesmo solo, em função, principalmente, do grau de compactação, do teor de matéria orgânica, da ausência ou presença de cobertura vegetal, do sistema de cultivo empregado e da profundidade (Kiehl, 1979; Gavande, 1976; Brady, 1989).

Existe uma estreita relação entre a densidade do solo e outros atributos, como porosidade total, macroporosidade e o teor de matéria orgânica. Tal fato é assinalado por Kiehl et al. (1972), que ressaltam que para uma correta interpretação dos resultados de densidade do solo, é indispensável compara-la com outras informações, como densidade de partículas, distribuição dos poros por tamanho, teor de matéria orgânica e grau de agregação. Segundo Grohman (1972), dentre as propriedades físicas do solo, sujeitas às alterações pelo cultivo, a porosidade total, por estar relacionada com o volume e a distribuição dos espaços porosos, merece especial atenção, visto que nesses espaços se processam os principais fenômenos que regulam o crescimento e a produção vegetal. Para

Baver (1956), a variação da porosidade total é função do tamanho das partículas e do grau de agregação, tendo a matéria orgânica papel importante, pois favorece a formação de agregados, com conseqüente aumento na porosidade total.

De acordo com Brady (1989) e Vieira (1981), uma redução na macroporosidade ocasiona um aumento na microporosidade, sem que haja alteração nos valores de porosidade total. No entanto, Oliveira (1979), comparando pastagens com solos cultivados, encontrou uma redução na porosidade total, uma vez que foi maior a redução na macroporosidade e menor o acréscimo da microporosidade. O solo é um reservatório de água para as plantas, e todas as práticas de manejo de água em agricultura visam à manutenção de seu nível em condições ideais para o desenvolvimento das culturas. Apesar de ser um reservatório aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, ele retém água através de sua interação com a matriz do solo (Reichardt, 1988).

Segundo Cassel & Nielsen (1986), a capacidade de retenção de água pelo solo está diretamente relacionada a sua matriz e a distribuição espacial dos poros. Esta interação sofre também influência de fatores como: taxas de evaporação e transpiração local, tipo de cultura estabelecida, densidade de plantio, profundidade de raízes, natureza do perfil do solo em profundidade e impedimentos à drenagem.

Mais recentemente, pesquisas envolvendo solos tropicais altamente intemperizados destacam a relação entre microestrutura, teor de óxidos de Fe e Al, mineralogia e estabilidade de agregados como determinantes para a retenção de água e comportamento mecânico dos solos (Frazão et al., 2019; Silva et al., 2020; Oliveira et al., 2021; Schaetzl & Thompson, 2015). Em particular, Latossolos e Argissolos da Amazônia apresentam forte influência da textura e do tipo de argila (caulinita, gibbsita, goethita), que determinam tanto a capacidade de retenção quanto a disponibilidade de água para as plantas.

No caso dos Nitossolos, sua microestrutura altamente desenvolvida, elevada proporção de argila e presença de cerosidade conferem peculiaridades ao comportamento físico-hídrico, como maior retenção em potenciais intermediários e maior capacidade de armazenamento de água (Cooper et al., 2018; Tormena et al., 2020).

As dificuldades em caracterizar medidas que representem a capacidade de campo, têm feito surgir modelos teóricos que buscam uma previsibilidade da relação potencial mátrico versus umidade. De acordo com Dourado Neto et al. (1990), o conhecimento da relação funcional entre umidade do solo e seu potencial mátrico na zona radicular das culturas, conhecida pelo nome de curva de retenção da água, é fundamental na irrigação, visando uma otimização do uso da água.

Diversos trabalhos têm procurado ajustar a curva de retenção de água no solo. Atualmente tem-se utilizado o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980).

Dessa forma, conhecer profundamente o comportamento físico-hídrico dos principais solos de Medicilândia é fundamental para subsidiar práticas conservacionistas, manejo hídrico, recomendação de preparo, avaliação da mecanização e planejamento agrícola regional. Além disso, estudos dessa natureza auxiliam no entendimento da dinâmica do carbono orgânico, atributo diretamente relacionado à formação de agregados e à retenção de água no solo (Six et al., 2000; Lal, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e comparar três solos representativos do município de Medicilândia — Latossolo Amarelo Distrófico, Nitossolo Háptico Eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico — com foco na descrição morfológica, análise granulométrica e avaliação detalhada dos atributos físico-hídricos, incluindo curvas de retenção e água disponível. O estudo fornece contribuições relevantes para o manejo agrícola sustentável na região e amplia o conhecimento sobre a dinâmica físico-hídrica dos solos amazônicos.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Medicilândia, no estado do Pará. A área, com cerca de 12.363,14 km², está situada na mesorregião Sudoeste Paraense e na microrregião Altamira, cortada pela Rodovia Transamazônica entre os rios Xingu e Tapajós. As coordenadas geográficas da região de estudo estão entre 2°38' e 3°44' de

latitude Sul e 52°36' e 53°51' de longitude Oeste. O clima local é classificado como Am, de acordo com o sistema de Köppen.

2.2 DESCRIÇÃO DOS PERFIS E COLETA DE SOLO

Foram descritos e amostrados três perfis de solos representativos de Medicilândia, seguindo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018). Para o estudo, foram descritos e amostrados três perfis de solo representativos, seguindo as diretrizes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018). Os solos identificados foram o Latossolo Amarelo distrófico (LA), o Nitossolo Háptico eutrófico (NH) (anteriormente classificado como Terra Roxa Estruturada eutrófica) e o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PV) (anteriormente Argissolo Vermelho-Amarelo Tb álico).

As amostras foram coletadas e a descrição morfológica foi realizada em campo conforme Santos et al. (2015), considerando cor (Munsell), textura, estrutura, consistência e presença de raízes e poros, e são apresentadas a seguir:

Perfil 1: Latossolo Amarelo Distrófico (LA)

Este perfil foi coletado em uma trincheira localizada a 110 km da Rodovia Transamazônica, a 6 km do travessão 110. A coleta foi realizada em um relevo plano (0 a 2% de declividade), sob floresta ombrófila densa. O solo é originário de sedimentos areno-argilosos retrabalhados da Formação Barreiras (Alter do Chão). A descrição morfológica dos horizontes é:

- **A1 (0-13 cm):** bruno (10YR 4/3, úmido), textura areia; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e pegajosa.
- **AB (13-38 cm):** bruno-amarelado (10YR 4/4, úmido), textura franco arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e pegajosa.



- **BA (38-70 cm):** amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido), textura franco argilo-arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e pegajosa.
- **Bw (70-140 cm):** amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido), textura franco argilo-arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

Observações: presença de muitas raízes finas, médias e grossas no horizonte A1, diminuindo em profundidade. Atividade biológica comum em todo o perfil.

Perfil 2: Nitossolo Háplico Eutrófico (NH)

O perfil foi coletado em uma trincheira a 500 m da margem direita da BR 230, no travessão 110, em uma área da EMBRAPA. A coleta ocorreu em relevo ondulado, sob floresta ombrófila densa. O material de origem são produtos da intemperização de rochas intermediárias a básicas da Formação Penetecaua. A descrição dos horizontes é:

- **A1 (0-15 cm):** vermelho-escuro acinzentado (10R 3/3, úmido), textura argila; estrutura moderada, pequena e média granular e em blocos angulares e subangulares; consistência firme, plástica e pegajosa.
- **AB (15-41 cm):** vermelho-escuro acinzentado (10R 4/3, úmido), textura argila; estrutura moderada, pequena e média granular em blocos subangulares; consistência firme e plástica.
- **BA (41-90 cm):** vermelho-escuro acinzentado (10R 3/4, úmido), textura argila; estrutura moderada, pequena e média granular em blocos subangulares; consistência firme, plástica e pegajosa.
- **B1t (90-140 cm):** vermelho-escuro (10R 3/6, úmido), textura argila, com cerosidade moderada e comum; estrutura moderada, pequena e média em blocos subangulares; consistência firme, plástica e pegajosa.
- **B2t (140-180 cm):** vermelho-escuro (10R 3/6, úmido), textura argila, com cerosidade moderada e comum; estrutura moderada, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, plástica e pegajosa.

Observações: presença de raízes em todos os horizontes, diminuindo em profundidade, e muitos poros e canais.



Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PV)

Este perfil foi coletado em uma minitrincheira a 800 m da margem esquerda do travessão 110, km 24,5, sob floresta ombrófila densa em relevo plano (0 a 2% de declividade). O solo se originou de sedimentos areno-argilosos retrabalhados da Formação Barreiras. A descrição dos horizontes é:

- **A1 (0-14 cm):** bruno-amarelado escuro (10YR 4/4, úmido), textura areia franca; estrutura fraca, pequena e média granular e em blocos subangulares; consistência friável, não plástica e não pegajosa.
- **AB (14-41 cm):** bruno forte (7,5YR 5/8, úmido), textura franco arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, plástica e não pegajosa.
- **BA (41-79 cm):** amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido), textura franco arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, não plástica e não pegajosa.
- **B1t (79-120 cm):** vermelho-amarelado (7,5YR 6/8, úmido), textura franco arenoso; estrutura fraca, pequena e média em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Observações: presença de abundantes raízes finas no A1, diminuindo com a profundidade, e intensa atividade de organismos e poros em todo o perfil.

Nestes perfis de solos abertos e descritos, foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de 100 cm³, nas profundidades correspondentes aos horizontes coletados em cada perfil, para determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, retenção de água e água disponível. Nas mesmas condições foram retiradas amostras deformadas para determinação de carbono orgânico e matéria orgânica, densidade de partículas, análise granulométrica e retenção de água a -1500 kPa. As determinações foram efetuadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, seguindo metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 2017).

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta. A densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool etílico como líquido penetrante



para medir o volume do solo. A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico com capacidade para conter amostra indeformada de 100 cm^3 . A porosidade total (P_t) calculada pela equação $P_t = (1 - D_s / D_p)$. A microporosidade foi obtida através dos resultados das amostras submetidas a aplicação de pressão equivalente a -6 kPa . A macroporosidade resultou da diferença entre porosidade total e microporosidade. A retenção de água nos potenciais mátricos de -6 , -10 , -30 e -100 kPa foi determinada com amostras indeformadas, previamente saturadas com água, sobre placa de cerâmica porosa, mediante a aplicação das referidas pressões, em equipamento apropriado conhecido como “Câmara de Richards”. A água retida a -1500 kPa foi obtida em amostras deformadas, submetidas ao mesmo procedimento. Com esses pontos (θ , ψ_m) determinados, procedeu-se ao ajuste das curvas de retenção de água, de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), representado pela equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\psi_{mat}|)^n\right]^m} \quad (1)$$

onde:

θ = umidade do solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

θ_r = umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

θ_s = umidade volumétrica do solo saturado ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

ψ_{mat} = potencial mátrico (kPa)

α , m e n = parâmetros da equação.

O ajuste foi efetuado pelo método que considerou $\theta_s = \theta_{max}$, com $\psi_m = 0$ e, $\theta_r = \theta_{min}$, com $\psi_m = -1500 \text{ kPa}$.

No cálculo da água disponível foram considerados, respectivamente, como capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) os potenciais mátricos -6 e -1500 kPa .

A água disponível (AD) foi calculada como a diferença entre a umidade do solo na capacidade de campo (umidade a -10 kPa) e a umidade no ponto de murcha permanente (umidade a -1500 kPa). Para essa determinação, as amostras foram submetidas às respectivas pressões em Câmaras de Richards, conforme a metodologia detalhada por Donagemma et al. (2011).

A classificação da água disponível seguiu a escala de Van Raij et al. (1996), adaptada do sistema de Destaque et al. (1987), com as seguintes classes:

- **Baixa:** < 0,7 mm/cm
- **Média:** 0,7 a 1,3 mm/cm
- **Alta:** > 1,3 mm/cm

Para as análises laboratoriais das propriedades físicas, como densidade do solo e de partículas, macroporosidade e microporosidade, foram utilizadas um total de 36 amostras indeformadas e 32 amostras deformadas. As análises foram realizadas seguindo os procedimentos descritos no manual da Embrapa de 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL

A Tabela 1 apresenta a composição granulométrica e a classificação textural dos três solos estudados: Latossolo Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Nitossolo Háptico Eutrófico, enquanto a Figura 1 apresenta as curvas de distribuição de argila em profundidade. Os dados revelam uma diferença marcante na textura entre os solos, sendo o fator principal que os distingue.

O Latossolo Amarelo e o Argissolo Vermelho-Amarelo compartilham uma textura predominantemente grosseira. Em ambos, a fração areia (grossa e fina) é dominante, mantendo-se sempre acima de 680 g.kg^{-1} . Consequentemente, a concentração de argila é baixa, sempre abaixo de 300 g.kg^{-1} no Latossolo e de 200 g.kg^{-1} no Argissolo, o que os classifica como franco-arenosos ou franco-argilo-arenosos.

No caso do Argissolo, embora sua textura seja consistentemente franco-arenosa (com areia variando entre 750 e 780 g.kg⁻¹), o teor de argila aumenta sutilmente em profundidade, de 120 g.kg⁻¹ para 200 g.kg⁻¹. Embora esse aumento não mude a classe textural, a presença desse horizonte B textural, mesmo discreto, é a principal característica que o diferencia do Latossolo, uma vez que a ocorrência de um horizonte B textural com aumento de argila em relação ao horizonte A é a característica pedogenética que define os Argissolos, em contraste com a uniformidade de textura que é esperada em Latossolos.

Em forte contraste, o Nitossolo Háptico Eutrófico exibe uma textura argilosa em todo o seu perfil. Os teores de argila são consistentemente elevados, sempre acima de 580 g.kg⁻¹, enquanto a areia é sempre inferior a 190 g.kg⁻¹. Essa alta concentração de argila é o fator determinante que o classifica como "argila" em todos os horizontes e que influencia diretamente suas propriedades físicas e hídricas, conforme será discutido a seguir.

Tabela 1. Valores médios da composição granulométrica e classificação textural em perfis de solos representativos de Medicilândia-PA.

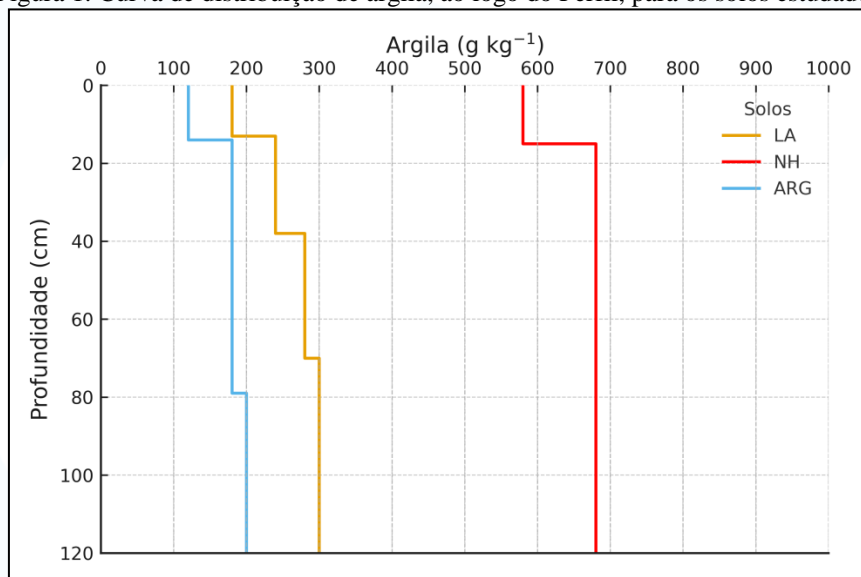
Solos	Horizonte	Prof. (cm)	Granulometria (g. kg ⁻¹)				Classe Textural
			areia	silte	argila total	silte argila	
Latossolo Amarelo	A1	0-13	780	40	180	0,22	Franco-arenosa
Distrófico	AB	13-38	710	50	240	0,21	Franco-argilo-arenosa
	BA	38-70	680	40	280	0,14	Franco-argilo-arenosa
	BW	70-140	680	20	300	0,07	Franco-argilo-arenosa
Nitossolo Háptico Eutrófico	A1	0-15	190	230	580	0,40	Argila
	AB	15-41	150	170	680	0,25	Argila
	BA	41-90	140	180	680	0,26	Argila
	BIT	90-140	140	180	680	0,26	Argila
Argissolo	AP	0-14	780	100	120	0,83	Franco-arenosa
Vermelho-Amarelo	AB	14-41	750	70	180	0,39	Franco-arenosa
Distrófico	BA	41-79	780	40	180	0,22	Franco-arenosa
	BIT	79-120	750	50	200	0,25	Franco-arenosa

Fonte: Autores

Para a visualização das curvas de distribuição de argila em profundidade apresentadas na Figura 1, foram considerados os teores de argila total em cada tipo de solo, conforme discutido a seguir:

- **Latossolo Amarelo Distrófico:** A quantidade de argila aumenta gradualmente com a profundidade. Inicia com 180 g/kg na superfície (horizonte A1) e atinge 300 g/kg no horizonte BW. Esse aumento é um indicativo de lixiviação e translocação de argila para as camadas mais profundas do solo. A classe textural, mesmo com o aumento da argila, se mantém dentro de franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, indicando que a fração de areia continua dominante.

Figura 1. Curva de distribuição de argila, ao longo do Perfil, para os solos estudados.



Fonte: Autores

- **Nitossolo Háptico Eutrófico:** Este solo se destaca por sua alta concentração de argila em todas as profundidades analisadas. Os valores variam de 580 g/kg no horizonte A1 até 680 g/kg nos horizontes AB, BA e B1T. A alta concentração de argila é a principal característica que define a sua classificação textural como **Argila** em todos os horizontes. A pequena variação com a profundidade sugere uma homogeneidade na distribuição de argila, que é comum em nitossolos devido a processos de "argiluviação" (translocação de argila que não forma um horizonte B textural).
- **Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico:** A quantidade de argila neste solo é a mais baixa entre os três. Os valores variam entre 120 g/kg na superfície (horizonte



AP) e 200 g/kg no horizonte B1T. Assim como no Latossolo, a argila aumenta com a profundidade, mas em valores menores. A classe textural é consistentemente **Franco-arenosa**, demonstrando a predominância da areia sobre as outras frações granulométricas. A variação de argila neste solo é mais sutil, e a presença do horizonte B1T sugere uma pequena acumulação de argila, o que é uma característica definidora dos argissolos.

O LA e o AVA exibem Ds mais elevados ($>1,27 \text{ kg dm}^{-3}$), condizentes com a maior proporção de areia e menor grau de agregação. Isso resulta em menor porosidade total quando comparados ao NH, corroborando observações de Costa (1979) e Falesi et al. (1980) em solos amazônicos sob condições naturais.

Outro aspecto importante é a relação silte/argila, que é muito baixa no Latossolo e no Argissolo, com valores variando de 0,07 a 0,21, demonstrando um elevado estágio de intemperismo, enquanto que o Nitossolo apresenta valores mais elevados, principalmente, nos horizontes superficiais.

O grande percentual da fração silte encontrado nos horizontes superficiais no Nitossolo, aliados ao relevo com declividades acentuadas, induzem a uma aceleração do processo erosivo quando submetidos a uso intensivo, enquanto que os solos com baixos teores de silte e relevo plano a suave ondulado apresentam susceptibilidade à erosão com menor intensidade.

Falesi et al (1980), encontraram em Latossolo Amarelo textura média (classe textural franco arenoso), na profundidade de 0-20 cm, valores de densidade do solo equivalentes a 1,49 e 1,53 kg .dm^{-3} , e porosidade total de 43,17 e 41,26 %, respectivamente em área de capoeira de porte médio e roçado de mandioca.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICO- HÍDRICAS

A **Tabela 2** detalha os parâmetros físico-hídricos referentes a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, para os diferentes perfis de solos e horizontes estudado, que mostram de modo geral, que essas variáveis, que são diretamente influenciados pela composição textural.

Com relação a densidade do Solo (Ds), que é um indicador que reflete a compactação, o Nitossolo Háplico Eutrófico apresentou os menores valores de Ds (1,05 a 1,17 kg.dm⁻³), o que é esperado para solos com alta proporção de argila bem estruturada, pois a argila e a matéria orgânica formam agregados que aumentam o volume de poros. Essa característica está em consonância com a literatura, que indica que solos argilosos tendem a ter menor Ds em comparação com solos arenosos, devido à sua maior agregação (Kiehl, 1979; Libardi, 2005). Já o Latossolo Amarelo e o Argissolo Vermelho-Amarelo têm valores de Ds mais altos (acima de 1,27 kg.dm⁻³), o que está relacionado à sua textura mais arenosa e, no caso do Argissolo, à presença de horizontes com maior compactação natural.

Tabela 2. Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, para os diferentes tratamentos, nas profundidades estudadas.

Solos	Hori- zon tes	Prof. (cm)	Densidade		total	Porosidade	
			solo (kg . dm ⁻³)	partículas		macro (m ³ . m ³)	micro
Latossolo Ama- relo Distrófico	A1	0-13	1,34	2,60	0,485	0,290	0,195
	AB	13-38	1,39	2,63	0,465	0,242	0,223
	BA	38-70	1,40	2,65	0,455	0,235	0,220
	BW	70-140	1,39	2,67	0,465	0,234	0,231
Nitossolo Háplico Eutró- fico	A1	0-15	1,05	2,80	0,630	0,215	0,415
	AB	15-41	1,17	2,86	0,610	0,199	0,411
	BA	41-90	1,17	2,94	0,605	0,175	0,430
	B1T	90-140	1,08	2,80	0,640	0,233	0,407
Argissolo Ver- melho-Amarelo Distrófico	AP	0-14	1,34	2,72	0,540	0,138	0,402
	AB	14-41	1,27	2,70	0,560	0,136	0,424
	BA	41-79	1,27	2,78	0,540	0,120	0,420
	B1T	79-120	1,28	2,70	0,540	0,097	0,443

Fonte: Autores

A porosidade total (PT) e a distribuição dos poros (macro e micro) são cruciais para a aeração, infiltração de água e desenvolvimento de raízes.

O **Nitossolo Háplico Eutrófico** demonstrou a maior porosidade total, com valores entre 0,605 e 0,640 m³.m⁻³. No entanto, a maior parte dessa porosidade é composta por **microporos** (acima de 0,40 m³.m⁻³). Isso sugere uma maior capacidade de retenção de água, mas uma menor velocidade de infiltração e um maior potencial de deficiência de

oxigênio em condições de alta saturação, um problema recorrente em solos argilosos (Reichardt, 1996).

O Latossolo Amarelo Distrófico possui menor porosidade total (0,455 a 0,485 $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), mas a proporção de **macroporos** é significativamente maior que a de microporos. Isso é típico de solos arenosos, que possuem melhor aeração e infiltração de água, mas menor capacidade de retenção hídrica, uma vez que a água não é retida nos macroporos por forças de capilaridade (Donagemma et al., 2016).

O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico também tem uma porosidade total considerável (0,540 a 0,560 $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), mas com uma baixa proporção de **macroporos** (abaixo de 0,14 $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) e alta de **microporos**. A diminuição da macroporosidade em profundidade (de 0,138 para 0,097 $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) reforça a compactação natural deste solo, que pode ser agravada pelo tráfego de máquinas agrícolas, limitando a penetração de raízes e o fluxo de água e ar.

Em uma análise ampla, os dados obtidos revelam que a composição textural dos solos de Medicilândia-PA é o principal fator que determina suas propriedades físicas e hídricas. A alta variabilidade encontrada entre os três solos demonstra a complexidade e a diversidade edáfica da região.

O Nitossolo Háptico Eutrófico, com sua textura argilosa, destaca-se pela alta capacidade de retenção de água e baixa densidade, mas com um potencial risco de aeração deficiente.

O Latossolo Amarelo Distrófico e o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, por serem franco-arenosos, apresentam maior aeração e permeabilidade, mas com menor capacidade de reter água e maior suscetibilidade à erosão.

Essas diferenças têm implicações diretas para o manejo agrícola. Solos com maior teor de areia (Latossolo e Argissolo) exigem práticas de manejo que aumentem a matéria orgânica para melhorar a retenção de água e nutrientes e a estabilidade dos agregados. Já o Nitossolo, por sua vez, pode apresentar desafios relacionados à drenagem e aeração em condições de alta pluviosidade, exigindo práticas que evitem o encharcamento. O conhecimento desses parâmetros é fundamental para o planejamento e execução de sistemas de produção sustentáveis na região de Medicilândia-PA.

3.3 RETENÇÃO DE ÁGUA E CURVAS CARACTERÍSTICAS

A Tabela 3 apresenta os valores médios de umidade obtidos nos potenciais de - 6, -10, -30, -100 e -1500 kPa, onde pode ser observado, para todos os tratamentos, que existe uma tendência de aumento da retenção de água com o aumento da profundidade amostrada, estando isto associado ao aumento dos teores de argila total em profundidade, como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 3. Valores médios de umidade volumétrica ($m^3 \cdot m^{-3}$), em diferentes tensões (kPa), e horizontes, para os perfis de solos estudados.

Solos	Horizontes	Prof. (cm)	Umidade volumétrica ($m^3 \cdot m^{-3}$)					
			Tensões (kPa)					
			0	6	10	30	100	15000
Latossolo Amarelo Distrófico	A1	0-13	0,485	0,195	0,172	0,110	0,077	0,053
	AB	13-38	0,465	0,223	0,196	0,129	0,106	0,076
	BA	38-70	0,455	0,220	0,199	0,140	0,122	0,091
	BW	70-140	0,465	0,231	0,204	0,146	0,124	0,091
Nitossolo Háptico Eutrófico	A1	0-15	0,630	0,415	0,405	0,343	0,301	0,257
	AB	15-41	0,610	0,411	0,401	0,357	0,327	0,294
	BA	41-90	0,605	0,430	0,412	0,353	0,337	0,299
	B1T	90-140	0,640	0,407	0,377	0,348	0,318	0,280
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	AP	0-14	0,540	0,402	0,383	0,364	0,353	0,027
	AB	14-41	0,560	0,425	0,404	0,378	0,358	0,058
	BA	41-79	0,540	0,420	0,403	0,386	0,371	0,074
	B1T	79-120	0,540	0,443	0,422	0,399	0,382	0,073

Fonte: Autores

A importância da textura na retenção de água é comentada por diversos autores. Segundo Costa (1979), a influência da textura do solo é muito grande na retenção de água. Entretanto, de acordo com o mesmo autor, solos da mesma classe de textura podem ter curvas de retenção de umidade diferentes, não só devido as diferenças de granulometria nas mesmas classes de textura, mas também como resultado de diferenças de teor em matéria orgânica, tipo de argila, e diferenças de microestrutura com elas relacionadas. Brady (1989) complementa, comentando que os solos de textura mais fina retêm maior

percentagem de água, ao longo de toda a faixa de energia. Tal condição é prevista por possuírem maior percentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície adsortiva muito maior. Sanchez (1981) também mostra a importância da textura na retenção de água, ao comparar curvas de retenção de água para diferentes classes texturais.

Tabela 4. Parâmetros referentes a equação de VAN GENUCHTEN (1980), para os diferentes perfis de solos estudados, usando-se o método no qual os valores extremos de umidade foram fixados em: $\theta_s = \theta_{max}$ e $\theta_r = \theta_{min}$, com n dependente de m.

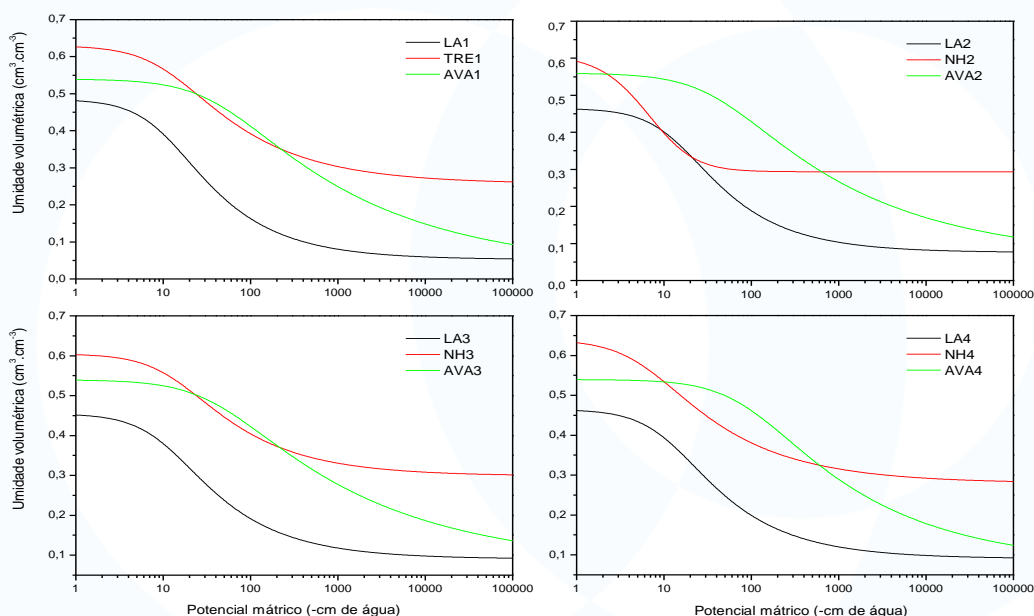
Tratamentos	Prof. (cm)	Parâmetros da equação de Van Genuchten					
		α (1/cm)	M	n	θ_r	θ_s	ca
Latossolo Amarelo Distrófico	0-13	0,0949	0,3764	1,6035	0,053	0,485	0,999
	13-38	0,0729	0,3817	1,6172	0,076	0,465	0,999
	38-70	0,0930	0,3637	1,5715	0,091	0,455	0,998
	70-140	0,0861	0,3632	1,5705	0,091	0,465	0,999
Nitossolo Háptico Eutrófico	0-15	0,0854	0,3184	1,4672	0,257	0,630	0,994
	15-41	0,1216	0,3161	1,4621	0,294	0,610	0,996
	41-90	0,0740	0,3440	1,5245	0,299	0,605	0,996
	90-140	0,1645	0,3112	1,4518	0,280	0,640	0,998
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0-14	0,0235	0,2086	1,2636	0,027	0,540	0,813
	14-41	0,0244	0,2144	1,2730	0,058	0,560	0,842
	41-79	0,0248	0,2043	1,2568	0,074	0,540	0,799
	79-120	0,0111	0,2396	1,3151	0,073	0,540	0,829

Fonte: Autores

Os resultados de retenção de água nas diferentes tensões, apresentados na Tabela 3, foram utilizados como pontos observados na confecção das curvas características de retenção de umidade, as quais foram ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980). Os parâmetros referentes à equação de Van Genuchten (a, m, n, qr, qs) e o coeficiente de ajuste, referente aos diferentes tratamentos e profundidades, são apresentados na Tabela 4, e as curvas de retenção de água, por horizonte, na Figura 2.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram, pelos elevados valores de coeficiente de ajuste dos dados, que o modelo proposto por Van Genuchten (1980) foi eficiente no ajuste das curvas características de retenção de umidade deste solo, e se obtiveram desvios mínimos ou nulos, em comparação com o observado com o calculado.

Figura 2. Curvas de retenção de água no solo, ajustadas ao modelo de Van Genuchten (1980), por horizonte, para os solos estudados.



Fonte: Autores

As curvas de retenção de água apresentadas na Figura 2, mostram para cada horizonte, o comportamento hídrico comparativo do Latossolo Amarelo (LA), do Neossolo Háplico (NH) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) ao longo do gradiente de potencial mátrico.

As curvas de retenção ajustadas ao modelo de Van Genuchten (1980) revelam padrões distintos entre os solos, reforçando o papel da textura e da estrutura na dinâmica hídrica.

No **horizonte 1 (LA1, NH1 e AVA1)**, correspondente à camada mais superficial, o NH apresenta a maior umidade em condições próximas à saturação ($\Psi \approx -1$ a -10 cm),



indicando maior porosidade total e presença de macroporos preenchidos com água logo após a infiltração. À medida que o potencial mátrico se torna mais negativo, a curva do NH cai rapidamente e se estabiliza em torno de $0,26-0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto o AVA mantém valores intermediários em baixa tensão, mas retém mais água na faixa de potenciais médios (≈ -100 a -1.000 cm), típica de água disponível às plantas. O LA apresenta, em todo o intervalo de sucção, as menores umidades, evidenciando menor capacidade de armazenamento de água, possivelmente associada à maior fração de macroporos e menor teor de argila/matéria orgânica.

No **horizonte 2 (LA2, NH2 e AVA2)**, o padrão geral se repete, mas as diferenças entre os solos tornam-se mais marcantes. O NH2 ainda exibe a maior umidade sob saturação, porém sofre forte drenagem inicial, estabilizando-se em torno de $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em potenciais mais negativos. O AVA2 mantém um platô de umidade mais elevado na faixa de -100 a -1.000 cm , sugerindo proporção mais expressiva de meso e microporos, que favorecem maior água disponível. O LA2, novamente, apresenta a menor umidade em todo o espectro de potenciais, com curva mais “aberta” e menor inclinação, característica de material mais grosseiro e com menor retenção em microporos.

Nos **horizontes 3 e 4 (LA3/NH3/AVA3 e LA4/NH4/AVA4)**, associados às camadas subsuperficiais e ao horizonte B, observa-se redução geral da umidade volumétrica em relação à superfície, o que é coerente com o aumento de densidade e possível redução da porosidade total com a profundidade. Ainda assim, o comportamento relativo entre os solos é mantido: LA apresenta as menores umidades, o AVA retém mais água em potenciais intermediários e o NH mantém maiores valores nas tensões mais altas (extremo seco), sugerindo sistema poroso com fração relevante de microporos muito finos. A diferença entre NH e AVA torna-se mais evidente nos potenciais mais negativos (≈ -10.000 a -100.000 cm), onde o NH retém mais água residual que o AVA.

Em suma, as curvas de retenção ajustadas ao modelo de Van Genuchten (1980) revelam padrões distintos entre os solos, reforçando o papel da textura e da estrutura na dinâmica hídrica.

Nos horizontes superficiais do LA, a retenção é baixa em todas as tensões, devido ao predomínio da fração areia, com pouca microporosidade. Isso resulta em elevada drenabilidade e baixa capacidade de armazenamento — comportamento típico de Latossolos arenosos (Reichardt & Timm, 2012).

No NH, observa-se forte curvatura da CRH, indicando maior retenção em potenciais mais altos. Esse comportamento está relacionado à elevada argilosidade e à microestrutura nitossólica, que concentra grande proporção de poros pequenos e estáveis, conforme descrito por Cooper et al. (2018) e Silva et al. (2021)

O AVA apresenta retenção intermediária, com comportamento transicional entre o LA (arenoso) e o NH (argiloso). A presença do horizonte B textural contribui para maior retenção em profundidade, característica comum de Argissolos (Schaetzl & Thompson, 2015).

De forma integrada, as curvas indicam que, em todos os horizontes, o Latossolo Amarelo é o solo menos eficiente em armazenar água no perfil, enquanto o Argissolo Vermelho-Amarelo tende a concentrar maior quantidade de água na faixa de disponibilidade às plantas, especialmente nos horizontes superficiais e subsuperficiais, e o Neossolo Háplico combina alta porosidade total com maior retenção de água em condições de maior sucção. Esses padrões refletem diferenças texturais e estruturais entre as classes de solo e têm implicações diretas na capacidade de suprimento hídrico às culturas ao longo do perfil.

3.4 POROSIDADE DRENÁVEL E ÁGUA DISPONÍVEL

A distribuição da porosidade drenável (PD) e da água disponível (AD) nos perfis do LA, NH e AVA evidencia o efeito conjunto da textura, estrutura e densidade sobre o armazenamento e a circulação de água. Esses resultados estão sintetizados na Tabela 5 e, de forma complementar, no gráfico de pizza apresentado na Figura 3, que ilustra a proporção relativa entre PD e AD em cada horizonte.

No LA, a PD é mais elevada, sobretudo no horizonte A1 ($0,313 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mantendo-se relativamente alta em profundidade. Essa condição é típica de Latossolos

bem estruturados, com macroporos estruturais contínuos (Reichardt & Timm, 2012; Van Lier, 2010), favorecendo a drenagem e a aeração, mas reduzindo o tempo de permanência da água no perfil, exigindo maior frequência de reposição hídrica para culturas sensíveis ao déficit (Libardi, 2012; Silva et al., 2016).

No NH, a PD é menor em todos os horizontes (por exemplo, $0,225 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no A1 e $0,193 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no BA), indicando menor volume de macroporos efetivos para drenagem gravitacional e aeração, o que pode aumentar a suscetibilidade à saturação e à deficiência de oxigênio em períodos chuvosos (Reichardt & Timm, 2012; Dexter, 2004). O AVA apresenta valores intermediários, com redução da PD em profundidade, compatível com a presença do horizonte B textural mais denso.

Tabela 5. Porosidade drenável (PD) e da água disponível (AD) nos perfis do Latossolo Amarelo Distrófico (LA), do Nitossolo Háptico Eutrófico (NH) e do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (AVA), Medicilândia-PA

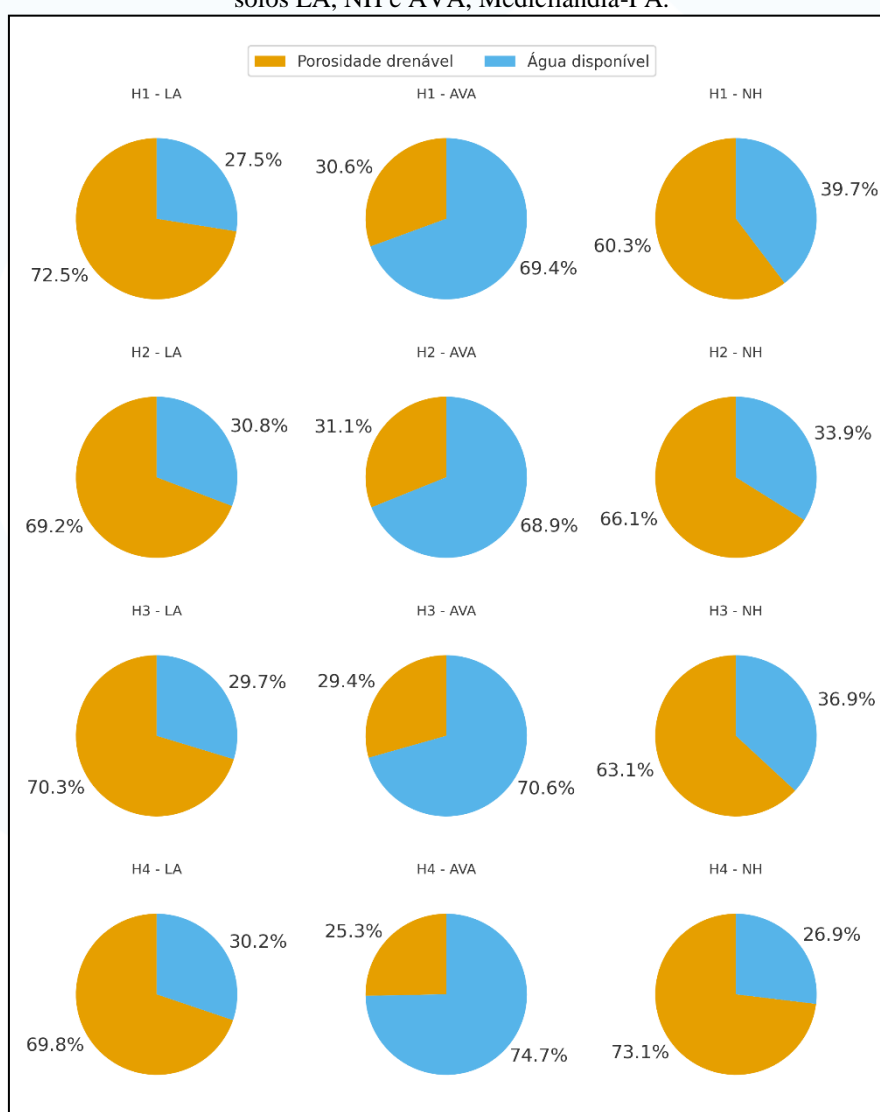
Solos	Horizontes	Prof. (cm)	Porosidade drenável ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Água Disponível ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
Latossolo Amarelo Distrófico	A1	0-13	0,313	0,119
	AB	13-38	0,269	0,12
	BA	38-70	0,256	0,108
	BW	70-140	0,261	0,113
Nitossolo Háptico Eutrófico	A1	0-15	0,225	0,148
	AB	15-41	0,209	0,107
	BA	41-90	0,193	0,113
	B1T	90-140	0,263	0,097
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	AP	0-14	0,157	0,356
	AB	14-41	0,156	0,346
	BA	41-79	0,137	0,329
	B1T	79-120	0,118	0,349

Fonte: Autores

Os valores de AD seguem tendência distinta. O NH apresenta as maiores AD, em especial no horizonte A1 ($0,148 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), em razão da combinação entre textura argilosa, alta microporosidade e boa estrutura (Libardi, 2012; Van Lier, 2010). O LA apresenta

AD relativamente constante entre horizontes ($0,108-0,120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), associada à estrutura granular mais homogênea. No AVA, a AD é moderada nas camadas superficiais e aumenta no horizonte B textural, onde o incremento de argila e de microporosidade amplia o armazenamento de água.

Figura 3. Proporção relativa da porosidade drenável (PD) e da água disponível (AD) por horizonte nos solos LA, NH e AVA, Medicilândia-PA.



Fonte: Autores

Esses resultados indicam que não apenas a porosidade total, mas principalmente a distribuição entre macro, meso e microporos determina o balanço entre drenagem,



aeração e disponibilidade hídrica às plantas (Dexter, 2004; Silva et al., 2016; Van Lier, 2014; Reichardt & Timm, 2012). Em termos de manejo, solos arenosos como LA e AVA demandam práticas que elevem o teor de matéria orgânica e favoreçam a formação de agregados estáveis, enquanto o NH requer atenção à drenagem e ao tráfego de máquinas em condições úmidas.

5 CONCLUSÕES

1. Os solos apresentam forte contraste textural e estrutural, decorrente de suas diferentes origens geológicas e graus de intemperismo. O Latossolo Amarelo Distrófico (LA) e o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (AVA) possuem, de modo geral, textura mais arenosa nas camadas superficiais, elevada macroporosidade e menor capacidade de retenção hídrica, enquanto o Nitossolo Háptico Eutrófico (NH) apresenta textura argilosa, microestrutura nitossólica bem desenvolvida e maior capacidade de retenção de água ao longo do perfil.
2. As propriedades físico-hídricas estão diretamente associadas à textura, ao arranjo estrutural e à distribuição de poros (porosidade drenável e água disponível). No NH, as menores densidades do solo, a maior porosidade total e a predominância de microporos resultaram em maior retenção de água em praticamente todos os potenciais matriciais, bem como em valores elevados de água disponível, especialmente nos horizontes superficiais e subsuperficiais. Já o LA e o AVA exibiram densidades mais altas e porosidade dominada por macroporos, o que favorece a infiltração e a drenagem, mas reduz o volume de água efetivamente disponível às plantas.
3. As curvas de retenção de água ajustadas pelo modelo de Van Genuchten evidenciaram diferenças marcantes entre os perfis. O NH apresentou curvas com formato curvilíneo típico de solos argilosos, com maior conteúdo de água em praticamente todas as tensões, refletindo elevada capacidade de armazenamento hídrico. O LA exibiu curvas mais planas, denotando baixa retenção em toda a faixa de potenciais analisada, enquanto o AVA apresentou comportamento intermediário, com maior



- retenção de água no horizonte B textural, evidenciando o papel de horizontes sub-superficiais no abastecimento hídrico para sistemas com raízes mais profundas.
4. A água disponível seguiu, em grande medida, o padrão definido pela textura e pela microporosidade, mas sua interpretação se enriquece quando analisada em conjunto com a porosidade drenável. Em termos comparativos, observou-se água disponível baixa no LA, média no AVA e alta no NH, sobretudo nos horizontes superficiais e subsuperficiais. Quando se analisa conjuntamente PD e AD, fica claro que não basta ter alta porosidade total: a proporção relativa entre macroporos (relacionados à PD) e meso/microporos (relacionados à AD) é que determina o balanço entre drenagem, aeração e disponibilidade hídrica efetiva às culturas.
 5. As características observadas têm implicações diretas para o manejo agrícola regional e para o planejamento do uso da terra. Nos solos de menor capacidade de retenção (LA e, em menor grau, AVA), é fundamental adotar práticas conservacionistas que incrementem o teor de matéria orgânica, reduzam a perda de solo por erosão e promovam a formação de agregados estáveis, com aumento da fração de meso e microporos. No NH, embora a elevada retenção hídrica seja um atributo positivo, a menor porosidade drenável implica risco de encharcamento em períodos de chuvas intensas, exigindo manejo adequado de drenagem, escolha criteriosa de épocas de preparo e limitação do tráfego de máquinas em condições úmidas.
 6. De modo geral, os resultados reforçam a necessidade de manejo específico para cada classe de solo, evidenciando que sistemas produtivos sustentáveis na Amazônia dependem de um entendimento aprofundado das interações entre textura, estrutura, distribuição de poros (macros, mesos e micros), porosidade drenável, água disponível e carbono orgânico. A integração das informações morfológicas, físicas e hídricas permite definir estratégias de uso e manejo que maximizem a eficiência do uso da água e minimizem riscos de degradação física, contribuindo para a sustentabilidade de sistemas agrícolas em ambientes tropicais úmidos.

REFERÊNCIAS

- BAVER, L. D. Soil physics. New York: John Wiley, 1956. 489 p.
- BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1 – Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA/SSSA, 1986. p. 901-926.
- COOPER, M. et al. Origin of microaggregates in soils with ferrallic horizons. *Scientia Agricola*, v. 62, n. 3, p. 256-263, 2005.
- COSTA, J. B. Caracterização e constituição do solo. 29. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979. 527 p.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.
- DONAGEMMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- DONAGEMMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016.
- DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 92-102, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C.; DUTRA, S. Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos da microrregião do Nordeste Paraense. Belém: Embrapa-CPATU, 1980. 49 p. (Boletim de Pesquisa, 14).
- GAVANDE, S. A. Física de suelos: principios e aplicaciones. México: Limusa, 1976. 351 p.
- GROHMAN, F. Porosidade. In: MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. São Paulo: Polígono, 1972. p. 77-84.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press, 1998.

JONG VAN LIER, Q.; DOURADO NETO, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de Van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, p. 325-329, 1993.

KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979.

KIEHL, E. J.; KINJO, T.; MARCOS, Z. Z. *Caracterização e interpretação das propriedades do solo*. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Solos e Geologia, 1972.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, v. 7, p. 5875-5895, 2015.

LIBARDI, P. L. *Física do solo*. 2. ed. Campinas: Instituto de Ciências Agrônomicas, 2005.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2012.

OLIVEIRA, M. de. *Comportamento de características e propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de pasto natural e cultivo na região de Lavras, MG*. 1979. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1979.

RAIJ, B. van et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).

REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 12, p. 211-216, 1988.

REICHARDT, K. *A água em sistemas solo-planta-atmosfera*. Barueri: Manole, 1996.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

SANCHEZ, P. A. *Suelos del trópico: características y manejo*. San José: IICA, 1981. 634 p.

SANTOS, H. G. dos et al. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SCHAETZL, R. J.; THOMPSON, M. L. *Soils: Genesis and Geomorphology*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

SILVA, L. P. et al. Retention and solute transport properties in disturbed and undisturbed soil samples. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, e0150103, 2016.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C saturation of soils. *Plant and Soil*, v. 241, p. 155-176, 2002.



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.

VAN LIER, Q. de J. (Org.). *Física do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

VAN LIER, Q. J. Revisiting the S-index for soil physical quality and its use in Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1-10, 2014.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1981. cap. 2, p. 19-32. (Circular, 23).