

SOLOS COM PETROPLINTITA EM SUPERFÍCIE GEOMÓRFICA RELICTA DISSECADA NA REGIÃO DA VOLTA GRANDE DO XINGU (PA)

Jaime Barros dos Santos Junior

Doutor em Ciência do Solo, Professor da Faculdade de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Estudos em Etnodiversidade, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil¹
jaime@ufpa.br

Kerciane Pedro da Silva

Engenheira Florestal, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil¹
kercianesilva@gmail.com

Fábio Miranda Leão

Doutor em Ciências Florestais, Professor da Faculdade de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil¹
fabioleao@ufpa.br

Cleber da Silva Ribeiro

Engenheiro Florestal, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil¹
clebeercouti@gmail.com

Gustavo Gomes Lima

Agrônomo, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil¹
gustavosp7940@gmail.com

Emil José Hernández-Ruz

Doutor em Genética e Biologia Molecular, Professor da Faculdade de Ciências Biológicas e do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Professor do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil²
emiljh@ufpa.br

RESUMO: Este estudo teve como objetivo caracterizar morfologicamente, fisicamente e quimicamente cinco perfis de solos ao longo de uma toposequência na região da Volta Grande do Xingu, no estado do Pará. A área está situada sobre gnaisse-tonalito do Complexo Xingu, sob relevo suavemente ondulado e clima tropical sazonal do tipo Aw. Foram descritos cinco perfis representativos, considerando a posição na encosta, coloração superficial e padrão de drenagem. As análises físicas e químicas foram realizadas conforme os procedimentos técnicos recomendados pela Embrapa. A classificação taxonômica dos solos foi conduzida segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Os perfis foram classificados como: Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico, Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplíntico), Argissolo Amarelo Distrófico ab्रúptico (petroplíntico) e Latossolo Amarelo Distrófico típico. A presença de petroplintita nos perfis inferiores e superiores indica atuação pretérita e recorrente de ciclos de umedecimento e secagem, enquanto a presença de plintita branda nos perfis intermediários sugere plintitização mais recente ou menos intensa. A distribuição dessas feições está associada à interação entre relevo, material de origem e dinâmica hídrica. Os resultados demonstram que o sistema atual de classificação não contempla adequadamente os Argissolos com presença significativa de petroplintita na seção de controle, o que justifica a proposição

¹ Endereço para correspondência: Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal -Faculdade de Engenharia Florestal - UFPA, Rua Cel. José Porfírio, 2515, CEP: 68.372-040, Altamira, Pará, Brasil.

² Endereço para correspondência: Laboratório de Zoologia -Faculdade de Ciências Biológicas - UFPA, Rua Cel. José Porfírio, 2515, CEP: 68.372-040, Altamira, Pará, Brasil.

de uma nova classe no quarto nível categórico para Argissolos Amarelos Distróficos com caráter petroplintítico. A análise integrada da paisagem permitiu elucidar a gênese desses solos e evidenciar o papel da estabilidade geomorfológica na preservação de feições indicativas de ambientes relictos.

Palavras-chave: Pedogênese; Toposequência; Amazônia.

SOILS WITH PETROPLINTITE ON DISSECTED RELICT GEOMORPHIC SURFACE IN THE VOLTA GRANDE DO XINGU REGION (PA)

ABSTRACT: This study aimed to characterize morphologically, physically, and chemically five soil profiles along a toposequence in the Volta Grande do Xingu region, in the state of Pará. The area is situated on gneiss-tonalite of the Xingu Complex, under gently undulating relief and a tropical seasonal climate of the Aw type. Five representative profiles were described, considering slope position, surface color, and drainage pattern. Physical and chemical analyses were carried out according to the technical procedures recommended by Embrapa. Soil taxonomic classification was conducted according to the Brazilian Soil Classification System. The profiles were classified as: Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico, Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplintítico), Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplintítico), and Latossolo Amarelo Distrófico típico. The presence of petroplintite in the lower and upper profiles indicates past and recurrent wetting and drying cycles, while the presence of soft plinthite in the intermediate profiles suggests more recent or less intense plinthitization. The distribution of these features is associated with the interaction among relief, parent material, and hydrological dynamics. The results show that the current classification system does not adequately encompass Argissolos with a significant presence of petroplintite in the control section, which justifies the proposal of a new class at the fourth categorical level for Argissolos Amarelos Distróficos with petroplinthic character. The integrated landscape analysis enabled the elucidation of the genesis of these soils and highlighted the role of geomorphological stability in preserving features indicative of relict environments.

Keywords: Pedogenesis; Toposequence; Amazon.

SUELOS CON PETROPLINTITA EN SUPERFICIE GEOMÓRFICA RÉLICA DISECADA EN LA REGIÓN DE LA VOLTA GRANDE DO XINGU (PA)

RESUMEN: Este estudio tuvo como objetivo caracterizar morfológica, física y químicamente cinco perfiles de suelos a lo largo de una toposecuencia en la región de la Volta Grande del Xingu, en el estado de Pará. El área se sitúa sobre gneis-tonalita del Complejo Xingu, en un relieve suavemente onulado y clima tropical estacional del tipo Aw. Se describieron cinco perfiles representativos, considerando la posición en la ladera, la coloración superficial y el patrón de drenaje. Los análisis físicos y químicos se realizaron según los procedimientos técnicos recomendados por Embrapa. La clasificación taxonómica de los suelos fue realizada conforme al Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos. Los perfiles fueron clasificados como: Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico, Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplintítico), Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplintítico) y Latossolo Amarelo Distrófico típico. La presencia de petroplintita en los perfiles inferiores y superiores indica una actuación pasada y recurrente de ciclos de humedecimiento y secado, mientras que la presencia de plintita blanda en los perfiles intermedios sugiere una plintitización más reciente o menos intensa. La distribución de estas formaciones está asociada a la interacción entre relieve, material de origen y dinámica hídrica. Los resultados demuestran que el sistema actual de clasificación no contempla adecuadamente los Argissolos con presencia significativa de petroplintita en la sección de control, lo que justifica la propuesta de una nueva clase en el cuarto nivel categórico para Argissolos Amarelos Distróficos con carácter petroplintítico. El análisis integrado del paisaje permitió esclarecer la génesis de estos suelos y evidenciar el papel de la estabilidad geomorfológica en la preservación de formaciones indicativas de ambientes relictos.

Palabras clave: Pedogénesis; Toposecuencia; Amazonía.

Introdução

A diversidade de solos em ambientes tropicais úmidos resulta da interação complexa entre relevo, clima, organismos, material de origem e tempo de exposição aos processos pedogenéticos. Mesmo em áreas com variações altimétricas modestas, como na região da Volta

Grande do Xingu (PA), a posição na paisagem pode influenciar significativamente a distribuição dos solos e os processos que os originam, especialmente quando associados à segregação de ferro e à restrição à drenagem, como ocorre em solos que apresentam feições plínticas.

A formação de plintita e, posteriormente, de petroplintita está frequentemente associada a ambientes com lençóis freáticos oscilantes, nos quais o acúmulo de ferro em condições redutoras leva à segregação e à posterior cimentação desses materiais. Esses processos ocorrem por meio de ciclos de redução e oxidação em ambientes úmidos e quentes, frequentemente com sazonalidade marcada (COSTANTINI; PRIORI, 2007). Contudo, estudos recentes vêm ampliando essa compreensão. Santos et al. (2024), por exemplo, observaram que solos com feições plínticas desenvolvidos na planície do rio Araguaia foram formados por intemperismo químico relativamente contínuo do material de origem, sem que os processos redox fossem os únicos agentes controladores da plintitização. Nesse contexto, o intemperismo promove a liberação de ferro e de elementos solúveis, como silício e bases, parte dos quais pode se recombinar para formar novos minerais, como caulinita e óxidos de ferro, gerando plintita mesmo em condições menos restritas de drenagem.

A gênese de solos com feições plínticas pode ser poligenética, resultante da interação entre distintos processos pedogenéticos sob variados contextos geomorfológicos (RELLINI et al., 2007). Em ambientes mediterrâneos, por exemplo, a plintita formou-se durante o Plioceno, sob um paleoclima quente e úmido com acentuada sazonalidade (COSTANTINI; PRIORI, 2007), o que demonstra que tais feições podem se formar sob diferentes condições paleoclimáticas, não se restringindo aos cenários tropicais clássicos.

Fatores geomorfológicos também exercem papel fundamental na formação e na preservação dessas feições. Elas podem ocorrer em planícies elevadas, terraços e colinas residuais, desde que haja condições para a manutenção da umidade intersticial e a mobilização do ferro (RELLINI et al., 2012). A natureza da plintita varia conforme a intensidade e a frequência dos ciclos de umedecimento e secagem, podendo resultar em materiais brandos, mosqueados ou endurecidos, com importantes implicações na estrutura e permeabilidade do solo (COSTANTINI; PRIORI, 2007).

Essas feições são resultado da intensa plintitização — processo no qual compostos de ferro se segregam no perfil e podem, ao longo do tempo, atuar como agentes cimentantes. A plintita, quando submetida a sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, tende a se consolidar irreversivelmente, formando horizontes com baixa permeabilidade e coloração pálida ou mosqueada, típicos de ambientes sujeitos a variações hídricas (SANTOS et al., 2025). Tais processos envolvem a mobilização, redistribuição e precipitação do ferro, tanto a partir do material parental quanto por fluxos verticais e laterais no perfil (DRIESSEN; DUDAL, 1989; HECK; MERMUT; SANTOS, 1999; COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003a).

A presença de concreções ferruginosas ou de plintita interfere diretamente nas propriedades físicas dos solos, como a redução da permeabilidade e a limitação ao crescimento radicular, impondo restrições ao uso agrícola e à mecanização. Em ambientes tropicais com alternância entre estações chuvosa e seca, a formação dessas feições tende a se intensificar, o que reforça a importância de compreender a morfologia, mineralogia e distribuição espacial dos horizontes plínticos (MIGUEL et al., 2013; GARCIA et al., 2013).

Embora tradicionalmente associados a ambientes mal drenados, solos com petroplintita ou concreções endurecidas também podem ser encontrados em posições mais elevadas da paisagem, como bordas de platôs ou colinas dissecadas, onde processos antigos permitiram sua formação e preservação (MOREIRA; OLIVEIRA, 2008; SANTOS et al., 2025). Nessas situações, a presença dessas feições é indicativa de antigas condições hidromórficas, seguidas por estabilidade geomorfológica, caracterizando superfícies relictas ou morros residuais.

Na região amazônica, essas características são relativamente comuns, especialmente em áreas com drenagem deficiente e relevo suave (GARCIA et al., 2013; SANTOS et al., 2024).

No estado do Pará, por exemplo, os solos com feições plínticas ocupam cerca de 1,3% do território, desenvolvendo-se sobre mantos lateríticos, sedimentos coluvionares ou diretamente sobre saprólitos intemperizados de rochas graníticas e gnáissicas, como os gnaisse-tonalitos do Complexo Xingu (Arqueano), presentes na área estudada (PAULA et al., 2016; SAWAKUCHI et al., 2015).

Além da litologia, a posição na encosta e o regime hídrico influenciam decisivamente a distribuição desses solos. O estudo de topossequências é, portanto, uma ferramenta fundamental para compreender a relação entre relevo e pedogênese. A ocorrência de feições plínticas ao longo de encostas indica variações locais na drenagem e fornece indícios sobre a hidrologia atual e pretérita, bem como sobre os processos geoquímicos que governam a mobilização e fixação do ferro (ANJOS et al., 1995; COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003b; MARQUES et al., 2024).

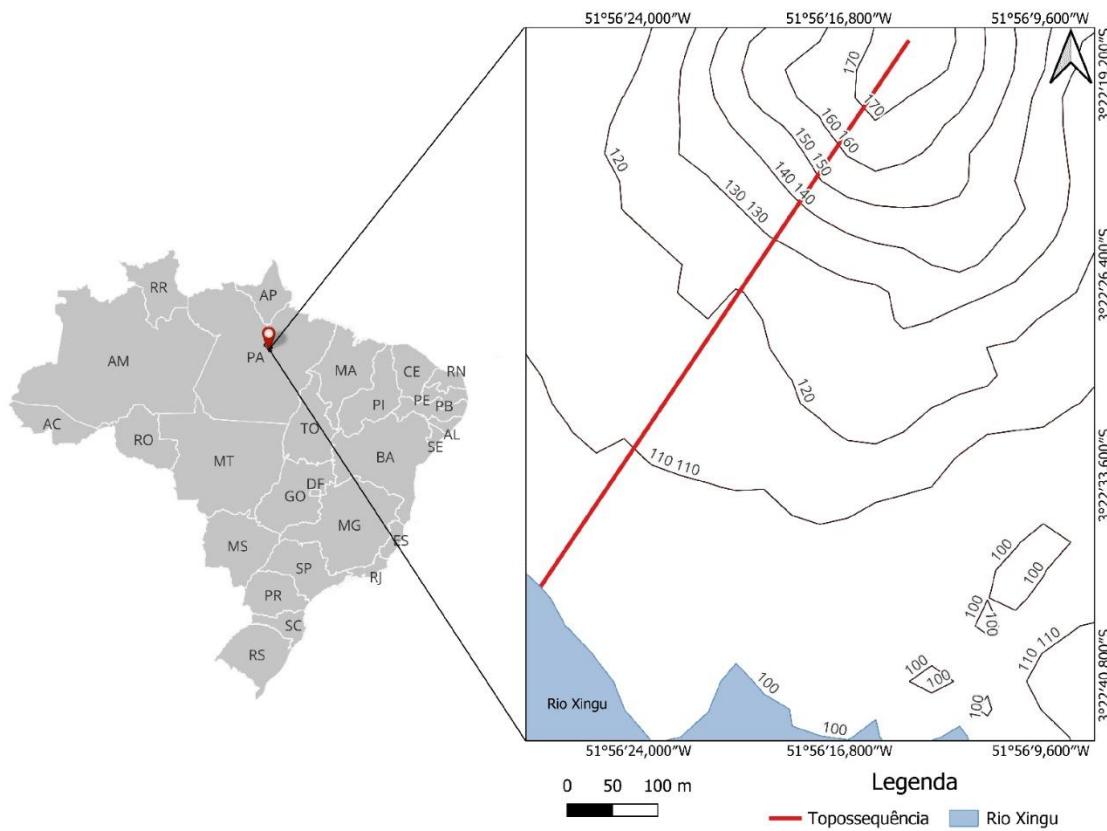
Diante disso, este trabalho teve como objetivo caracterizar morfologicamente, física e quimicamente cinco perfis de solos ao longo de uma topossequência na região da Volta Grande do Xingu, com ênfase na identificação de feições plínticas, nos processos pedogenéticos relacionados e na classificação dos solos conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2025).

Material e Métodos

Área de estudo

O presente estudo foi conduzido no Centro de Estudos Ambientais (CEA), localizado no município de Vitória do Xingu, sudeste do estado do Pará. O CEA está situado na margem direita do rio Xingu, próximo à barragem da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, com ponto central nas coordenadas 3°22'25"S e 51°56'23"W (Figura 1). A área insere-se na região da Volta Grande do Xingu, em uma paisagem de relevo suavemente ondulado a ondulado, caracterizada por colinas residuais com altitudes que variam até cerca de 80 metros.

Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo e indicação da topossequeência no Centro de Estudos Ambientais na região da Volta Grande do Xingu



Fonte: Elaborado pelos autores com base na Unidades da Federação, IBGE (2022) e Copernicus Global Digital Elevation Model da European Space Agency (2025).

Historicamente, a área foi destinada à atividade pecuária entre os anos de 1995 e 2005, período em que houve a completa supressão da vegetação nativa pelos antigos proprietários (SILVA et al., 2024). Com a implantação do complexo hidrelétrico de Belo Monte, a área foi incorporada pela concessionária Norte Energia S.A., que estabeleceu no local o CEA como estrutura de apoio técnico-científico e de compensação ambiental. Desde então, a área tem sido mantida sem uso agrícola, apresentando cobertura composta predominantemente por gramíneas exóticas remanescentes das antigas pastagens, com regeneração limitada de espécies nativas.

Do ponto de vista geológico, a área de estudo está inserida no domínio do Complexo Xingu, uma unidade litoestratigráfica de idade Mesoarqueana, que constitui parte do embasamento do Cráton Amazônico — um dos mais antigos segmentos continentais da América do Sul, com registros que remontam ao Arqueano (SOUZA et al., 2021). É justamente sobre estruturas de fraqueza desse embasamento que o rio Xingu sofre uma inflexão abrupta, formando a curva característica da Volta Grande, situada próxima à transição com a Bacia Sedimentar do Amazonas (COSTA et al., 1996; ZUANON et al., 2019).

As litologias predominantes no Complexo Xingu incluem gnaisses tonalíticos, tonalitos, granodioritos, anfibolitos e migmatitos (BAHIA et al., 2004; FARACO et al., 2004; VASQUES; ROSA-COSTA, 2008; PAULA et al., 2016). O gnaisse-tonalito que aflora na região é uma rocha de composição felsica a intermediária, intensamente deformada, que representa um embasamento arqueano retrabalhado por múltiplos eventos tectono-metamórficos em zonas de cisalhamento dúctil (VASQUES; ROSA-COSTA, 2008). Esse substrato rochoso condiciona

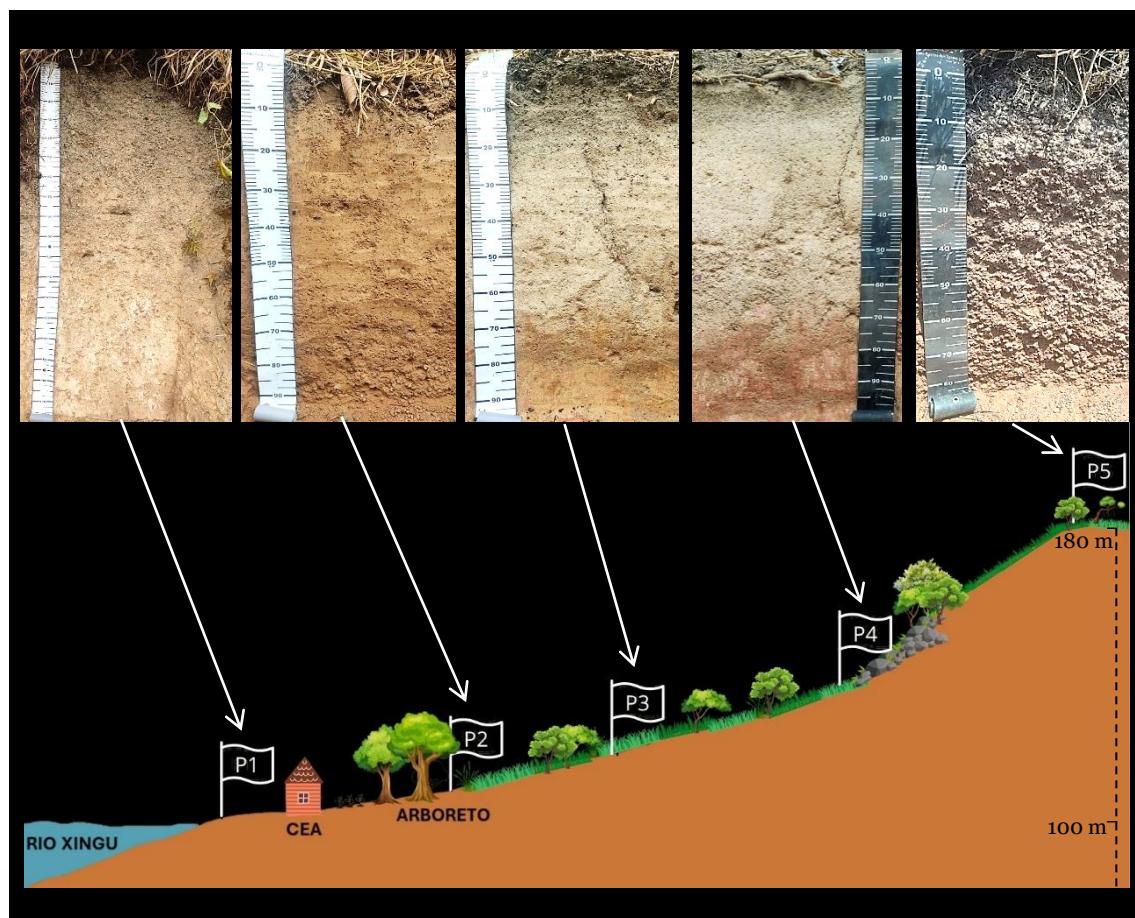
o material de origem dos solos locais, seja por intemperismo direto ou por coluviões gerados por movimentações antigas em encostas.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), caracterizado por ser tropical com estação seca bem definida no inverno. A estação chuvosa se estende entre dezembro e maio, enquanto os meses de junho a setembro correspondem ao período seco. A precipitação média anual varia entre 1.800 e 2.200 mm, e as temperaturas se mantêm elevadas ao longo do ano, com médias mensais superiores a 25 °C.

Atividade de campo e preparo das amostras

Cinco perfis representativos de solo foram selecionados ao longo de uma topossequência localizada no Centro de Estudos Ambientais (CEA), abrangendo posições que vão da base da encosta até o topo de um morro com cerca de 80 m de elevação (Figura 2). A seleção dos pontos considerou atributos ambientais como coloração do horizonte superficial, posição na paisagem, cobertura vegetal e padrões aparentes de drenagem.

Figura 2: Representação Esquemática da Distribuição dos Perfis de Solo ao Longo da Topossequência no Centro de Estudos Ambientais na região da Volta Grande do Xingu



Fonte: Elaborado pelos autores com o uso do Canva® (2025).

A descrição morfológica dos perfis foi conduzida em trincheiras abertas manualmente, seguindo os critérios estabelecidos no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2015). A nomenclatura e distinção dos horizontes e camadas consideraram as feições morfológicas expressas em campo e sua posição na sequência vertical. A classificação

taxonômica dos solos foi realizada de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (SANTOS et al., 2025), atingindo o quinto nível categórico (família).

Para fins de caracterização física e química, foram coletadas amostras deformadas em cada horizonte identificado. Após coleta, o material foi seco em estufa a 40 °C, destorrado manualmente e peneirado com malha de 2,0 mm para obtenção da fração terra fina. A fração retida (>2,0 mm), composta por fragmentos de cascalho, concreções petroplínticas, foi separada e pesada para cálculo de sua proporção relativa em massa em relação à amostra total. Uma subamostra da TFSE foi ainda seca a 105 °C para determinação da umidade higroscópica e cálculo do fator de correção "f", utilizado nos ajustes gravimétricos das análises laboratoriais, conforme procedimentos recomendados por Teixeira et al. (2017).

Análises laboratoriais e outras determinações

As análises físicas e químicas foram realizadas a partir da fração terra fina, preparada conforme descrito anteriormente. A análise granulométrica seguiu o método da dispersão química e física com hidróxido de sódio (NaOH 1 mol L⁻¹) como agente dispersante e agitação. A fração areia foi separada por tamisamento mecânico, enquanto a fração argila foi determinada com base na aplicação da lei de Stokes, utilizando densímetro. A fração silte foi obtida por diferença entre a soma das demais frações, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Na mesma fração (<2,0 mm), foram realizadas análises químicas para determinação de pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) e em KCl 1 mol L⁻¹ (pH_KCl), alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H^+ Al), cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), fósforo assimilável (P), e carbono orgânico (Corg). A partir dessas determinações, foram calculados os seguintes atributos: soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca catiônica (CTC ou T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

A determinação do pH foi realizada em suspensão solo:solução na proporção 1:2,5, utilizando eletrodo combinado. A extração dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foi realizada com solução de KCl 1 mol L⁻¹. O alumínio foi quantificado por titulação com NaOH e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} por titulação complexométrica com EDTA, na presença de indicadores apropriados. O potássio (K^+) foi extraído com solução de HCl 1 mol L⁻¹ e determinado por fotometria de chama, enquanto o sódio (Na^+) foi quantificado por espectrofotometria de emissão.

O fósforo assimilável foi determinado pelo método colorimétrico, com formação do complexo fósforo-molibdato e subsequente redução do molibdato com ácido ascórbico, sendo a leitura realizada por espectrofotometria de absorção molecular no ultravioleta-visível (UV-Vis). O teor de carbono orgânico (Corg) foi obtido por oxidação úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em meio sulfúrico e posterior titulação com sulfato ferroso, conforme procedimentos padronizados por Teixeira et al. (2017).

Classificação dos solos

A classificação taxonômica dos perfis foi realizada com base nos critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2025), utilizando as descrições morfológicas obtidas em campo e os resultados das análises físicas e químicas laboratoriais. A identificação dos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais e dos atributos diagnósticos foi conduzida conforme as definições do sistema.

A aplicação da Chave para Identificação das Classes de Solos permitiu a classificação dos perfis até o quinto nível categórico (ordem, subordem, grande grupo, subgrupo e família). Contudo, algumas limitações foram consideradas, como a ausência de análises mineralógicas e a não realização do ataque sulfúrico, o que restringiu a identificação de certos critérios

exigidos para definição precisa em níveis mais detalhados. Dessa forma, a classificação foi conduzida com base nos dados disponíveis, respeitando os limites metodológicos impostos.

Resultados

Morfologia dos solos

Os cinco perfis descritos ao longo da topossequência apresentaram variação significativa na morfologia (Tabela 1), refletindo a influência da posição na paisagem sobre os processos pedogenéticos. A sequência de horizontes, cores, estrutura e feições redoximórficas variaram entre os perfis.

Tabela 1 - Descrição morfológica dos perfis de solo ao longo da topossequência no Centro de Estudos Ambientais, na região da Volta Grande do Xingu

Hori-zonte	Profundi-dade m	Cor Munsell			Textura	Estrutura ⁽¹⁾		
		Matriz		Mosqueado úmida				
		seca					
Perfil 1								
Ac1	0,00-0,10	10YR 5/1	10YR 3/2	--	argiloarenosa	Mo P BS		
Ac2	0,10-0,25	10YR 5/1	10YR 3/1	--	argiloarenosa	Mo P BS		
ABc	0,25-0,40	10YR 5/2	10YR 3/2	--	argiloarenosa	Mo P p BS		
BAc	0,40-0,60	10YR 6/1	10YR 4/2	5YR 5/4	argiloarenosa	Mo P p BA + Mo P p BS		
Btc	0,60-0,85	10YR 6/3	10YR 4/2	5YR 6/6	muito argilosa	Mo P p BA + Mo M P BS		
BCc	0,85-1,05	10YR 6/4	7,5YR 5/6	7,5YR 5/4	muito argilosa	Mo P p BA + Mo P BS		
Cfc	1,05-1,75+	7,5YR 7/4	7,5YR 6/4	7,5YR 5/8 e 5R 4/6	muito argilosa	Mo P BA + Mo M BS		
Perfil 2								
Acp	0,00-0,10	10YR 5/3	10YR 3/3	--	argiloarenosa	Mo P BS		
ABc	0,10-0,25	10YR 4/3	10YR 3/2	--	argiloarenosa	Mo P BS		
BAc	0,25-0,35	7,5YR 5/4	5YR 4/2	--	argiloarenosa	Mo P BS		
Bwc1	0,35-0,57	7,5YR 4/4	7,5YR 5/6	--	argilosa	f Mo P BS		
Bwc2	0,57-0,70	7,5YR 6/4	7,5YR 4/4	7,5YR 5/6	argilosa	f P BS		
Bwc3	0,70-0,95+	7,5YR 5/4	7,5YR 3/4	7,5YR 5/6	argilosa	f PBS		
Perfil 3								
A	0,00-0,04	10YR 4/1	10YR 2/1	--	argiloarenosa	f P BS		
AE	0,04-0,18	7,5YR 5/1	10YR 3/1	--	franco-argiloarenosa	f P BS		
E	0,18-0,66	10YR 6/4	7,5YR 5/4	--	argiloarenosa	f P BS		
Btfc	0,66-0,83	2,5Y 6/4	2,5Y 5/6	7,5YR 5/6	argilosa	Mo P BS		
Cfc	0,83-1,00+	2,5Y 6/8	2,5Y 6/6	7,5YR 6/8 e 7,5YR 5/8	argiloarenosa	Mo P BA		
Perfil 4								
A	0,00-0,04	10YR 5/2	10YR 3/2	--	franco-argiloarenosa	f P M BS		
AE	0,04-0,15	10YR 6/3	10YR 4/3	--	argiloarenosa	f Mo P M BS		
E	0,15-0,43	10YR 7/4	10YR 5/3	--	argiloarenosa	f P M BS		
EBc	0,43-0,70	10YR 7/4	10YR 5/3	--	argiloarenosa	f Mo P BS		

Btfc/Cf	0,70-1,00+	2,5Y 6/4 / 2,5Y 6/8	2,5Y 5/6 / 2,5Y 6/6	7,5YR 5/6 / 7,5YR 6/8 e 7,5YR 5/8	argilosa	Mo P M BS / Maciça
Perfil 5						
Ac	0,00-0,05	7,5YR 5/2	10YR 3/2	--	argiloarenosa	Mo P BS
ABc	0,05-0,15	10YR 5/3	10YR 3/3	10YR 3/4	argilosa	Mo P p BS
BAc	0,15-0,35	10YR 4/4	10YR 3/3	--	argilosa	f p BS
Bic	0,35-0,55	10YR 5/4	7,5YR 4/4	--	argilosa	Mo p BA
BCc	0,55-0,85+	7,5YR 7/6	7,5YR 6/8	5YR 3/4 e 5YR 6/4	argilosa	Mo p BA

(1) - Mo: moderada; f: fraca; P: pequena; p: muito pequena; M: média; BS: blocos subangulares; BA: blocos angulares.

Fonte: Os autores (2025).

O Perfil 1, localizado na base da encosta, apresentou a sequência Ac1 – Ac2 – ABc – BAc – Btc – BCc – Cfc. As cores secas variaram de 10YR 5/1 a 7,5YR 7/4, e as úmidas de 10YR 3/2 a 7,5YR 6/4, com mosqueados em tons de 5YR 5/4, 5R 4/6 e 7,5YR 5/8 nos horizontes mais profundos. As estruturas predominantes foram blocos subangulares e angulares de tamanho pequeno a médio, com organização moderada. O horizonte Cfc apresentou estrutura mais fraca e presença marcante de concreções ferruginosas.

No Perfil 2, a sequência de horizontes foi Acp – ABc – BAc – Bwc1 – Bwc2 – Bwc3. As cores variaram de 10YR 5/3 (seca) e 10YR 3/3 (úmida) nos horizontes superficiais, com transição para 7,5YR 5/4 e 7,5YR 3/4 em profundidade. Os mosqueados estavam presentes nos horizontes Btc2 e Btc3. A estrutura foi predominantemente blocos subangulares fracos, com presença de blocos médios em profundidade.

O Perfil 3 apresentou a sequência A – AE – E – Btfc – Cfc. Os horizontes superficiais possuíam coloração escura (10YR 4/1 seca e 10YR 2/1 úmida), transicionando para tons amarelados e acinzentados nos horizontes subsuperficiais (2,5Y 6/4 e 2,5Y 6/6), com mosqueados de 7,5YR 6/8 e 7,5YR 5/6. As estruturas variaram de blocos subangulares pequenos e fracos nos horizontes superficiais para blocos médios e moderadamente desenvolvidos no Btfc.

O Perfil 4, em posição mais elevada, apresentou a sequência A – AE – E – EBc – Btfc/Cf. Os horizontes E e EBc exibiram coloração clara (10YR 7/4 seca e 10YR 5/3 úmida), enquanto o horizonte Btfc/Cf apresentou coloração 2,5Y 6/4, com mosqueados em tons avermelhados (7,5YR 5/6). A estrutura nos horizontes superficiais era fraca, com tendência a estruturas maciças no horizonte Btfc/Cf.

O Perfil 5, situado no topo do morro, apresentou os horizontes Ac – ABc – BAc – Bic – BCc. A coloração variou de 7,5YR 5/2 (seca) e 10YR 3/2 (úmida) nos horizontes superficiais para tons mais claros em profundidade (7,5YR 7/6 seca e 7,5YR 6/8 úmida), com mosqueados 5YR 3/4 e 5YR 6/4. As estruturas predominantes foram blocos angulares moderadamente desenvolvidos, especialmente nos horizontes intermediários.

Atributos físicos

Os resultados dos atributos físicos podem ser observados na Tabela 2. Os dados granulométricos indicaram variação considerável entre os perfis. A fração argila foi mais expressiva nos horizontes subsuperficiais dos Perfis 1, 2 e 3, alcançando valores superiores a 450 g kg⁻¹ em horizontes Bt, com tendência de aumento em profundidade. Os Perfis 4 e 5 apresentaram menores teores de argila, geralmente inferiores a 300 g kg⁻¹ nos horizontes E e EBc.

A fração silte mostrou-se variável entre os perfis, com valores entre 80 e 180 g kg⁻¹, sem padrão altitudinal bem definido. Já a fração areia, que predominou nos horizontes

superficiais de todos os perfis, teve teores superiores a 500 g kg⁻¹ nos horizontes A e AE, decrescendo com a profundidade.

O grau de floculação apresentou valores elevados nos horizontes Bt (>70%), o que está em consonância com o maior conteúdo de argila dispersa e possível efeito do alumínio trocável.

Tabela 2 - Atributos físicos dos perfis de solo ao longo da topossequência no Centro de Estudos Ambientais, na região da Volta Grande do Xingu

Horizonte	Profundi- dade m	Fração da Amostra			Granulometria da Terra Fina				Grau de Floculação %
		Calhau	Cascalho	Terra Fina g kg ⁻¹	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	
Perfil 1									
Ac1	0,00-0,10	143	372	485	527	101	372	0,27	68
Ac2	0,10-0,25	198	359	444	517	91	392	0,23	65
ABC	0,25-0,40	18	402	579	569	69	362	0,19	100
BAC	0,40-0,60	29	406	565	558	84	358	0,23	100
Btc	0,60-0,85	201	371	429	338	60	602	0,10	100
BCc	0,85-1,05	33	351	616	259	83	658	0,13	100
Cfc	1,05-1,75+	417	197	386	259	69	673	0,10	100
Perfil 2									
Acp	0,00-0,10	0	136	864	499	126	375	0,34	77
ABC	0,10-0,25	0	192	808	457	105	438	0,24	100
BAC	0,25-0,35	0	77	923	474	96	430	0,22	100
Bwc1	0,35-0,57	0	97	903	348	95	557	0,17	100
Bwc2	0,57-0,70	0	218	782	317	107	576	0,19	100
Bwc3	0,70-0,95+	0	319	681	322	100	578	0,17	100
Perfil 3									
A	0,00-0,04	0	11	989	587	55	358	0,15	59
AE	0,04-0,18	0	45	955	614	44	342	0,13	100
E	0,18-0,66	0	48	952	563	82	355	0,23	100
Btfc	0,66-0,83	0	100	900	313	124	563	0,22	100
Cfc	0,83-1,00+	0	103	897	556	92	352	0,26	100
Perfil 4									
A	0,00-0,04	0	39	961	563	119	318	0,37	56
AE	0,04-0,15	0	54	946	568	72	360	0,20	100
E	0,15-0,43	0	69	931	521	129	350	0,37	100
EBc	0,43-0,70	67	260	673	497	128	375	0,34	100
Btfc/Cf	0,70-1,00+	0	113	887	334	166	500	0,33	100
Perfil 5									
Ac	0,00-0,05	41	109	850	462	106	432	0,25	71
ABC	0,05-0,15	143	460	397	404	138	458	0,30	100
BAC	0,15-0,35	216	519	264	393	165	442	0,37	100
Bic	0,35-0,55	87	610	304	296	121	583	0,21	100
BCc	0,55-0,85+	48	824	128	316	116	568	0,20	100

Fonte: Os autores (2025).

Atributos químicos

Os atributos químicos (Tabela 3) apresentaram grande variação. Os valores de pH em água variaram de 4,3 a 5,2, caracterizando todos os perfis como ácidos. O pH em KCl foi ainda mais baixo (3,9 a 4,7), resultando em altos valores de acidez potencial (H+Al), especialmente nos horizontes subsuperficiais.

Tabela 3 - Atributos químicos dos perfis de solo ao longo da topossequência no Centro de Estudos Ambientais, na região da Volta Grande do Xingu

Horizonte	Profundi-dade m	pH H ₂ O	C _{org} g kg ⁻¹	Complexo sortivo										V ⁽³⁾ %	m ⁽⁴⁾ %		
				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB ⁽¹⁾	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	T ⁽²⁾						
			 cmol _c kg ⁻¹													
Perfil 1																	
Ac1	0,00-0,10	5,1	4,2	20,0	0,13	2,4	0,6	0,03	3,2	0,3	4,5	7,7	41,2	3,9			
Ac2	0,10-0,25	4,8	4,0	12,0	0,07	1,3	0,2	0,02	1,6	0,5	4,0	5,6	28,4	8,9			
ABc	0,25-0,40	5,0	4,1	10,0	0,07	1,4	0,3	0,02	1,8	0,4	3,1	4,9	36,6	8,2			
BAc	0,40-0,60	4,8	4,0	9,0	0,06	0,7	0,1	0,02	0,9	0,7	3,7	4,6	19,3	15,3			
:	0,60-0,85	4,7	4,0	5,0	0,04	0,4	0,1	0,02	0,6	0,7	2,0	2,6	21,8	27,4			
BCc	0,85-1,05	4,6	4,0	3,0	0,03	0,3	0,1	0,01	0,4	0,6	2,6	3,0	14,5	19,7			
Cfc	1,05-1,75+	4,7	4,0	2,0	0,03	0,2	0,1	0,01	0,3	0,5	1,6	1,9	17,5	25,8			
Perfil 2																	
Acp	0,00-0,10	5,2	4,3	35,0	0,28	2,4	1,4	0,02	4,1	0,1	6,2	10,3	39,8	1,0			
ABc	0,10-0,25	4,8	4,0	18,0	0,12	0,9	0,3	0,03	1,3	0,7	4,5	5,8	23,1	12,0			
BAc	0,25-0,35	4,7	4,0	10,0	0,07	0,6	0,1	0,02	0,8	0,7	4,2	5,0	15,8	14,0			
Bwc1	0,35-0,57	4,7	4,0	5,0	0,04	0,4	0,1	0,01	0,6	0,9	2,7	3,3	17,1	27,6			
Bwc2	0,57-0,70	4,7	3,9	5,0	0,03	0,3	0,1	0,01	0,4	1,0	3,7	4,1	10,7	24,1			
Bwc3	0,70-0,95+	4,6	3,9	4,0	0,04	0,3	0,1	0,01	0,5	1,2	3,3	3,8	12,0	32,0			
Perfil 3																	
A	0,00-0,04	5,3	4,3	32,0	0,27	2,5	1,5	0,02	4,3	0,2	6,1	10,4	41,3	1,9			
AE	0,04-0,18	5,2	4,2	21,0	0,17	1,8	0,7	0,01	2,7	0,2	4,9	7,6	35,4	2,6			
E	0,18-0,66	5,0	4,2	15,0	0,09	1,3	0,3	0,01	1,7	0,3	4,3	6,0	28,4	5,0			
Btfc	0,66-0,83	5,1	4,5	2,0	0,04	1,0	0,4	0,01	1,5	0,1	1,7	3,2	46,1	3,2			
Cfc	0,83-1,00+	5,1	4,3	5,0	0,07	1,1	0,2	0,01	1,4	0,2	1,9	3,3	42,1	6,1			
Perfil 4																	
A	0,00-0,04	5,3	4,4	24,0	0,13	1,6	0,6	0,02	2,4	0,1	3,9	6,3	37,6	1,6			
AE	0,04-0,15	4,8	4,1	12,0	0,08	0,8	0,2	0,01	1,1	0,2	5,1	6,2	17,6	3,2			
E	0,15-0,43	4,8	4,2	5,0	0,03	0,4	0,1	0,01	0,5	0,2	1,7	2,2	24,0	8,9			
EBc	0,43-0,70	4,6	4,0	3,0	0,04	0,2	0,1	0,01	0,3	0,5	2,8	3,1	11,1	15,9			
Btfc/Cf	0,70-1,00+	4,7	4,0	2,0	0,03	0,1	0,2	0,01	0,3	0,7	1,8	2,1	16,0	32,7			
Perfil 5																	
Ac	0,00-0,05	5,1	4,0	36,0	0,32	1,9	0,8	0,03	3,1	0,4	7,8	10,9	28,1	3,7			
ABc	0,05-0,15	4,7	3,9	13,0	0,12	0,6	0,1	0,02	0,8	1,1	5,4	6,2	13,5	17,6			

BAc	0,15-0,35	4,7	3,9	11,0	0,09	0,6	0,1	0,02	0,8	1,2	6,2	7,0	11,6	17,1
Bic	0,35-0,55	4,6	3,9	8,0	0,05	0,2	0,1	0,02	0,4	1,7	4,5	4,9	7,6	34,9
BCc	0,55-0,85+	4,5	3,9	7,0	0,06	0,2	0,1	0,01	0,4	1,6	5,1	5,5	6,8	29,3

⁽¹⁾ Soma de bases = somatório dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+); ⁽²⁾ Capacidade de troca de cátions total = $\text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$; ⁽³⁾ Porcentagem de saturação por bases = $100 \times \text{SB}/\text{T}$; ⁽⁴⁾ Porcentagem de saturação por alumínio = $100 \times \text{Al}^{3+}/(\text{SB} + \text{Al}^{3+})$.

Fonte: Os autores (2025).

O teor de alumínio trocável (Al^{3+}) foi elevado nos Perfis 1 a 3, com valores superiores a $1,0 \text{ cmol}_{\text{a}} \text{ kg}^{-1}$ nos horizontes Bt, Bwc e Cfc. A saturação por alumínio (m%) ultrapassou 60% em alguns casos, indicando elevada toxidez potencial para raízes em ambientes cultivados.

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis foram baixos em todos os perfis, geralmente inferiores a $1,0 \text{ cmol}_{\text{a}} \text{ kg}^{-1}$. O potássio (K^+) apresentou teores entre $0,03$ e $0,08 \text{ cmol}_{\text{a}} \text{ kg}^{-1}$, com valores mais elevados nos horizontes superficiais dos Perfis 3 e 5. O sódio trocável foi praticamente ausente. A soma de bases trocáveis (S) variou entre $0,1$ e $2,2 \text{ cmol}_{\text{a}} \text{ kg}^{-1}$.

A capacidade de troca catiônica (CTC) variou de $5,0$ a $11,3 \text{ cmol}_{\text{a}} \text{ kg}^{-1}$, sendo maior nos horizontes Bt. A saturação por bases (V%) foi inferior a 40% na maioria dos horizontes, caracterizando solos distróficos, com baixa fertilidade natural.

O teor de carbono orgânico (Corg) foi mais elevado nos horizontes superficiais dos Perfis 1, 2 e 3 (até $35,0 \text{ g kg}^{-1}$), diminuindo em profundidade. Os valores de fósforo disponível foram muito baixos ($<5 \text{ mg dm}^{-3}$), o que, associado aos baixos teores de bases, confirma o caráter distrófico e a limitação química para uso agrícola sem correções.

Classificação dos solos

Com base nas descrições morfológicas e nos atributos físicos, os solos foram classificados (Tabela 4) até o quinto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2025). Os perfis analisados enquadram-se em diferentes ordens, com predominância de Plintossolos e Argissolos, além da ocorrência de um Latossolo em posição intermediária da encosta. As variações observadas entre os perfis estão relacionadas, principalmente, à presença, distribuição e volume de concreções petroplínticas, à expressão dos horizontes diagnósticos subsuperficiais e ao grau de diferenciação textural. Em dois perfis, os altos teores de petroplintita em todo o perfil condicionaram o reconhecimento do horizonte concrecionário, resultando na classificação como Plintossolos.

O Perfil 1, localizado na base da encosta, foi classificado como Plintossolo Pétrico Concrecionário argissólico, textura argilosa cascalhenta/muito argilosa cascalhenta, A moderado, distrófico, Tmob/Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo suave ondulado, pedregoso.

O horizonte diagnóstico subsuperficial é o horizonte concrecionário, caracterizado pela presença de concreções petroplínticas em mais de 50% do volume de todos os horizontes do perfil. Há também mudança textural abrupta, cuja espessura e contraste granulométrico atendem aos critérios para o reconhecimento de um horizonte B textural, que coincide parcialmente com o horizonte concrecionário. Contudo, por possuir precedência taxonômica, o horizonte concrecionário define o enquadramento do solo como Plintossolo e não como Argissolo, ainda que as feições de argiluviação estejam claramente expressas.

O Perfil 2, localizado na posição inferior da encosta, logo acima da base, foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura argilosa cascalhenta, A moderado, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo suave ondulado.

O solo apresenta como horizontes diagnósticos o horizonte A moderado e o horizonte B latossólico, formado por Bwc1, Bwc2 e Bwc3, além de caráter concrecionário, pois há

presença de concreções petroplínticas em todos os seus horizontes pedogenéticos, em proporção superior a 5% e inferior a 50% do volume.

O Perfil 3, localizado em posição intermediária da encosta, foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplíntico), textura argilosa/argilosa pouca cascalhenta, A fraco, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo ondulado.

O solo apresenta como horizontes diagnósticos o horizonte A moderado e o horizonte B textural, com mudança textural abrupta nos horizontes Btfc e Cfc. Apresenta também caráter petroplíntico em subsuperfície, com concreções petroplínticas em proporção superior a 5% e inferior a 50% do volume nesses horizontes. Como o SiBCS (SANTOS et al., 2025) não prevê essa combinação no nível atual de categorização, adota-se a designação Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplíntico).

O Perfil 4, localizado na posição mais elevada da encosta, foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplíntico), textura argilosa, A fraco, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo forte ondulado.

O solo apresenta como horizontes diagnósticos o horizonte A moderado e o horizonte B textural, com caráter argilúvico conjugado com relação textural de 1,4 na sequência de horizonte E, atendendo aos critérios morfológicos e granulométricos definidos no SiBCS (2025). Há ainda caráter petroplíntico em subsuperfície, com ocorrência de concreções petroplínticas em proporção superior a 5% e inferior a 50% do volume nos horizontes Btfc e Cfc. Como o SiBCS (SANTOS et al., 2025) não prevê no quarto nível categórico a presença de petroplintita, adota-se a designação Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplíntico), a fim de explicitar a presença relevante de petroplintita no perfil.

O Perfil 5, localizado em posição de topo com relevo suave ondulado, foi classificado como Plintossolo Pétrico Concretionário cambissólico, textura argilosa, A moderado, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia.

O solo apresenta como horizonte diagnóstico superficial o horizonte A moderado, e como horizonte diagnóstico subsuperficial o horizonte concretionário, que abrange todos os horizontes abaixo do A, com mais de 50% do volume formado por concreções petroplínticas. Há também a presença de horizonte B incipiente, que coincide parcialmente com o horizonte concretionário. No entanto, devido à precedência taxonômica do horizonte concretionário, o solo foi enquadrado como Plintossolo. A presença do B incipiente é reconhecida no quarto nível categórico, por meio da designação cambissólico.

Tabela 4 - Classificação taxonômica dos perfis de solo até o nível de família, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2025), no Centro de Estudos Ambientais, na região da Volta Grande do Xingu

Perfil	Altitude m	Classificação ⁽¹⁾
P1	100	PLINTOSOLO PÉTRICO Concretionário argissólico, textura argilosa cascalhenta/muito argilosa cascalhenta, A moderado, distrófico, Tmob/Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo suave ondulado, pedregoso.
P2	123	LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico, textura argilosa cascalhenta, A moderado, distrófico, Tmob/Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo suave ondulado.
P3	134	ARGISSOLO AMARELO Distrófico abrúptico (petroplíntico), textura argilosa/argilosa pouca cascalhenta, A fraco, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo ondulado.

P4	157	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico (petroplíntico), textura argilosa, A fraco, distrófico, Tmb, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo forte ondulado.
P5	180	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico, textura argilosa muito cascalhenta, A moderado, distrófico, Tmob, fase floresta tropical perúmida perenifólia, relevo suave ondulado, pedregoso.

⁽¹⁾ Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Santos *et al.* (2025)

Fonte: Os autores (2025).

Discussão

Na localidade dos perfis estudados, o substrato geológico é constituído por gnaisse-tonalítico do Complexo Xingu (PAULA et al., 2016; VASQUES e ROSA-COSTA, 2008; SOUZA et al., 2021), cuja composição félscica a intermediária e elevado grau de alteração fornecem o arcabouço geoquímico que sustenta os processos pedogenéticos predominantes. Esse material atua tanto como material de origem direto (via saprolitos) quanto indireto (via aporte coluvionar). A presença de minerais primários como biotita, hornblenda e plagioclásio cálcico contribui para a liberação de ferro ao longo do intemperismo, propiciando a segregação progressiva dos óxidos e sua posterior concentração e transformação em feições plínticas.

A análise integrada da morfologia dos perfis e da distribuição das concreções indica que há uma predominância de petroplintita, em diferentes proporções ao longo da toposequência, o que resultou na classificação de dois perfis como Plintossolos Pétricos Concrecionários. As petroplintitas são resultado da consolidação vigorosa da plintita, após sucessivos ciclos de umedecimento e ressecamento, formando concreções extremamente duras ou firmes, individualizadas ou aglomeradas, como define o SiBCS (SANTOS et al., 2025). Tal formação não se enquadra no escopo do caráter redóxico, o qual está relacionado a feições mosqueadas formadas por redução e oxidação em ambiente saturado, mas sim aos processos de segregação e acumulação de ferro em ambientes sujeitos à alternância de umidade, como destacado por Daniels et al. (1978) e reafirmado por Sawakuchi et al. (2015).

Nos Perfis 1 e 5, classificados como Plintossolos Pétricos Concrecionários, a ocorrência de petroplintita em mais de 50% do volume de todos os horizontes pedogenéticos foi determinante para o reconhecimento do horizonte concrecionário. No caso do Perfil 1, essa feição coincide parcialmente com um horizonte B textural, o que ressalta a precedência taxonômica do horizonte concrecionário sobre o Bt, conforme critérios do SiBCS (SANTOS et al., 2025). O Perfil 5, localizado em posição mais elevada da encosta, apresenta alta concentração de concreções endurecidas e cascalhosidade significativa, sugerindo que esses materiais foram preservados como remanescentes de paleossuperfícies submetidas anteriormente a processos intensos de plintitização (MOREIRA e OLIVEIRA, 2008). Motta, Curi e Franzmeier (2002) observaram que feições petroplínticas em colinas residuais ou bordas de chapadas atuam como armaduras contra erosão, o que pode explicar sua persistência em locais elevados e morfologicamente estáveis.

O Perfil 2, posicionado logo acima da base da encosta, foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, com presença de concreções petroplínticas em todos os horizontes pedogenéticos, mas em volume inferior a 50%. A presença desse tipo de feição confere ao solo o caráter petroplíntico, conforme definido pelo SiBCS, e sua gênese pode estar associada a fluxos de ferro advindos de horizontes mais elevados ou à presença de condições intermitentes de umedecimento e secagem ao longo do tempo, promovendo o endurecimento progressivo da plintita (GARCIA et al., 2013; MIGUEL et al., 2013). A presença da matriz latossólica bem estruturada e com baixa diferenciação textural reforça o papel do intemperismo avançado e homogêneo na formação do perfil.

O Perfil 3, classificado como Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplíntico), apresenta horizonte A moderado e horizonte B textural (Btfc), com expressiva mudança textural e presença de concreções petroplínticas em volume superior a 5% e inferior a 50%. O reconhecimento simultâneo do caráter abrúptico e da presença significativa de petroplintita evidencia a complexidade dos processos pedogenéticos nesse perfil. De acordo com Miguel et al. (2013) e Driessen e Dusal (1989), os ambientes com presença de ferro disponível, associados a oscilações no regime hídrico, favorecem tanto o argiluvramento quanto a plintitização. No entanto, a atual classificação brasileira não contempla a possibilidade de reconhecimento formal da combinação entre Argissolos Amarelos Distróficos e caráter petroplíntico no quarto nível categórico. Por essa razão, propõe-se a inclusão da classe Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico (petroplíntico), de forma a refletir com mais precisão os atributos morfológicos e a gênese observada.

O Perfil 4, classificado como Argissolo Amarelo Distrófico típico (petroplíntico), apresenta horizonte A moderado, horizonte B textural e presença de horizonte E sobrejacente, com relação textural de 1,4, caracterizando o caráter argilúvico. As concreções petroplínticas ocorrem em todos os horizontes, mas com volume inferior a 50%. No quarto nível categórico, a designação com o sufixo (petroplíntico) é igualmente proposta, visando contemplar esta condição morfológica recorrente na região. Estudos como os de Rellini et al. (2007) e Costantini e Priori (2007) reforçam que a ocorrência simultânea de feições plínticas e texturais pode indicar um histórico polifásico de pedogênese, envolvendo oscilações climáticas e variações de drenagem ao longo do tempo.

A heterogeneidade mineralógica presumida do material de origem, associada à presença de rochas felsicas, pode influenciar o comportamento diferenciado dos perfis. Gnaisses-tonalíticos intemperizados liberam ferro em quantidades variáveis ao longo da topossequência, o que, de acordo com Sawakuchi et al. (2015), afeta diretamente a formação e o tipo de plintita. A convergência entre fatores como relevo, material de origem, hidromorfia e tempo de exposição é fundamental para compreender a evolução desses solos.

Deve-se destacar que o SiBCS (SANTOS et al., 2025) permite a combinação de até três qualificativos de subgrupos no quarto nível categórico, desde que respeitada a ordem de precedência estabelecida para cada classe. Essa flexibilidade visa representar de forma mais precisa a diversidade morfológica e funcional dos solos, permitindo que feições associadas, como as concretionárias e as texturais, sejam simultaneamente reconhecidas quando presentes em um mesmo perfil. Apesar dessa possibilidade, o subgrupo típico, de acordo com Santos et al. (2025), representa os solos que não possuem as características definidas para os subgrupos anteriores na chave taxonômica. Essa condição reforça a necessidade de criação de uma nova classe para Argissolos Amarelos Distróficos com caráter petroplíntico, de modo a contemplar adequadamente suas particularidades morfológicas e gênicas.

A proposta de inclusão do caráter petroplíntico para Argissolos Amarelos Distróficos representa uma adequação necessária à realidade morfológica e gênica de solos da região amazônica sob influência de processos de plintitização. A inexistência dessa classe nos níveis taxonômicos atualmente disponíveis limita a representação adequada desses solos no sistema classificatório, comprometendo sua interpretação pedológica, ecológica e de uso. A presença de diferentes classes de solos ao longo da mesma encosta, com variações morfológicas, estruturais e químicas, demonstra a complexidade dos processos pedogenéticos atuantes e a importância de abordagens integradas na interpretação da paisagem edáfica amazônica.

Adicionalmente, destaca-se que em pelo menos dois dos perfis concretionários (P1 e P5), observa-se a coincidência parcial entre o horizonte concretionário e horizontes B texturais incipientes. Ainda que o SiBCS (SANTOS et al., 2025) estabeleça a precedência taxonômica do horizonte concretionário sobre o B textural, a existência de relações texturais superiores a 1,4 e estrutura compatível com Bt pode indicar que os processos de argiluvramento estão sendo mascarados por concreções em estádio mais avançado de plintitização. Portanto, sugere-se que

sejam consideradas notas complementares na descrição desses solos, ressaltando a existência de um Bt coincidente e a complexidade envolvida.

Em ambientes tropicais, solos com horizontes plínticos ou petroplínticos, apresentam elevado grau de intemperismo, acidez acentuada, baixos teores de nutrientes e alta saturação por alumínio, o que reduz sua fertilidade natural (GARCIA et al., 2013). As feições endurecidas resultam de sucessivos ciclos de molhagem e secagem, que promovem a segregação e posterior cimentação de óxidos de ferro e alumínio, originando camadas fortemente concrecionárias com baixa condutividade hidráulica (EZE et al., 2014). Em áreas da Amazônia, verificou-se que Plintossolos sob cobertura florestal mantêm melhor estrutura e maior teor de carbono nos horizontes superficiais, enquanto solos convertidos para pastagem apresentam aumento da densidade aparente e redução da porosidade, acentuando as restrições físicas ao desenvolvimento radicular (BASTOS et al., 2021). Esses resultados corroboram que as limitações impostas pela petroplintita são mais críticas em ambientes degradados, onde a compactação e a perda de matéria orgânica reduzem ainda mais a capacidade de infiltração e o crescimento das plantas.

Embora a presença de petroplintita possa representar limitação física ao desenvolvimento radicular, especialmente em ambientes alterados, suas implicações variam conforme o contexto ecológico e o estado de conservação da paisagem. Esses horizontes endurecidos reduzem a porosidade e a permeabilidade do solo, restringindo a infiltração de água e a aeração nas camadas subsuperficiais, o que pode comprometer o aprofundamento das raízes e o armazenamento hídrico. Além disso, a elevada densidade e a baixa capacidade de retenção de umidade na matriz concrecionária aumentam a suscetibilidade à deficiência hídrica durante o período seco, favorecendo o estresse fisiológico de espécies menos adaptadas. Apesar dessas limitações potenciais, em condições naturais observa-se que a floresta amazônica pode se desenvolver sobre solos com elevado teor de concreções petroplínticas, sustentando formações vegetais de grande porte e estrutura complexa. Nesses ambientes, o sistema radicular da vegetação nativa tende a explorar preferencialmente os poros interconcrecionários e as fissuras entre blocos endurecidos, ajustando-se às restrições físicas do solo e aproveitando a umidade retida em microporos. Em contraste, áreas que sofreram desmatamento e uso intensivo, sobretudo com formação de pastagens, apresentam compactação superficial, drenagem deficiente e menor regeneração natural, condições que acentuam as limitações impostas pela petroplintita e dificultam a recuperação da cobertura vegetal, como pode ser visto em Silva et al. (2024).

Ainda no âmbito da classificação, é importante observar que em alguns perfis fortemente concrecionados não foi possível reconhecer plintita nos horizontes subsuperficiais. Isso não indica a ausência do processo de plintitização, mas sim que a plintita pode ter evoluído integralmente para petroplintita. Tal situação sugere a possibilidade de reconhecimento de um "caráter plíntico fóssil" ou relictual em condições em que se observam feições avançadas do processo, mas não mais a forma intermediária.

É relevante destacar que o reconhecimento taxonômico do caráter petroplíntico possui implicações funcionais relevantes, especialmente em ambientes de uso da terra e para recuperação de áreas degradadas. As concreções petroplínticas funcionam como barreiras físicas à infiltração de água e à penetração radicular, limitando a profundidade efetiva do solo e influenciando sua hidrodinâmica e fertilidade. Nesse sentido, o caráter petroplíntico deve ser considerado também como um atributo funcional, com impacto direto sobre o manejo e a sustentabilidade dos agroecossistemas amazônicos.

Conclusão

A caracterização morfológica e física de cinco perfis de solo ao longo de uma topossequência na região da Volta Grande do Xingu permitiu identificar diferentes processos

pedogenéticos atuantes, com destaque para a segregação e concentração de ferro sob forma de plintita e petroplintita, resultando em feições concretionárias em todos os compartimentos da paisagem. A distribuição dessas feições refletiu variações no volume e na forma de ocorrência das concreções petroplínticas, bem como no desenvolvimento dos horizontes diagnósticos subsuperficiais.

A classificação taxonômica dos solos, realizada com base na nova edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2025), evidenciou a presença de Plintossolos Pétricos, Latossolo Amarelo e Argissolos Amarelos, com variações nos níveis categóricos em função da expressividade do horizonte B, da presença de horizonte concretionário e da proporção de petroplintita. A predominância de perfis com mais de 5% de petroplintita, mesmo na ausência de plintita, reforça a importância desse material na diferenciação dos solos da área estudada.

A ocorrência de petroplintita tanto nas posições mais baixas quanto nas mais elevadas da encosta sugere trajetórias de formação distintas: associadas à atuação hidrológica atual em posições inferiores, e à herança de antigas superfícies de erosão ou depósitos coluvionares nos segmentos mais altos. A presença de Argissolos com caráter petroplíntico nas posições intermediárias da encosta aponta para ambientes de evolução mais dinâmica, com expressiva mobilização de argila (argiluvramento) conjugada com a formação de concreções endurecidas, reforçando a interpretação de gênese poligenética.

Dante da recorrente presença de concreções petroplínticas em Argissolos Amarelos Distróficos, com implicações taxonômicas e funcionais relevantes, propõe-se a criação de um novo nível categórico no SiBCS, a ser reconhecido no quarto nível, para contemplar os Argissolos Amarelos Distróficos com caráter petroplíntico, o que ampliaria a capacidade do sistema em refletir melhor a variabilidade morfológica e a gênese desses solos em regiões tropicais úmidas.

Os resultados evidenciam a complexidade da evolução pedogenética na região, marcada pela interação entre material de origem, relevo, dinâmica hídrica e tempo de exposição. A presença de múltiplas classes em uma mesma encosta reforça a necessidade de abordagens integradas que considerem os atributos morfológicos, estruturais e funcionais dos solos amazônicos, tanto para fins de classificação como para estratégias de uso, manejo e conservação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Norte Energia pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto PD-07427-0622/2022, por meio do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Nacional de Energia Elétrica (PDI/ANEEL).

Referências

- ANJOS, L. H. C.; FRANZMEIER, D. P.; SCHULZE, D. G. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**, v. 64, n. 3–4, p. 257–279, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00022-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00022-3). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0016706194000223>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de plintossolos no Município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1035–1044, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500020>. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000500020&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 jul. 2025.

BAHIA, R. B. C.; FARACO, M. T. L.; MONTEIRO, M. A. S.; OLIVEIRA, M. A. O. 2004. Folha SA.22 – Belém. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. de (eds.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/4969>. Acesso em: 22 jul. 2025.

BASTOS, A. S.; SANQUETTA, C.; MANIESI, V.; SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D. Amazon plinthosols: carbon stocks and physical properties under different land uses. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 755-767, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509838211>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/YYshQNmQH6Md8KZ9bjRkvs/?format=html&lang=en>. Acesso em: 15 out. 2025.

BATISTA, M. A.; SANTOS, M. C. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.287-296, 1995.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. (eds.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 419 p.

CANVA . Canva. Sydney: Canva Pty Ltd., 2025. Disponível em: <https://www.canva.com/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru: I - química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 483–494, 2003a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300010>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300010&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 jul. 2025.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru: II - mineralogia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 495–507, 2003b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300011>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300011&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 julho 2025.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; LADEIRA, F. S. B. Macro e micromorfologia de ferricretes nodulares desenvolvidos de arenito do grupo Bauru, formação Adamantina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 371–385, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200013>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000200013&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 jul. 2025.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. É. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, 1996. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>. Disponível em:

<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11499>. Acesso em: 22 jul. 2025.

COSTANTINI, E. A. C.; PRIORI, S. Pedogenesis of plinthite during early Pliocene in the Mediterranean environment. **CATENA**, v. 71, n. 3, p. 425–443, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.03.015>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816207000434>. Acesso em: 22 jul. 2025.

DRIESSEN, P. M.; DUDAL, R. Lecture notes on the geography, formation, properties and use of the major soils of the world. Wageningen; Leuven: Agricultural University Wageningen; Katholieke Universiteit Leuven, 1989. 296 p.

EUROPEAN SPACE AGENCY. Copernicus Global Digital Elevation Model (GLO-30). Paris: European Space Agency, 2025. Disponível em: <https://spacedata.copernicus.eu/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

EZE, P. N.; UDEIGWE, T. K.; MEADOWS, M. E. Plinthite and its associated evolutionary forms in soils and landscapes: a review. **Pedosphere**, Beijing, v. 24, n. 2, p. 153–166, 2014. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60002-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60002-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002016014600023>. Acesso em: 15 out. 2025.

FARACO, M. T. L.; MARINHO, P. A. C.; VALE, A. G.; COSTA, E. J. S.; MAIA, R. G. N.; FERREIRA, A. L.; VALENTE, C. R.; LACERDA FILHO, J. V.; MORETON, L. C.; CAMARGO, M. A.; VASCONCELOS, A. M.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, I. W. B.; ABREU FILHO, W. A.; GOMES, I. P., 2004. Folha SB.22–Araguaia. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. de (eds.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/4976>. Acesso em: 22 jul. 2025.

GARCIA, C. H. P.; LIMA, H. N.; SILVA, F. W. R.; NEVES JUNIOR, A. F.; TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; TAVARES, S. G. Chemical properties and mineralogy of soils with plinthite and petroplinthite in Iranduba (AM), Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 936–946, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400011>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000400011&lng=en&tlang=en. Acesso em: 22 jul. 2025.

HECK, R. J.; MERMUT, A. R.; SANTOS, M. C. Iron oxides in plinthic soils on sedimentary deposits in northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 651–660, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300019>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000300019&lng=en&tlang=en. Acesso em: 22 jul. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**: Unidades da Federação 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 22 de jul. 2025.

MARQUES, A. L.; SOUZA, B. I.; MACEDO, R. S.; MOURA, D. C. Ferralsols and plinthosols derived from the degradation of crusts of the Serra dos Martins formation in the Brazilian semiarid region. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 2, p. e3094, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n2-007>. Disponível em:
<https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/3094>. Acesso em: 22 jul. 2025.

MIGUEL, P.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; FINK, J. R.; MOURA-BUENO, J. M. Caracterização de plintitas e petroplintitas em solos da depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 999–1005, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-847820130005000065>. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000600009&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 jul. 2025.

MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. Á. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1683–1690, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000400033>. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000400033&lng=pt&tlang=pt. Acesso em: 22 jul. 2025.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Relation of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUES, R. J. (Org.). **The Cerrados of Brazil**: Ecology and natural history of a neotropical savanna. Chicago: Columbia University Press, 2002. p. 13-32. DOI: <https://doi.org/10.7312/oliv12042>. Disponível em:
<http://www.jstor.org/stable/10.7312/oliv12042.5>. Acesso em: 22 jul. 2025.

PAULA, E. M. S.; GORAYEBE, A.; SILVA, E. V.; MEIRELES, A. J. A. Compartimentação geoecológica da sub-bacia do baixo rio Xingu – Amazônia centro-oriental, Brasil. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 128–150, 2016. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v5i4.5192>. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/5192>. Acesso em: 22 julho 2025.

RELLINI, I.; TROMBINO, L.; FIRPO, M.; PICCAZZO, M. Geomorphological context of “plinthitic paleosols” in the Mediterranean region: examples from the coast of western Liguria (northern Italy). **Cuaternario y Geomorfología**, v. 21, n. 1-2, p. 27-40, 2007. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2329827>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. Á. ; SILVA, G. C.; FLORES, R. A.; AZEVEDO, A. C.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; PEREIRA, M. G. Chemical and mineralogical constitution of redoximorphic features and mechanism of formation of Plinthosols from the Araguaia River plain, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 48, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230115>. Disponível em:
<https://www.rbcjournal.org/article/chemical-and-mineralogical-constitution-of-redoximorphic-features-and-mechanism-of-formation-of-plinthosols-from-the-araguaia-river-plain-brazil/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SAWAKUCHI, A. O.; HARTMANN, G. A.; SAWAKUCHI, H. O.; PUPIM, F. N.; BERTASSOLI, D. J.; PARRA, M.; ANTINAO, J. L.; SOUSA, L. M.; SABAJ PÉREZ, M. H.; OLIVEIRA, P. E.; SANTOS, R. A.; SAVIAN, J. F.; GROHMANN, C. H.; MEDEIROS, V. B.; MCGLUE, M. M.; BICUDO, D. C.; FAUSTINO, S. B. The Volta Grande do Xingu: reconstruction of past environments and forecasting of future scenarios of a unique Amazonian fluvial landscape. **Scientific Drilling**, v. 20, p. 21–32, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/sd-20-21-2015>. Disponível em: <https://sd.copernicus.org/articles/20/21/2015/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SILVA, K. P.; LEÃO, F. M.; SANTOS JUNIOR, J. B.; HERNÁNDEZ-RUZ, E. J.; RIBEIRO, C. S.; LIMA, G. G. Indicadores de qualidade do solo em área degradada na Amazônia: um estudo na Volta Grande do Xingu. **Brazilian Geographical Journal**, v. 15, n. 2, p. 117–129, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14393/bgj-v15n2-a2024-75283>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/75283>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SOUZA, H. P. T.; FERNANDES, C. M. D.; LOPES, R. F.; AMIREAULT, S.; VASQUEZ, M. L. Mineralizing Events of the World-Class Volta Grande Gold Deposit, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. The 2nd International Electronic Conference on Mineral Science, p. 19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/iecms2021-09537>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4931/6/1/19>. Acesso em: 22 jul. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

VASQUEZ, M. L., ROSA-COSTA, L. T. (orgs.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**. Belém: CPRM, 2008. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10443>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ZUANON, J.; SAWAKUCHI, A.; CAMARGO, M.; WAHNFRIED, I.; SOUSA, L.; AKAMA, A.; MURIEL-CUNHA, J.; RIBAS, C.; D'HORTA, F.; PEREIRA, T.; LOPES, P.; MANTOVANELLI, T.; LIMA, T.S.; GARZÓN, B.; CARNEIRO, C.; REIS, C. P.; ROCHA, G.; SANTOS, A. L.; PAULA, E. M.; PENNINO, M.; PEZZUTI, J. Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18542/papersnaea.v28i2.8106>. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/8106>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Recebido em: 27/06/2025.
Aprovado para publicação em: 29/09/2025.