



Terra mulata antropogênica: pedogênese e potencialidades de um antrossolo cultivado na Amazônia Pré-colombiana

Jucilene Amorim Costa¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5020-7240>

Celina Marques do Espirito Santo² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1413-4910>

¹ Universidade Federal do Amapá, Macapá-Amapá, Brasil*

² Universidade Federal do Amapá, Macapá-Amapá, Brasil**

Artigo recebido em 06/09/2024 e aceito em 03/06/2025

RESUMO

A Terra Mulata é um tipo de solo antropogênico que apresenta alterações morfológicas, físicas, química e está relacionado às práticas agrícolas permanente ou semipermanente desenvolvida durante a pré-história Amazônica. Este trabalho se propõe caracterizar os atributos morfológicos, físicos e químico de perfis de Terra Mulata e seu entorno, e assim conhecer os processos pedogenéticos atuantes e potencialidades deste antrossolo. Para isso, foram utilizadas amostras de solo coletadas em três perfis pedológicos, sendo duas na área de terra mulata (TMA1 e TMA2) e uma na área adjacente (AD), na margem direita do rio Amazonas em Juruti, estado do Pará. Os resultados apontam que a ação antrópica pré-colombiana implicou características diferenciadas às TMA, onde os solos TMA1 e AD se assemelham quanto aos teores de matéria orgânica e concentrações baixas de P e Ca, enquanto a TMA2 segue com conteúdos moderados de nutrientes e indícios de uso contínuo de fogo no preparo do solo. Esses estudos confirmam a pedogênese dos Latossolos amazônicos, e mostram como a adição prolongada de matéria orgânica e subsequente uso de fogo contribuiu na formação e transformação de TMA, mas se cultivada continuamente, sem o devido manejo pode retornar à condição original de Latossolo.

Palavras-chave: Amazônia; antrossolos; geoarqueologia; fertilidade

* Geógrafa e Professora na Graduação e Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amapá. E-mail: jucilene22@bol.com.br

** Geógrafa e Professora na Graduação e Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amapá. E-mail: celinamarquesufpa@yahoo.com.br



Anthropogenic terra mulata: pedogenesis and potentialities of an antroposol cultivated in the Pre-columbian Amazonia

ABSTRACT

Terra Mulata is a type of anthropogenic soil that presents morphological, physical and chemical changes and is related to permanent or semi-permanent agricultural practices developed during Amazonian prehistory. This work aims to characterize the morphological, physical and chemical attributes of Terra Mulata profiles and its surroundings, and thus understand the active pedogenetic processes and potentialities of this antroposol. For this, soil samples collected in three pedological profiles were used, two in the area of terra mulata (TMA1 and TMA2) and one in the adjacent area (AD), on the right bank of the Amazon River in Juruti, state of Pará. The results point out that pre-Columbian anthropogenic action resulted in different characteristics of the TMA, where the TMA1 and AD soils are similar in terms of organic matter content and low concentrations of P and Ca, while TMA2 continues with moderate nutrient content and signs of continuous use of fire in soil preparation. These studies confirm the pedogenesis of Amazonian Oxisols and show how the prolonged addition of organic matter and subsequent use of fire contributed to the formation and transformation of TMA, but if cultivated continuously, without proper management it can return to the original Oxisol condition.

Keywords: Amazonia; antroposols; geoarchaeology; fertility

Terra mulata antropogénica: pedogénesis y potencialidades de un antroposol cultivado en la Amazonia Precolombina

RESUMEN

Terra Mulata es un tipo de suelo antropogénico que presenta cambios morfológicos, físicos y químicos y está relacionado con prácticas agrícolas permanentes o semipermanentes desarrolladas durante la prehistoria amazónica. Este trabajo tiene como objetivo caracterizar los atributos morfológicos, físicos y químicos de los perfiles de Terra Mulata y su entorno, y así comprender los procesos pedogenéticos activos y las potencialidades de este antroposol. Para ello, se utilizaron muestras de suelo recolectadas en tres perfiles, dos en el área de terra mulata (TMA1 y TMA2) y uno en el área adyacente (AD), en la margen derecha del río Amazonas en Juruti, estado de Pará. Los resultados señalan que la acción antropogénica precolombina resultó en características diferentes de la TMA, donde los suelos de TMA1 y AD son similares en cuanto a contenido de materia orgánica y bajas concentraciones de P y Ca, mientras que TMA2 continúa con moderado contenido de nutrientes y signos de Uso continuo del fuego en la preparación del suelo. Estos estudios confirman la pedogénesis de los Oxisoles amazónicos y muestran cómo la adición prolongada de materia orgánica y el posterior uso del fuego contribuyeron a la formación y transformación del TMA, pero si se cultiva continuamente, sin un manejo adecuado puede regresar a la condición original de Oxisoles.

Palabras-clave: Amazonia; antroposoles; geoarqueología; fertilidad.

INTRODUÇÃO

Há vasta ocorrência de solos de origem antropogênica no ambiente amazônico, representados frequentemente por “manchas” escuras que podem ocupar de um hectare a centenas de hectares (Kern et al., 2003). Estes solos correspondem às aldeias pré-coloniais que compreendem diversas áreas alteradas por habitação ou cultivo (Sambroek, 1966; Kern, 1996; Costa et al., 2013; Costa et al., 2020). Assim, estas modificações impostas ao ambiente refletem os diferentes usos da paisagem em função do contingente humano, disponibilidade de recursos alimentícios proveniente da caça, pesca, coleta ou ainda, do cultivos semi-intensivos ou permanentes, considerando a diversidade e especificidades culturais dos grupos que ali se estabeleceram.

A complexa interação homem-natureza em ambiente equatorial/topical e, portanto, adverso, resultou em uma variedade de tipos de solos modificados e sistematicamente agrupados na categoria dos Antrossolos, correspondente aos tipos Terra Preta e Terra Mulata (Kampf et al., 2003, 2010).

A Terra Preta é o tipo de solo mais escuro e mais estudado, dentre os solos antropogênicos amazônicos, sua formação está relacionada a adição de lixo doméstico de aldeias, ainda no período pré-colonial (Kampf e Kern, 2005) e são conhecidas simplesmente como Terra Preta Arqueológica ou Terra Preta Amazônica (TPA) ou ainda Terra Preta de Índio (TPI). Já a Terra Mulata, de coloração um pouco mais clara, é comumente registrada ocupando áreas muito mais extensas que a TPA e sua origem está ligada à agricultura semi-intensiva ou intensiva praticadas nas proximidades das aldeias por grupos pré-colombianos (Sombröek, 1966; Glaser et al., 2001; Sombröek et al., 2002; Kern et al., 2003, 2010; Denevan, 2010). No entanto, algumas dessas extensas áreas de TM resultam de uma associação de inúmeras áreas menores alteradas que possivelmente foram cultivadas (roças) (Costa, 2011; Costa et al., 2013) e, portanto, também relacionada a ocupação humana, denominada assim de Terra Mulata Antropogênica (TMA).

Os solos tipo TPA e TMA se diferenciam dos horizontes A dos solos adjacentes (Latossolo), principalmente através de suas propriedades morfológicas, físicas, micromorfológicas, mineralógicas e químicas, mas se assemelham nos seus horizontes mais profundos (horizonte B) (Kern e Kampf, 1989; Costa et al., 2004; Costa et al., 2010; Costa et al., 2020).

O horizonte A da TPA além da cor escura tem como características a presença de material arqueológico (cerâmico e/ou lítico) e teores elevados de Ca, Mg, P, Mn, Zn, Cu e C orgânico (Smith, 1980; Kern e Kampf, 1989; Kern e Costa, 1997; Kampf e Kern, 2005) quando comparados aos solos de domínio

amazônico. Por sua vez, o horizonte A da Terra Mulata, embora também escuro, apresenta teores moderados de nutrientes (Ca, Mg, P, Mn, Zn, Cu e C orgânico) e ocorrência esporádica ou ausência de material arqueológico (cerâmico, lítico e carvão) quando comparado as TPA (Sombroek, 2002; Costa et al., 2013).

A Terra Mulata é relacionada aos antrossolos, pois são entendidas como solos intencionalmente modificados para o cultivo pela adição de resíduos orgânicos de animais (ossos, tecidos, cartilagem, excrementos, etc), vegetais (biomassa, carvão e cinzas) distribuídas no entorno das aldeias pré-coloniais (Sombroek, 1966; Sombroek et al., 2002; Kern et al., 2003; Denevan, 2010; Costa et al., 2013; Vasilchenko e Vasilchenko, 2024). Essas afirmações se baseiam em dados etnográficos, bem como em dados analíticos morfológicos, físico, químico e mineralógicos (Falcão e Borges, 2006; Falcão et al., 2010; Costa, 2011; Costa et al., 2013; Costa et al., 2020). No entanto, tendo em vista os poucos estudos sobre Terra Mulata e a necessidade de avançar no entendimento dos processos de formação dos solos antropogênicos na Amazônia, desenvolveu-se o presente estudo que tem por objetivo caracterizar as propriedades morfológicas, físicas e químicas de perfis do Antrossolo Terra Mulata e sua adjacência, assinalando sua pedogênese e fertilidade potencial no entorno dos sítios arqueológicos Terra Preta 1 e Terra Preta 2, no município de Juruti, estado do Pará.

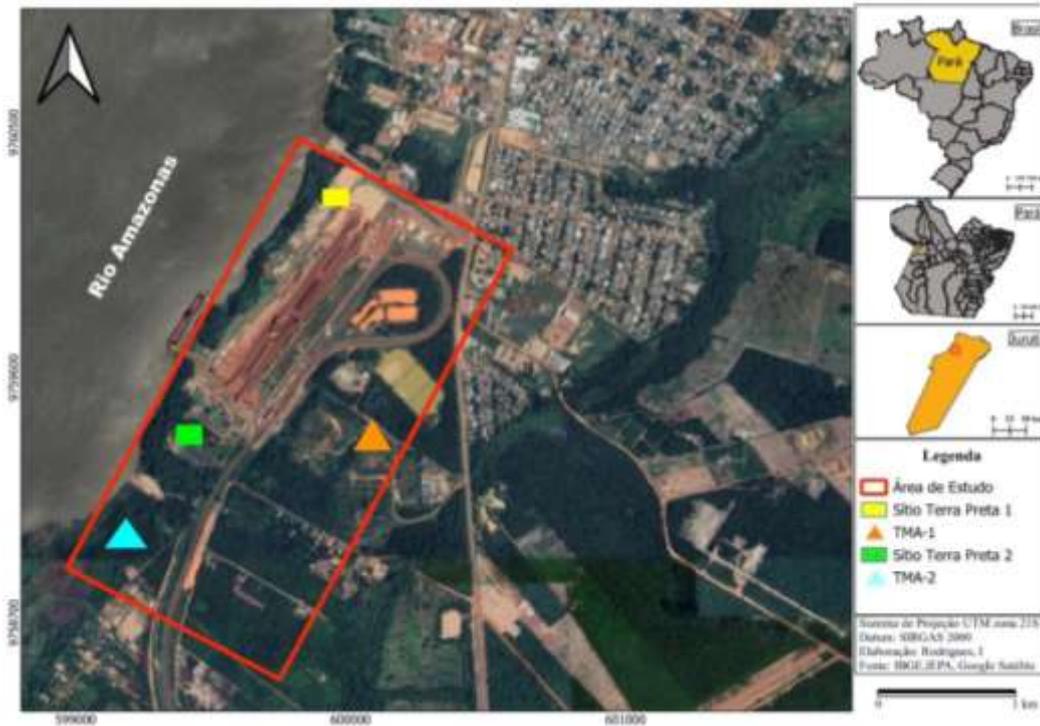
METODOLOGIA

Área de Estudo

A área de Terra Mulata investigada situa-se na margem direita do rio Amazonas (UTM 21M 600159E/9760433N), no município de Juruti, no extremo oeste do estado do Pará (Figura 1). Ocupam terrenos de terra firme, porém, rebaixados em relação aos platôs laterito-bauxíticos que se destacam na região, e encontram-se próximos à margem do rio Amazonas e de vários lagos, que representam vales fluviais afogados, e também são margeadas por planícies fluviais e fluviolacustres.

Na terra firme de superfícies planas com encostas escarpadas ou verticais predominam os Latossolos Amarelos desenvolvidos a partir das camadas areno-argilosas da formação Alter do Chão ou de suas coberturas laterito bauxíticas (Costa, 1991; Costa, 2008). Neste local, dois sítios arqueológicos pré-coloniais foram registrados (Terra Preta 1 e Terra Preta 2), e em função dessas antigas ocupações se desenvolveram os Antrossolos, Terra Preta e Terra Mulata (Costa et al., 2013; Costa et al., 2020). Atualmente, nessa área, opera de um complexo portuário para exportação minério de bauxita.

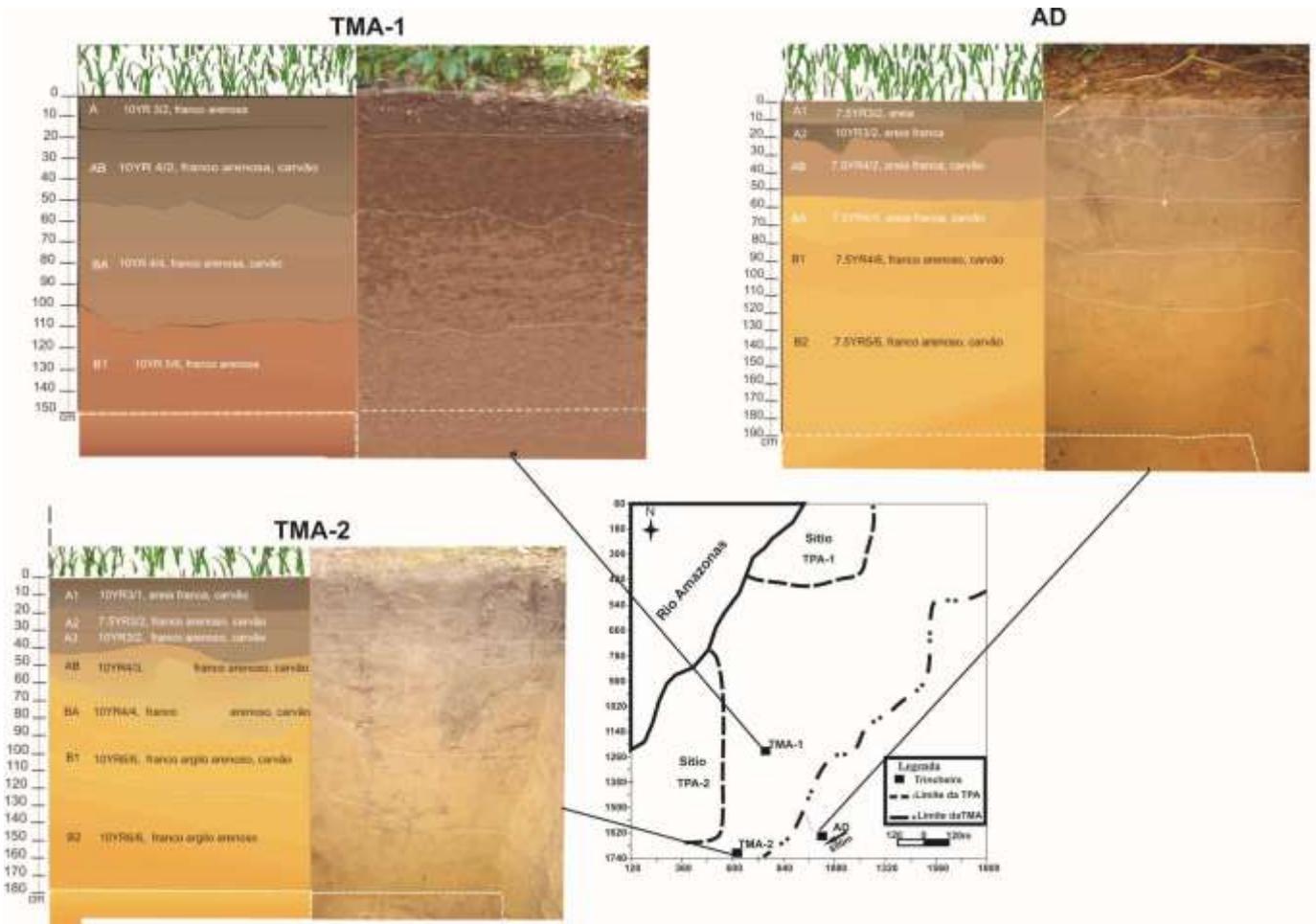
Figura 1: Localização dos sítios arqueológicos Terra Preta 1 e Terra Preta 2 e dos perfis de Antrossolos (TMA-1 e TMA-2) na área de estudo nos arredores da cidade Juruti, estado do Pará.



Fonte: Autores, 2025

No entorno dos sítios arqueológicos Terra Preta 1 e Terra Preta 2, onde domina o Antrossolo Terra Mulata (TMA), foram abertas três trincheiras nas dimensões máximas de 150 x 100 x 190 cm. Destes, dois perfis foram descritos na TMA (TMA1 e TMA2) e um perfil comparativo na área adjacente (AD), à cerca de 800 m foi analisado (Figura 2).

Figura 2: Croqui de distribuição dos pontos de coleta das amostras de solo e os perfis na Terra Mulata (TMA-1 e TMA-2) e na sua área adjacente (AD) no entorno dos sítios arqueológicos TPA-1 e TPA-2.



Fonte: Autores, 2023

As trincheiras permitiram reconhecer, descrever e coletar 18 amostras de solo considerando a sequência de horizontes pedológicos seguindo os procedimentos de Lemos e Santos (2002) e Munsell (2000).

Análises granulométricas e de fertilidade

As amostras de solos após secarem em temperatura ambiente, foram destorroadas e peneirada em malha com abertura < 2,0 mm, uma alíquota de cada amostra foi utilizada para quantificar as frações areia grossa, areia fina, silte e argila, bem como as análises químicas de fertilidade (Quadro 1).

Quadro 1 – Parâmetros, métodos e equipamento empregados para a determinação da fertilidade dos solos.

Parâmetros	Métodos	Equipamento
C orgânico	Walkley-Black	Volumetria
P disponível	Extrator Mehlich-1	Colorimetria
Na ⁺ e K ⁺ trocáveis		Fotometria de Chama
Cu, Mn, Fe, Zn		Espectroscopia de absorção atômica
Ca ²⁺ e Mg ²⁺ trocáveis	KCl 1M	Volumetria
Al ³⁺ trocável		
H ⁺ + Al ³⁺	Acetato de Cálcio pH 7,0	
pH em H ₂ O	1:2,5	Potenciômetro

A análise granulométrica foi realizada na Embrapa Amazônia Oriental em Belém, enquanto as de fertilidade foram determinadas no laboratório de análises de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), segundo os procedimentos contidos em Embrapa (1997).

Os parâmetros que medem a fertilidade dos solos como soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (%V) e saturação por alumínio (% m) foram calculados segundo os procedimentos contidos em Embrapa (2018).

A tabulação dos dados, a análise estatística de correlação e os gráficos químicos foram realizadas no excel. Os gráficos da análise granulometria foram realizados no Origen 6.0 e finalizado no CorelDraw.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sucessão Pedológica e granulometria

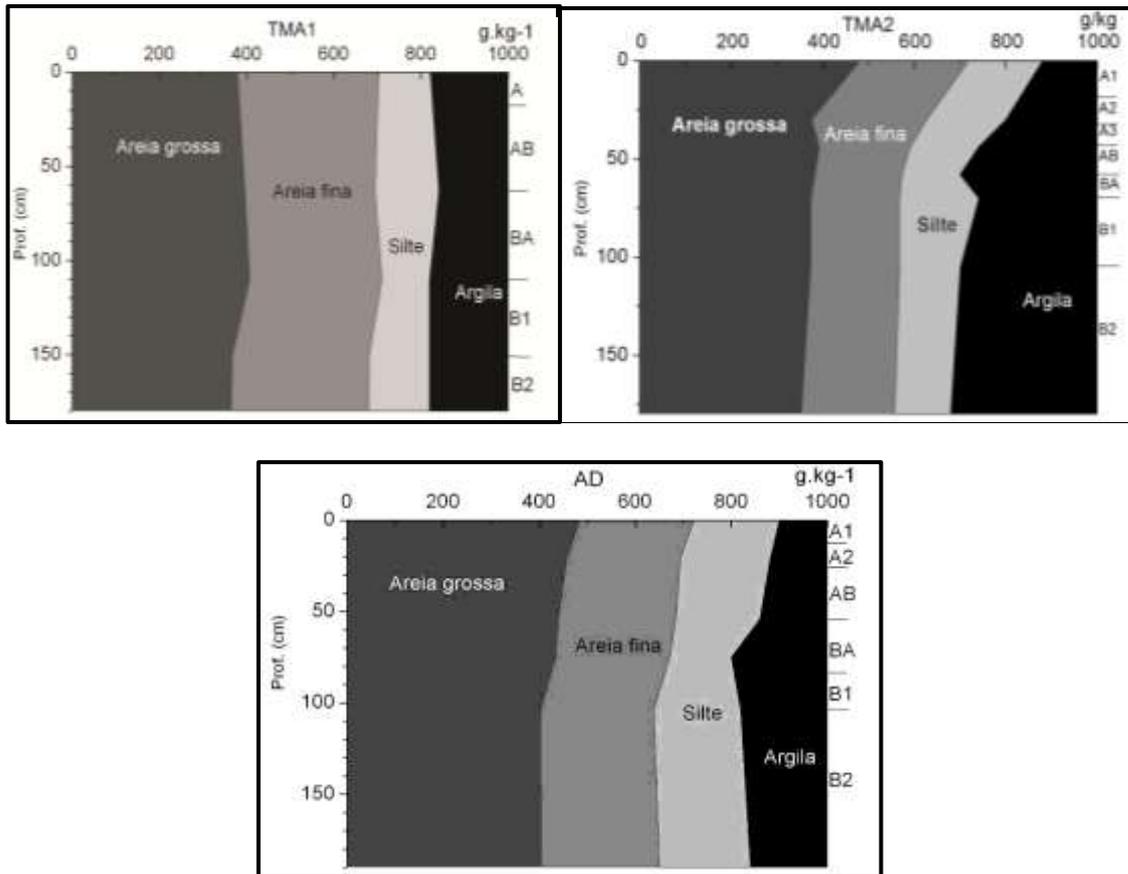
A sucessão pedológica em TMA1 está representada pelos horizontes A, AB, BA, B1 e B2 e no TMA2 por A1, A2, A3, AB, BA, B1 e B2. A sequência dos horizontes AD é praticamente similar ao TMA2, com ausência do horizonte A3. Todos os perfis apresentam características de solo bem desenvolvido e bem drenado, alcançando profundidade superior a 180 cm (Figuras 2).

No horizonte A, as TMA apresentaram textura franco arenosa, coloração cinza muito escuro (10YR3/2 a 10YR3/1), enquanto no solo AD a textura é arenosa e de coloração bruno acinzentado (7.5YR3/2). A estrutura moderada, transição difusa entre os horizontes, carvões dispersos e ausência de fragmentos cerâmicos ou líticos são caracteres comuns aos três perfis. A espessura média do horizonte A da TMA2 com 44 cm, sendo três vezes maior do que o A do perfil TMA1 (14 cm) e o dobro de AD (21 cm). O horizonte A da TMA2 está dentro da normalidade para solos antrópicos que em média variam de 30 a 60 cm (Kern et al., 2003; Kern et al., 2017).

Nos horizontes de transição (AB e BA) a cor variou entre bruno acinzentado escuro (10YR4/2) e bruno amarelado escuro (10YR4/4) nas TMA e (7.5YR4/2 e 7.5YR4/4) na AD (Figura 2). No horizonte B, das TMA e AD, observou-se pouca diferenciação entre os horizontes B1 e B2, a textura permanece franco arenosa e argilo arenosa, estrutura moderada e a cor varia entre bruno amarelado (10YR5/6 e 7.5YR5/6) e amarelo brunado (10YR6/8). Portanto, as diferenças entre os antrossolos e o solo do entorno estão centradas apenas na sucessão dos horizontes A.

As características granulométricas observadas nas TMA são recorrentes no solo da área adjacente, com predominância da fração areia (entre 600 e 700 g Kg⁻¹) e aumento constante da fração argila do horizonte A para o B, configurando a classe textural Franco arenosa ou textura média. Todavia, no solo TMA2 mostrou-se mais argiloso tanto nos horizontes antrópicos ou superficiais, mas principalmente nos horizontes mais profundos, onde a argila chegou a 300 g K⁻¹ de solo, caracterizando uma textura Franco argilo arenosa, mas que pertence ao grupamento textural (Figura 3).

Figura 3: Distribuição das frações granulométricas nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.



Fonte: Autores, 2023

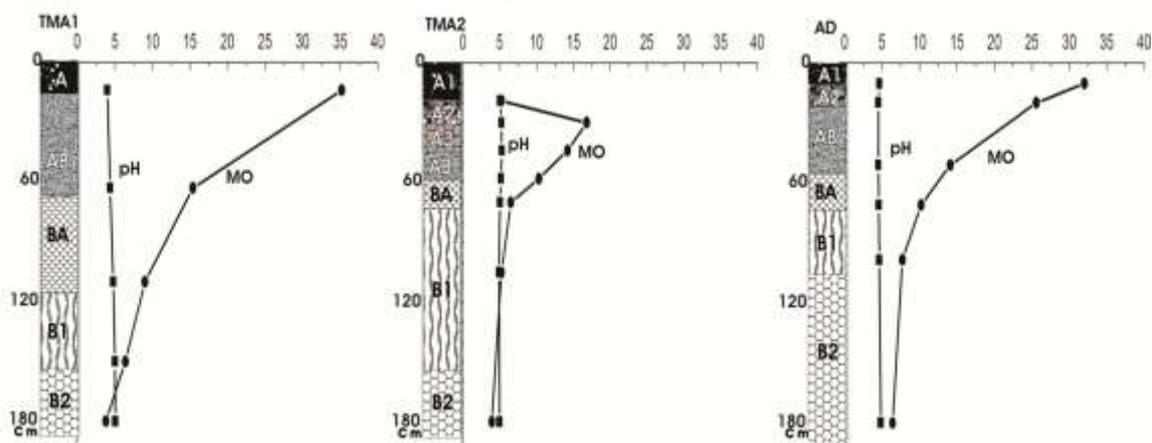
A relação silte/argila no horizonte B inferior a 0,7 somada às características morfológicas como transição difusa e horizontes (A e B) relativamente espessos, configuram peculiaridades típicas dos solos evoluídos, ou seja, produtos de intensa alteração intempérica. Essas propriedades mostram, portanto, que a afinidade entre os solos TMA e AD é muito forte e que pertencem originalmente ao mesmo material de origem que formaram os Latossolos Amarelos no ambiente amazônico. Estes dados se assemelham aos de Latossolos eutróficos antropogênicos descritos por Lima (2001) em Irandura, no Amazonas e Oliveira Jr et al. (2002) em Trairão, no Pará.

Composição química e Parâmetro de fertilidade dos Solos

Os solos apresentam pH em água extremo a fortemente ácidos na TMA1 (pH 3,9 a 5,0) e AD (pH 4,2 e 5,0) e forte a moderadamente ácido na TMA2 (pH 4,8 a 5,2). Todavia, apenas o horizonte A do solo TMA2 apresentou valor médio de pH de 5,1 adequado ao desenvolvimento de cultura pouco exigente como,

a mandioca. Os valores de pH dos solos TMA1 e AD são similares entre si e aos solos comuns de domínio amazônico de floresta (Sombroek, 2002). Os valores de pH nos solos TMA1 e AD são menores nos horizontes superficiais e maiores em profundidade, enquanto o solo TMA2 o comportamento é inverso (Figura 4).

Figura 4: Distribuição dos valores de pH em água e de MO (g Kg^{-1}) nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.



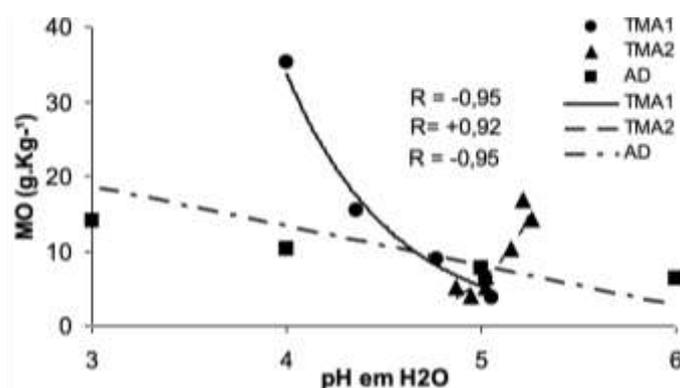
Os teores médios de matéria orgânica (MO) no horizonte A são de $35,2 \text{ g Kg}^{-1}$ na TMA1; $12,0 \text{ g Kg}^{-1}$ na TMA2 e $28,0 \text{ g Kg}^{-1}$ na AD, portanto TMA1 e AD se equivalem mais uma vez. Considerando a Terra Mulata como antigos campos agrícolas, como sugerem Sombroek (1966), Denavan (2010), Costa et al. (2013), esses valores equivalentes entre AD e TMA1 não seriam coerentes, já que a AD corresponde aos solos de domínio amazônico, os quais não sofreram ocupação humana antiga. De modo que a TMA2 teria sido palco isolado de queimadas mais recente, que teria resultado em perda considerável de matéria orgânica seca e consequente oxidação da MO próxima a superfície do solo. Hecht (2003) reporta o uso do fogo na redução da biomassa, prática esta que se estende até os dias atuais, e que reduz drasticamente a MO no solo. As cinzas, no entanto, elevam temporariamente os teores de Ca, P e K, enquanto a queima incompleta de partes resistentes do tronco e galhos representam uma reserva prolongada e potencial de nutrientes no solo.

Por sua vez, o conteúdo de MO no horizonte B, como esperado, são muito baixos (3 a 6 g Kg^{-1}), mas de igual forma nos perfis investigados (Figura 4), indicando que o conteúdo de MO por si não é um critério seguro para afirmar que um solo tenham sido fruto de ocupação humana. Torna-se necessário tentar identificar características peculiares na mesma, a exemplo, da permanência prolongada nos solos antrópicos estaria relacionada à riqueza húmica estável (ácidos húmicos) (Sombroek et al., 2010; Madari et al, 2010;

Lima et al., 2002) e com alta reatividade da MO, propiciando elevada CTC via complexação organometálica. Glaser et al. (2003) embora defendam também a riqueza húmica e aromática da MO como chave da fertilidade dos solos antrópicos, enfatiza que nem sempre a MO é estável.

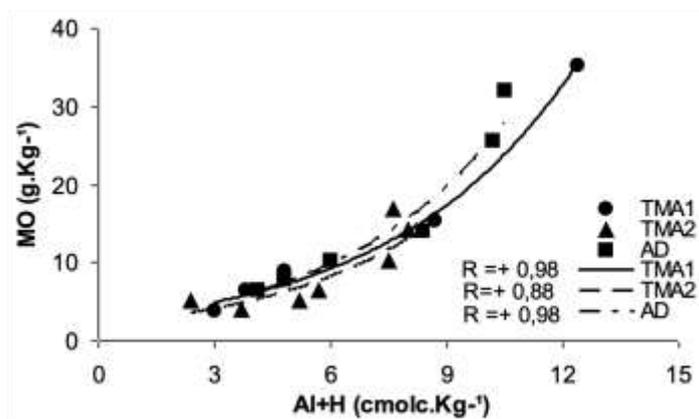
A significativa correlação positiva entre MO e pH na TMA2 ($r = +0,92$) sugere que estes critérios contribuem para a qualidade deste solo, fato não observado nos solos TMA1 e AD, em que a correlação é negativa ($r = -0,95$), um aspecto típico dos solos tropicais ácidos, como os predominantes na Amazônia (Figura 5). Isto sugere que os solos tipo TMA2 experimentaram uma pedogênese distinta de TMA1 e AD, mais próximos dos solos tropicais ou que teve seus nutrientes removidos pelo uso contínuo e prolongado, conforme discutido na análise do padrão de assentamento e nas datações obtidas por Carbono 14 e Termoluminescência dessas ocupações que indicam permanência entre 600 e 1400 anos, discutido por Costa (2011); Costa et al. (2013); Costa et al. (2020).

Figura 5: Correlação entre os valores de pH em água e matéria orgânica (MO) nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.



Os solos da TMA1 e AD também se assemelham em termos de acidez potencial (Al+H): 3,0 a 12,4 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ e 4,1 a 10,5 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$, que são, respectivamente, mais elevados do que TMA2 (2,4 a 8,0 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$). Observa-se uma correlação positiva entre acidez potencial e os valores de MO que é mais significativa na TMA1 e AD ($r = +0,98$) do que na TMA2 ($r = +0,88$) (Figura 6). Aqui mais uma vez se destacam AD e TMA1 como equivalentes e TMA2 divergente. Isto é fortalecido pelos teores de Alumínio trocável mais baixos no horizonte A do solo TMA2, teor médio de 0,90 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$, do que no mesmo horizonte dos solos TMA1 e AD (2,41 e 2,65 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$, respectivamente), portanto com altos níveis de toxidez. Estes resultados justificam as diferenças de pH entre os solos estudados, mais baixos em TMA1 e AD.

Figura 6: Correlação entre os teores de acidez potencial (Al+H) e matéria orgânica (MO) nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.

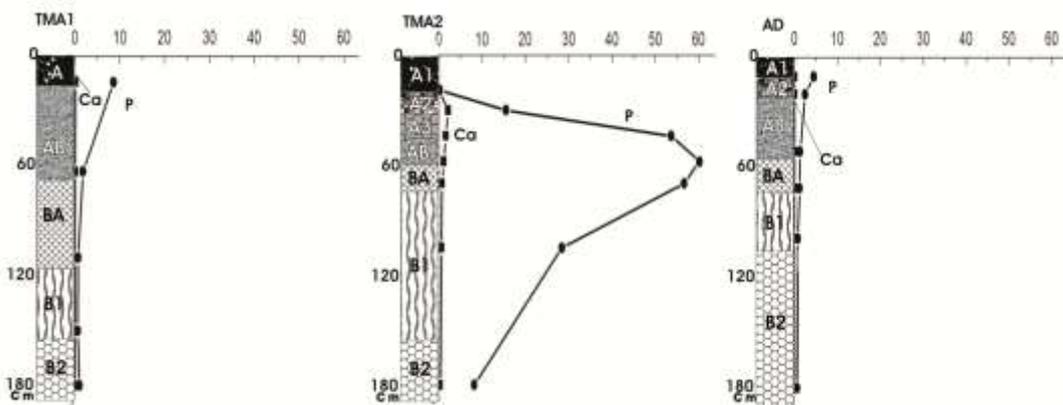


Nos antrossolos amazônicos é característico as altas e/ou moderadas concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P), pois representam os marcadores químicos da presença/uso humano na paisagem (Kern, 1996; Kampf e Kern, 2005; Costa et al., 2013; Costa et al., 2020; Vasilchenko e Vasilchenko, 2024). E, mais uma vez os solos TMA1 e AD assemelham entre si através dos valores baixo de Ca trocável (0,04 e 0,1 cmol_c Kg⁻¹, respectivamente), enquanto no perfil TMA2 foram os mais altos (0,05 a 2,1 cmol_c Kg⁻¹) (Figura 7). Mesmo assim, observa-se a correlação positiva significativa entre os valores de Ca e MO nos solos TMA1 e AD ($r=+0,97$) e TMA2 ($r=+0,96$), sugerindo dependência desse elemento com MO do solo (Figura 8).

Os teores de Mg trocável comportam-se de igual forma que os de Ca, variando de 0,03 a 0,09 cmol_c Kg⁻¹ no TMA2, e não foi detectado na TMA1 e AD. Por sua vez os valores de K foi 0,07 cmol_c Kg⁻¹.

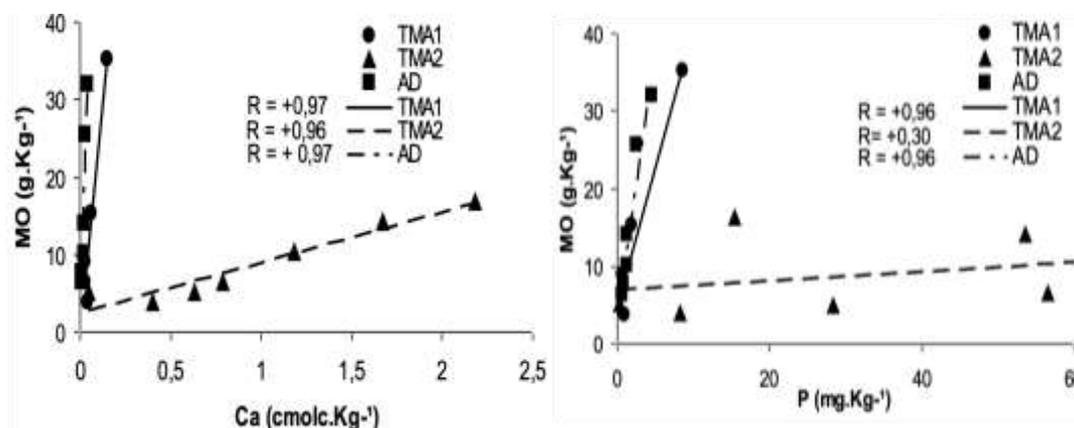
A similaridade química, entre os solos TMA1 e AD, é reforçada também através dos valores baixos de P disponível (0,1 a 8,6 mg Kg⁻¹) na TMA1 e na AD (0,6 a 4,5 mg Kg⁻¹), respectivamente, enquanto a TMA2 o valor médio de 32,0 mg Kg⁻¹ (variação de 0,3 e 60,2 mg Kg⁻¹), sendo que as maiores concentrações estão nos horizontes de transição AB e BA (Figura 7).

Figura 7: Distribuição dos teores de Ca trocável ($\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$) e P disponível (mg K^{-1}) nos perfis TMA1, TMA2 e AD.



O fósforo é um dos indicadores mais relevante da presença humana. Sombroek et al. (2002) encontraram em solo TMA de Belterra, junto a Santarém, no estado do Pará, teores altos de P disponível ($50\text{-}150 \text{ mg Kg}^{-1}$), muito superiores aos solos não antrópicos da floresta tropical, situados geralmente entre $3 \text{ a } 5 \text{ mg Kg}^{-1}$ (Rodrigues, 1996). Enquanto os baixos teores de P disponível se correlacionam positivamente com MO nos solos TMA1 e AD, o mesmo fato não é observado no solo TMA2 ($r=+0,30$) (Figura 8), ou seja, a maior disponibilidade de P não parece estar intrinsecamente relacionada com MO.

Figura 8: Correlação entre os teores de Ca trocável com MO e P disponível com MO nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.

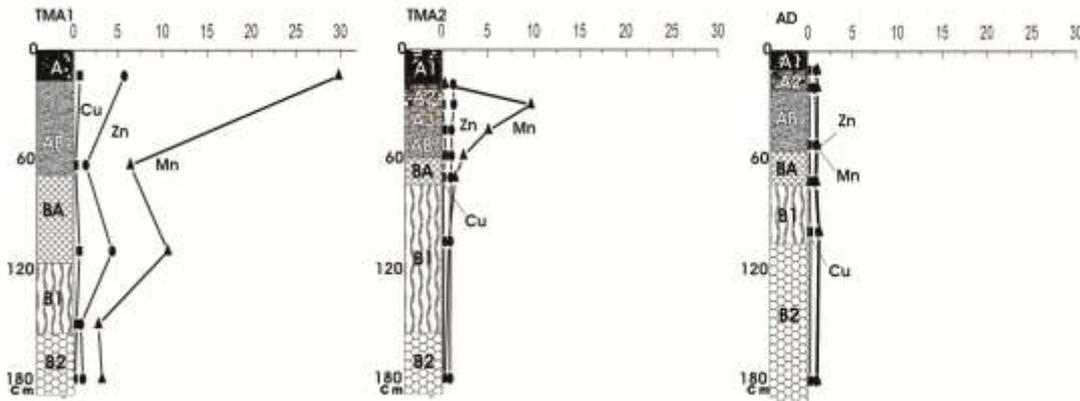


Madari et al. (2010) e Lehmann et al. (2003) destacam que em solos tropicais P disponível tem forte afinidade com MO, a exemplo dos solos AD e TMA1. Os solos TMA2 se apresentam de forma distinta.

Enquanto as características físico-químicas e dos macronutrientes mostram grande afinidade entre os solos TMA1 e AD, os valores dos micronutrientes Cu e Zn se assemelham nos solos Terra Mulata e

adjacência (Figura 9). Os valores altos foram encontrados tanto nos solos com teores moderados quanto nos baixos em MO. Segundo Lehmann et al. (2003) o teor elevado de MO aumenta a adsorção de micronutrientes, porém os efeitos específicos são poucos conhecidos em solos arqueológicos, e claro, depende da disponibilidade destes micronutrientes.

Figura 9: Distribuição dos teores trocáveis de Cu, Mn e Zn (mg K⁻¹) nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.

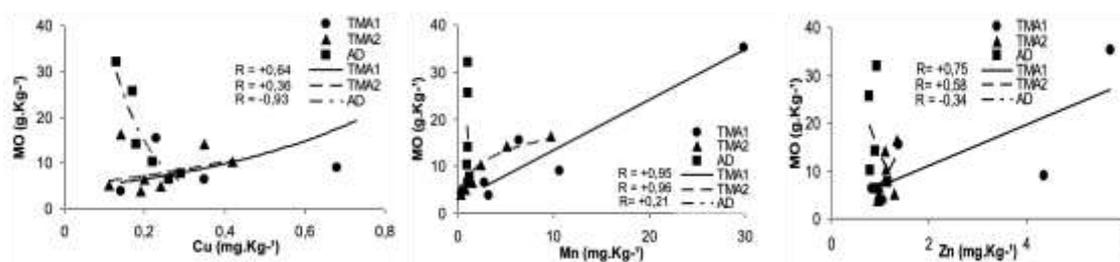


Por sua vez o comportamento de Mn, que assim como fósforo (P) é um importante geoindicador da presença humana no ambiente, mostrou similaridade entre os perfis TMA1 e TMA2, apontando o uso nos horizontes antrópicos de ambos (Figura 9).

Lima (2001); Kern e Kampf (1989), também obtiveram altas concentrações de Mn e Zn no horizonte A dos antrossolos TPA no Médio e Baixo Amazonas. Solos com valores baixos de pH e elevados de MO, semelhante a TMA1 e AD, é comum a formação de complexos organometálicos solúveis, de Mn, Cu e Zn (Tomé Jr, 1997; Kern et al., 1999; Pegoraro et al., 2006; Kampf et al., 2010).

A correlação negativa de Cu com MO na AD ($r = -0,93$) mostra uma independência com a mesma, antagônica e talvez mais com Oxi-hidróxido de Ferro amorfo (OHFe amorfo), que de fato se comportam também de forma antagônica, enquanto nas TMA a correlação exponencial positiva na TMA1 ($r = +0,64$) e TMA2 ($r = +0,36$), provavelmente um compartilhamento tanto com MO como com OHFe amorfos (Figura 10).

Figura 10: Correlação entre os teores de matéria orgânica (MO) com aqueles de Cu, Mn e Zn, todos disponíveis nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD.



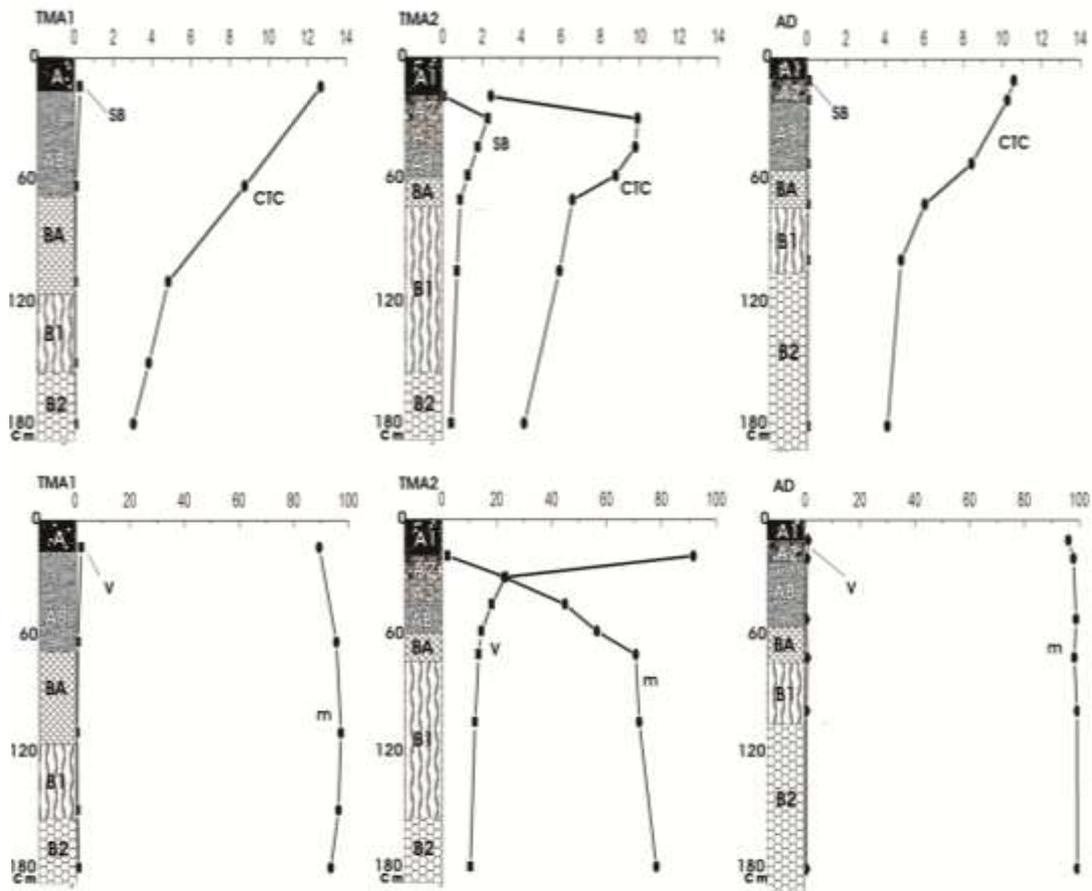
Os OHFe amorfos têm marcante papel na adsorção de metais como o Cu e Zn pela acentuada afinidade do metal pela superfície reativa desses compostos (Silveira et al., 1999; Alleoni et al., 2005, Woods, 2010). O Zn e principalmente Mn apontam boa correlação com os teores de MO, com $r = +0,75$ a $+0,95$ na TMA1 e $r = +0,58$ a $+0,96$ na TMA2, respectivamente, enquanto Cu, não (Figura 10) Os teores de Cu tendem a decrescer drasticamente com a idade do assentamento, enquanto o Zn é mais estável e reflete melhor a intensidade da ocupação (Woods, 2010).

Os parâmetros de fertilidade como a soma de bases (SB) são muito baixos nos solos TMA1 (0,03 a 0,29 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$) e AD (0,02 a 0,10 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$), mas que se sobressaem no solo TMA2, com valor máximo de 2,30 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ no horizonte A2. Por outro lado, a capacidade de troca de cátions total (CTC) é praticamente idêntica entre as TMAs e AD, como consequência dos teores elevados de acidez potencial (Al+H), especialmente nos solos TMA1 e AD (Figura 11).

A saturação por bases (V%) indica caráter distrófico ($V < 50\%$) em todos os perfis. Todavia, o solo TMA2 apresenta fertilidade moderada nos horizontes antrópicos A2 ($V = 23\%$) e A3 ($V = 18\%$) (Figura 11). Embora Sombroek et al. (2010) enfatizem que as quantidades de bases trocáveis, no antrossolo Terra Mulata, sejam mais elevadas do que nos solos naturais de floresta, a saturação em base é moderadamente alta ($V = 20$ a 70%), comparada a aproximadamente 15% em solos não alterados pela antropogênese.

A saturação por alumínio (m%) confirma a toxidez em todos os perfis (o valor m% varia de 56 a 99%), exceto nos horizontes A2 e A3 da TMA2 com saturação entre 23 e 45% (Figura 11).

Figura 11: Distribuição dos parâmetros de Soma de base (SB) e Capacidade de troca catiônica (CTC) (cmolc Kg^{-1}), Saturação de Bases (V%) e Saturação por Alumínio (m%) nos perfis de solo TMA1, TMA2 e AD em Juruti-PA.



Os dados obtidos permitem classificar os solos estudados de acordo com a Classificação das Terras Pretas de Índio e outros Solos Antrópicos Antigos (Kampf et al., 2003, 2010), como Arqueo-antrossolo Agrícola Carbônico, franco arenoso, distrófico, ferrálico para a TMA1 e Arqueo-antrossolo Agrícola Cinzento, franco arenoso, mesotrófico, ferrálico para a TMA2.

Todavia, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018) os solos TMA1 e AD se enquadram na classe LATOSSOLO AMARELO Tb distrófico, textura média, A moderado; e TMA2 como LATOSSOLO AMARELO Tb distrófico antrópico, textura média, A antrópico. Esta diferenciação entre os dois sistemas de classificação se dá devido aos níveis de detalhamento e critérios adotado pelo sistema de solos antrópicos, enquanto o Sistema Brasileiro, editado pela Embrapa (2018), caracteriza de modo geral e restrito, o horizonte A antrópico, sem considerar a diversidade de culturas e formas de usos, bem com, as distintas temporalidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfológica macroscópica do antrossolo tipo Terra Mulata identificou horizonte A espesso com mais de 20 cm, coloração escura (cinza muito escuro - 10YR3/2 a 10YR3/1), e fragmentos de carvão dispersos, sendo estes na ausência de artefatos ou fragmentos cerâmicos, líticos ou ossos, importantes marcadores de uso e dos processos pedogenéticos atuantes no ambiente amazônico.

A análise da composição química e da fertilidade do antrossolo Terra Mulata e seu entorno, além de constatar o baixo potencial natural dos Latossolos amazônicos, sugere que as técnicas de manejo aplicadas no período pré-colonial ou da formação destes, com a adição prolongada de matéria orgânica e subsequente transformação desta pelo uso de fogo contribuiu para o aumento do potencial agrícola, resultando na formação deste solo, conforme observado no solo TMA2.

Mas, por outro lado, os antrossolos analisados levantam a possibilidade de que é possível também, um solo reconhecido por conter fertilidade moderada, retornar à condição original de Latossolo distrófico, a exemplo da TMA1, mostrando que esses solos estão sujeitos a um processo relativamente rápido de degradação, se cultivado indiscriminadamente ou submetido as adversidades climáticas do ambiente amazônico.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com suporte logístico e financeiro da Scientia Consultoria Ltda. Os autores agradecem, também, aos revisores pelas contribuições e a Mestranda Istefane Rodrigues pela colaboração na elaboração do mapa.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C.S.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum*. Agronomia, Maringá, v. 27, n. 4, p. 729-737, 2005.

COSTA, J. A. **Contribuições à arqueologia da Amazônia: tecnologia cerâmica e pedogeoquímica no sítio arqueológico terra preta 2, município de juruti, região do baixo amazonas**. monografia (Especialização em Arqueologia)- Faculdade de História, Universidade Federal do Pará, Belém, 52p. 2008.

COSTA, J. A. **Mineralogia e geoquímica de terra preta arqueológica para identificação de padrão ocupacional pré-histórico no vale do baixo rio Amazonas (Juruti, Pará)**. Tese (Área Geoquímica e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 108p. 2011.

COSTA, J. A.; COSTA, M.L.; KERN, D. C. Analysis of the spatial distribution of geochemical signatures for the identification of prehistoric settlement patterns in ADE and TMA sites in the lower Amazon Basin. **Journal of Archaeological Science**, 40, 2771-2782, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.12.027>.

COSTA, J. A.; KERN, D.; SILVEIRA, M.; ESPIRITO SANTO, C. Geoarqueologia de Antrossolos do Sítio Terra Preta 2, vale do baixo Amazonas, Juturí-Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V, 21, nº 3, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1729>

COSTA, J. A.; KERN, D. C.; COSTA, M. L.; RODRIGUES, T.; KAMPF, N.; LEHMANN, J.; FRAZÃO, F. J. Geoquímica das terras pretas amazônicas. In: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010.

COSTA, M L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. 21(2): p146-160, 1991. DOI:10.25249/0375-7536.1991146160

COSTA, M. L.; KERN, D.; PINTO, A.; SOUZA, J. The Ceramic Artifacts In Archaeological Black Earth (Terra Preta) From Lower Amazon Region, Brazil: Chemistry And Geochemical Evolution. **Acta Amazonica** 34, p.375–386, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300004>.

DENEVAN, W. As origens agrícolas da terra mulata na Amazônia. In: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos - Centro Nacional de Pesquisa de solos, 356p. 2018.

FALCÃO, N.P.S.; CLEMENT, C.R.; TSAI, S.M.; COMERFORD, N.B. Pedology, fertility, and biology of Central Amazonian Dark Earths. In: WOODS, W.I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.M.G.A.; REBELLATO, L. (Ed.). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Springer, Berlin. p. 213-228. 2010.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*carica papaya* l.). **Acta Amazonica**. Vol. 36, 401 – 406, 2006.

GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZEC, W. Organic Chemistry Studies on Amazonian Dark Earths. *In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian Dark Earths: origin, properties, Management.* The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p.227-243. 2003.

GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G., ZECH, W., 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41, 2001. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>.

HECHT, S. B. Indigenous Soil Management and the Creation of Amazonian Dark Earths: Implications of Kayapó Practices. *In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian Dark Earths: origin, properties, Management.* The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Chapter 18, p.355-372. 2003.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópicos em ciência do solo.** Sociedade brasileira de ciência do solo, Viçosa, Vol. 4, 277-320, 2005.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; KERN, D.C.; CUNHA, T.J.F. Classificação das terras pretas de índio e outros solos antrópicos antigos. *In: TEIXEIRA, W.; KERN, D. MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W (Ed.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.* p. 87-102. 2010.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; SOMBROEK, W.; KERN, D.C.; CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. *In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I (Ed.). Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.77-102. 2003.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel-Pa).** Tese (área Geoquímica e Petrologia) Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 124p, 1996.

KERN, D.C.; COSTA, M.L. Solos Antrópicos de Caxiuanã. *In: LISBOA, P.L.B. (Ed.). Caxiuanã.* Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 105 - 119. 1997.

KERN, D.C.; FRAZÃO, F.J.L.; COSTA, M.L.; FRAZÃO, E.; JARDIM, M.A. A influência das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra Preta. SBG/NO, **Resumos**, VI Simpósio da Geologia da Amazônica, Manaus. 1999.

KERN, D.C.; DAQUINO, G.; RODRIGUES, T.; FRAZÃO, F.; SOMBROEK, W.; MYERS, T.; NEVES, E. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. *In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 51-75p. 2003.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. O Efeito de Antigos Assentamentos Indígenas na Formação de Solos com Terra Preta Arqueológica na Região de Oriximiná-Pa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13:219-25. 1989.

KERN, D. C.; LIMA, H. P.; COSTA, J. A.; LIMA, H. V.; BROWNE, R. A.; M, B. M.; KÄMPF, N. Terras Pretas: approaches to formation processes in a new paradigm. **Geoarchaeology: An International Journal**, v. 32, p. 694-706, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/gea.21647>.

KERN, D., KAMPF, N., WOODS, W., DENEVAN, W., COSTA, M. L., FRAZÃO, F., SOMBROEK, W. As terras pretas de índio na Amazônia: evolução do conhecimento em terra preta de índio. *In*: TEIXEIRA, W.; KERN, D. MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. p.73-82. 2010.

LEHMANN J.; KERN D.; GERMAN L.; MCCANN J.; MARTINS G. C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potencial. *In*: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Chapter 5. p.29-50. 2003.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa, 4 ed. SBCS, 83p. 2002.

LIMA, H.; SCHAEFER, C.; MELLO, J.; GILKER, R.; KER, J. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazônia. **Geoderma** 110, p.1-17, 2002.

MADARI, B.; CUNHA, T.; NOVOTNY, E.; MILORI, D.; MARTIN NETO, L.; BENITIS, V.; COELHO, M.; SANTOS, G. material orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio: suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. *In*: TEIXEIRA, W.; KERN, D. MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. p.172-188. 2010.

MUNSELL COLORS COMPANY. **Munsell soil colors charts**. Baltimore. 2000.

OLIVEIRA JR, R. C.; CORREA, J. R.; RODRIGUES, T. E. **Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará**. Belém. Embrapa Amazônia Oriental. (Embrapa Amazônia Oriental – Documentos 145). 53p. 2002.

PEGORARO, R.; SILVA, I.; NOVAIS, R.; MENDONÇA, E.; GEBRIM, F.; MOREIRA, F. (2006). Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:859-868, 2006.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. *In*: ALVARES, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa. SBCS. UFV. p.19-60. 1996.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L. R.; CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. (1999). Energia livre de reação de adsorção de cobre em Latossolos ácidos, **Scientia Agricola.**, Piracicaba, v. 56, p. 1117-1122, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000500013>.

SMITH, N.J.H. Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazônia. **Annals of the Association of American Geographers**, 70 (4), 553-66, 1980.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M.; CUNHA, T.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta e Terra Mulata: Suas Potencialidades Agrícolas, suas sustentabilidades e suas reproduções. *In*: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p.251-257. 2010.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M.S.; CUNHA, T. J.; WOODS, W.; GLASER, B. **Terra preta and terra mulata: pre-columbian amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication**. 17th WCSS, August, Thailand, p.14-21. 2002.

SOMBROEK, W. G. **Amazon soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region**. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation. 292p, 1966.

TOMÉ JR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Agropecuária. RS. 247p.1997.

VASILCHENKO A. V; VASILCHENKO, A. S. Plaggic anthrosol in modern research: Genesis, properties and carbon sequestration potential. **Catena** 234, p.1-15, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107626>.

WOODS, W. O solo e as ciências humanas: interpretação do passado. *In*: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p.62-72. 2010.