



ARTIGO ORIGINAL

Ederlon Flavio da Veiga Moline<sup>1\*</sup>  
Edson Luiz Mendes Coutinho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: [ederlon\\_flavio@hotmail.com](mailto:ederlon_flavio@hotmail.com)

**PALAVRAS-CHAVE**

Solos amazônicos  
Nutrientes  
Fertilidade do solo

**KEYWORDS**

Amazonian soils  
Nutrients  
Soil fertility

## Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo

### *Chemical properties of soils in Western Amazonia after conversion of native forest into cultivation areas*

**RESUMO:** A retirada atual da mata na Amazônia para implementar atividades agrícolas com plantios homogêneos altera consideravelmente a fertilidade do solo, que em geral na região é baixa. Porém, em solos manejados por comunidades indígenas há milhares de anos esse quadro é distinto. Objetivou-se avaliar os atributos químicos de áreas de Latossolo Amarelo com as seguintes ocupações: lavoura, pastagem, Terra Preta de Índio (TPI) e Terra Mulata, com cultivo agrícola, além de área de mata nativa como referência. Foram retiradas amostras de solo em cinco áreas do município de Manacapuru, Estado do Amazonas. As coletas foram feitas nas profundidades de 0-5, 6-10 e 11-20 cm. O valor de pH (CaCl<sub>2</sub>), Al<sup>3+</sup>, H+Al e a saturação por Al<sup>3+</sup> foram baixos ou até nulos nas amostras de área de Terra Preta de Índio e altos nas áreas com lavoura e pastagem. A área de TPI apresentou altos teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, Mn<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup> em relação às demais. Já os teores de nitrogênio (N) e boro (B) não apresentaram variação entre as áreas. Comparada à da área de referência de mata nativa, nas áreas de atividade agrícola com lavoura e pastagem, a fertilidade do solo diminuiu; enquanto na área de Terra Mulata, os valores permaneceram próximos aos da mata nativa e, na área de TPI, os indicadores de fertilidade analisados aumentaram os seus valores.

**ABSTRACT:** *The conversion of native forest of the Amazon into agricultural areas significantly alters soil fertility, which in large part is already low. However, in soils managed by Indian communities for thousands of years, this situation is different. This study aimed to evaluate the chemical properties of an Oxisol in crop, pasture, Amazonian Dark Earth (ADE) and 'Terra Mulata' - both under cultivation, and in the native forest as a reference. Five sites were sampled in the same class of soil, typical in the municipality of Manacapuru, Amazonas state, Brazil. Soil collection was performed with an auger, taking 15 subsamples to form a composite sample, separating them into 0-5, 6-10 and 11-20 cm depths. The samples were sent to the laboratory for chemical analysis. Values of pH (CaCl<sub>2</sub>), Al% and H+Al (potential acidity) were low or nil in Amazonian Dark Earth and high in Oxisol under cultivation and pasture. ADE presented high contents of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, Mn<sup>2+</sup>, and Zn<sup>2+</sup> compared with the other areas. The values of N and B in the soil showed no variation between the areas studied. Compared with the reference area of native forest, soil fertility decreased in the areas under cultivation and pasture, remained approximately in the same in the area of 'Terra Mulata', and increased in the area of ADE.*

## 1 Introdução

Os Latossolos e Argissolos, classes predominantes de solos na região amazônica, são caracterizados pela sua baixa fertilidade natural expressa pela reserva de nutrientes (Moreira & Fageria, 2009; Campos et al., 2012), sendo o processo de ciclagem de nutrientes importante no ecossistema da mata amazônica. Uma vez interrompido esse processo pela retirada da vegetação nativa, a reserva de nutrientes desses solos se exaure rapidamente (Cunha et al., 2009).

A abertura de novas áreas na Amazônia para a agricultura implica redução expressiva do teor de matéria orgânica depositada nas camadas superficiais causando alterações negativas na disponibilidade de nutrientes, o que, associado ao manejo inadequado do solo, diminui a produtividade das culturas ao longo do tempo. Silva Júnior et al. (2012), em estudo sobre o impacto da conversão da mata nativa para sistemas agrícolas nas características químicas do solo no Estado do Pará, atribuem as alterações à depleção da matéria orgânica, o que foi apontado como a principal causa de insucesso dos demais cultivos. Da mesma forma, Magalhães et al. (2013) verificaram redução do estoque de nutrientes em áreas de lavouras em relação à mata nativa em Rondônia. Araújo et al. (2011), analisando a conversão mata-pastagem, também encontraram baixos teores de Ca, Mg, K e P nas primeiras camadas do solo em áreas com cultivo.

Em contrapartida, as áreas de Terra Preta de Índio (TPI) e a Terra Mulata (TM), encontradas em pontos distintos da Amazônia que apresentam horizontes de cores mais escuras e que possuem altos teores de nutrientes, caracterizam-se por elevados teores de nutrientes no solo, mesmo após a retirada da mata (Falcão et al., 2003). A formação deste tipo de solo parte, possivelmente, do acúmulo de resíduos orgânicos pelas atividades das comunidades indígenas em áreas de Latossolos e Argissolos, além de elevado conteúdo de partículas de biocarbão, originadas de processo de “queima fria e lenta”, resultando em material de alta capacidade de resistência à degradação.

Campos et al. (2012) relataram que os atributos químicos e físicos das Terras Pretas (TPI) são superiores em relação aos de outros solos da Amazônia. Os teores de carbono (C) total são maiores, comparados aos de solos adjacentes, sem essa influência antrópica, e até mesmo em relação à mata nativa (Cunha et al., 2009).

O objetivo foi caracterizar atributos químicos de áreas de Latossolo Amarelo sob diferentes coberturas, tais, como pastagem, lavoura, e áreas identificadas como Terra Mulata e Terra Preta de Índio, tendo a mata nativa como referência.

## 2 Material e Métodos

O estudo foi realizado em propriedades localizadas próximas ao ramal da Costa do Laranjal, do km 10 ao km 29, no sentido Rio Solimões, distante 84 km de Manaus, em área pertencente ao município de Manacapuru, Estado do Amazonas, localizado nas coordenadas geográficas 3°18'33"S e 60°33'21"W, a 34 metros de altitude. Segundo a classificação de Köppen, a área integra o quadro macroclimático do tipo AmW tropical chuvoso e úmido, umidade em torno de 85%, variações de temperatura entre máxima de 31 °C e mínima 23 °C e a temperatura média em 26 °C e precipitação em torno de 2.250 mm anuais.

As áreas de estudo têm relevo plano e estão próximas umas das outras. A classe principal de solo é Latossolo Amarelo Distroférico (Embrapa, 2013), que originariamente era coberto por mata nativa. Os tratamentos consistiram de uma área de mata nativa como referência e quatro diferentes sistemas de uso.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas (áreas × profundidade), com três repetições. Os tratamentos foram: (MN) mata nativa com cobertura vegetal primária e com espécies de vários portes, bem drenada, rica em matéria orgânica e com horizonte superficial preservado; Terra Preta de Índio (TPI) com plantio de laranja por seis anos, sem adubação e sem movimentação do solo; Terra Mulata (TM) também com plantio de laranja de seis anos, sem adubação e o perfil do solo não revolvido; Lavoura de laranja sequencial por 35 anos, com calagem e adubação na projeção da copa e sem preparo e/ou movimentação do solo (LC); Pastagem conduzida com *Urochroa brizantha* por seis anos com queima anual para renovação, sem aplicação de calcário ou adubação, sem operações de mecanização (PL).

A coleta das amostras foi feita de modo aleatório nas áreas de MN e PL, e nas de TPI, TM e LC nas entrelinhas das plantas. A amostragem foi realizada com a ajuda de um trado holandês e em três profundidades, de 0 a 5, 6 a 10 e 11 a 20 cm. Depois de retiradas, as 15 subamostras foram homogeneizadas para formação de uma amostra composta para cada profundidade. Ao final da coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em malha de 2,0 mm, e destinadas ao laboratório para as análises químicas.

Os atributos químicos do solo determinados foram: pH em leitura com CaCl<sub>2</sub> (1:2,5), P-resina, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio trocável (Al), acidez total (H + Al), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), seguindo a metodologia proposta por Embrapa (1997). A partir destes dados, foram calculados: soma de bases (SB), CTC potencial, saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (V%). O carbono orgânico total foi determinado de duas formas: pelo método Walkey-Black (Nelson & Sommers, 1996) e por combustão a seco em analisador elementar LECO CN628, e, neste último, também o nitrogênio total (N).

Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA). Quando os resultados foram significativos, aplicou-se o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para comparação entre as médias.

## 3 Resultados e Discussão

Os índices de pH do solo, teores de Al trocável, H+Al e m% foram próximos à neutralidade na área de TPI. Já o contrário ocorre nas áreas de LC e PL (Tabela 1). A adição de materiais orgânicos na TPI associada ao biocarbão foi capaz de garantir estabilidade à degradação e manter o pH do solo estável, em relação à área de origem (Moreira, 2007; Falcão et al., 2010). Nos tratamentos, foi observada pouca variação dos índices de pH em profundidade do solo, isso se deve à alta precipitação da região amazônica que causa lixiviação de nutrientes da camada superficial para o restante do perfil do solo (Cravo et al., 2012).

Associado à acidez fraca da TPI, observou-se a neutralização do Al nesse solo, possivelmente pela formação de hidróxidos de Al, que são fixados com os colóides de argila ou matéria orgânica; e no tratamento LC, visualiza-se a alta toxidez do

**Tabela 1.** pH do solo em leitura ( $\text{CaCl}_2$ ), teores de alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al) e saturação por Al (m%) dos solos amazônicos sob diferentes usos nas profundidades de 0-5, 6-10 e 11-20 cm na região de Manacapuru, AM.

**Table 1.** Soil pH reading in  $\text{CaCl}_2$ , levels of exchangeable aluminum (Al), potential acidity (H + Al) and Al saturation (m%) of Amazonian soils with different uses in depths 0-5, 6-10 and 11-20 cm in the region of Manacapuru, AM.

Prof (cm)						Média
	TPI	TM	MN	LC	PL	
	pH $\text{CaCl}_2$					
0 - 5	6,3	4,3	4,5	3,8	3,6	4,5 a
5 - 10	6,3	4,0	4,4	3,7	3,7	4,4 ab
10 - 20	5,9	3,8	4,3	3,7	3,8	4,3 b
Média	6,2 a	4,0 c	4,4 b	3,7 c	3,7 c	4,4
	Al $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$					
0 - 5	0,0	12,0	5,0	43,0	20,0	16,0 a
6 - 10	0,0	21,0	7,0	44,0	20,0	18,4 a
11 - 20	0,0	27,0	9,0	46,0	18,0	20,0 a
Média	0,0 d	20,0 b	7,0 c	44,3 a	19,3 b	18,2
	H + Al $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$					
0 - 5	22,0 eA	98,0 cB	80,0 dA	166,0 aA	135,0 bA	100,2 a
6 - 10	22,0 eA	135,0 bA	72,0 dA	166,0 aA	98,0 cB	98,6 a
11 - 20	38,0 dA	135,0 bA	80,0 cA	166,0 aA	88,0 cB	101,4 a
Média	27,3 e	122,7 b	77,3 d	166,0 a	107,0 c	100,1
	m (%)					
0 - 5	0,0	26,3	11,4	80,8	85,5	23,2 a
6 - 10	0,0	57,4	18,2	88,7	85,8	29,1 a
11 - 20	0,0	80,6	29,6	92,9	84,5	38,0 a
Média	0,0 c	54,7 ab	19,7 bc	87,5 a	85,3 a	30,1

As médias ausentes de letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade. TPI: Terra Preta de Índio; TM: Terra Mulata; MN: Mata Nativa; LC: Latossolo com cultura; e PL: Pastagem.

$\text{Al}^{3+}$  no solo, podendo limitar o potencial produtivo das plantas (Frade Júnior et al., 2013). A concentração de Al trocável aumentou conforme a profundidade do solo, evidenciando a complexação da matéria orgânica com o  $\text{Al}^{3+}$  ser menor nas camadas profundas, pelo motivo de menor quantidade de matéria orgânica nas camadas mais profundas.

Na área de LC, os teores de H+Al foram altos nas três profundidades avaliadas, diferindo estatisticamente. Na TPI, foram encontrados os menores teores, garantidos pela pouca variação do alto pH. O uso do solo para fins agrícolas que reduzem a matéria orgânica e o processo de acidificação do solo, causado por muitos fatores, pode aumentar consideravelmente o H + Al, principalmente nas camadas mais profundas (Matos et al., 2012).

Verificou-se que a saturação por Al (m%) foi nula em solo de TPI e, quando comparado aos valores encontrados em MN como referência, nota-se que a ação de deposição de materiais orgânicos dos índios com biocarvão foi capaz de neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  no comum Latossolo amazônico. Na área de TM, houve aumento de teores e expressivamente observados no LC e PL, notando-se o incremento de acordo com a profundidade do solo. Moreira & Malavolta (2004) e Moreira & Fageria (2009) relataram que os solos do Estado do Amazonas apresentam, na média, 76% de saturação por Al alta ou muito alta, sendo atribuído tal fato ao avançado estágio de intemperismo destes solos.

Em relação aos teores de Ca e Mg trocáveis nos solos, nas áreas de TPI, MN e TM, nesta ordem, estes foram maiores quando comparados aos das áreas de LC e PL, detectando-se

nítido decréscimo com a profundidade do solo. Já para o  $\text{K}^+$ , os teores decaíram na área de TM e PL, referenciado à MN, e fato contrário foi observado para a CTC potencial que aumentou em todas as áreas, inclusive em profundidade, devido principalmente aos altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ . A saturação por bases foi encontrada alta somente em área de TPI (Tabela 2).

Os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  encontrados na TPI são altos, devido ao acúmulo de material orgânico rico, principalmente ossos adicionados, associado ao alto teor de MO (Falcão et al., 2010), além da alta estabilidade à degradação e resistência à lixiviação proporcionada pelo biocarvão (Moreira, 2007), apresentando esta área comportamento diferente das áreas de lavoura e pastagem, pois, após a retirada da MN, houve o incremento de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo. Jakelaitis et al. (2008) relatam a diminuição de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em decorrência da retirada da mata original para cultivo, justificado pelo mal manejo do solo e a remoção contínua das plantas, entre outros fatores.

O teor de  $\text{K}^+$  disponível foi maior na TPI e menor na PL, com tendência nos tratamentos a diminuir de acordo com a profundidade do perfil do solo. Partindo do tratamento da MN, relata-se pouca influência do manejo nos níveis de  $\text{K}^+$ , pois o LC e a PL apresentam dados similares. Segundo Cochrane et al. (1985), os teores de  $\text{K}^+$  nas TPI é baixo, pois o material de origem responsável pelo aumento de fertilidade do solo é de origem orgânica e pela predominância de caulinita, com argila (1:1), além do alto índice pluviométrico responsável pela lixiviação.

Para a CTC do solo, notou-se aumento em todos os tratamentos, quando se tem a MN como referência, sendo a TPI o maior destaque. Na TPI, Campos et al. (2012) citam essas áreas com

**Tabela 2.** Teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), CTC potencial e saturação por bases (V%) dos solos amazônicos sob diferentes usos nas profundidades de 0-5, 6-10 e 11-20 cm na região de Manacapuru, AM.**Table 2.** Levels of calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium, CEC at pH 7 and base saturation (V%) of Amazonian soils with different uses in depths 0-5, 6-10 and 11-20 cm in the region of Manacapuru, AM.

Prof (cm)	TPI	TM	MN	LC	PL	Média
0 - 5	154,0 aA	26,0 bA	33,0 bA	7,0 cA	2,0 cA	44,4 a
6 - 10	142,0 aA	12,0 cB	28,0 bAB	3,0 cA	2,0 cA	37,4 b
10 - 20	111,0 aB	4,0 cB	19,0 bB	2,0 cA	2,0 cA	27,6 c
Média	135,67 a	14,0 c	26,7 b	4,0 d	4,0 d	36,5
			Mg mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0 - 5	25,0	7,0	5,0	2,0	1,0	8,0 a
6 - 10	23,0	3,0	3,0	2,0	1,0	6,4 ab
11 - 20	16,0	2,0	2,0	1,0	1,0	4,4 b
Média	21,3 a	4,0 b	3,3 b	1,7 b	1,0 b	6,3
			K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0 - 5	1,6 aA	0,7 cdA	0,9 bcA	1,2 dA	0,4 dA	1,0 a
6 - 10	1,6 aA	0,6 bA	0,5 bB	0,6 bB	0,3 bA	0,7 b
11 - 20	1,1 aB	0,5 bA	0,4 bB	0,5 bB	0,3 bA	0,6 b
Média	1,4 a	0,6 b	0,6 b	0,8 b	0,3 c	0,8
			CTC <sub>potencial</sub> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0 - 5	200,6 aA	131,7 cA	118,9 cA	176,2 bA	138,4 cA	153,2 a
6 - 10	190,6 aA	150,6 bA	103,5 cA	171,6 abA	101,3 cB	143,5 b
11 - 20	166,1 aB	141,5 bA	101,4 cA	169,5 aA	91,3 cB	134,0 c
Média	185,8 a	141,3 b	107,9 c	172,4 a	110,3 c	143,6
			V (%)			
0 - 5	88,0 aA	26,0 cA	33,0 bA	5,5 dA	2,5 dA	31,0 a
6 - 10	89,0 aA	10,5 cB	30,5 bA	3,0 dA	3,0 dA	27,2 b
11 - 20	77,0 aB	4,5 cC	21,0 bB	2,0 cA	3,5 cA	21,6 c
Média	84,6 a	13,7 c	28,2 b	3,5 d	3,0 d	26,6

As médias ausentes de letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade. TPI: Terra Preta de Índio; TM: Terra Mulata; MN: Mata Nativa; LC: Latossolo com cultura; e PL: Pastagem.

maior CTC, quando comparadas aos demais solos amazônicos, e tendência de decréscimo em profundidade, corroborando os dados apresentados. Já Silva Júnior et al. (2012) destacam a conversão da MN para áreas de pastagem e cultivo agrícola como fator de diminuição da CTC, que é influenciado pela acidez potencial do solo, fato que não ocorreu no presente trabalho.

A porcentagem de saturação por bases (V%) na TPI foi maior quando comparada a dos demais solos, sendo estes tratamentos de nível baixo. Detectam-se também os altos valores encontrados nos horizontes subsuperficiais da TPI, sendo que resultados semelhantes foram encontrados por Campos et al. (2012). O acúmulo dos materiais orgânicos contendo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e a forte retenção à lixiviação do biocarbão aumentam consideravelmente a V% da TPI. O contrário observa-se na MN, na qual a baixa porcentagem diminui ainda mais de acordo com o uso do solo, podendo-se aferir a degradação química.

Os teores de S disponível foram menores quando comparados às demais áreas, e o N apresentou comportamento semelhante em todas as áreas avaliadas. Já o teor de P disponível foi expressivamente maior na TPI e, nas áreas de LC e PL, foram abaixo do encontrado na MN. Os teores de C extraído por combustão a seco foram maiores pela metodologia Walkley-Black (Tabela 3).

Nota-se pouca variação dos teores de S disponível a partir da MN e o aumento de acordo com a maior profundidade. Somente na TPI a diminuição dos teores foi mais expressiva, mostrando a baixa capacidade deste solo na retenção do  $\text{SO}_4^-$ , provavelmente pelo alto pH e preenchimento das cargas dos colóides do solo pelo ânion fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ), que é mais fortemente retido, e liberando o  $\text{SO}_4^-$  para a solução do solo, aumentando, assim, a movimentação e perdas para a subsuperfície do solo (Caires & Fonseca, 2000).

Os teores de N total não apresentaram variação nas áreas avaliadas, porém se destaca a diminuição de acordo com a profundidade no perfil do solo. A exemplo do S, o N tem comportamento semelhante nos solos de TPI, não sendo esta área considerada como bom reservatório. Andrade et al. (2002) descrevem a redução rápida dos teores de N nos solos amazônicos, isso é possível pela alta taxa de mineralização líquida feita por micro-organismos que têm as condições de umidade e temperatura favoráveis, reduzindo rapidamente a MO, principalmente após a conversão da MN em sistema de cultivo, o que pode relacionar as perdas de N por volatilização e lixiviação.

Quanto aos teores de P disponível, registra-se o alto valor encontrado na área de TPI, muito além do encontrado na área

**Tabela 3.** Teores de enxofre (S), nitrogênio total (N), fósforo (P), carbono orgânico total determinado por Walkey-Black e Combustão a seco (C) dos solos amazônicos sob diferentes usos nas profundidades de 0-5, 6-10 e 11-20 cm na região de Manacapuru, AM.

**Table 3.** Levels of sulfur (S), total nitrogen (N), phosphorus (P), total organic carbon determined by Walkey-Black and Dry combustion (C) of Amazonian soils with different uses in depths 0-5, 6-10 and 11-20 cm in the region of Manacapuru, AM.

Prof (cm)	TPI	TM	MN	LC	PL	Média
	S mg dm <sup>-3</sup>					
0 – 5	2,0 aA	5,0 aB	5,0 aB	5,0 aB	4,0 aA	4,2 b
6 – 10	2,0 aA	6,0 abAB	5,0 abB	7,0 aB	4,0 abA	4,8 b
11 – 20	2,0 aA	10,0 aA	13,0 aA	12,0 aA	4,0 bA	8,2 a
Média	2,0 b	7,0 a	7,7 a	8,0 a	4,0 b	5,7
N (Total) g kg <sup>-1</sup>						
0 – 5	3,3	2,5	2,6	3,3	2,3	2,8 a
6 – 10	2,7	2,2	2,2	2,8	1,4	2,3 b
11 – 20	2,2	1,9	1,7	2,1	1,3	1,8 c
Média	2,7 a	2,2 b	2,2 b	2,8 a	1,7 c	2,3
P mg dm <sup>-3</sup>						
0 – 5	344,0	44,0	74,0	12,0	10,0	96,8 a
6 – 10	320,0	23,0	63,0	10,0	8,0	84,8 ab
11 – 20	316,0	10,0	28,0	7,0	6,0	73,4 b
Média	326,7 a	25,7 c	55,0 b	9,7 c	8,0 c	85,0
C <sub>Walkey-Black</sub> g kg <sup>-1</sup>						
0 – 5	35,0	26,0	24,0	30,0	29,0	28,8 a
6 – 10	33,0	23,0	19,0	27,0	16,0	23,6 b
11 – 20	24,0	19,0	16,0	21,0	14,0	18,8 c
Média	30,7 a	22,7 bc	19,7 c	26,0 b	19,7 c	23,8
C <sub>combustão a seco</sub> g kg <sup>-1</sup>						
0 – 5	42,5 aA	37,9 bA	32,3 dA	37,6 bA	35,8 cA	37,2 a
6 – 10	36,4 aB	32,0 bB	26,8 cB	32,9 bB	22,3 dB	30,1 b
11 – 20	32,8 aC	26,3 bC	23,4 cC	25,2 bC	20,7 dC	25,7 c
Média	37,2 a	32,1 b	27,5 c	31,9 b	26,3 d	31,0

As médias ausentes de letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade. TPI: Terra Preta de Índio; TM: Terra Mulata; MN: Mata Nativa; LC: Latossolo com cultura; e PL: Pastagem.

de MN, fato também observado por Silva et al. (2012). Vê-se o impacto do uso da floresta para fins agrícolas como PL e LC na diminuição expressiva dos teores de P. Isso possivelmente ocorre pelo não uso de fertilizantes e manejo inadequado contra erosão do solo, entre outros fatores, que alteram os atributos químicos, disponibilizando menor quantidade de P na solução. Já na TPI, o comportamento é diferenciado, o horizonte A antrópico é capaz de manter altíssimos teores de P por uso contínuo do solo. Conforme Lemos et al. (2011), o P é um elemento em abundância na TPI e a sua origem está ligada à atividade humana antepassada pela adição de material orgânico, como, ossos humanos e animais, carapaças de quelônios, espinhas de peixes, entre outros não tão presentes na TM.

A baixa mobilidade do P associado à grande capacidade de retenção de cargas negativas do 'biochar' é o grande responsável pela manutenção dos altos teores de P disponível (Falcão & Borges, 2006). Pereira et al. (2000) ressaltam que a disponibilidade de P é aumentada devido à decomposição do MO, que forma compostos orgânicos complexos, o Fe<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>, evitando a formação de compostos insolúveis de P, além de compostos insolúveis capazes de dissolver compostos de P encontrados em formas insolúveis na solução do solo.

O método de determinação de C por metodologia de Walkey-Black demonstrou aumento dos teores nas áreas a partir da

MN, e decrescendo em profundidade em todas as áreas. O mesmo comportamento foi observado nos teores de C total em combustão a seco, sendo que nesta metodologia percebem-se maiores valores de C, corroborando os dados apresentados por Coser et al. (2012). Segundo Nelson & Sommers (1996), a metodologia de C em combustão a seco determina com mais precisão e exatidão os resultados. Desta forma, Moreira (2007) atribui o C combustão a seco como melhor determinador por causa da grande quantidade de C no solo em forma de carvão, que, nesta metodologia, tem todo o C convertido, em presença do oxigênio, para CO<sub>2</sub> durante o processo de aquecimento.

Semelhante aos resultados obtidos por Falcão et al. (2010), os teores de B disponível no solo na área de MN apresentaram-se menores em relação às demais áreas. Por sua vez, os teores de Cu disponível na MN e TPI foram maiores e não apresentaram diferença entre si, mas é visualizada queda considerável na área de LC, TM e PL, seguindo esta ordem. Já os teores de Fe disponível foram menores na TPI, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Em todas as profundidades, é observada a tendência de queda de teores destes micronutrientes (Tabela 4). Segundo Falcão et al. (2010), os teores de Fe disponível na TPI são baixos, diferentemente dos demais solos altamente intemperizados da região amazônica, atribuindo aos elevados

**Tabela 4.** Teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) dos solos amazônicos sob diferentes usos nas profundidades de 0-5, 6-10 e 11-20 cm na região de Manacapuru, AM.**Table 4.** Levels of boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) of Amazonian soils with different uses in depths 0-5, 6-10 and 11-20 cm in the region of Manacapuru, AM.

Prof (cm)	TPI	TM	MN	LC	PL	Média
	B mg dm <sup>-3</sup>					
0 - 5	0,49 aA	0,41 abA	0,37 bA	0,44 abAB	0,49 aA	0,44 a
6 - 10	0,49 aA	0,45 aA	0,39 aA	0,46 aA	0,44 aAB	0,45 a
11 - 20	0,35 bB	0,50 aA	0,33 bA	0,35 bB	0,38 bB	0,38 b
Média	0,44 a	0,45 a	0,36 a	0,42 a	0,44	0,42
Cu mg dm <sup>-3</sup>						
0 - 5	1,3	0,2	1,3	0,5	0,2	0,7 a
6 - 10	1,2	0,2	0,9	0,4	0,1	0,6 ab
11 - 20	1,0	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4 b
Média	1,2 a	0,2 b	0,9 a	0,4 b	0,2 b	0,6
Fe mg dm <sup>-3</sup>						
0 - 5	27,0 cA	111,0 bAB	132,0 bA	133,0 bA	165,0 aA	113,6 a
6 - 10	29,0 cA	122,0 aA	89,0 bB	95,0 bB	84,0 bB	83,8 b
11 - 20	26,0 cA	90,0 aB	58,0 bC	53,0 bC	49,0 bcC	55,2 c
Média	27,3 b	107,7 a	93,0 a	93,6 a	99,4 a	84,2
Mn mg dm <sup>-3</sup>						
0 - 5	3,5	0,8	0,6	1,3	0,5	1,4 a
5 - 10	3,3	0,5	0,4	0,9	0,3	1,1 ab
10 - 20	3,6	0,3	0,2	0,5	0,2	1,0 b
Média	3,5 a	0,5 c	0,4 c	0,9 b	0,3 c	1,2
Zn mg dm <sup>-3</sup>						
0 - 5	6,5 aA	0,9 bcA	1,6 bA	0,7 cA	0,5 cA	2,0 a
5 - 10	5,7 aA	0,6 bA	0,9 bAB	0,4 bA	0,3 bA	1,6 b
10 - 20	4,1 aB	0,3 bA	0,5 bB	0,2 bA	0,2 bA	1,1 c
Média	5,4 a	0,6 bc	1,0 b	0,4 c	0,3 c	1,6

As médias ausentes de letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade. TPI: Terra Preta de Índio; TM: Terra Mulata; MN: Mata Nativa; LC: Latossolo com cultura; e PL: Pastagem.

teores de C, que atua como complexante do Fe<sup>2+</sup>, que diminui expressivamente seus teores no solo.

Observou-se o alto teor de Mn disponível em solo de TPI, que se manteve na profundidade avaliada, sendo que nas outras áreas os níveis foram baixos e decresceram no perfil do solo. Os teores de Zn disponível foram altos em área de TPI no qual, partindo da MN, observa-se que a adição de material orgânico feita por índios, quando associado ao biocarvão, garante aumento considerável do Zn disponível, e as perdas que as áreas de TM, LC e PL obtiveram. Moreira et al. (2009) também verificaram aumento significativo da concentração de Zn na TPI, quando comparado com os solos representativos da Amazônia.

## 4 Conclusões

Os índices relacionados à melhor fertilidade do solo apresentaram-se mais adequados para o crescimento e desenvolvimento de plantas nos tratamentos de Terra Preta, Terra Mulata e mata nativa quando comparados aos tratamentos de lavoura e pastagem. É observado também o acréscimo de atributos químicos de maneira positiva nos solos com horizonte com A antrópico partindo da mata nativa como

referência e a degradação química nos solos de cultivo com cultura e pastagem.

## Referências

- ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 2, p. 574-582, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000300006>.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, K. O. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazonica*, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-8705200000200013>.
- CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

- COCHRANE, T.; SANCHEZ, L.; AZEVEDO, L.; PORRAS, J.; GARVER, C. *Land in Tropical America*. Brasília: CIAT; EMBRAPA-CPAC, 1985. 29 p.
- COSER, T. R.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; JANNUZZI, H.; MARCHÃO, R. L. Recuperação de carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo, sob consórcio milho-forrageiras, no Cerrado. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2012.
- CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 3, p. 895-908, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300020>.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 1, p. 85-93, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100009>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 2012 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 342 p.
- FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão havaí (*Carica papaya* L.). *Acta Amazonica*, v. 36, n. 4, p. 401-406, 2006.
- FALCÃO, N. P. S.; COMERFORD, N.; LEHMANN, J. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils: methodological challenges. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.). *Amazonian Dark Earths; origin, properties, managements*. 1. ed. Kluwer: Academic Publishers, Dordrecht, 2003. p. 255-270. [http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-2597-1\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_14).
- FALCÃO, N. P. S.; MOREIRA, A.; COMERFORD, N. B. A fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N., WOODS, W. (Eds.). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. 1. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 189-200.
- FRADE JUNIOR, E. F.; BRITO, E. S.; ORTEGA, G. P.; MATTAR, E. P. L. Neutralização química de acidez em solos sedimentares da Amazônia Ocidental, Acre. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, p. 1566-1572, 2013.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- LEMO, V. P.; MEIRELES, A. R. O.; FERNANDES, K. G.; MORAES, M. C.; COSTA, M. L.; SILVA, A. K. T.; KERN, D. C. Nutrients in Amazonian Black Earth from Caxiuana Region. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 22, n. 4, p. 772-779, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532011000400022>.
- MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S.; SANTOS, C. H.; VALADÃO, F. C. A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO. *Acta Amazonica*, v. 43, n. 1, p. 63-72, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000100008>.
- MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no Estado do Pará. *Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 3, p. 257-266, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.031>.
- MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. *Bragantia*, v. 66, n. 2, p. 307-315, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200015>.
- MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620903175371>.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 1, p. 1103-1110, 2004.
- MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W. G.; COIMBRA, G. M. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em terra preta de índio da Amazônia central. *Ciencia del Suelo*, v. 27, p. 127-134, 2009.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGA, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMMER, M. E. (Eds.). *Methods of soil analysis: Chemical methods*. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 961-1010.
- PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. *Scientia agricola*, v. 57, n. 3, p. 531-537, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000000300025>.
- SILVA JÚNIOR, C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.
- SILVA, A. K. T.; GUIMARÃES, J. T. F.; LEMOS, V. P.; COSTA, M. L.; KERN, D. C. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 4, p. 477-490, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000400005>.

**Contribuição dos autores:** Ederlon Moline realizou a amostragem do solo, análises laboratoriais, estatística e parte da escrita do trabalho; Edson Coutinho contribuiu com a escrita científica, revisão bibliográfica e gramatical do trabalho.

**Agradecimentos:** À FAPEAM (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

**Fontes de financiamento:** Não houve fonte de financiamento.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.