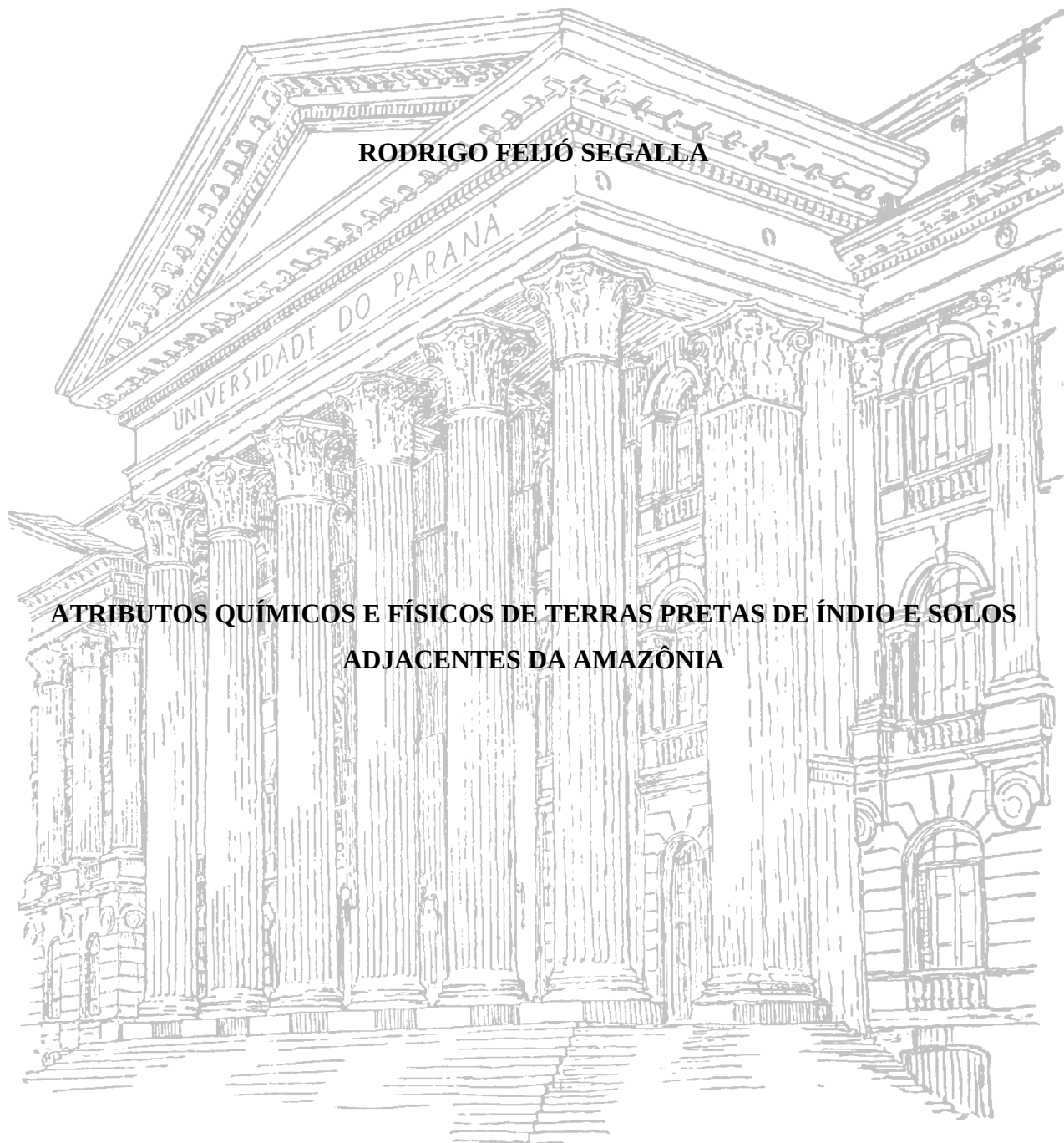


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RODRIGO FEIJÓ SEGALLA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE TERRAS PRETAS DE ÍNDIO E SOLOS
ADJACENTES DA AMAZÔNIA**



CURITIBA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RODRIGO FEIJÓ SEGALLA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE TERRAS PRETAS DE ÍNDIO E SOLOS
ADJACENTES DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. George Gardner Brown

Co-orientadora: Dra. Cláudia Maria Branco de Freitas Maia

Co-orientador: Dr. Luís Cunha

CURITIBA

2017



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **Rodrigo Feijó Segalla**, intitulada: **"Atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes"**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 26 de setembro de 2017,


Prof. Dr. George Gardner Brown, Presidente


Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira, 1º Examinador


Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta, 2º Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo;

À minha família, especialmente aos meus pais e irmão, que sempre me apoiaram na busca pelos meus sonhos;

Ao meu orientador, Dr. George Gardner Brown pela orientação, dedicação, paciência e principalmente pela amizade conquistada;

Ao Dr. Antônio Carlos Vargas Motta pela amizade, conselhos, sugestões e interesse em contribuir para o desenvolvimento deste projeto;

Aos meus co-orientadores, Dra. Cláudia Maia e Dr. Luís Cunha pela amizade e auxílio no desenvolvimento do trabalho;

Aos professores do departamento de pós-graduação em Ciência do Solo da UFPR, que passaram da forma mais clara possível os seus conhecimentos;

À Embrapa Florestas por ceder os laboratórios para o desenvolvimento das atividades;

Ao pessoal dos laboratórios pela amizade, boa convivência e boa vontade para ajudar;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio na forma de bolsa de mestrado e à Universidade Federal do Paraná;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Araucária e ao Fundo Newton pelo apoio financeiro para a realização das análises do solo;

Ao Msc. Gilvan Martins pela ajuda na coleta de amostras físicas e à toda equipe do projeto Terra Preta de Índio pela assistência em campo e principalmente pela amizade adquirida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. pH CaCl_2 (a), pH SMP (b), Al^{3+} (c) e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (d)	10
Figura 2. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. CTC (T) (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).....	11
Figura 3. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^+ (c) SB (d).	13
Figura 4. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Ba (a) e Cd (b).....	14
Figura 5. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. P (a), Zn (b) e Cu (c).....	16
Figura 6. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Pb (a) e Ni (b).....	17
Figura 7. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. C Total (a), N total (b), S total (c) e H (d).....	18
Figura 8. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba- AM. Argila (a), Silte (b).....	20
Figura 9. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).....	21
Figura 10. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Iranduba-AM. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$	23
Figura 11. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. pH CaCl_2 (a), pH SMP (b), Al^{3+} (c) e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (d).....	26
Figura 12. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. CTC (T) (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).....	27
Figura 13. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^+ (c) SB (d).....	29
Figura 14. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Ba (a) e Cd (b).....	30
Figura 15. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. P (a), Zn (b) e Cu (c).....	32
Figura 16. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Pb (a) e Ni (b).....	33

Figura 17. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. C Total (a), N total (b), S total (c) e H (d).....	35
Figura 18. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Argila (a) e Silte (b).....	37
Figura 19. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).....	38
Figura 20. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Belterra-PA. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$	40
Figura 21. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. pH CaCl_2 (a), pH SMP (b), Al^{3+} (c) e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (d).....	43
Figura 22. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. CTC potencial (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).....	44
Figura 23. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^+ (c) SB (d).....	46
Figura 24. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Ba (a) e Cd (b).....	47
Figura 25. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. P (a), Zn (b) e Cu (c).....	49
Figura 26. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Pb (a) e Ni (b).....	50
Figura 27. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. C Total (a), N total (b), S total (c) e H (d).....	52
Figura 28. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Argila (a) e Silte (b).....	54
Figura 29. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).....	55
Figura 30. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Porto Velho-RO. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$	57
Figura 31. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados nos 3 municípios. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização, identificação e sistema de uso do solo (Floresta antiga > 20 anos, Capoeira < 20 anos e Sistema agrícola das áreas estudadas na Amazônia Central Brasileira.....	4
Tabela 2. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Iranduba-AM, abril de 2015.....	9
Tabela 3. Média entre os tipos de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Iranduba-AM, 2016.....	22
Tabela 4. Média entre os sistemas de uso do solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Iranduba-AM, 2016.....	22
Tabela 5. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Belterra-PA, maio de 2015.....	24
Tabela 6. Média entre os tipos de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Belterra-PA, 2016.....	39
Tabela 7. Média entre os sistemas de uso de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Belterra-PA, 2016.....	39
Tabela 8. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Porto Velho-RO, março de 2016.....	41
Tabela 9. Média entre os tipos de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Porto Velho-RO, 2016.....	56
Tabela 10. Média entre os sistemas de uso de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Porto Velho-RO, 2016.....	56
Tabela 11. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 0-10 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.....	74
Tabela 12. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 10-20 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.....	75
Tabela 13. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 20-30 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.....	76

Tabela 14. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 30-60 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.....	77
Tabela 15. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 60-90 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.....	78
Tabela 16. Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica.....	79
Tabela 17. Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes.....	79
Tabela 18. Classificação da leitura do pH do solo em água e em cloreto de cálcio.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADJ	Adjacente
AGR	Agrícola
CHNS	Analizador elementar C-H-N-S
CTC	Capacidade de troca de cátions
DA	Densidade aparente
FLA	Floresta antiga
CAP	Capoeira
ICP	Espectometria de emissão óptica por plasma
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
TPI	Terra Preta de Índio
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
VTP	Volume total de poros

SUMÁRIO

SUMÁRIO	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	3
2.2 PREPARO DA ÁREA	3
2.3 PREPARO DO SOLO	4
2.4 ANÁLISES QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO	5
2.4.1 Análise de rotina química	5
2.4.2 Carbono Total, Hidrogênio, Nitrogênio Total, Enxofre Total (CHNS)	5
2.4.3 Espectometria de emissão óptica por plasma – ICP	6
2.4.4 Granulometria.....	6
2.5 ANÁLISES FÍSICAS	6
2.5.1 Densidade Aparente.....	6
2.5.2 Porosidade Total	7
2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	7
3.RESULTADOS	8
3.1 IRANDUBA-AM	8
3.1.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles	8
3.1.2 Níveis de fertilidade.....	8
3.1.3 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figuras 1 e 2).	8
3.1.4 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmio (Figuras 3 e 4).....	12
3.1.5 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 5 e 6).	14

3.1.6 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 7).	15
3.1.7 Granulometria do solo (Figuras 8 e 9).....	19
3.1.8 Densidade aparente e Porosidade	22
3.2 BELTERRA-PA	24
3.2.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles	24
3.2.2 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figura 11 e 12)	25
3.2.3 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmio (Figuras 13 e 14).....	28
3.2.4 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 15 e 16)	30
3.2.5 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 17)	33
3.2.6 Granulometria do solo (Figuras 18 e 19).....	36
3.2.7 Densidade aparente e Porosidade	39
3.2.8 Análise de Componentes Principais (Figura 20)	39
3.3 PORTO VELHO-RO.....	41
3.3.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles	41
3.3.2 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figuras 21 e 22) ...	42
3.3.3 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmio (Figuras 23 e 24).....	45
3.3.4 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 25 e 26)	47
3.3.5 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 27)	50
3.3.6 Granulometria do solo (Figuras 28 e 29).....	53
3.3.7 Densidade aparente e Porosidade	56
4. DISCUSSÃO	60
4.1 GRUPO 1- ACIDEZ ATIVA, ACIDEZ TROCÁVEL, ACIDEZ POTENCIAL, CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA POTENCIAL (T), SATURAÇÃO POR BASES (V%) E SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (m%)	60

4.2 GRUPO 2- BASES TROCÁVEIS (Ca^{2+} Mg^{+} , K^{+}), SOMA DE BASES (SB), BÁRIO E CÁDMIO.....	62
4.3 GRUPO 3- FÓSFORO, ZINCO, COBRE, CHUMBO, NÍQUEL	64
4.4 GRUPO 4- CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE TOTAL E HIDROGÊNIO.....	65
4.5 GRANULOMETRIA DO SOLO	66
4.6 DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE.....	67
5. CONCLUSÃO.....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
7. ANEXOS	74

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE TERRAS PRETAS DE ÍNDIO E SOLOS ADJACENTES DA AMAZÔNIA ¹

RESUMO

Os solos de terra firme, tais como os solos da Amazônia são altamente intemperizados e normalmente apresentam baixo conteúdo de nutrientes. Entretanto, as Terras Pretas de Índio (TPI), de origem pré-colombiana, são diferentes dos solos naturais da Amazônia (Latossolos, Argissolos, outros), por apresentarem coloração escura, fragmentos de cerâmica, alto teor de matéria orgânica, elevado pH, baixa saturação por alumínio, alta capacidade de troca catiônica, alta concentração de nutrientes, como Fósforo, Cálcio e Magnésio trocáveis, Zinco e Cobre, entre outros. Como parte de meu projeto internacional sobre a biodiversidade do solo em TPI's, foram coletadas mais de 450 amostras de solos de 05 profundidades (0-10; 10-20; 20-30; 30-60 e 60-90 cm) em três municípios da Amazônia brasileira: Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO. Analisaram-se os aspectos químicos: pH (CaCl₂); pH (SMP); Al³⁺; H⁺+Al³⁺; CTC (T); V(%); m(%); Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺; SB; P disponível; Ba, Cd, Zn, Cu, Pb, Ni, C, N e S total, H⁺ e físicos: Argila; Silte; Areia grossa; Areia fina; Areia total; Densidade aparente; Porosidade de solos antrópicos e adjacentes para determinar a fertilidade desses solos e estipular o efeito da cobertura vegetal sobre esses atributos. Foram selecionados três sistemas de uso do solo, sendo eles: área de vegetação nativa, classificada como florestas antigas (> 20 anos) e capoeiras (< 20 anos) e sistemas agrícolas, sendo em Iranduba-AM o cultivo de milho, em Belterra-PA o cultivo de soja e pastagem em Porto Velho-RO. Os resultados mostraram que para o município de Iranduba-AM, dos 30 atributos avaliados, apenas o Pb e Silte não tiveram diferença significativa entre TPI e solos naturais, na camada de 0-90 cm. Para Belterra-PA, o K⁺, H⁺, S total, densidade aparente, porosidade e umidade não tiveram diferença estatística entre os tratamentos e em Porto Velho-RO, os teores de N e C total, areia grossa, areia total, densidade aparente, porosidade e umidade não se diferenciaram entre si, ao longo do perfil avaliado. O efeito vegetação foi representativo 2/3 dos atributos avaliados para os municípios de Iranduba-AM e Belterra-PA.

Palavras-chave: Terra Preta de Índio, Fertilidade do solo, Uso do solo

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. (80 f.). Setembro, 2017.

CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF AMAZONIAN DARK EARTHS AND ADJACENT SOILS²

ABSTRACT

Firm earth soils, such as Amazonian soils are highly weathered and, therefore, normally have low nutrient content. However, Amazonian Dark Earth (TPI), of pre-Columbian origin, are different from the natural soils of the Amazon region (Latosols, Argisols, others), because they have dark coloration, ceramic fragments, high organic matter content, elevated pH, low aluminum saturation, high cation exchange capacity, high concentration of nutrients, such as exchangeable Phosphorus, Calcium and Magnesium, Zinc and Copper, among others. As part of my international project on soil biodiversity in TPI's, more than 450 samples of soil from 05 depths of 0-10, 10-20, 20-30, 30-60 and 60-90 cm were collected in three municipalities of the Brazilian Amazon region: Iranduba-AM, Belterra-PA and Porto- Velho-RO. The chemical aspects were analyzed: pH (CaCl₂); pH (SMP); Al³⁺; H⁺+Al³⁺ ; CTC (T); V (%); m (%); Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺; SB; P available; Ba, Cd, Zn, Cu, Pb, Ni, C, N and S total, H and physical: Clay; Silte; Coarse sand; Thin sand; Total sand; Apparent density; Porosity of anthropic and adjacent soils to determine the fertility of these soils and stipulate the effect of vegetation cover on these attributes. Three systems of land use were selected: native vegetation, classified as old forests (> 20 years), capoeiras (<20 years) and agricultural systems, being the cultivation of maize in Iranduba-AM, soybean in Belterra -PA and pasture in Porto Velho-RO. The results showed that for the municipality of Iranduba-AM, out of the 30 attributes evaluated, only Pb and Silte had no significant difference between TPI and natural soils, in the 0-90 cm layer. For Belterra-PA, total K +, H +, S, apparent density, porosity and moisture did not have statistical difference between treatments and in Porto-Velho-RO, total N and C contents, coarse sand, total sand, apparent density , porosity and humidity did not differ along the evaluated profile. The vegetation effect was representative of 2/3 of the evaluated attributes for the municipalities of Iranduba-AM and Belterra-PA.

Keywords: Amazonian Dark Earth, Fertility of soil, Use of soil

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (80 f.). September, 2017.

1. INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é considerada a maior floresta tropical em extensão e a maior reserva de biodiversidade do planeta (Hoorn e Wesselingh, 2010), com aproximadamente 60 % do território nacional, INPE (2003), ocupando 5,1 milhões de km². O clima é distribuído de maneira a caracterizar duas épocas distintas: seca e chuvosa, sendo equatorial úmido e sub-úmido. A Bacia Amazônica inclui ambientes distintos com uma variedade de condições climáticas e solos (Quesada et al., 2010), comumente dividida em solos de terra firme e várzeas.

Atualmente sabe-se que a floresta amazônica (terra firme) se mantém graças a ciclagem de nutrientes altamente eficiente, proveniente da decomposição da liteira (camada formada pela deposição e acúmulo de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição) da própria floresta (Luizão e Schubart, 1987).

Os solos da Amazônia apresentam boas características físicas, mas, na sua maioria, são solos ácidos, pobres em nutrientes e bastante intemperizados (Sioli, 1991). Devido ao tipo de exploração que freqüentemente ocorre nesses solos, iniciando-se com a derrubada e posterior queima da floresta para a produção agrícola ou pecuária, o empobrecimento se dá principalmente em função da perda da matéria orgânica (Fearnside, 1996). As principais limitações de fertilidade dos solos da Amazônia são: acidez elevada, deficiência de P, baixa capacidade de troca de cátions e deficiência de N, K⁺, S, Ca²⁺, Mg²⁺, B, Cu e Zn, (Falcão e Silva, 2004). Entre os principais solos da região amazônica estão os Latossolos distróficos e álicos, que ocupam aproximadamente 40 % da Amazônia e os Argissolos distróficos com 29 % seguidos de Plintossolos com 7,5 %. Essas três classes de solos ocupam cerca de 77 % de sua área total (Rodrigues, 1996; Schroth et al., 1998). Outras classes de solos também estão presentes na planície amazônica, como Gleissolos, Cambissolos e outros, porém, em menor percentual.

A floresta amazônica, ao longo do tempo, passou por uma ocupação e modificação humana, portanto, não é uma floresta intocada (Heckenberger et al., 2007, Arroyo-Kalin 2012, Carson et al.; 2014). Devido à ampla presença de populações na região amazônica historicamente, houve uma forte contribuição humana sobre a formação da floresta atual (Balée e Erickson 2006, Heckenberger et al., 2007).

A Terra Preta de Índio (TPI) é um solo especial, de origem antrópica, presente na Amazônia (Woods e McCann, 1999). Segundo Pabst (1991), são solos com grandes alterações texturais em razão da colonização humana antiga. Contudo, Smith (1980), Eden et

al., (1984) e Kern e Kämpf (1989) definiram estes solos com horizonte A apresentando coloração escura, restos de material arqueológico (artefatos cerâmicos e líticos) e alta concentração de nutrientes como Ca, Mg, Zn, Mn, P e C orgânico. Segundo Kern et al., (2003), TPI's são manchas de solos altamente férteis e ocorrem em toda a bacia Amazônica em áreas de florestas secundárias. São caracterizadas pela presença de horizonte A antrópico, originado pelas atividades de populações pré-Colombianas que, de forma intencional ou não, geraram solos com altos teores de matéria orgânica (Ranzani, 1980; Chauvel et al., 1987; Glaser et al., 2002; Woods, 2003).

Os principais argumentos para a origem humana são a abundância de artefatos cerâmicos com a alta quantidade de carvão vegetal. Contudo, acredita-se que estes solos não tiveram origem intencional, a partir do depósito e decomposição de material de origem vegetal e animal, descartados no solo pelas populações pré-colombianas (Kern e Kämpf, 1989). Segundo a SBCS, no manual de classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 1999), as TPI's, são solos que possuem Horizonte A antrópico (horizonte superficial alterado através das atividades humanas), originado pelas atividades de populações pré-colombianas há aproximadamente 5000 a 500 anos antes a chegada dos europeus, e geralmente se caracterizam por apresentar grande quantidade de artefatos cerâmicos, fragmentos líticos e restos de fogueiras, entre outros (Neves et al., 2003; Woods, 2003).

A dimensão das manchas de TPI's na Amazônia pode variar a mais de 100 ha (Winklerprins e Aldrich, 2010) e, por terem tido adição de materiais orgânicos e restos animais, possuem maiores teores de fósforo e cálcio disponível (pela adição de ossos animais), mais nitrogênio (Lehmann et al., 2003), e maiores concentrações de carvão e carbono pirogênico (Glaser et al., 2003) do que os Argissolos e Latossolos circundantes (Falcão et al., 2009).

As TPI's compõem sistemas naturais de maior poder de absorção de carbono, sendo os solos que mais estocam carbono na forma de carvão. Assim, as TPI's vêm sendo vistas como um modelo para uma agricultura sustentável, não somente na Amazônia, mas também em outros locais do mundo (Glaser e Birk, 2012). As TPI's vêm sendo estudadas principalmente e progressivamente para desenvolver agricultura tanto de subsistência quanto comercial e, portanto, o manejo desses solos é essencial para apresentar sustentabilidade.

No contexto de um estudo mais amplo sobre a fauna edáfica como reguladora de processos biogeoquímicos e a formação da TPI's (Cunha et al., 2016), se desenvolveu esse projeto, visando caracterizar os atributos químicos e físicos de solos antrópicos e adjacentes

em nove locais da Amazônia, determinar a fertilidade desses solos, e avaliar o efeito da cobertura vegetal. A hipótese deste trabalho é que existem diferenças significativas nos aspectos químicos e físicos de solos de TPI quando comparados aos seus respectivos solos adjacentes, devido ao maior acúmulo de materiais orgânicos ricos em nutrientes e determinar o efeito da cobertura vegetal em diferentes regiões da Amazônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

O estudo foi conduzido em três municípios da Amazônia Brasileira: Iranduba – AM, Belterra – PA e Porto Velho – RO. O clima destas regiões é classificado como tropical, tipo Am e Af, segundo Koppen (Alvarez et al., 2013). A temperatura média é de 24°C e a precipitação entre 2000 e 2280 mm ano. Foram selecionados três sistemas terrestres de uso da terra, sendo eles: Vegetação nativa (Floresta Ombrófila densa secundária) antiga (> 20 anos); Capoeira (Floresta Ombrófila densa) recente (< 20 anos) e agro ecossistemas, sendo em Iranduba o cultivo de milho, em Belterra o cultivo de soja, e em Porto Velho uma pastagem (Tabela 1). Os cultivos de milho e soja foram implantados nas áreas há 4 e 8 anos, respectivamente. A calagem foi realizada com o preparo do solo para ambas as culturas, em torno de 3 meses anterior ao plantio. Em Porto Velho, o pasto foi estabelecido há 9 anos com a espécie forrageira Bahiagrass cv. Pensacola.

Para cada sistema foram avaliadas áreas com Terra Preta de Índio (TPI) e solos adjacentes perto das TPI's (< 2 km), usados como solo “testemunha”. As amostragens foram feitas em abril e maio de 2015 (Iranduba e Belterra), e março de 2016 (Porto Velho).

2.2 PREPARO DA ÁREA

A demarcação dos pontos de coleta de solos, foi feito em forma de X, com 4 pontos nas extremidades, 60 m entre si e um ponto central. Retiraram-se monólitos de solo de 25x25 cm quadrados até a profundidade de 30 cm, seguindo o método de coleta manual da macrofauna do solo descrita em Anderson e Ingram (1993), também conhecido pelo método do Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF). Após a triagem manual da fauna

edáfica, foram retiradas amostras de aproximadamente 2 kg de solo de cada camada (0-10, 10-20, 20-30 cm), de cada um dos monólitos, e foi realizada a tradagem com trado holandês até a profundidade de 90 cm, retirando o solo em duas camadas (30-60 e 60-90 cm).

Tabela 1. Localização, identificação e sistema de uso do solo (Floresta antiga > 20 anos, Capoeira < 20 anos e Sistema agrícola das áreas estudadas na Amazônia Central Brasileira.

Região	Estado	Área	Tipo de Solo	Sistema de Uso	Código/área	Longitude	Latitude	Altitude
Irاندوبا	AM	Lago Grande	Adjacente	Capoeira	CAP	3,22644825	60,27353	45
Irاندوبا	AM	Lago Grande	TPI	Capoeira	CAP	3,22998007	60,26858	41
Irاندوبا	AM	Lago Grande	Adjacente	Agricultura	AGR	3,22510531	60,27462	42
Irاندوبا	AM	Lago Grande	TPI	Agricultura	AGR	3,22986023	60,26854	60
Irاندوبا	AM	Caldeirão	Adjacente	Floresta antiga	FLA	3,24698705	60,22477	46
Irاندوبا	AM	Caldeirão	TPI	Floresta antiga	FLA	3,25223615	60,22939	50
Belterra	PA	Maguari	Adjacente	Floresta antiga	FLA	2,7840951	54,99852	168
Belterra	PA	Maguari	TPI	Floresta antiga	FLA	2,78328213	55,0013	126
Belterra	PA	Embrapa	Adjacente	Floresta antiga	FLA	2,6871492	54,91719	148
Belterra	PA	Embrapa	TPI	Floresta antiga	FLA	2,68487079	54,91834	142
Belterra	PA	Embrapa	Adjacente	Agricultura	AGR	2,68479013	54,91995	145
Belterra	PA	Embrapa	TPI	Agricultura	AGR	2,68480696	54,91895	144
Porto Velho	RO	Teotônio	Adjacente	Agricultura	AGR	8,87682241	64,0661	121
Porto Velho	RO	Teotônio	TPI	Agricultura	AGR	8,86589153	64,06102	106
Porto Velho	RO	Teotônio	Adjacente	Capoeira	CAP	8,86987362	64,05461	117
Porto Velho	RO	Teotônio	TPI	Capoeira	CAP	8,86431666	64,06301	131
Porto Velho	RO	Santa Paula	Adjacente	Capoeira	CAP	8,84721354	64,0668	118
Porto Velho	RO	Santa Paula	TPI	Capoeira	CAP	8,85071345	64,06786	105

Portanto, foram coletadas amostras de solos em 05 profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-60 e 60-90 cm), em três TPI's e solos adjacentes em Irاندوبا, três TPI's e solos adjacentes em Porto Velho, e três TPI's e solos adjacentes em Belterra. Quando não foi possível coletar solo até 90 cm de profundidade, devido por exemplo à presença de petroplintita, considerou-se a camada até onde foi possível coletar solo. No total, foram realizados mais de 80 tradagens até 90 cm e coletaram-se 434 amostras de solo, sendo elas, 0-10 cm (90 amostras); 10-20 cm (90 amostras); 20-30 cm (89 amostras); 30-60 cm (89 amostras); 60-90 cm (76 amostras).

2.3 PREPARO DO SOLO

As amostras foram secas em estufa (60°) por um período de sete dias e passadas em peneira de 2 milímetros para homogeneização. Os resíduos vegetais residuais mais grosseiros (raízes, folhas, sementes e galhos) foram retirados manualmente. Após o preparo, os solos

foram transferidos para potes de plástico de 500g individualmente identificados e armazenados na soloteca da Embrapa Florestas, no município de Colombo – PR.

2.4 ANÁLISES QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

Foram determinados os seguintes parâmetros químicos seguindo os métodos da Embrapa (2011): pH em CaCl_2 , pH SMP, Alumínio trocável (Al^{3+}), Acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), Fósforo disponível (P), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Potássio (K^+), Carbono Total (C), Nitrogênio Total (N), Enxofre Total (S), Hidrogênio (H). Além desses parâmetros, também se determinou a Granulometria (areia grossa, areia fina, areia total, silte e argila), Densidade aparente (DA) e Porosidade total (VTP %).

2.4.1 Análise de rotina química

As análises de rotina foram realizadas na Embrapa Florestas e no Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná. A determinação do pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, foi realizado a partir método com o volume reduzido de solo e potenciômetro multi-eletrodo. O Alumínio trocável (Al^{3+}) foi extraído com solução KCl 1 mol L^{-1} e quantificado por titulometria com solução NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. Para a acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) o solo foi extraído com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 e $\text{H}+\text{Al}$ quantificado por titulometria com solução NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O fósforo disponível (P) foi determinado pelo método de extração com a solução de Mehlich-1, cálcio e magnésio (Ca^{2+} e Mg^{2+}), extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} e potássio (K^+) extraído com solução HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por fotometria de chama.

Usando os resultados das análises anteriores, foi calculado a soma de bases (SB) = $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$, capacidade de troca de cátions (T) = $\text{SB} + \text{Al} + \text{H}$, saturação por bases ($\text{V}\%$) = 100 S/T e saturação por alumínio ($\text{m}\%$) = 100 Al/S+Al , conforme Embrapa (2011).

2.4.2 Carbono Total, Hidrogênio, Nitrogênio Total, Enxofre Total (CHNS)

As amostras foram moídas no moinho mecânico e passadas em malha de $212 \mu\text{m}$ até que todos os grãos de areia passassem pela malha, encapsulados em folha de estanho e realizada combustão a 925°C , usando o analisador elementar Perkin Elmer CHNS-O Analyser series II na Embrapa Florestas.

2.4.3 Espectrometria de emissão óptica por plasma – ICP

Os elementos traços (Zinco, Cobre, Selênio, Cobalto, Níquel, Cádmio, Chumbo e Bário) foram analisados pelo ICP-EOS no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Paraná, departamento de Solos e Engenharia Agrícola.

Foram utilizados frascos, tubos, cones, béqueres e ponteiros de material plástico, teflon e polipropileno, todos previamente imersos numa solução de 5% de HCl por 5 horas e lavados com água purificada a partir de osmose reversa, sendo o último enxágüe com água padrão ultrapura ($18,2 \text{ m}\Omega \text{ cm}^{-1}$). Depois de lavados, os materiais foram secados em estufa a 40°C . Todos os reagentes químicos utilizados no trabalho foram de alto grau analítico, padrão ACS ISO. Usaram-se os materiais de referência padrão - SRM 2710a da National Institute of Standards and Technology – NIST.

Secaram-se os solos em estufa a 40°C por um período de 12 horas. Porções de cerca de 0,25 g (solo TPI) e 0,50 g (solo adjacente) das amostras de solo foram pesadas e transferidas para tubos de teflon, específicos para o forno de micro-ondas. Em seguida, as amostras foram submetidas à digestão ácida, utilizando 9ml do ácido nítrico P.A e 3 ml de ácido clorídrico P.A e realizadas em forno micro-ondas.

2.4.4 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada após 16 horas de agitação mecânica e dispersão química com solução NaOH $0,1 \text{ mol}^{-1}$. A argila dispersa em água foi realizada por meio de agitação mecânica e água destilada. A fração areia foi separada em peneiras de 2,00 – 0,20 mm (areia grossa) e de 0,20 – 0,05 mm (areia fina). Em seguida, essas foram secas em estufa e pesadas em balança eletrônica. O teor de argila foi determinado usando o método da pipeta segundo Embrapa (2011).

2.5 ANÁLISES FÍSICAS

2.5.1 Densidade Aparente

A densidade aparente da camada 0-5 cm do solo foi avaliada usando anéis de volume conhecido, que foram retirados da área adjacente a cada monólito de solo. Cilindros de metal de 5 cm de diâmetro foram cuidadosamente inseridos na superfície do solo, após a retirada da

liteira, embalados e levados até o laboratório, onde o solo foi secado a 105 °C por 48 h. Para o cálculo da densidade aparente, seguiu-se o método Embrapa (2011).

$$\text{Densidade aparente (g / cm}^3\text{)} = a / b$$

a = peso da amostra seca a 105°C (g)

b = volume do anel ou cilindro (cm³)

2.5.2 Porosidade Total

A porosidade total do solo foi determinada conforme o método da Embrapa (2011), no qual:

$$(1) \text{ Porosidade total} = 100 (a - b) / a$$

a = densidade real

b = densidade aparente

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os dados foram tabulados e as médias, desvios padrão e intervalos de confiança (a 95 % de probabilidade) determinados para cada atributo avaliado. As características químicas e físicas dos solos foram submetidas à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o programa Statistica v.10.0 StatSoft, Inc (2011). Os dados foram testados para a normalidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors e para os dados não normais foram feitas transformações dos dados (log n, raiz e raíz cúbica). Foram realizadas Análises de Componentes Principais (ACP's) usando o software R e as diferenças foram avaliadas à 0.001 nível de probabilidade de significância.

3.RESULTADOS

3.1 IRANDUBA-AM

3.1.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles

A maioria dos atributos avaliados apresentou diferença significativa dependendo do tipo de solo do local (adjacente=ADJ vs. TPI). Apenas Pb e silte não tiveram diferença significativa entre o solo adjacentes e TPI. Já o efeito do tipo de cobertura vegetal (floresta antiga, jovem e agricultura) foi significativo para 67% dos atributos avaliados.

Os elementos traços (Bário, Cobre, Cádmio, Chumbo, Níquel e Zinco) são teores totais. Selênio e Cobalto ficaram abaixo do limite de codificação do ICP.

Vale a pena ressaltar que alguns dos principais elementos afetados na gênese das TPI's não foram significativamente influenciados pelo tipo de vegetação, isto é: pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, C e N total. A interação entre o tipo de solo e vegetação foi significativa para apenas 40 % dos atributos avaliados. Esses foram principalmente os elementos integradores da fertilidade do solo, ou seja, pH, SB, V %, m %, CTC, DA e porosidade.

3.1.2 Níveis de fertilidade

Os níveis de fertilidade foram avaliados através de Ribeiro et al., (1999) (Tabela 16 e 17 em anexos) e Thomé Jr. (1997) (Tabela 18).

3.1.3 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figuras 1 e 2).

Os valores de pH (CaCl_2) nos primeiros 10 cm nas Terras Pretas variaram de 3,94 a 5,54, considerados muito alto e médio, respectivamente. Nos solos adjacentes foram encontrados valores de 3,45 a 3,83. Em profundidade (60-90cm) os teores variaram de 4,03 a 4,68 nas Terras Pretas e 3,86 a 4,13 nos solos naturais. Observa-se que a acidez trocável (Al^{3+}) apresentou valores que variaram de 0,24 a 3,20 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,04 a 1,55 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para os solos adjacentes e terra preta, respectivamente, nas camadas mais superficiais do solo (0-20cm). O sistema de uso de terra capoeiras – adjacentes (CAP-ADJ) foi o único a apresentar média superior a 3 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas camadas mais profundas. Esse sistema

apresentou a maior média (14,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de acidez potencial na camada de 0-10 cm entre os sistemas, enquanto que a floresta jovem – TPI retratou metade deste valor (7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Para as demais profundidades, os valores se apresentaram semelhantes.

Os sistemas de uso agrícola (AGR-TPI) e (CAP-TPI) apresentam os maiores valores de CTC nas camadas mais superficiais, 18,9 e 17,1 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente e esses valores decresceram em maior profundidade.

Os três sistemas (AGR, FLA e CAP) adjacentes apresentam os menores valores de saturação por bases, onde 16% é o valor máximo encontrado na camada mais superficial do solo (0-10). O valor médio foi de 59% na mesma camada avaliada. Os valores de saturação por alumínio foram menores nas TPI's que nos solos adjacentes.

Tabela 2. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Iranduba-AM, abril de 2015.

Atributo	Valor F	Solo	Vegetação	Interação
pH (CaCl ₂)	249	p< 0,001	-	-
pH (SMP)	15	p< 0,002	p< 0,001	p< 0,001
Al ³⁺	4	p< 0,001	p< 0,030	-
H+Al ³⁺	11	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
Ca ²⁺	634	p< 0,001	-	-
Mg ²⁺	85	p< 0,001	-	-
K ⁺	13	p< 0,001	-	-
SB	8	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
CTC	5	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,010
P	1473	p< 0,001	-	-
NT	2	p< 0,020	-	-
CT	6	p< 0,020	-	-
H	92	p< 0,001	p< 0,001	-
ST	9	p< 0,001	p< 0,010	p< 0,001
V%	9	p< 0,001	p< 0,040	p< 0,001
m%	6	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,003
Ba	14	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
Cd	11	p< 0,001	p< 0,006	p< 0,001
Cu	7	p< 0,001	p< 0,002	-
Ni	125	p< 0,001	-	-
Pb	20	-	p< 0,001	p< 0,001
Zn	11	p< 0,001	p< 0,001	-
Argila	17	p< 0,001	p< 0,001	-
Areia grossa	61	p< 0,002	p< 0,001	-
Areia fina	3	p< 0,001	p< 0,050	-
Areia total	31	p< 0,001	p< 0,001	-
Silte	22	-	p< 0,001	-
DA	24	p< 0,050	-	p< 0,001
VTP (%)	27	p< 0,040	-	p< 0,001

SB: Soma de Bases; CTC a pH 7,0; NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; DA: Densidade Aparente; VTP (%): Volume Total de Poros; (-): não significativo.

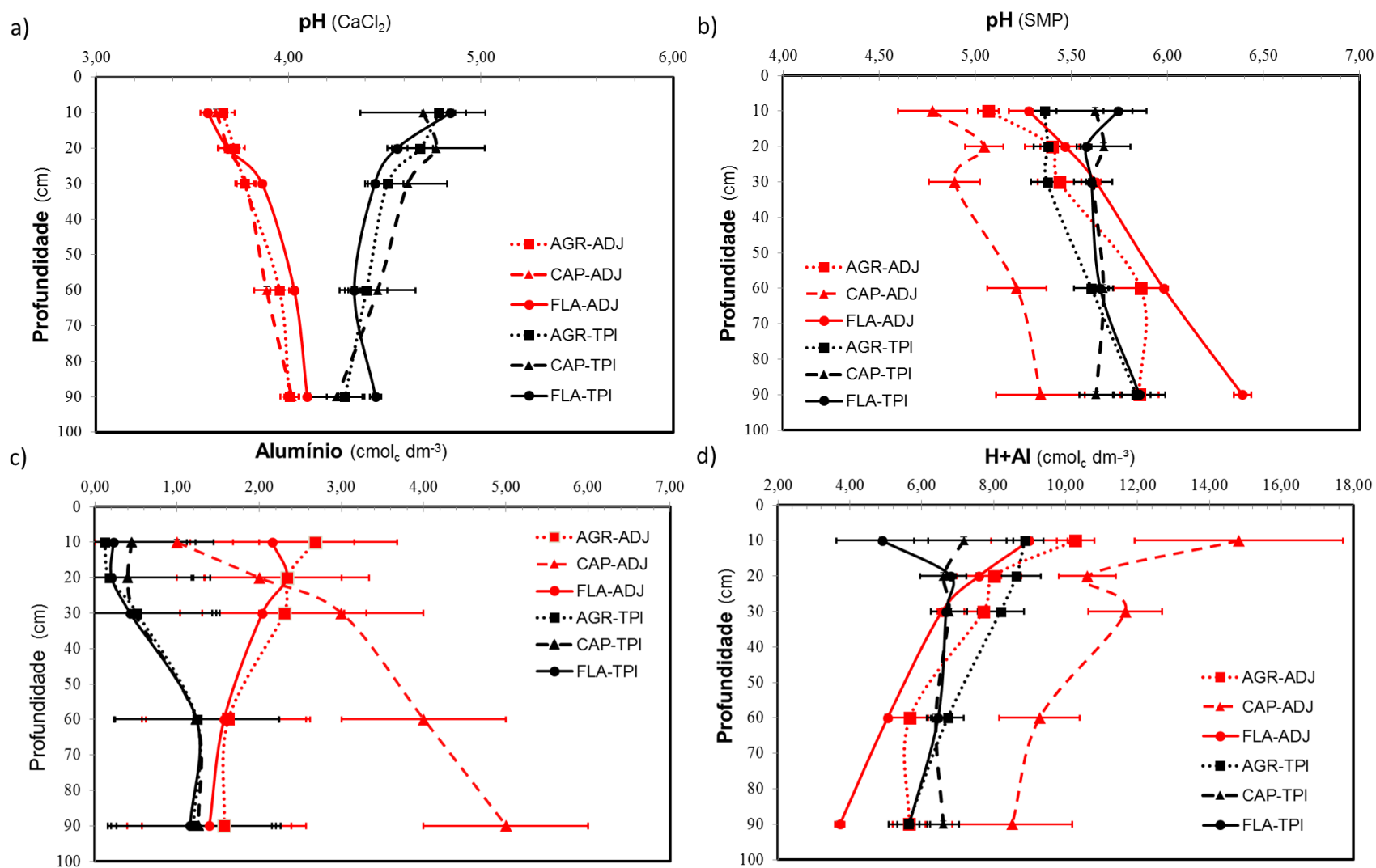


Figura 1. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. pH CaCl₂ (a), pH SMP (b), Al³⁺ (c) e H⁺ + Al³⁺ (d).

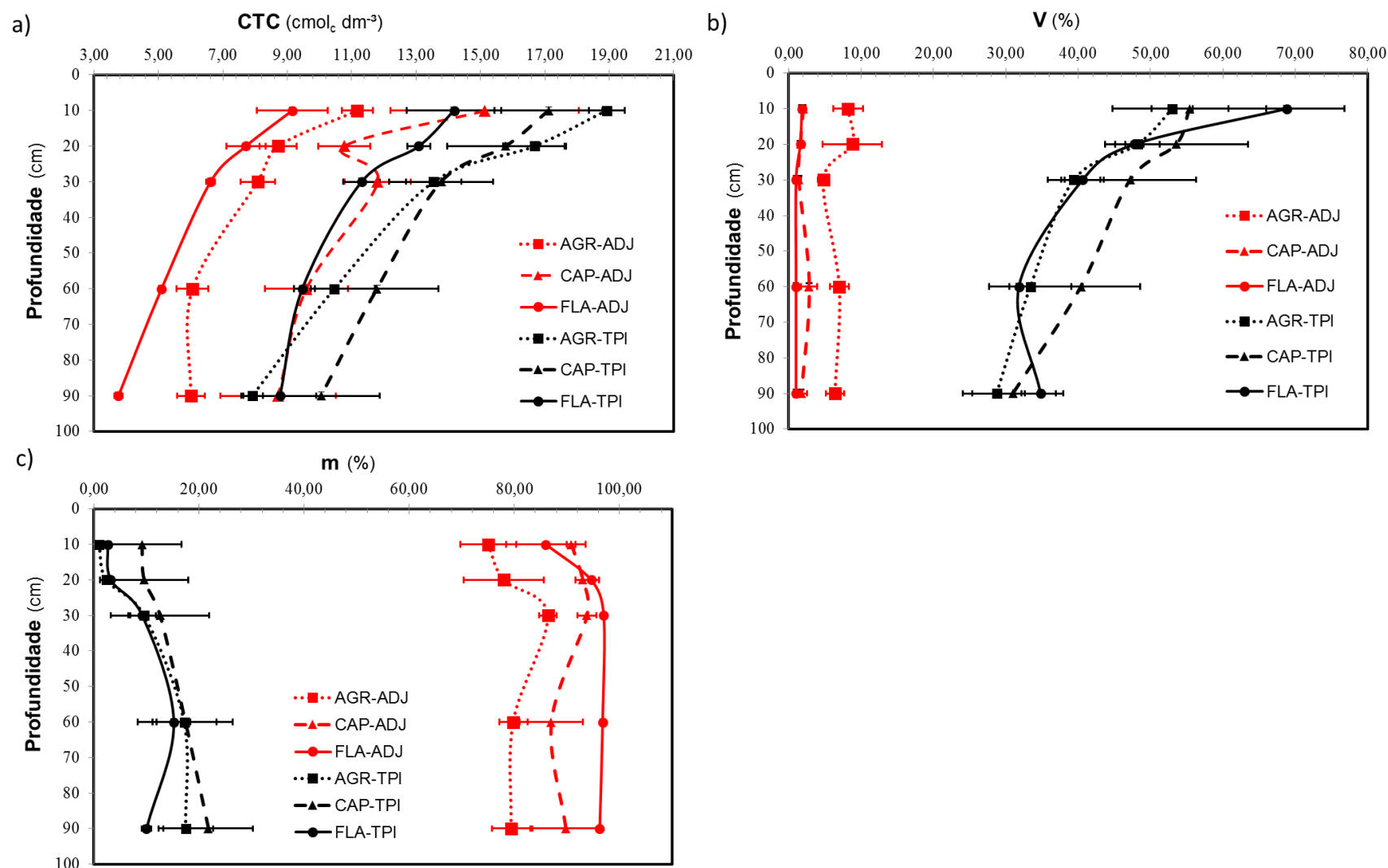


Figura 2. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. CTC (T) (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).

3.1.4 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmio (Figuras 3 e 4).

Os teores de Cálcio na Terra Preta variaram de 2,29 a 14,80 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade 0-10 cm e 1,23 a 7,61 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 60-90cm, enquanto que nos solos naturais, os valores diversificaram entre 0,05 a 1,50 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,03 a 0,50 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas camadas 0-10 e 60-90 cm, respectivamente.

O sistema agrícola (AGR-TPI) foi o que apresentou maior média no teor de magnésio na profundidade de 0-10 cm (0,96) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Em profundidade, para todos os sistemas de uso, o teor de Magnésio foi inferior a 0,20 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os teores de potássio encontrados são considerados baixos a médios. A maior média encontrada foi de 0,13 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na AGR-TPI. Ocorre um decréscimo no teor com o aumento da profundidade, pois o nutriente é percolado facilmente no perfil.

Como era de se esperar, a Terra Preta foi a que apresentou maiores valores de soma de bases em todas as profundidades avaliadas, devido à maior participação dos cátions básicos nesses sistemas.

Os teores de Bário totais na Terra Preta variaram de 1,56 a 47,12 (mg/kg) na camada 0-10 cm e 3,97 a 77,12 (mg/kg) na camada mais profunda 60-90 cm. No solo adjacente, os teores variaram de 0,44 a 3,15 (mg/kg) e 0,15 a 2,78 (mg/kg) nas camadas 0-10 e 60-90 cm, respectivamente. O teor médio na Terra Preta foi de 35,37 (mg/kg) na camada 10-20 cm e 34,94 (mg/kg) na camada 20-30 cm.

O Cádmio, na camada 0-10 cm, a maior média (0,52 mg/kg) apresentou-se na AGR-TPI enquanto que no sistema AGR-ADJ a média cai para a metade (0,27). Esses teores totais se mantêm constantes com o aumento da profundidade e definitivamente caem na profundidade de 60-90 cm, onde a maior média encontrada é de 0,34 (mg/kg) no sistema agrícola – adjacente.

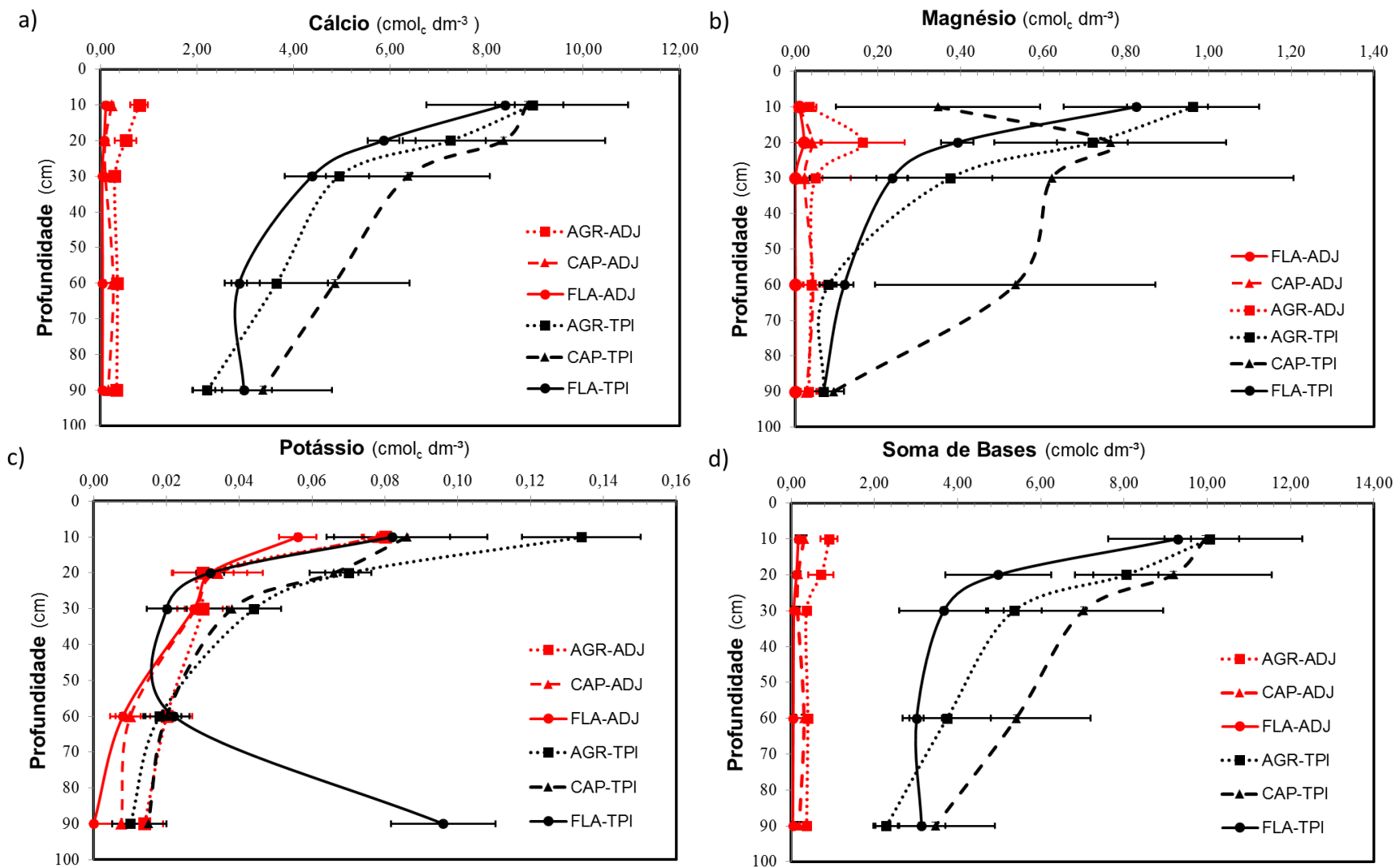


Figura 3. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^{+} (c) e SB (d).

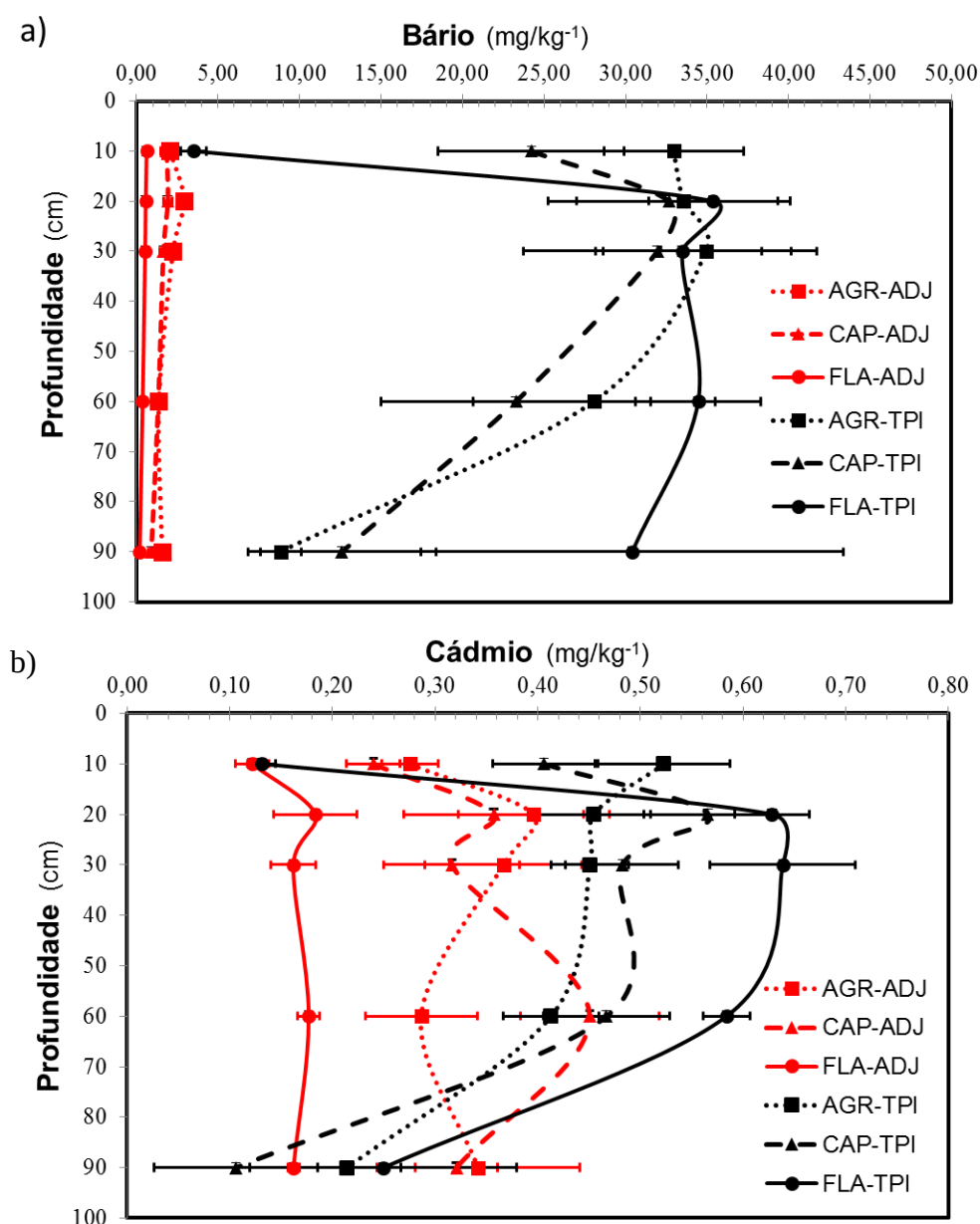


Figura 4. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Ba (a) e Cd (b).

3.1.5 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 5 e 6).

As Terras Pretas apresentaram teores muito elevados de P disponível (Mehlich-1), atingindo o valor máximo (2034 mg/dm³) na camada 30-60 cm. Na camada 0-10 cm, a maior média 675 (mg dm⁻³) foi no sistema AGR-TPI, seguido de 627 (mg dm⁻³) na profundidade 10-20 cm. Os teores de Fósforo se elevaram em maior profundidade, até a média de 968 (mg dm⁻³) em 30-60 cm havendo uma leve queda nos teores na profundidade de 60-90 cm.

As Terras Pretas de todos os sistemas de uso de terra apresentaram teores muito elevados de zinco, atingindo a maior média (51,01 mg/kg⁻¹) (1-b) na AGR-TPI em 0-10 cm. Nas florestas com TPI, houve acréscimo nos teores deste elemento até 30 cm e posteriormente uma diminuição.

Houve notável diferença nos teores de Cobre na Terra Preta em relação aos sistemas adjacentes. Na FLA-TPI em 0-10 cm, a concentração chega a ser 9x maior (6,46 mg/kg⁻¹). Na CAP-TPI (8,59 mg/kg⁻¹), em relação ao sistema adjacente (2,36 mg/kg⁻¹), na mesma profundidade, a concentração do elemento é 4x maior e 5x mais no sistema AGR-TPI.

A FLA-ADJ apresentou os menores teores de Chumbo, com média de 1,80 (mg/kg) em 0-10 cm e 2,21 (mg/kg⁻¹) na camada mais profunda avaliada. Entre os solos de Terra Preta, o sistema agrícola foi o que apresentou a maior média (5,67 mg/kg⁻¹) e não teve grande variação em profundidade, o qual serve para todos os outros sistemas de uso de terra.

O Níquel teve comportamento semelhante para todos os sistemas. Na camada superficial 0-10 a 10-20 cm houve um leve decréscimo no teor. Na profundidade 30-60 cm, especial atenção a CAP-TPI, encontrou-se 8,45 (mg/kg), a maior média identificada no perfil.

3.1.6 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 7).

Nas Terras Pretas os teores de carbono total (CT) variaram de 0,41 a 5,44 (%), onde a maior média (3,97 %) foi encontrado no sistema AGR-TPI, na camada 0-10 cm. Houve uma tendência nos teores de CT serem levemente maiores em todas as profundidades nas TPI's em comparação aos solos adjacentes, mas, esses teores foram menores a maior profundidade.

Para o nitrogênio total (NT), verificou-se a maior a média (0,32 %) na camada 0-10 na CAP-TPI, enquanto que para o sistema adjacente, a média encontrada foi de (0,20%). Para todos os solos, houve uma redução nos teores com o aumento da profundidade.

No gráfico, os teores de enxofre total (ST), revelam o mesmo comportamento A média dos teores para a profundidade 0-10 cm variou de 0,022 a 0,030 (%), com exceção da FLA-ADJ (0,052 %). Para as profundidades mais profundas, os teores médios diferenciaram de 0,016 a 0,035 (%). Os teores médios de hidrogênio variaram de 0,54 a 1,25 (%), ambos na AGR-TPI. Verificou-se que de acordo com o acréscimo da profundidade, houve também um acréscimo nos teores deste elemento, para todos os sistemas. Citamos como exemplo, a CAP-ADJ, 0,90 em superfície e 1,03 (%) na camada 60-90, a FLA-TPI, 0,72 na camada agricultável e 0,95 (%) em camadas mais profundas. Para cada sistema, houve um aumento nos teores de H em TPI que nos solos adjacentes.

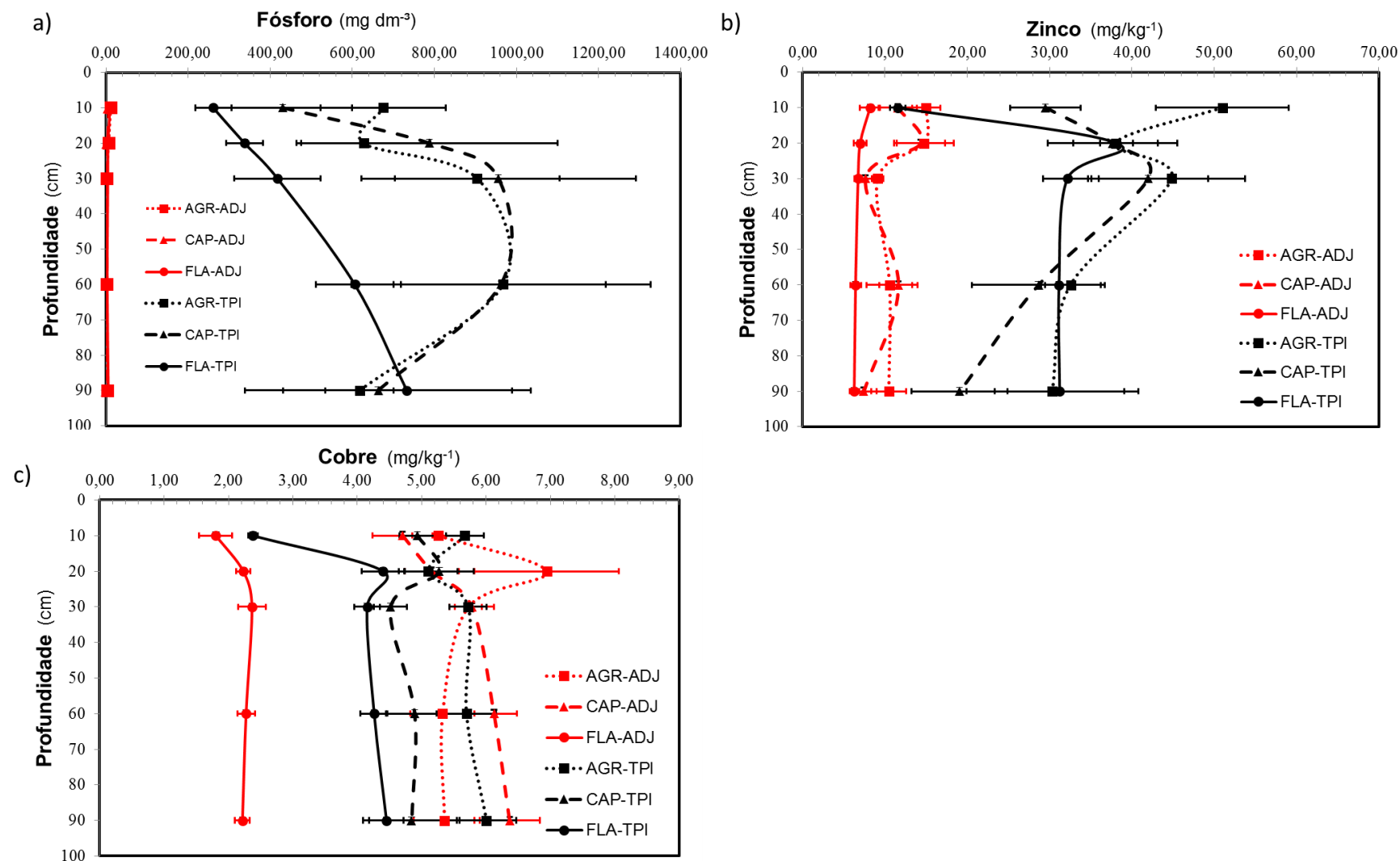


Figura 5. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. P (a), Zn (b) e Cu (c).

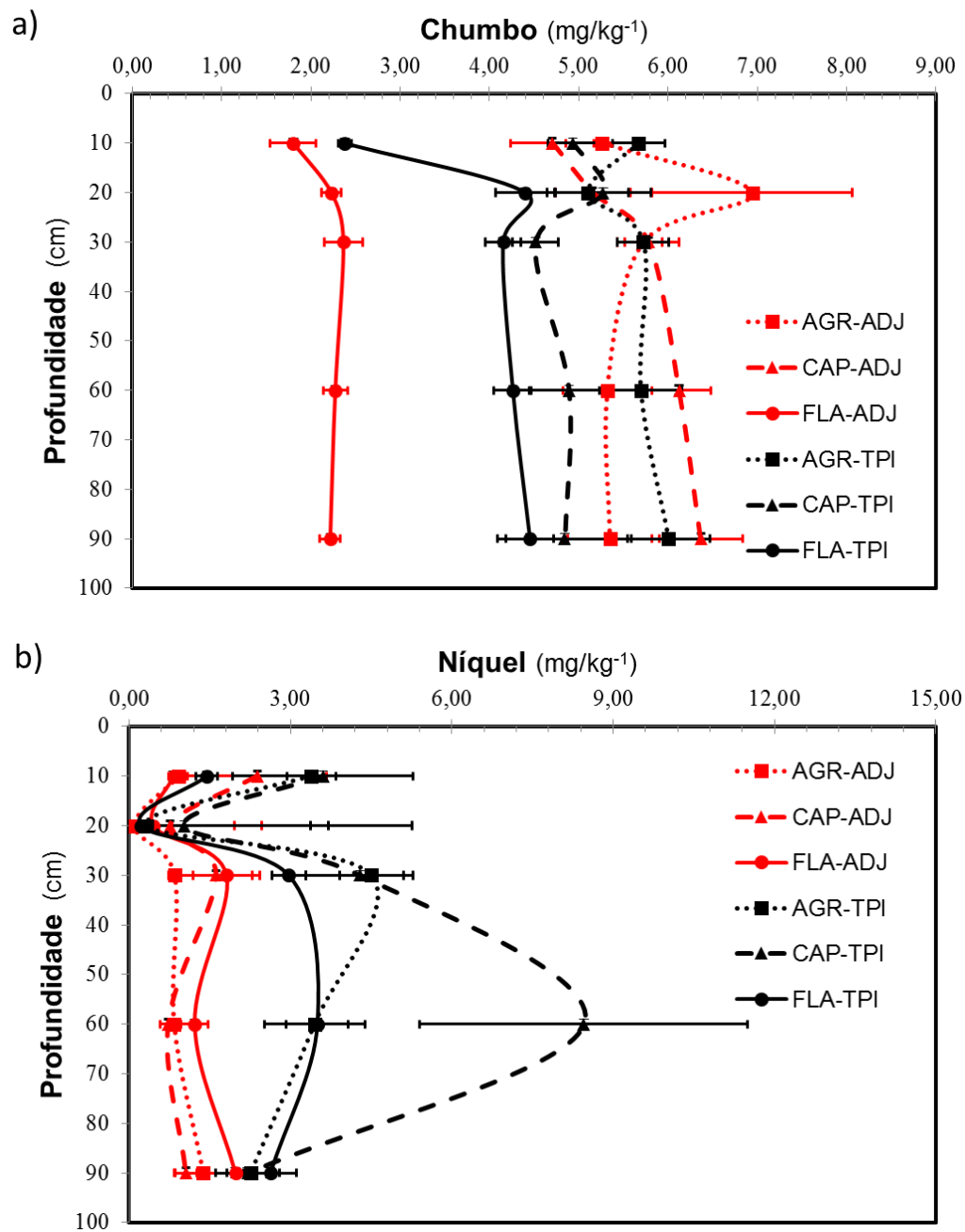


Figura 6. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Pb (a) e Ni (b).

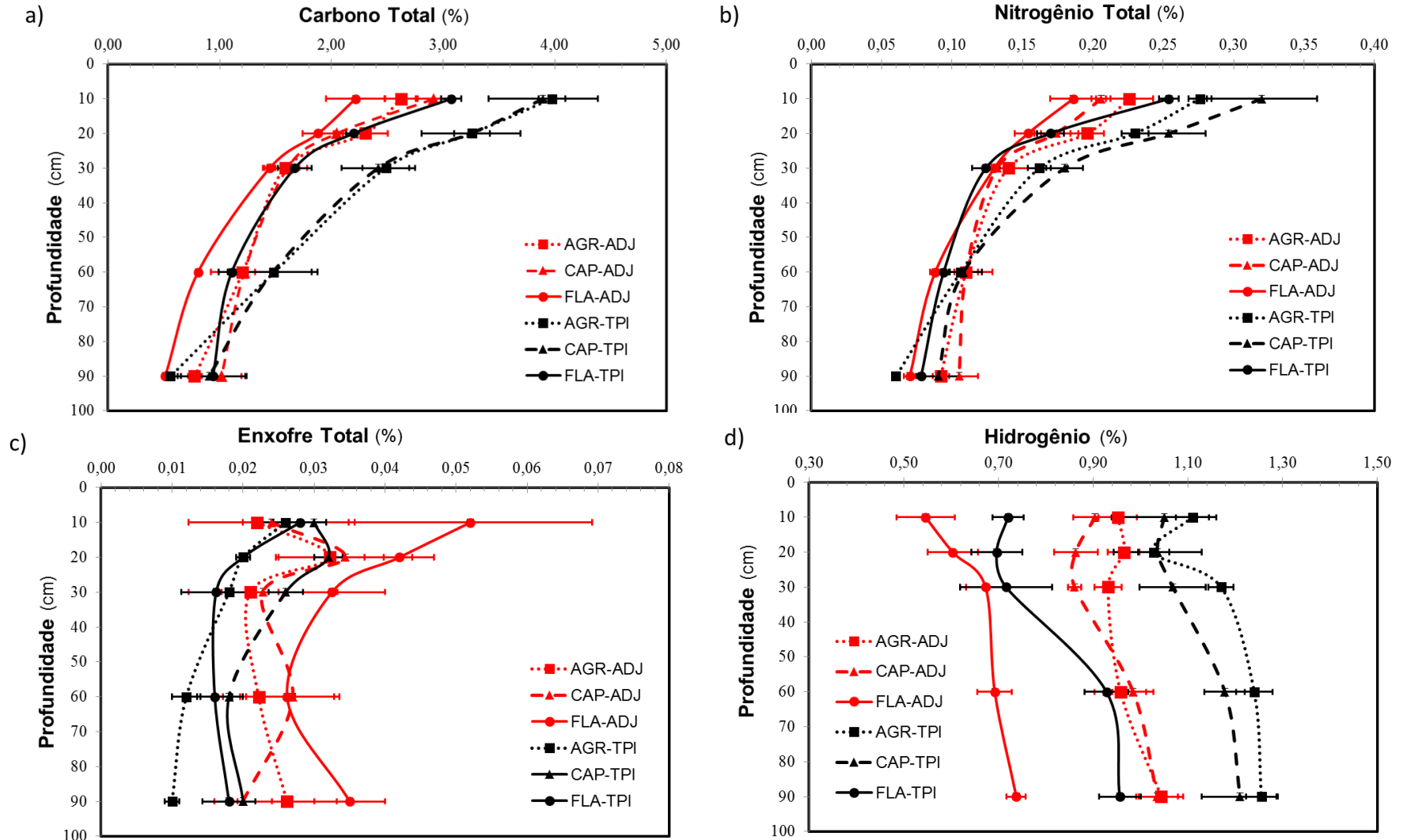


Figura 7. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. C Total (a), N total (b), S total (c) e H (d).

3.1.7 Granulometria do solo (Figuras 8 e 9)

Com base no Manual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a AGR-ADJ, CAP-ADJ e a FLA-TPI apresentaram classe textural argilosa. O sistema agrícola – TPI e a CAP-TPI, foi muito argilosa e a FLA-ADJ apresentou classe textural argila-arenosa. O menor valor médio encontrado foi de 285 (g kg^{-1}) na camada superficial e o maior valor de 727 (g kg^{-1}) em profundidade. Houve aumento no teor de argila para todos os tipos de vegetação ao longo do perfil.

Para o silte houve um decréscimo nos teores ao longo do perfil. Ocorreu variação entre 27 (g kg^{-1}) em 60-90 cm até 153 (g kg^{-1}) em superfície.

A FLA-ADJ teve os maiores teores de areia total (grossa+fina), variando de 671 a 443 (g kg^{-1}) nas camadas 0-10 e 60-90 cm, respectivamente. Ao longo do perfil, houve um decréscimo no acúmulo de areia total, cujo teor de 182 (g kg^{-1}) foi o valor médio mínimo encontrado (AGR-TPI).

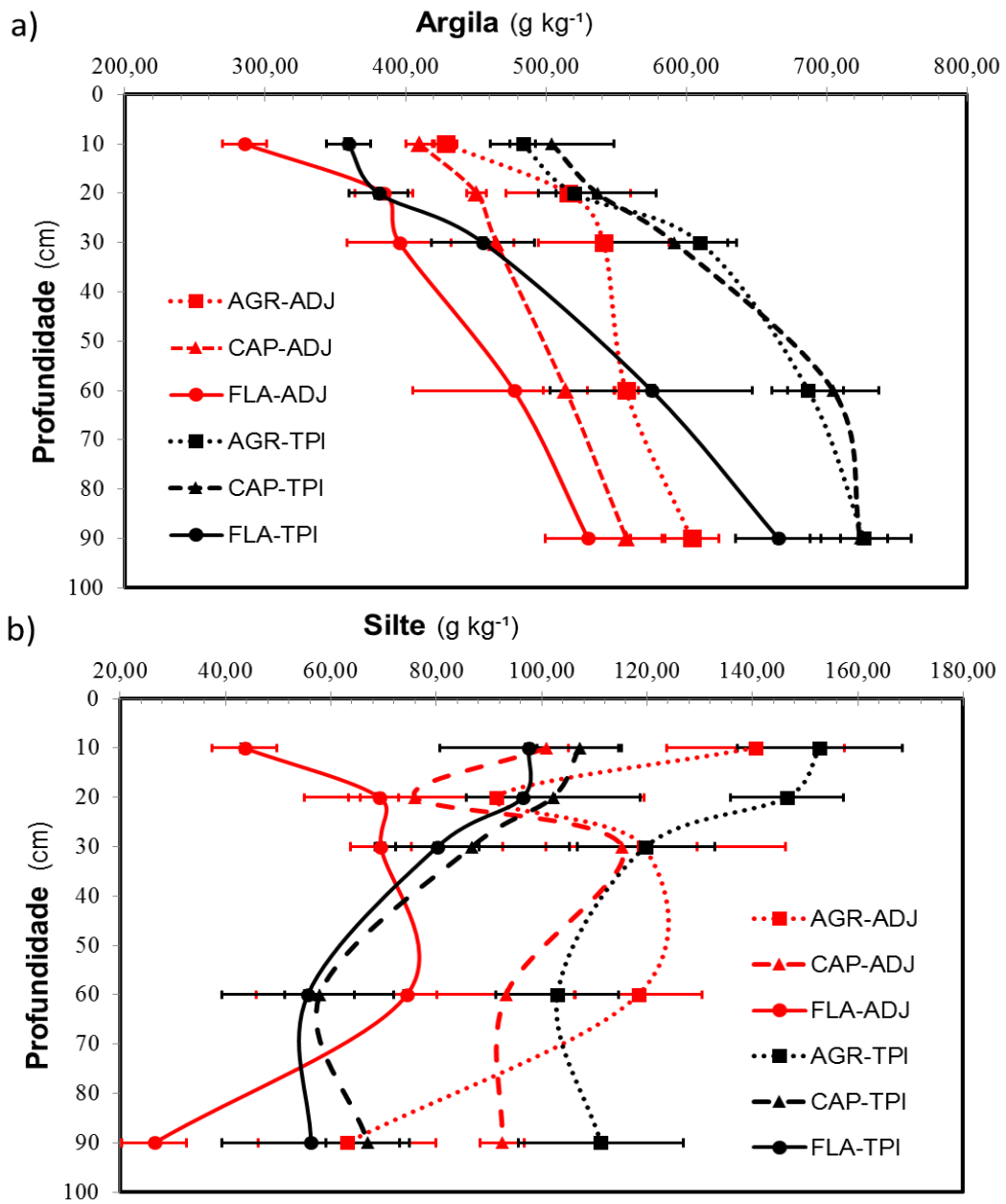


Figura 8. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Argila (a) e Silte (b).

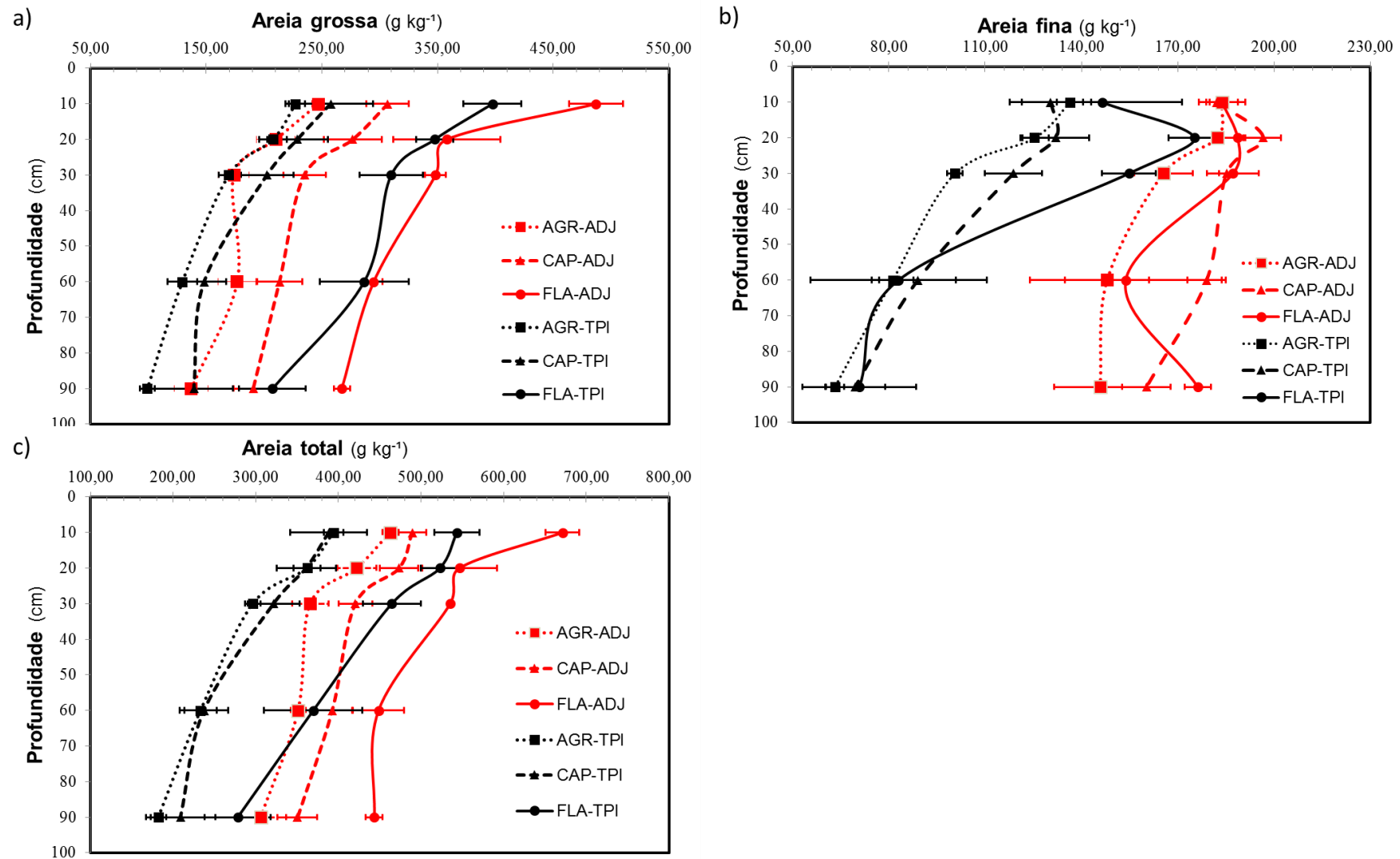


Figura 9. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).

3.1.8 Densidade aparente e Porosidade

Entre os sistemas de uso de solo avaliados, a CAP-TPI foi a única que demonstrou maior porcentagem de porosidade total em relação ao sistema adjacente CAP-ADJ. Para os demais sistemas, o VTP (%) foi maior nos solos naturais.

Tabela 3. Média entre os tipos de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Iranduba-AM, 2016.

Região	Estado	Tipo de Solo	Densidade aparente (g/cm ³)	VTP (%)
Iranduba	AM	ADJ	1,19 a	54,33 a
Iranduba	AM	TPI	1,12 a	57,07 a

Tabela 4. Média entre os sistemas de uso do solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Iranduba-AM, 2016.

Região	Estado	Sistema de uso	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade (%)
Iranduba	AM	AGR-ADJ	1,09 bc	58,20 ab
Iranduba	AM	CAP-ADJ	1,39 a	46,40 c
Iranduba	AM	FLA-ADJ	1,09 bc	58,40 ab
Iranduba	AM	AGR-TPI	1,20 b	54,00 b
Iranduba	AM	CAP-TPI	1,00 c	61,60 a
Iranduba	AM	FLA-TPI	1,15 bc	55,60 ab

*Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferenças significativas entre os solos x vegetação, com teste Tukey $p < 0,05$.

3.1.9 Análise de Componentes Principais (Figura 10)

As análises de componentes principais resultaram em 64,4% na variabilidade explicada nos dois primeiros eixos. O eixo X explicou 46,3% e corresponde aos níveis de fertilidade do solo, como Zn, Cu, Ba, Ni, Ca, V%, P, pH (CaCl₂), outros, enquanto o eixo Y explicou 18,1 % da variabilidade total e correspondeu a teores de pH (SMP), Argila, Areia e Acidez potencial. Os solos com maiores teores de argila se referenciam a maiores profundidades e solos arenosos em camadas mais superficiais. O eixo Y também explica os teores de carbono total (CT), onde são mais expressivos na superfície.

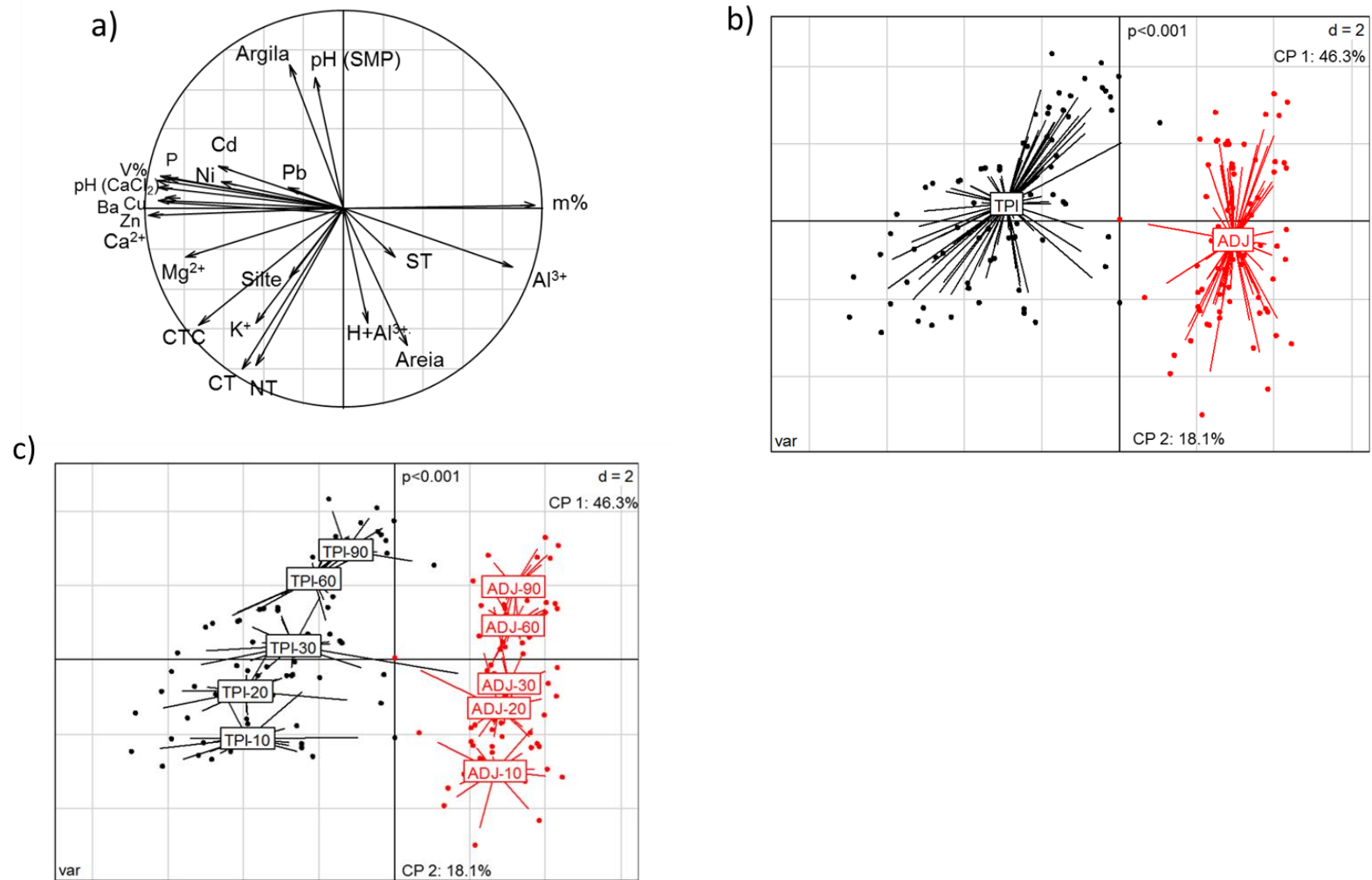


Figura 10. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Iranduba-AM. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$.

3.2 BELTERRA-PA

3.2.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles

Para os atributos avaliados no perfil de 0-90 cm, apenas K^+ , H, S total, densidade aparente e porosidade não foram afetados pelo tipo de solo (TPI vs. ADJ). Para vegetação também houve efeito significativo para grande parte dos atributos avaliados, mas houve muito pouco efeito da interação, assim como observado em Iranduba-AM. Contudo, nesse caso, houve efeito sobre a SB, o P, e os atributos relacionados com a densidade do solo.

Tabela 5. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Belterra-PA, maio de 2015.

Atributo	Valor F	Solo	Vegetação	Interação
pH (CaCl ₂)	44	p< 0,001	p< 0,001	-
pH (SMP)	87	p< 0,001	p< 0,001	-
Al ³⁺	10	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,003
H+Al ³⁺	84	p< 0,001	p< 0,001	-
Ca ²⁺	5	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,030
Mg ²⁺	28	p< 0,001	-	-
K ⁺	31	-	p< 0,001	-
SB	11	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
CTC	10	p< 0,001	p< 0,003	-
P	8	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,006
NT	2	p< 0,020	-	-
CT	4	p< 0,040	-	-
H ⁺	34	-	p< 0,001	-
ST	4	-	p< 0,001	p< 0,050
V%	39	p< 0,001	p< 0,001	-
m%	12	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
Ba	63	p< 0,001	-	-
Cd	8	p< 0,001	p< 0,007	-
Cu	67	p< 0,001	-	-
Ni	7	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,020
Pb	15	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
Zn	62	p< 0,001	-	-
Argila	22	p< 0,001	-	-
Areia grossa	15	p< 0,020	p< 0,001	-
Areia fina	48	p< 0,001	-	-
Areia total	20	p< 0,001	-	-
Silte	4	p< 0,001	p< 0,050	-
DA	13	-	p< 0,001	p< 0,002
VTP (%)	12	-	p< 0,001	p< 0,002

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; DA: Densidade Aparente; VTP (%): Volume Total de Poros; (-): não significativo.

3.2.2 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figura 11 e 12)

Os valores de pH (CaCl_2) em superfície nas Terras Pretas variaram de 4,13 a 6,70 (muito alto a muito baixa), enquanto que nos solos adjacentes foram encontrados valores de 3,62 a 6,27. Em profundidade (60-90 cm) os teores variaram de 3,86 a 6,05 nas Terras Pretas e 3,95 a 4,38 nos solos naturais. A FLA-ADJ obteve valores de pH menores que 4 em praticamente todas as profundidades.

Nota-se que a acidez trocável (Al^{3+}) apresentou valores que variaram de 0,03 a 3,23 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,00 a 3,03 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para os solos adjacentes e terra preta, respectivamente, nas camadas mais superficiais do solo (0-20cm). A FLA-ADJ foi o único sistema a apresentar média superior a 2 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) até a camada 20-30 cm e a AGR-TPI submetendo ao valor máximo de 0,28 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 30-60 cm.

A FLA-ADJ apresentou a maior média (10,78 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de acidez potencial na camada de 0-10cm entre os sistemas, enquanto que a FLA-TPI teve metade deste valor (5,79 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O sistema agrícola na Terra Preta apresentou os menores valores ($< 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em todas as profundidades analisadas.

Os sistemas de uso FLA-TPI e AGR-TPI apresentam os maiores valores nas camadas mais superficiais, 18,30 e 14,64 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente e esses valores decrescem em maior profundidade, atingindo valores menores que 7 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A AGR-ADJ foi a que menor apresentou CTC potencial, apresentando média de 9,08 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos primeiros 10 cm e atingindo a metade deste valor (4,36 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na última profundidade.

O sistema FLA-ADJ teve o menor valor de saturação por bases, onde 16% (valor máximo) encontrado na camada mais superficial do solo (0-10 cm). O mesmo sistema com o solo de Terra Preta, cujo valor médio é de 64% na mesma camada avaliada. Destaque para a AGR-ADJ, apresentando alto valor (74%) de saturação por bases na camada agricultável, enquanto que a AGR-TPI reportou valor superior a 80%.

Os valores de saturação por alumínio, foram menores nas Terras Pretas, especialmente em relação a AGR-TPI, chegando a zerar em superfície e atingindo valores de 16% na camada de 60-90 cm. Em relação ao sistema agrícola adjacente, registrou-se a saturação por alumínio em 1% na camada agricultável e 55% na camada mais profunda. A FLA-ADJ foi a que apresentou maior valor (98%) entre os sistemas e profundidades analisadas.

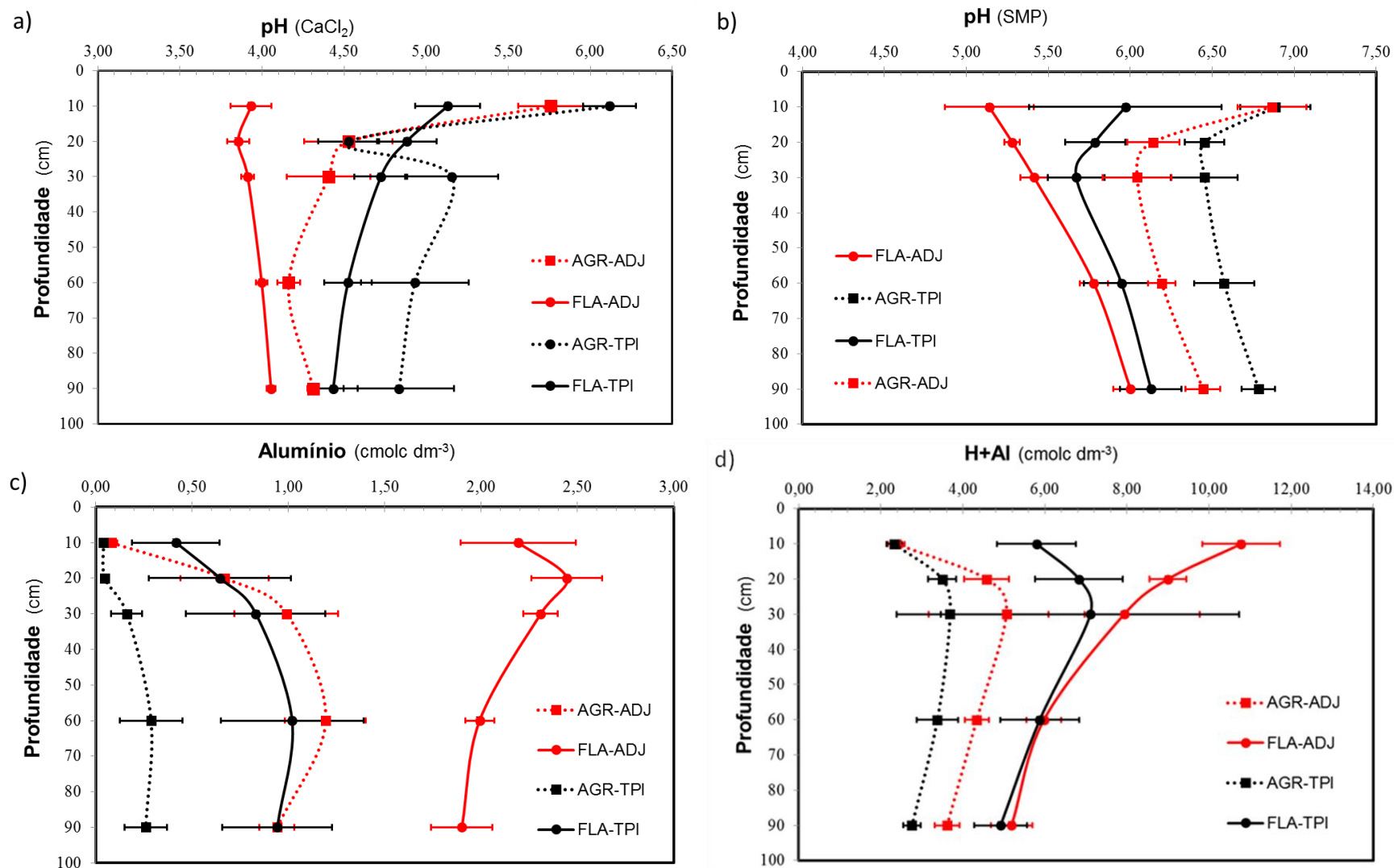


Figura 11. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. pH CaCl₂ (a), pH SMP (b), Al³⁺ (c) e H⁺+Al³⁺ (d).

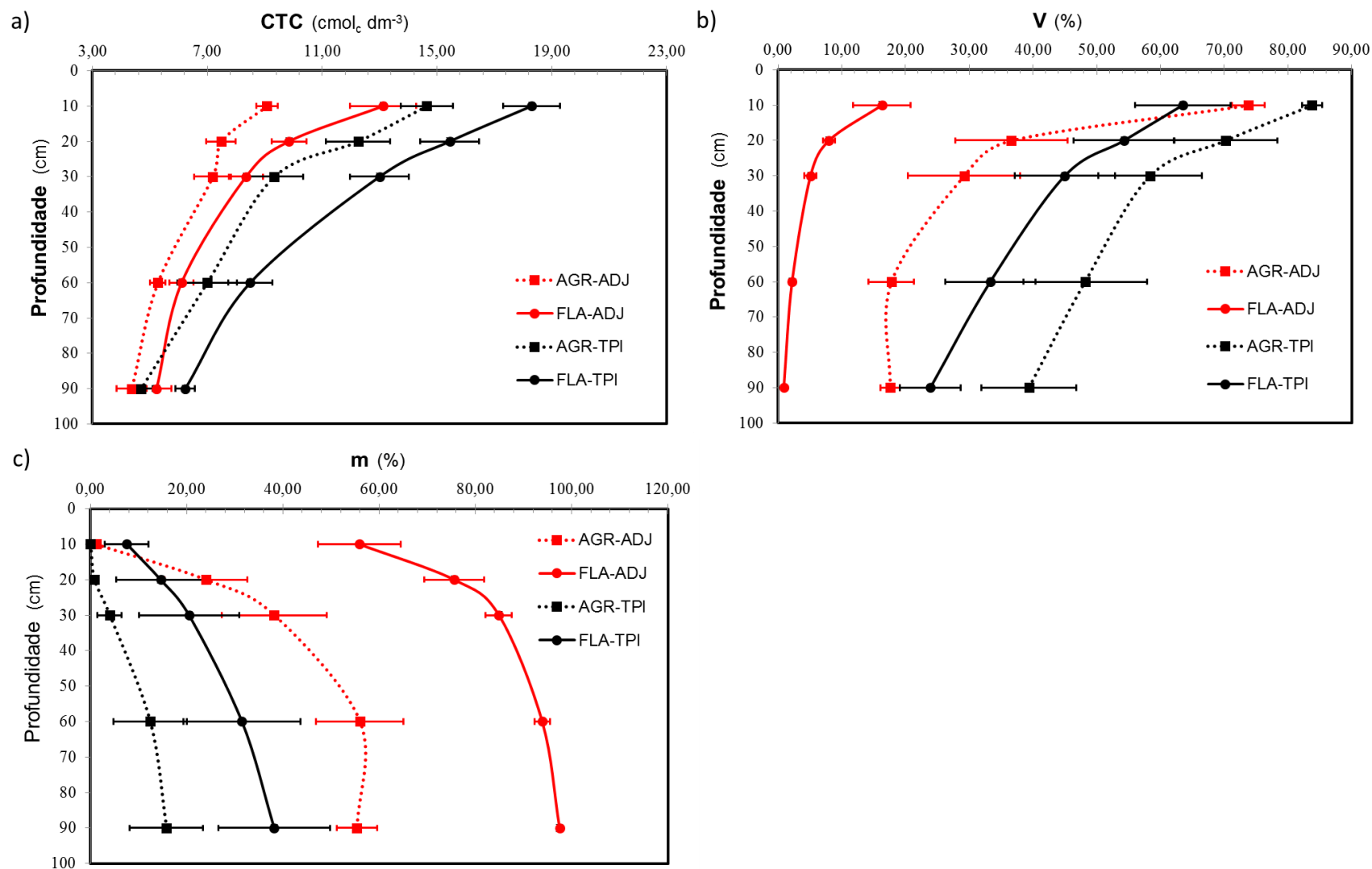


Figura 12. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. CTC (T) (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).

3.2.3 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmiio (Figuras 13 e 14)

Os teores de Cálcio na Terra Preta variaram de 0,56 a 17,65 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos primeiros 30 cm e 0,05 a 3,61 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 60-90 cm, enquanto que nos solos naturais, os valores variaram entre 0,06 a 7,61 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,00 a 0,95 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade 0-30 e 60-90 cm, respectivamente.

A FLA-TPI foi o que apresentou maior média no teor de magnésio na profundidade de 0-10 cm (0,95 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), seguido do sistema agrícola TPI, apresentando valor médio em 0,79 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em profundidade (60-90 cm) para todos os sistemas de uso, o teor de Magnésio foi inferior a 0,20 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os teores de potássio encontrados são de baixos a médios. A maior média encontrada é de 0,13 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na AGR-TPI. Ocorre um decréscimo no teor com o aumento da profundidade, pois o nutriente é percolado facilmente no perfil.

A Terra Preta foi quem apresentou maiores valores de soma de bases, em todas as profundidades avaliadas, em relação aos solos adjacentes, atingindo teores de 12 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em superfície, enquanto que para os sistemas adjacentes, esses valores ficaram entre 2 e 7 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na mesma profundidade avaliada.

Os teores de Bário total na Terra Preta variaram de 0,12 a 10,59 (mg/kg^{-1}) nos primeiros 30 cm e 0,13 a 0,66 (mg/kg^{-1}) na camada mais profunda 60-90 cm. Nos solos adjacentes, os teores variaram de 0,12 a 2,48 (mg/kg^{-1}) e 0,06 a 0,71 (mg/kg^{-1}) nas camadas 0-30 e 60-90 cm, respectivamente. O teor médio mais alto encontrando na Terra Preta foi de 6,58 (mg/kg^{-1}) na camada 0-10 cm (AGR-TPI).

O Cádmiio, na camada de 0-10 cm (0,19 mg/kg^{-1}) apresentou-se na AGR-TPI enquanto que no sistema AGR-ADJ a média cai para 0,13 (mg/kg^{-1}). Para a FLA-TPI e a FLA-ADJ, os teores foram maiores apenas nas profundidades maiores (30-90 cm).

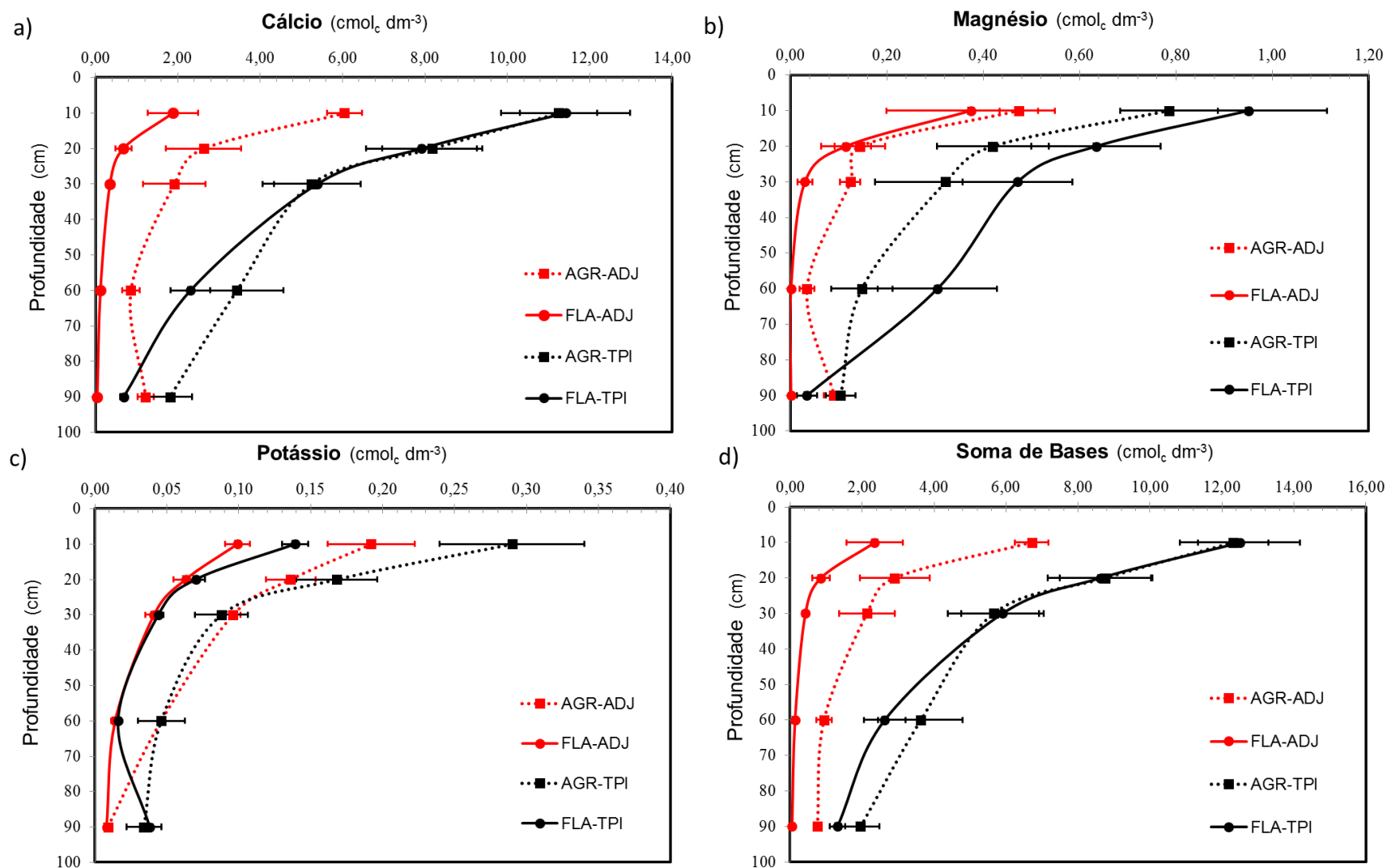


Figura 13. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^{+} (c) e SB (d).

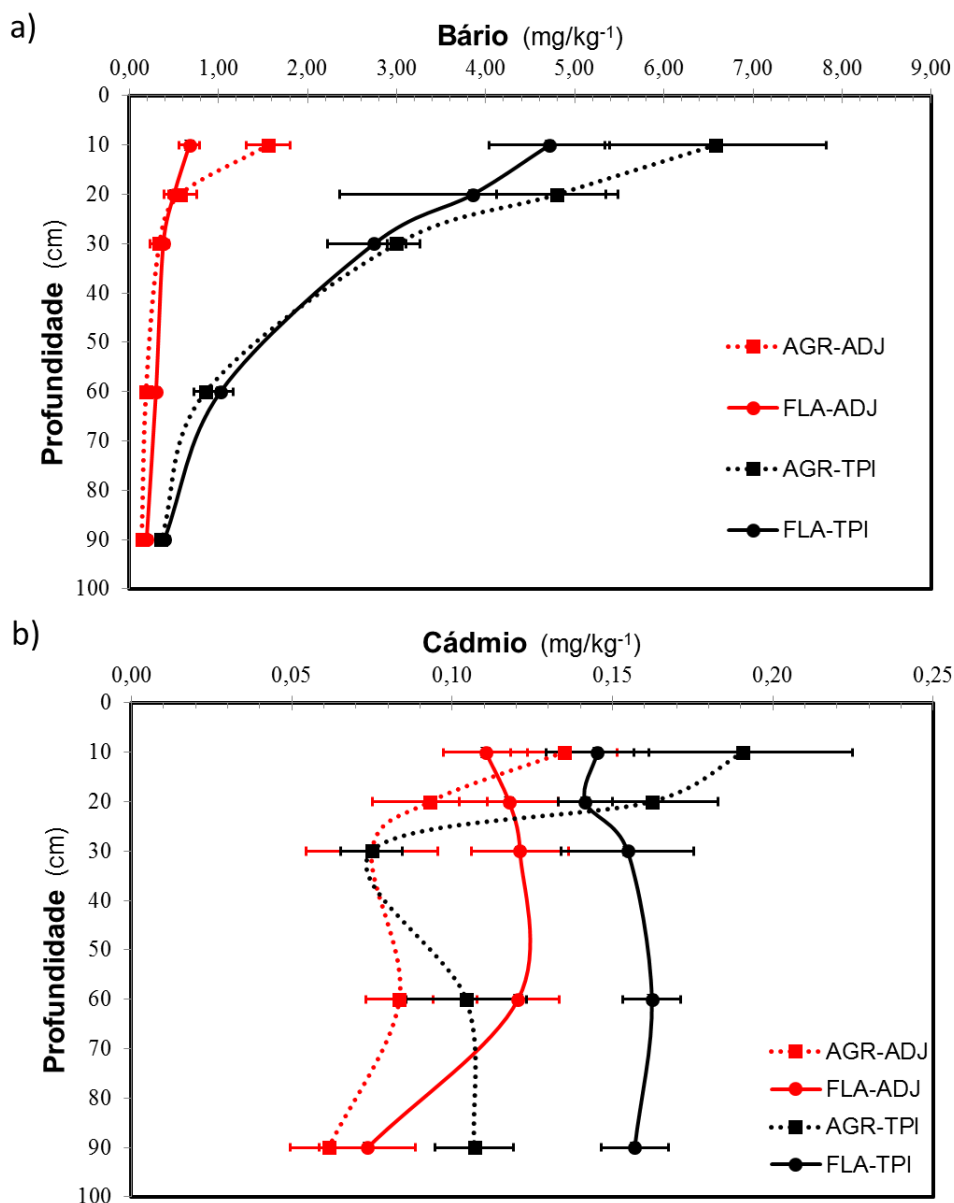


Figura 14. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Ba (a) e Cd (b).

3.2.4 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 15 e 16)

O solo agrícola – TPI apresentou teores muito elevados de P disponível (Mehlich-1), atingindo a média máxima (397 mg/dm³) na camada 20-30 cm, enquanto que para a FLA-TPI, na mesma camada avaliada, o teor médio foi de 43,38 mg/dm³). Na profundidade 0-10 cm, a maior média 341 (mg dm⁻³) pertence ao sistema AGR-TPI. Os teores de Fósforo decresceram em maior profundidade em todos os sistemas avaliados. Para os solos naturais, o sistema agrícola foi o que apresentou a maior média (23,89 mg dm⁻³) nos primeiros 10 cm.

A Terra Preta no sistema agrícola apresentou a maior média (35,19 mg/kg⁻¹), em 0-10 cm, seguido de (17,97 mg/kg⁻¹) na profundidade 10-20 cm. Para os solos adjacentes, a maior média (12,06 mg/kg⁻¹) se encontra na AGR-ADJ nos primeiros 10 cm. Para a FLA-ADJ, os teores variaram de 5,36 a 8,62 mg/kg⁻¹ no perfil de solo.

É considerável a diferença nos teores de Cobre na Terra Preta em relação aos sistemas adjacentes. Na FLA-TPI em 0-10 cm, a concentração chega a ser quase 4x maior (8,47 mg/kg⁻¹). Na AGR-TPI (11,51 mg/kg⁻¹), em relação ao sistema adjacente (4,16 mg/kg), na mesma profundidade, a concentração do elemento é quase 3x maior.

A FLA-TPI é o sistema que maior apresenta os teores de Chumbo, com a média de 2,25 (mg/kg⁻¹) em 0-10 cm e 1,92 (mg/kg⁻¹) na camada mais profunda avaliada, diferenciando-se em relação aos outros solos em todas as profundidades. Nos primeiros 20 cm de profundidade, os solos adjacentes obtiveram os menores teores deste elemento.

A FLA-TPI diferenciou-se dos demais solos para todas as profundidades avaliadas, atingindo a média de 1,55 (mg/kg⁻¹) na camada superficial e 0,88 mg/kg⁻¹ em 60-90 cm. A AGR-ADJ foi o sistema que menos apresentou teor de Níquel ao longo do perfil, variando de 0,36 a 0,89 (mg/kg⁻¹).

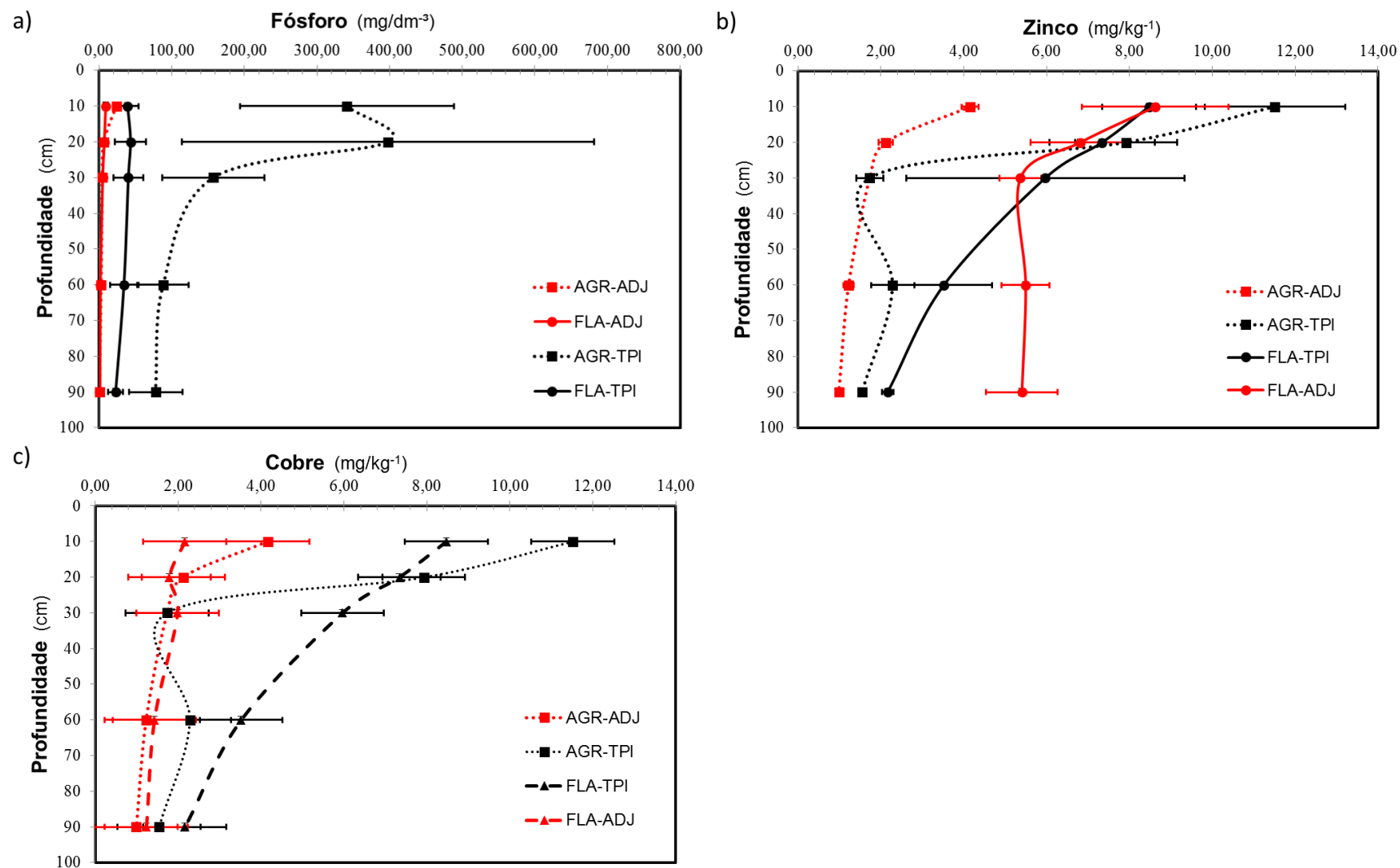


Figura 15. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. P disponível (a), Zn (b) e Cu (c).

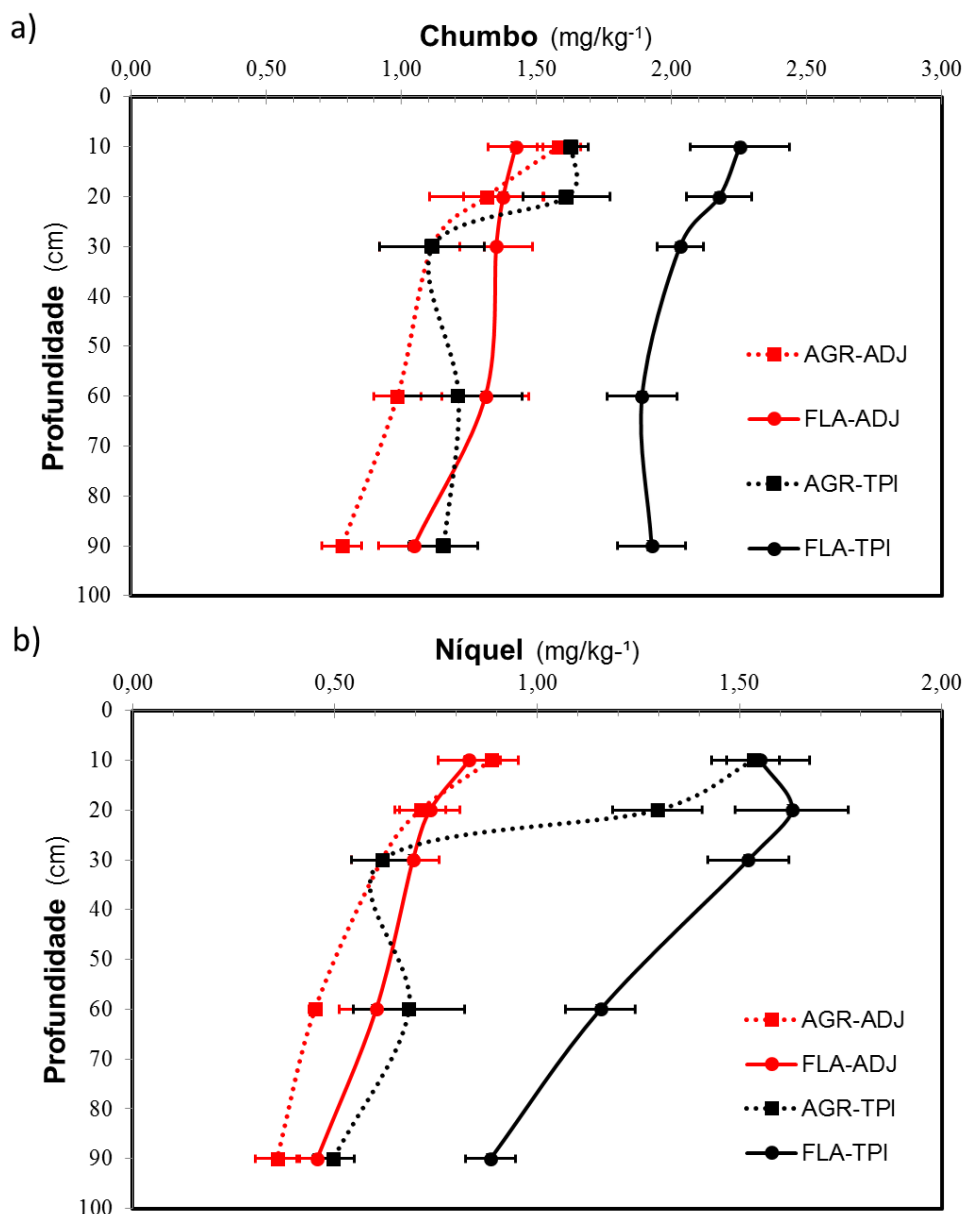


Figura 16. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Pb (a) e Ni (b).

3.2.5 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 17)

Nas Terras Pretas os teores de carbono total (CT) variaram de 0,63 a 7,60 (%), onde a maior média (5,92 %) encontra-se no sistema FLA-TPI, na camada 0-10 cm. A AGR-ADJ apresentou as menores médias, variando de 0,74 a 3,42 (%) ao longo do perfil.

Para o nitrogênio total, verificou-se a maior a média (0,46 %) na camada 0-10 na FLA-TPI, enquanto que para o sistema adjacente, a média encontrada foi de (0,32%). Para todos os solos, ocorreu uma redução nos teores com o aumento da profundidade.

A média dos teores de Enxofre total para a profundidade 0-10 cm variou de 0,02 a 0,05 (%). Para as camadas mais profundas, os teores médios diferenciaram de 0,01 a 0,04 (%). Destaque para a FLA-TPI, onde houve um decréscimo no teor em até 30 cm e após esta profundidade, houve uma acumulação novamente do elemento. Os teores médios de hidrogênio variaram de 1,47 (AGR-ADJ) a 1,98 (FLA-TPI) (%). Verificou-se que, de acordo com o acréscimo da profundidade, houve uma redução nos teores deste elemento, para todos os sistemas. Citamos como exemplo, a FLA-ADJ, 1,77 em superfície e 1,59 (%) na camada 60-90, a AGR-TPI, 1,65 na camada agricultável e 1,48 (%) na última profundidade avaliada.

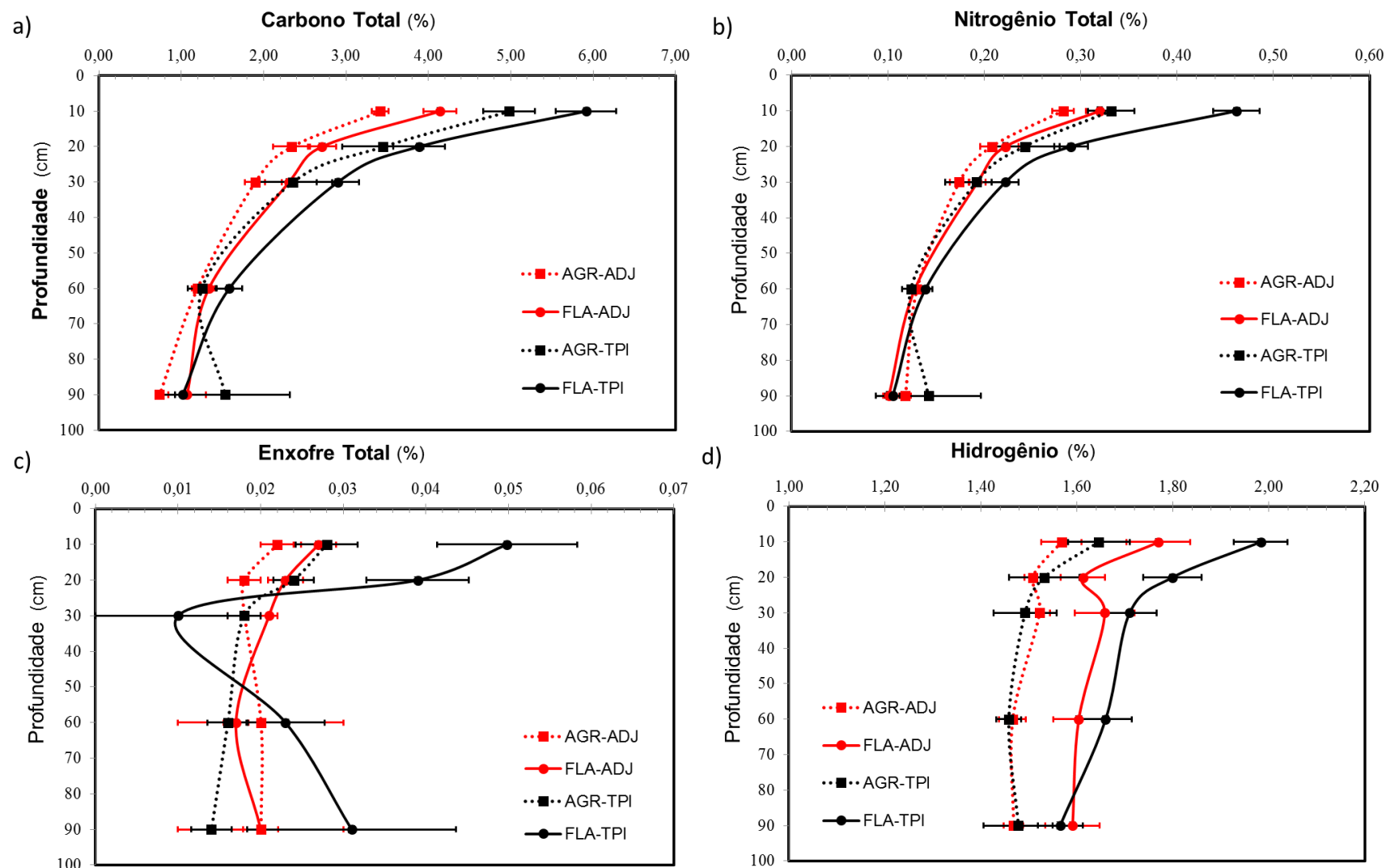


Figura 17. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Iranduba-AM. C Total (a), N total (b), S total (c) e H (d).

3.2.6 Granulometria do solo (Figuras 18 e 19)

A Terra Preta apresentou classe textural muito argilosa, para ambos os sistemas (AGR e FLA) similar ao seu solo adjacente. O menor valor médio encontrado foi de 679 (g kg^{-1}) na camada superficial e o maior valor de 894 (g kg^{-1}) na camada 30-60 cm. Houve acréscimo de argila para todos os tipos de vegetação ao longo do perfil até a profundidade 30-60 cm.

Verificou-se que o comportamento do silte foi igual para a maioria dos sistemas, onde ocorreu um decréscimo nos teores até a profundidade 30-60 cm. Após 60 cm, houve uma adição de silte na última profundidade, exceto para a FLA-ADJ, onde de 133 (g/kg^{-1}) reduziu para 58 (g/kg^{-1}).

A AGR-TPI obteve os maiores teores de areia total (grossa+fina), variando de 22 a 107 (g kg^{-1}) nas camadas 60-90 e 0-10 cm, respectivamente. Ao longo do perfil, houve um decréscimo para todos os sistemas, no acúmulo de areia total, cujo teor de 21 (g kg^{-1}) é o valor médio mínimo encontrado (AGR-ADJ).

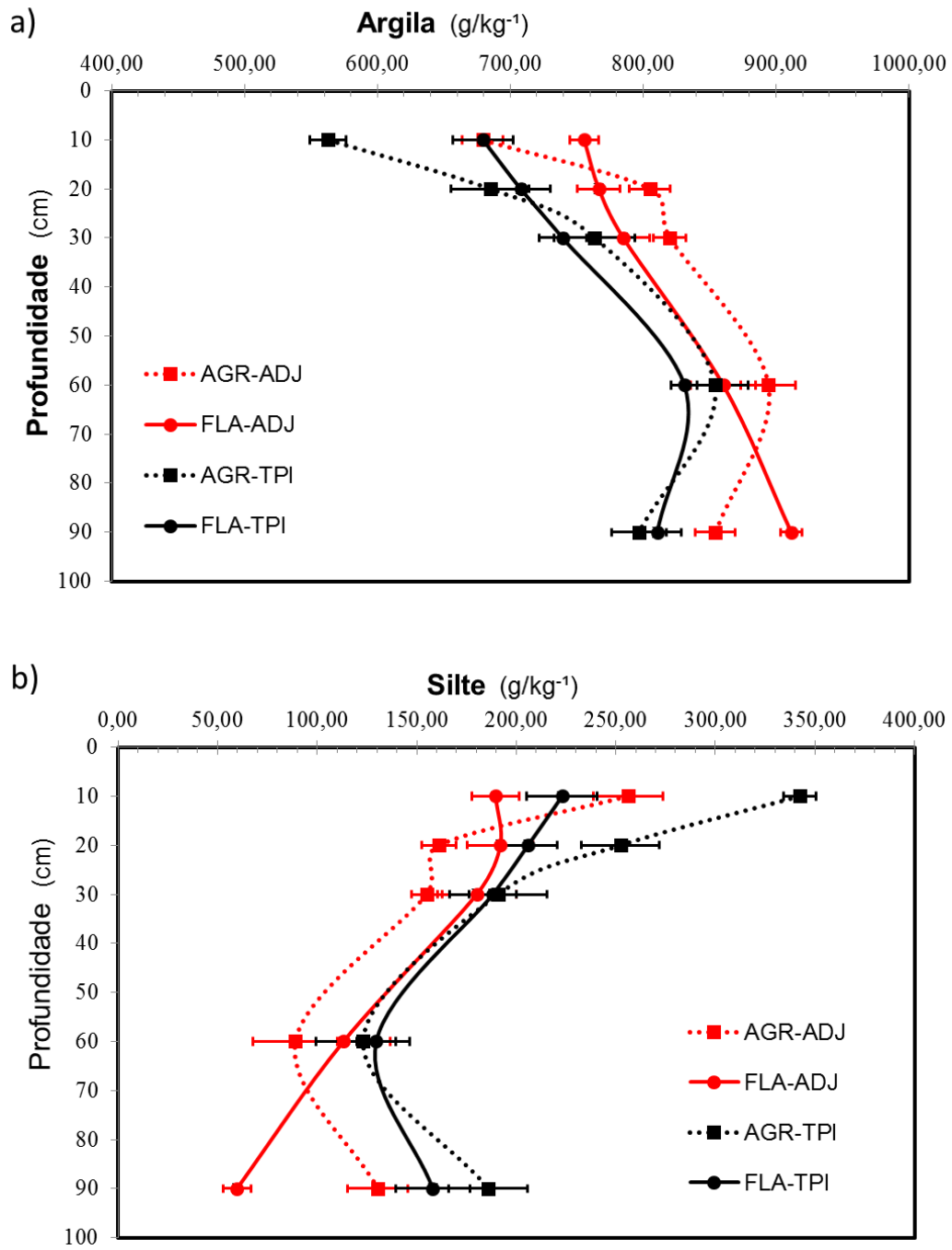


Figura 18. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Argila (a) e Silte (b).

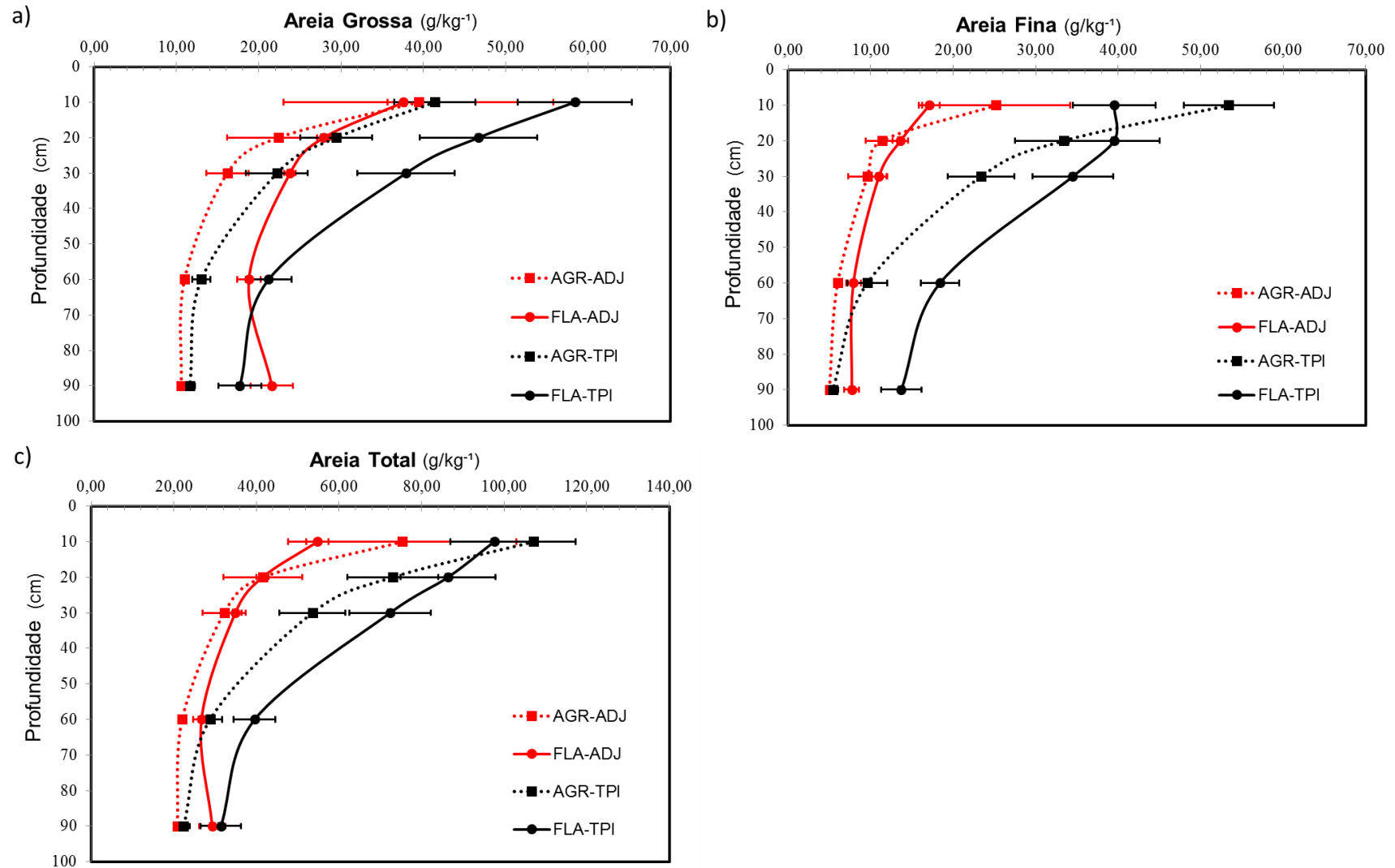


Figura 19. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).

3.2.7 Densidade aparente e Porosidade

O sistema agrícola – adjacente obteve teores maiores somente no VTP (%), enquanto que a FLA-ADJ resultou o oposto, os teores de densidade aparente foram maiores comparados aos solos de TPI (Tabela 7).

Tabela 6. Média entre os tipos de solos para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Belterra-PA, 2016.

Região	Estado	Tipo de solo	Densidade aparente (g/cm³)	Porosidade (%)
Belterra	PA	ADJ	1,03 a	60,40 a
Belterra	PA	TPI	0,99 a	61,73 a

Tabela 7. Média entre os sistemas de uso de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Belterra-PA, 2016.

Região	Estado	Sistema de uso	Densidade aparente (g/cm³)	Porosidade (%)
Belterra	PA	AGR-ADJ	1,03 a	60,00 b
Belterra	PA	FLA-ADJ	1,03 a	60,60 b
Belterra	PA	AGR-TPI	1,09 a	58,40 b
Belterra	PA	FLA-TPI	0,95 b	63,40 a

3.2.8 Análise de Componentes Principais (Figura 20)

As análises de componentes principais resultaram em 71,60 % na variabilidade explicada nos dois primeiros eixos. O eixo X explicou 53,6% e corresponde aos níveis de fertilidade do solo, como K, Mg, Zn, Ba, Ca, outros, enquanto o eixo Y explicou 18,0 % da variabilidade total e correspondeu a teores principalmente de pH (SMP) e Acidez potencial.

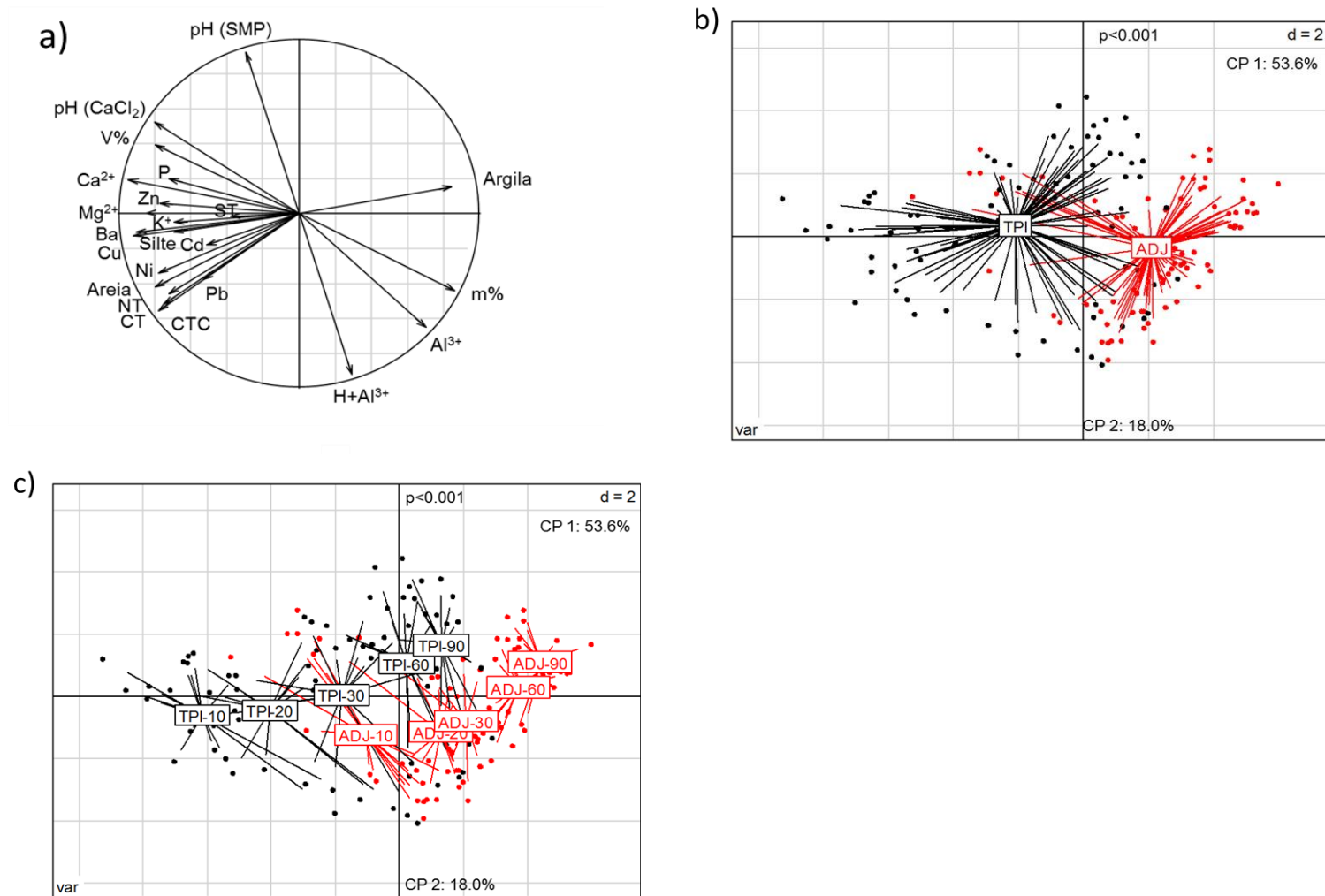


Figura 20. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Belterra-PA. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$.

3.3 PORTO VELHO-RO

3.3.1 ANOVA Fatorial entre tratamentos, vegetação e a interação entre eles

Para os atributos avaliados ao longo do perfil de 0-90 cm, C total, N total, areia grossa, areia total, densidade aparente e porosidade não tiveram diferença significativa entre o solo adjacente e TPI. Já o efeito da cobertura vegetal (capoeira e agrícola) foi significativo para 70% dos atributos avaliados, com isso, observou-se que, para os elementos chave na gênese das TPI's, Cálcio e Fósforo foram significativos, diferente de Iranduba-AM.

Tabela 8. Resultado da ANOVA Fatorial com valores de F e P, para o teste de significância de tipo de solo (TPI X ADJ), vegetação e a interação entre eles para cada atributo químico e físico do solo avaliado, considerando todas as profundidades (0-90 cm). Município de Porto Velho-RO, março de 2016.

Atributo	Valor F	Solo	Vegetação	Interação
pH (CaCl ₂)	6	p< 0,001	-	p< 0,020
pH (SMP)	16	p< 0,006	p< 0,001	p< 0,001
Al ³⁺	26	p< 0,001	p< 0,020	p< 0,001
H+Al ³⁺	13	p< 0,010	p< 0,001	p< 0,001
Ca ²⁺	13	p< 0,001	p< 0,020	p< 0,001
Mg ²⁺	7	p< 0,001	-	p< 0,008
K ⁺	10	p< 0,003	-	-
SB	31	p< 0,001	-	p< 0,001
CTC	87	p< 0,001	p< 0,001	-
P	26	p< 0,001	p< 0,001	-
NT	13	-	p< 0,001	-
CT	16	-	p< 0,001	-
H	5	p< 0,001	-	p< 0,040
ST	8	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,005
V%	12	p< 0,001	-	p< 0,001
m%	11	p< 0,001	-	p< 0,002
Ba	22	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
Cd	8	p< 0,001	p< 0,005	-
Cu	37	p< 0,001	p< 0,001	-
Ni	7	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,020
Pb	27	p< 0,001	p< 0,001	-
Zn	5	p< 0,001	-	p< 0,030
Argila	5	p< 0,030	p< 0,002	p< 0,040
Areia grossa	37	-	p< 0,004	p< 0,001
Areia fina	5	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,030
Areia total	22	-	-	p< 0,001
Silte	18	p< 0,005	p< 0,001	-
DA	38	-	p< 0,001	-
VTP (%)	42	-	p< 0,001	-

SB: Soma de Bases; CTC a pH 7,0; NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; DA: Densidade Aparente; VTP (%): Volume Total de Poros; (-): não significativo.

3.3.2 Grupo 1- Acidez ativa, acidez trocável, acidez potencial, capacidade de troca catiônica potencial (T), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (Figuras 21 e 22)

Os valores de pH (CaCl_2) nos primeiros 20 cm nas Terras Pretas variaram de 4,15 a 5,96 (muito alto a baixa), enquanto que nos solos adjacentes foram encontrados valores de 3,59 a 4,68. Em profundidade (30-90cm) os teores variaram de 3,96 a 5,01 nas Terras Pretas e 4,06 a 4,55 nos solos adjacentes. A CAP-TPI obteve a maior média (5,28) entre os sistemas, e a CAP-ADJ a menor (3,96), ambas, na profundidade de 0-10 cm. A acidez trocável (Al^{3+}) apresentou valores que variaram de 0,76 a 4,20 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 0,05 a 2,10 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para os solos adjacentes e terra preta, respectivamente, até 30 cm de profundidade. Na profundidade de 30-90 cm, os solos adjacentes retrataram uma variação de 0,70 a 6,02 e 0,11 a 2,44 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas Terras Pretas. A CAP-ADJ foi o único sistema a apresentar média superior a 2 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em todas as profundidades e a CAP-TPI submetendo à média máxima de 1,49 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 60-90 cm.

A CAP-ADJ apresentou a maior média (13,47 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de acidez potencial na camada de 0-10 cm entre os sistemas, enquanto que a CAP-TPI retratou metade deste valor (6,78 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O sistema agrícola adjacente apresentou os menores valores na profundidade de 30-90 cm.

Observa-se que os sistemas de uso CAP-TPI e CAP-ADJ apresentam os maiores valores nas camadas mais superficiais (0-10 cm), 19,78 e 13,63 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente e esses valores decrescem com o aumento da profundidade, atingindo valores menores que 10 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A AGR-ADJ foi a que menor apresentou CTC (potencial), apresentando média de 8,43 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos primeiros 10 cm e atingindo a metade deste valor (4,88 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade de 60-90 cm.

Podemos observar que o sistema CAP-ADJ apresenta o menor valor de saturação por bases, onde 1% é o valor máximo encontrado na camada mais superficial do solo (0-10 cm). Ocorre um contraste quando comparado ao mesmo sistema com o solo de Terra Preta, cujo valor médio é de 63% na mesma camada avaliada. A AGR-ADJ, apresentou baixo valor médio (5%) de saturação por bases na camada agricultável, enquanto que a AGR-TPI reportou valor de 36%. Em todos os solos, os valores decrescem com o aumento da profundidade. Os valores de saturação por alumínio são bem menores nas Terras Pretas, especialmente em relação a CAP-TPI, atingindo valores de 3% em superfície e 54% na camada de 60-90 cm.

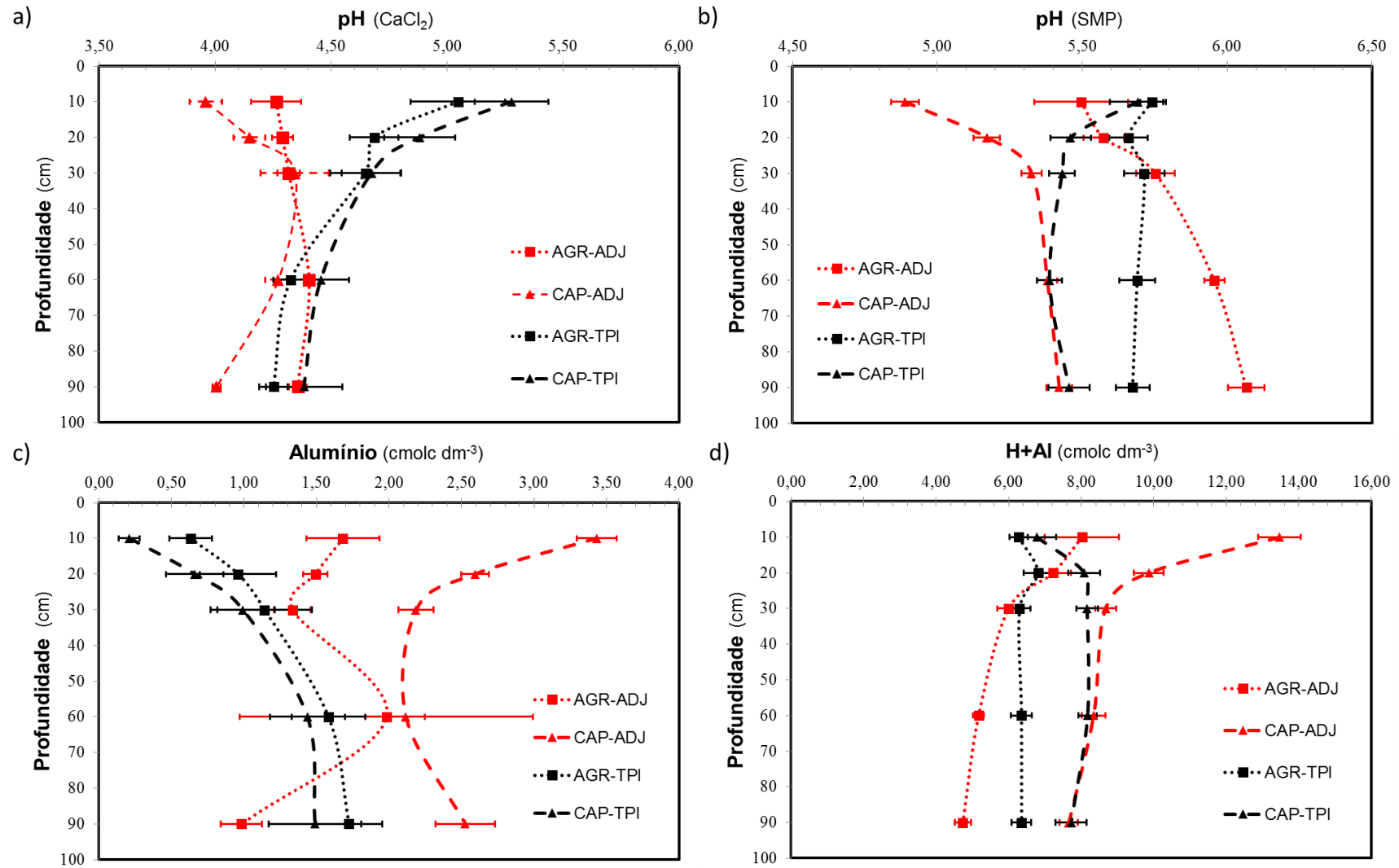


Figura 21. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. pH CaCl₂ (a), pH SMP (b), Al³⁺ (c) e H⁺+Al³⁺ (d).

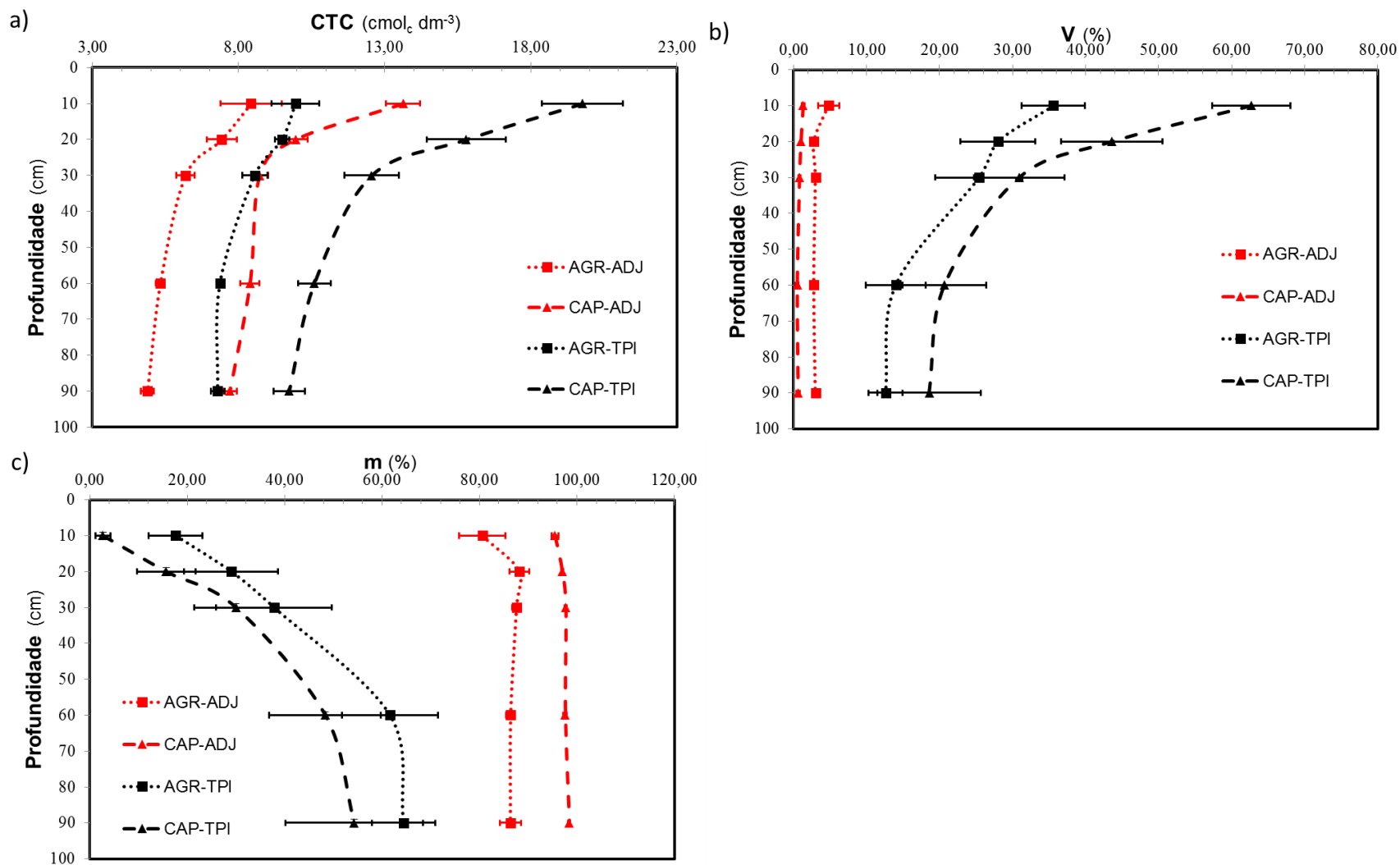


Figura 22. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. CTC (T) (a), saturação por bases (b), saturação por alumínio (c).

3.3.3 Grupo 2- Bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), Soma de Bases (SB), Bário e Cádmio (Figuras 23 e 24)

Os teores de Cálcio na Terra Preta variaram de 0,19 a 18,48 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ao longo do perfil de solo, enquanto que nos solos naturais, os valores diversificaram entre 0,00 a 0,44 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Na camada 60-90, a TPI registrou um teor máximo de Cálcio de 5,15 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto que nos solos adjacentes, o teor máximo chegou a 0,14 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), apenas. A CAP-TPI foi o sistema que maior apresentou diferença em relação aos outros solos em todas as profundidades, atingindo a média de 11,44 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nos primeiros 10 cm e 1,81 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na última profundidade avaliada.

A CAP-TPI foi o que apresentou maior média no teor de magnésio na profundidade de 0-10 cm (1,37 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), seguido do sistema agrícola TPI, apresentando valor médio em 0,20 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em profundidade (60-90 cm) para todos os sistemas de uso, o teor de Magnésio foi inferior a 0,20 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Para o potássio, a maior média encontrada é de 0,19 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na CAP-TPI. O maior valor de K^{+} na Terra Preta registrado foi de 0,32 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade de 0-10 cm. Ocorreu um decréscimo no teor com o aumento da profundidade.

A Terra Preta foi quem apresentou os maiores valores de soma de bases, em todas as profundidades avaliadas, em relação aos solos adjacentes, atingindo teores de 13 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em superfície na CAP-TPI, enquanto que, para os sistemas adjacentes, esses valores ficaram entre 0,16 e 0,40 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na mesma profundidade avaliada.

Os teores de Bário na Terra Preta variaram de 4,02 a 100 (mg/kg^{-1}) no perfil de solo (0-90 cm). Nos solos adjacentes, os teores variaram de 0,19 a 11,28 (mg/kg^{-1}). O teor médio mais alto encontrado na Terra Preta foi de 53,94 (mg/kg^{-1}) na camada 0-10 cm na CAP-TPI e o teor médio mais alto nos solos adjacentes foi de 6,20 (mg/kg^{-1}) na mesma camada avaliada. O sistema agrícola – TPI na camada de 60-90 cm, o teor de Bário é 24x maior em relação ao sistema agrícola – ADJ e o teor deste elemento na FLJ-TPI é 7x maior em relação à capoeira adjacente.

O Cádmio, na camada 0-10 cm, a maior média (0,41 mg/kg^{-1}) apresentou-se na CAP-TPI enquanto que na CAP- ADJ a média cai para 0,31 mg/kg^{-1} . Para a AGR-TPI, o teor de Cádmio é 2x maior em relação ao solo adjacente agrícola. Para todos os solos, ocorre uma diminuição de teor com o acréscimo da profundidade.

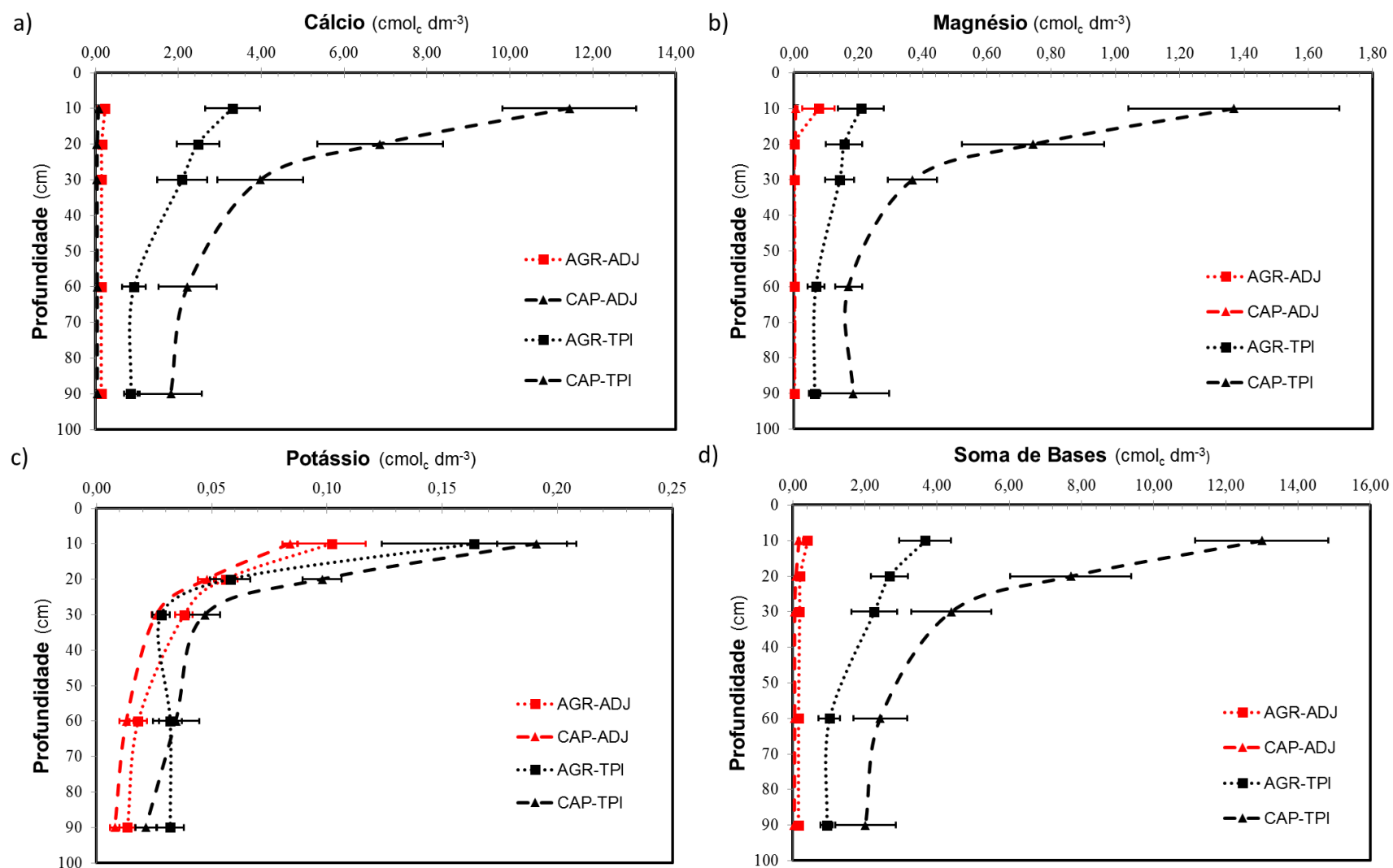


Figura 23. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Ca^{2+} (a), Mg^{2+} (b), K^+ (c) e SB (d).

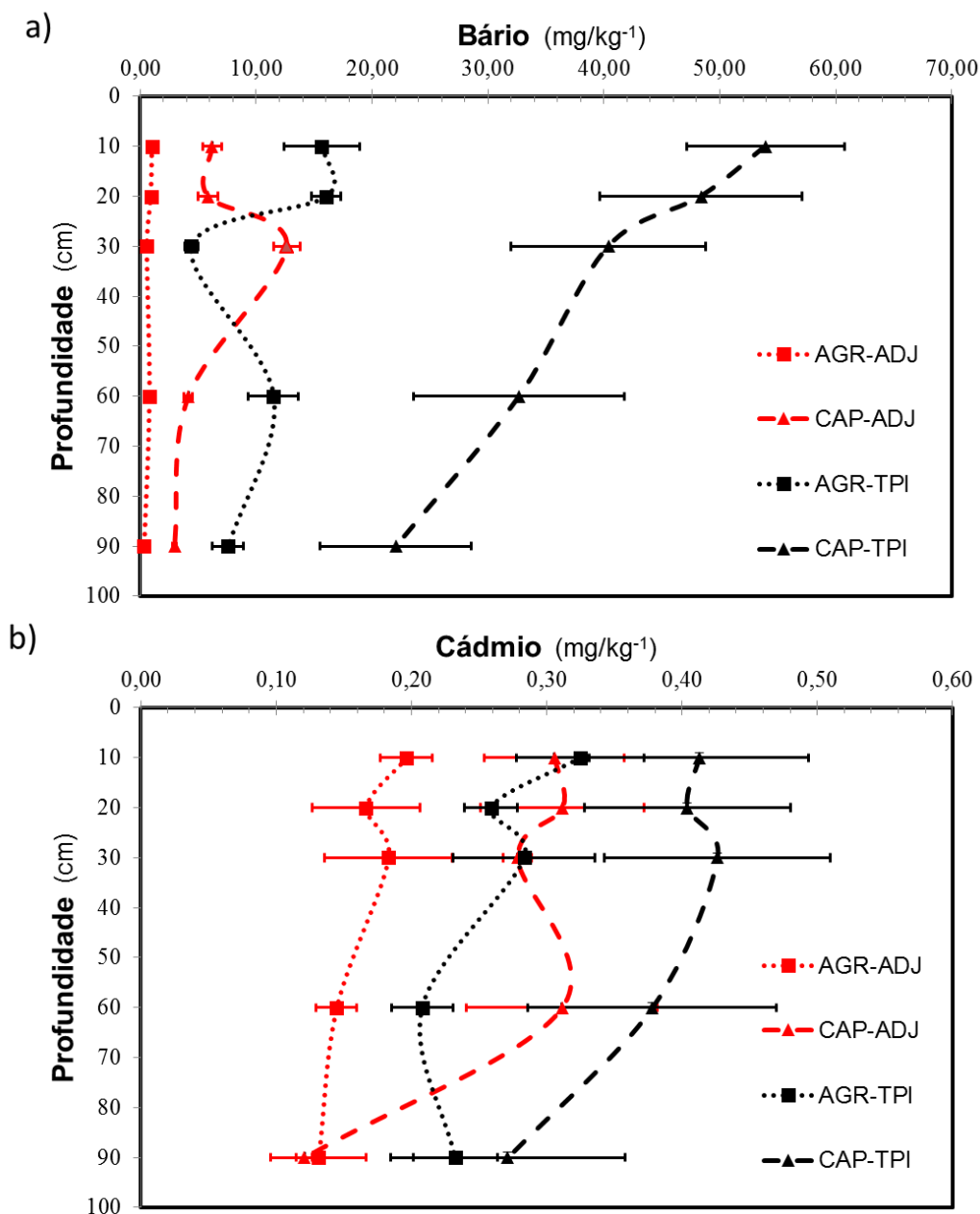


Figura 24. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Belterra-PA. Ba (a) e Cd (b).

3.3.4 Grupo 3- Fósforo, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel (Figuras 25 e 26)

Novamente, as Terras Pretas apresentaram teores muito elevados de P disponível (Mehlich-1), atingindo o valor máximo (1329 mg/dm^3) na camada 30-60 cm, seguido de $1184 \text{ (mg dm}^{-3}\text{)}$ na camada 60-90 cm. Para os solos adjacentes, a variação no teor de fósforo ficou entre 0,8 a $120 \text{ (mg/dm}^3\text{)}$ ao longo do perfil. Na camada 0-10 cm, a maior média $396 \text{ (mg dm}^{-3}\text{)}$ pertence ao sistema CAP-TPI, seguido de $250 \text{ (mg dm}^{-3}\text{)}$ no sistema agrícola - TPI.

Para todos os solos, exceto o AGR-ADJ, os teores de Fósforo se elevam com o acréscimo da profundidade (até 60 cm) onde há média de 594 (mg dm^{-3}) e a partir disso ocasiona uma leve queda nos teores em profundidade até os 90 cm.

As Terras Pretas de todos os sistemas de uso de terra apresentaram altos teores de zinco atingindo a maior média (46,35 mg/kg^{-1}) na CAP-TPI em 0-10 cm. A CAP-ADJ, para a mesma profundidade, apresentou teor de 17,55 (mg/kg^{-1}), praticamente a metade. A mesma situação ocorreu para o outro sistema, onde a CAP-TPI contém 3x mais Zinco do que a capoeira adjacente.

O cobre, na CAP-TPI em 0-10 cm, a concentração chega a ser 4x maior (13,02 mg/kg^{-1}) em relação ao solo adjacente. Na AGR-TPI (8,77 mg/kg^{-1}), em relação ao sistema adjacente (2,52 mg/kg^{-1}), na mesma profundidade, a concentração do elemento é 3x maior. O teor deste elemento decresce com o aumento da profundidade para todos os sistemas observados.

A AGR-ADJ é o sistema que menor apresenta os teores de Chumbo, com a média de 2,60 (mg/kg^{-1}) em 0-10 cm e 2,45 (mg/kg^{-1}) na camada mais profunda avaliada. Entre os solos de Terra Preta, a capoeira foi o que apresentou a maior média (6,42 mg/kg^{-1}) e não teve grande variação em profundidade, o qual serve para todos os outros sistemas de uso de terra avaliados.

Para o Níquel, a CAP-TPI obteve a maior média (3,42 mg/kg^{-1}) entre os sistemas avaliados, na profundidade 0-10 cm. Há um decréscimo no teor deste elemento com o aumento da profundidade, para todos os sistemas. O solo agrícola adjacente é o que menor representa a concentração de níquel ao longo do perfil.

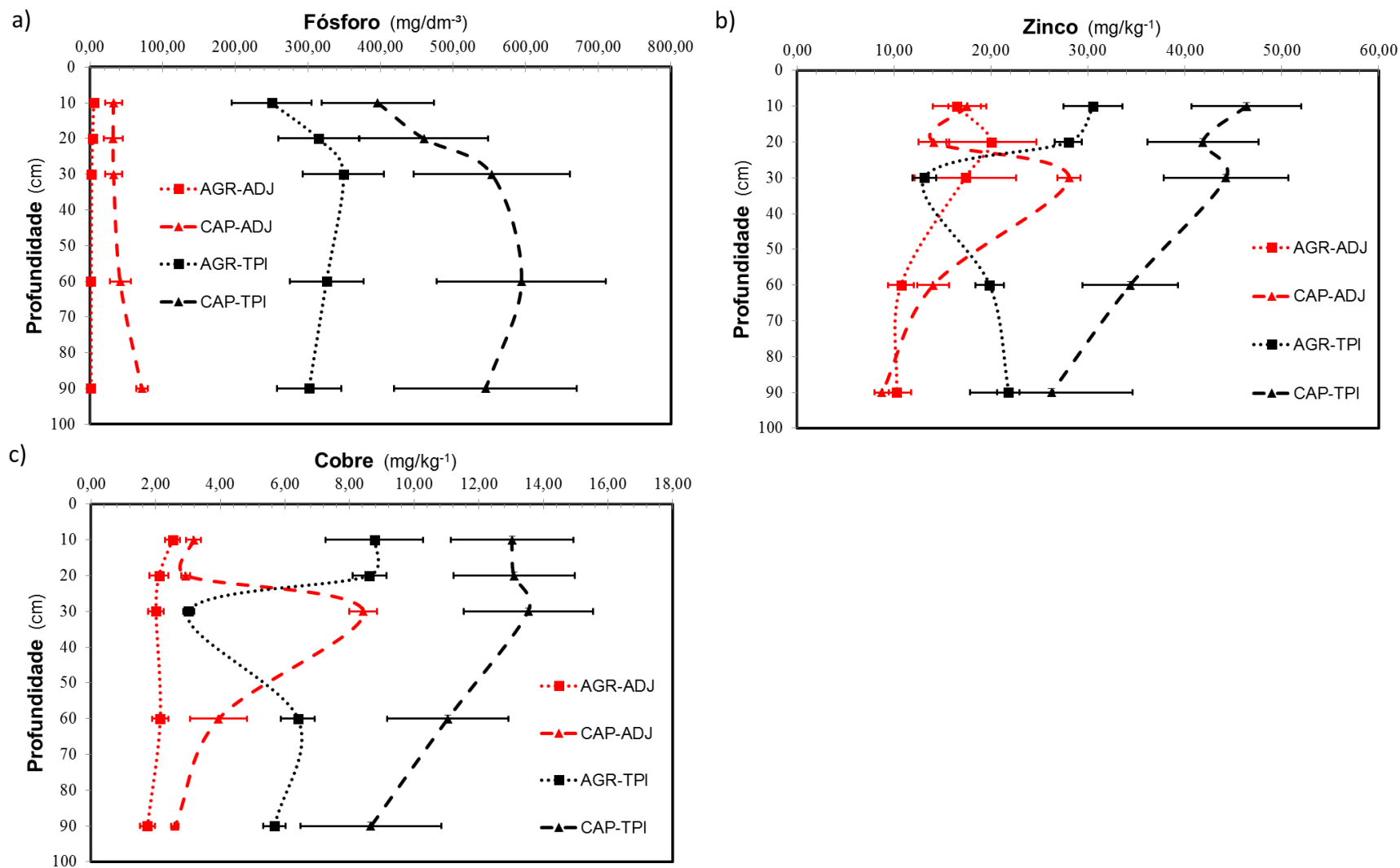


Figura 25. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. P (a), Zn (b) e Cu (c).

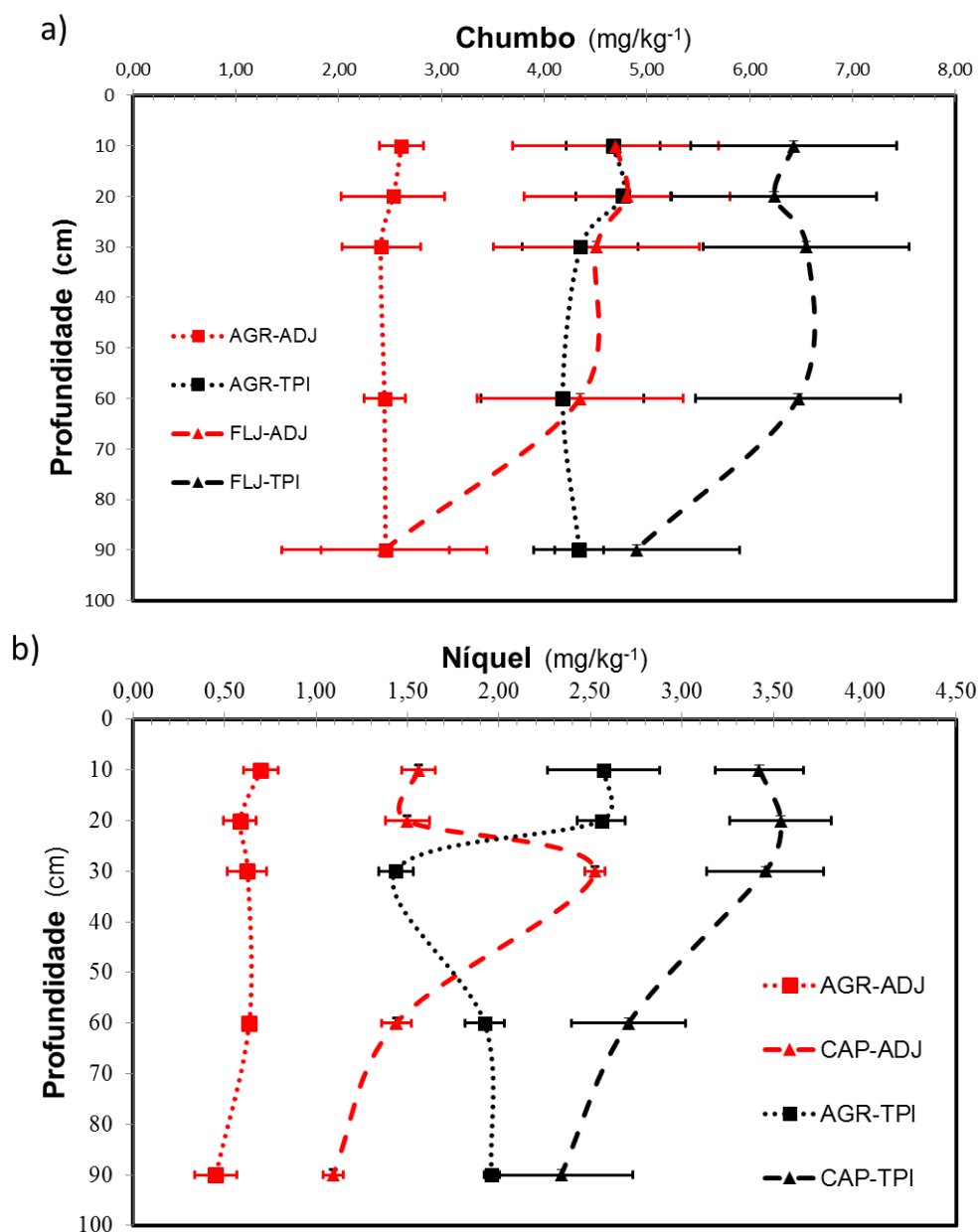


Figura 26. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Pb (a) e Ni (b).

3.3.5 Grupo 4- Carbono, Nitrogênio e Enxofre Total e Hidrogênio (Figura 27)

Nas Terras Pretas, os teores de carbono total (CT) variaram de 1,09 a 9,06 (%), onde a maior média (6,90 %) encontra-se no sistema CAP-TPI (1-a), na camada 0-10 cm. Nos solos adjacentes, a maior média (6,26 %) verificou-se no sistema CAP-ADJ nos primeiros 10 cm. Os teores sofrem um decréscimo com o acréscimo das camadas no perfil, para todos os solos.

Para o nitrogênio total (NT), verificou-se a maior a média (0,55 %) na camada 0-10 cm na CAP-TPI, enquanto que para o sistema adjacente, a média encontrada foi de (0,42 %). Para todos os solos, ocorre uma redução nos teores com o aumento da profundidade. Não teve diferença entre os sistemas agrícolas, terra preta e adjacente.

Os teores de enxofre total (ST), para a profundidade 0-10 cm variaram de 0,03 a 0,05 (%). Para as profundidades mais profundas, os teores médios diferenciaram de 0,02 (AGR-TPI) a 0,07 (%), na capoeira – adjacente. No geral, os solos adjacentes possuem maior teor de enxofre total em relação aos solos de terra preta.

Os teores médios de hidrogênio variaram de 1,29 (AGR-TPI) a 1,79 (%) (CAP-TPI). Verificou-se que, de acordo com o acréscimo da profundidade, houve decréscimo nos teores deste elemento, exceto para a AGR-ADJ.

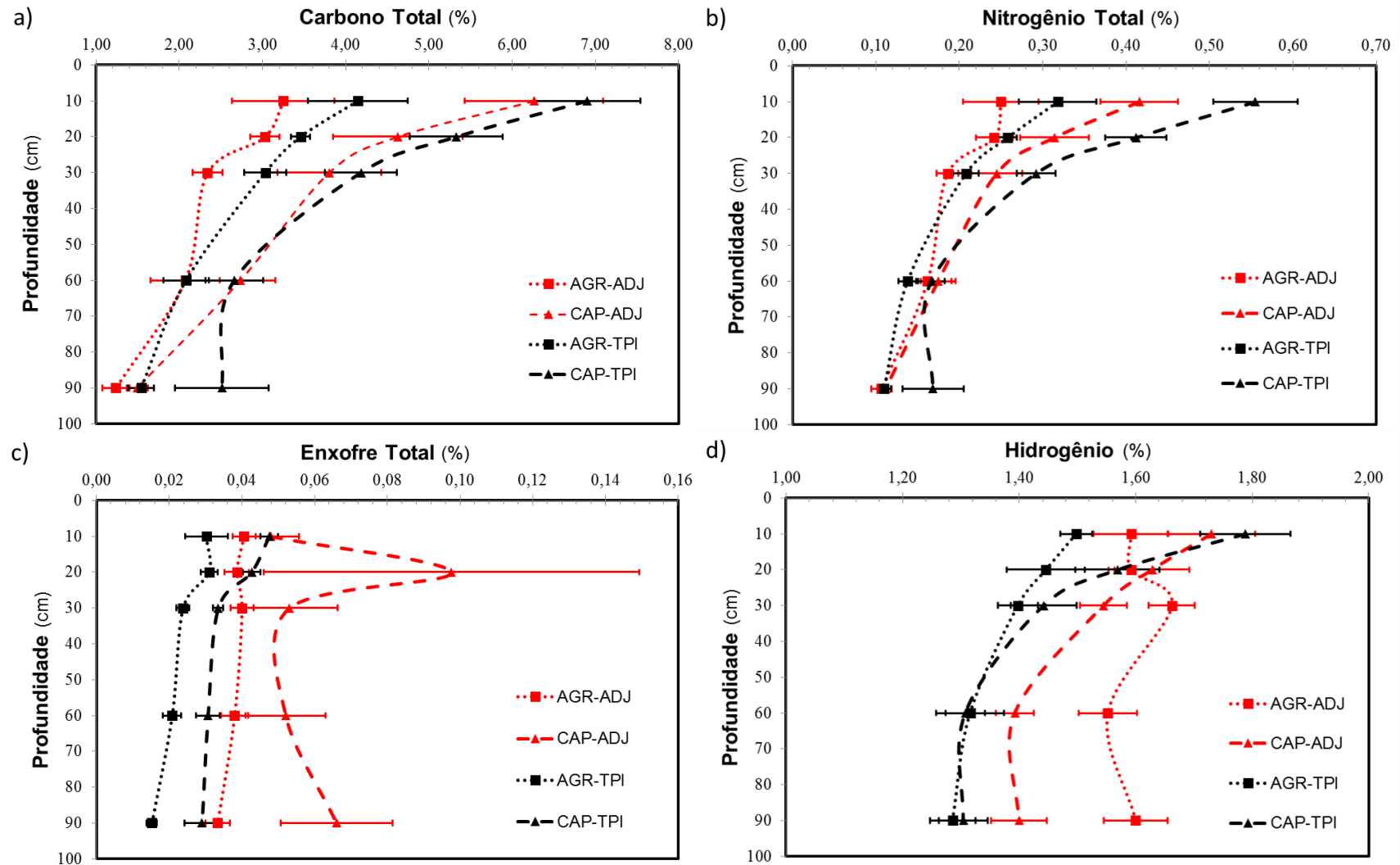


Figura 27. Atributos químicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. C Total (a), N total (b), S total (c) e H^+ (d).

3.3.6 Granulometria do solo (Figuras 28 e 29)

Com base no Manual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a AGR-ADJ, AGR-TPI e a CAP-ADJ apresentaram classe textural muito argilosa. A capoeira – terra preta apresentou classe textural argilosa. O menor valor médio encontrado foi de 469 (g kg^{-1}) na camada 10-20 cm e o maior valor de 777 (g kg^{-1}) em profundidade (60-90 cm). Houve incremento de argila ao longo do perfil para todos os tipos de solo.

Verificou-se que o comportamento do silte foi igual para a maioria dos sistemas, onde ocorreu um acréscimo nos teores até 20 cm e após essa profundidade, ocorreu uma redução nos teores de silte. A variação ocorreu entre 118 (g kg^{-1}) (AGR-ADJ) em 60-90 cm até 294 (g kg^{-1}) (CAP-TPI) em superfície.

A AGR-ADJ obteve os maiores teores de areia total (grossa+fina). Ao longo do perfil, houve um decréscimo no acúmulo de areia total, cujo teor de 95 (g kg^{-1}) é o valor médio mínimo encontrado (CAP-ADJ).

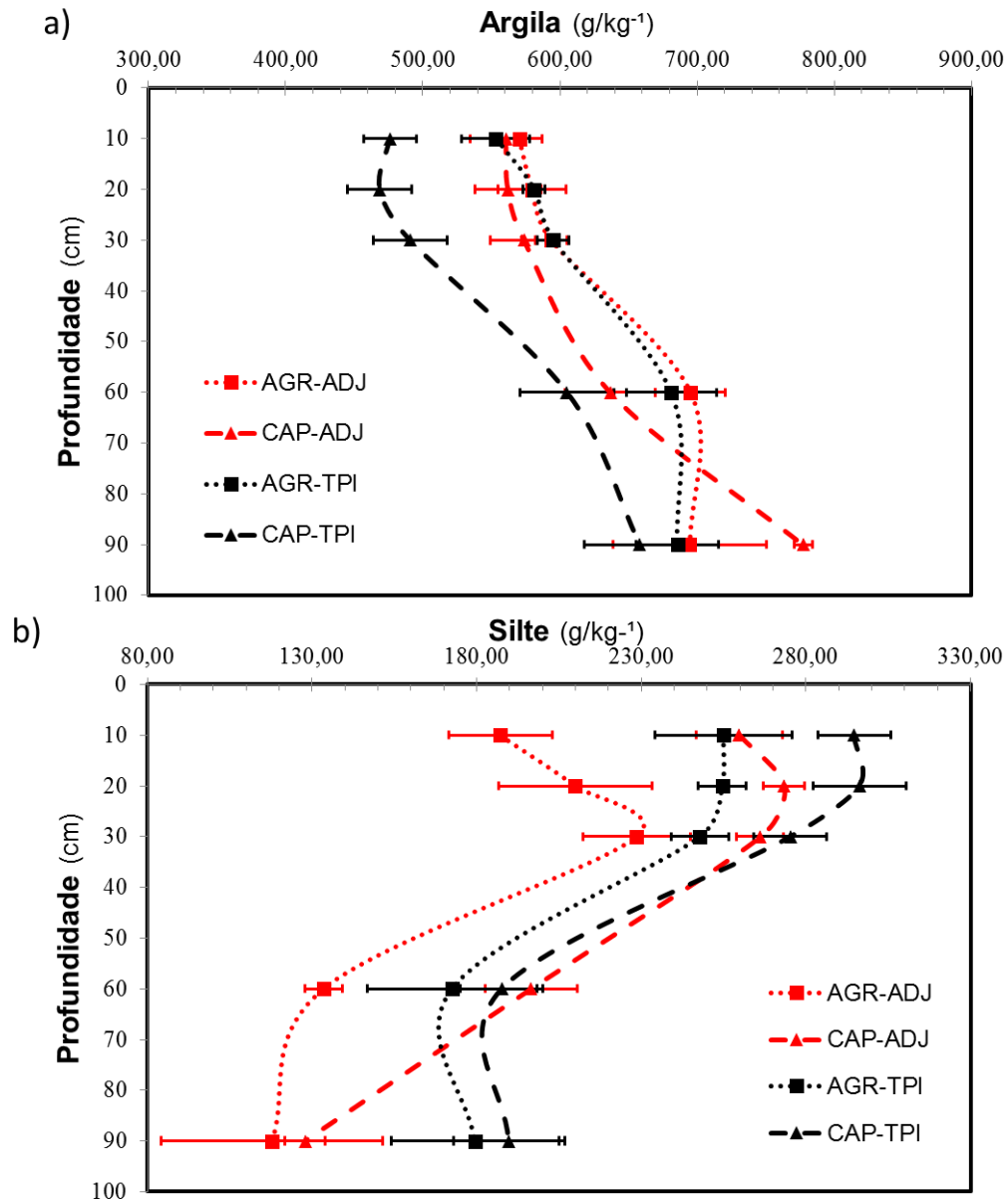


Figura 28. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Argila (a) e Silte (b).

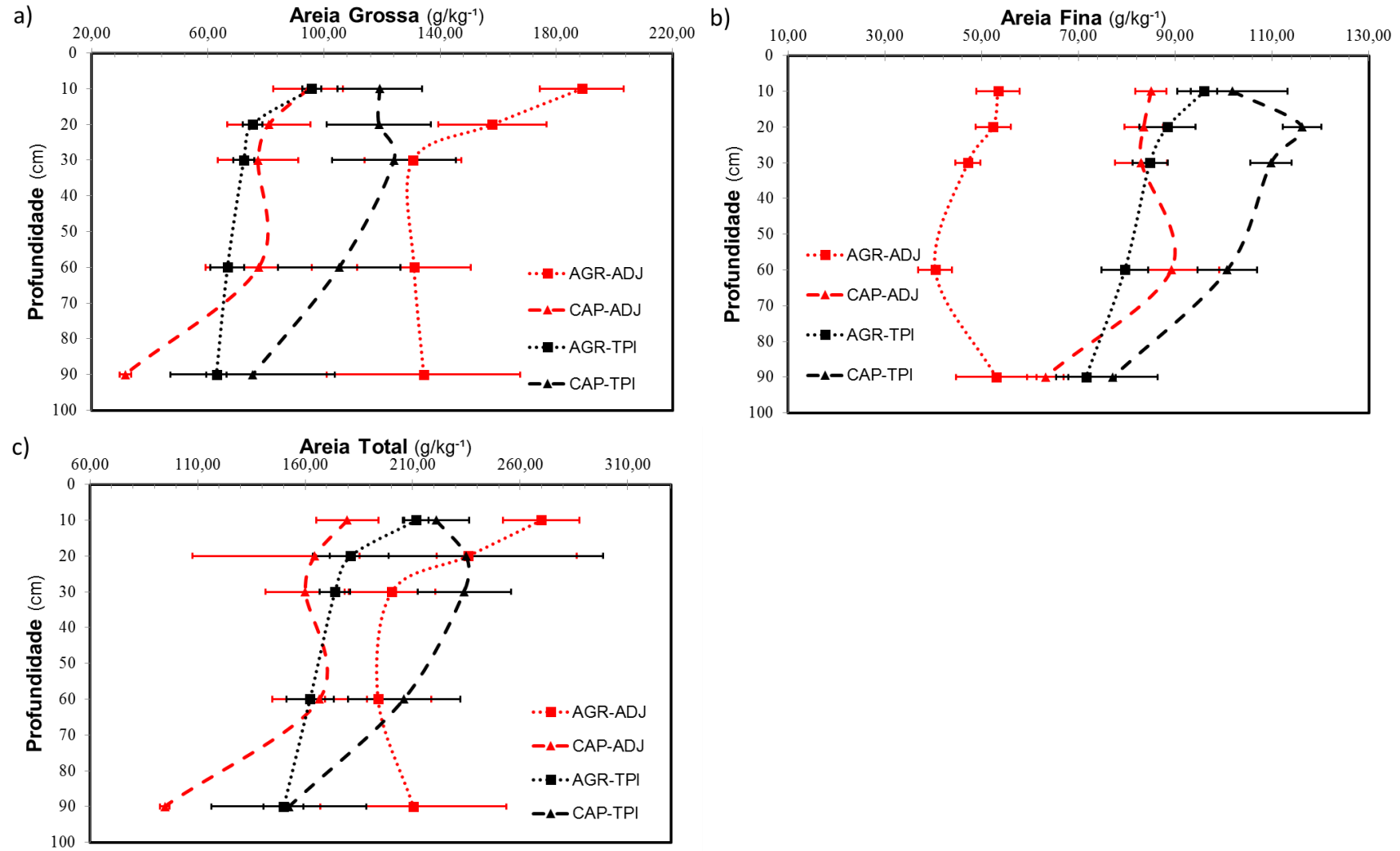


Figura 29. Atributos físicos de TPI's e solos adjacentes sob diferentes sistemas de uso na região de Porto Velho-RO. Areia grossa (a), areia fina (b) e areia total (c).

3.3.7 Densidade aparente e Porosidade

O teor de densidade aparente no sistema agrícola em TPI foi levemente maior em relação aos solos adjacentes. O mesmo não ocorre para a capoeira – TPI, onde os valores de densidade aparente são levemente menores (Tabela 10).

Tabela 9. Média entre os tipos de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Porto Velho-RO, 2016.

Região	Estado	Tipo de solo	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade (%)
Porto Velho	RO	Adjacente	1,07 a	58,80 a
Porto Velho	RO	TPI	1,01 a	61,00 a

Tabela 10. Média entre os sistemas de uso de solo para os atributos físicos avaliados na profundidade de 0-5 cm. Município de Porto Velho-RO, 2016.

Região	Estado	Tipo de solo	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade (%)
Porto Velho	RO	AGR-ADJ	1,22 a	53,00 b
Porto Velho	RO	CAP-ADJ	0,92 b	64,00 a
Porto Velho	RO	AGR-TPI	1,27 a	51,00 b
Porto Velho	RO	CAP-TPI	0,89 b	66,00 a

Obs: Dados ausentes da área 9C – Capoeira, Teotônio-RO. * Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferenças significativas entre os solos x vegetação, com teste Tukey $p < 0,05$.

3.3.8 Análise de Componentes Principais

As análises de componentes principais resultaram em 69 % na variabilidade explicada nos dois primeiros eixos. O eixo X explicou 51,8% e corresponde aos níveis de fertilidade do solo, como K, Ba, Zn, Cu, Mg, Ni, outros, e Areia enquanto o eixo Y explicou 17,2 % da variabilidade total e correspondeu a teores de pH (SMP) e Acidez potencial. Os teores de argila separam as profundidades nos solos adjacentes e teores de nutrientes separam os solos (TPI x ADJ) até os primeiros 30 centímetros de profundidade.

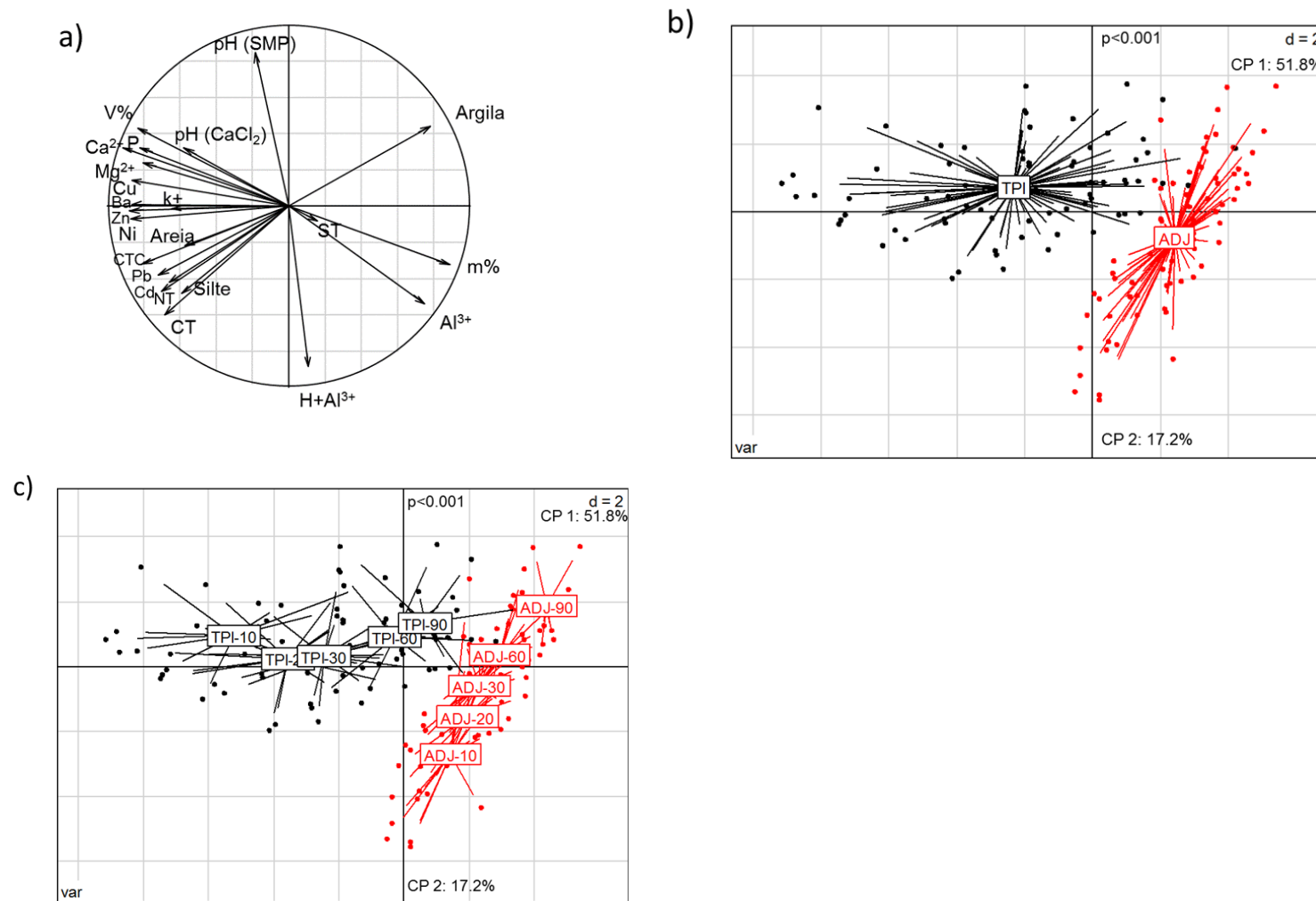


Figura 30. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados na região de Porto Velho-RO. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$.

3.3.9 Análise de Componentes Principais dos atributos químicos e físicos avaliados em todos os municípios avaliados (Figura 31)

As análises de componentes principais resultaram em 62,70 % na variabilidade explicada nos dois primeiros eixos. O eixo X explicou 41,2% e corresponde aos níveis de fertilidade do solo, como Silte, P Cu, Mg, K, Ca, N e Carbono Total enquanto o eixo Y explicou 21,5 % da variabilidade total e correspondeu a teores de pH (SMP), Acidez potencial e Argila. Os teores de nutrientes separam os tipos de solos (ADJ x TPI). Alumínio e m% separam Porto Velho e Iranduba- ADJ das demais regiões, enquanto que Areia, Chumbo, Cádmio em Terra Preta separam Porto Velho e Iranduba de Belterra.

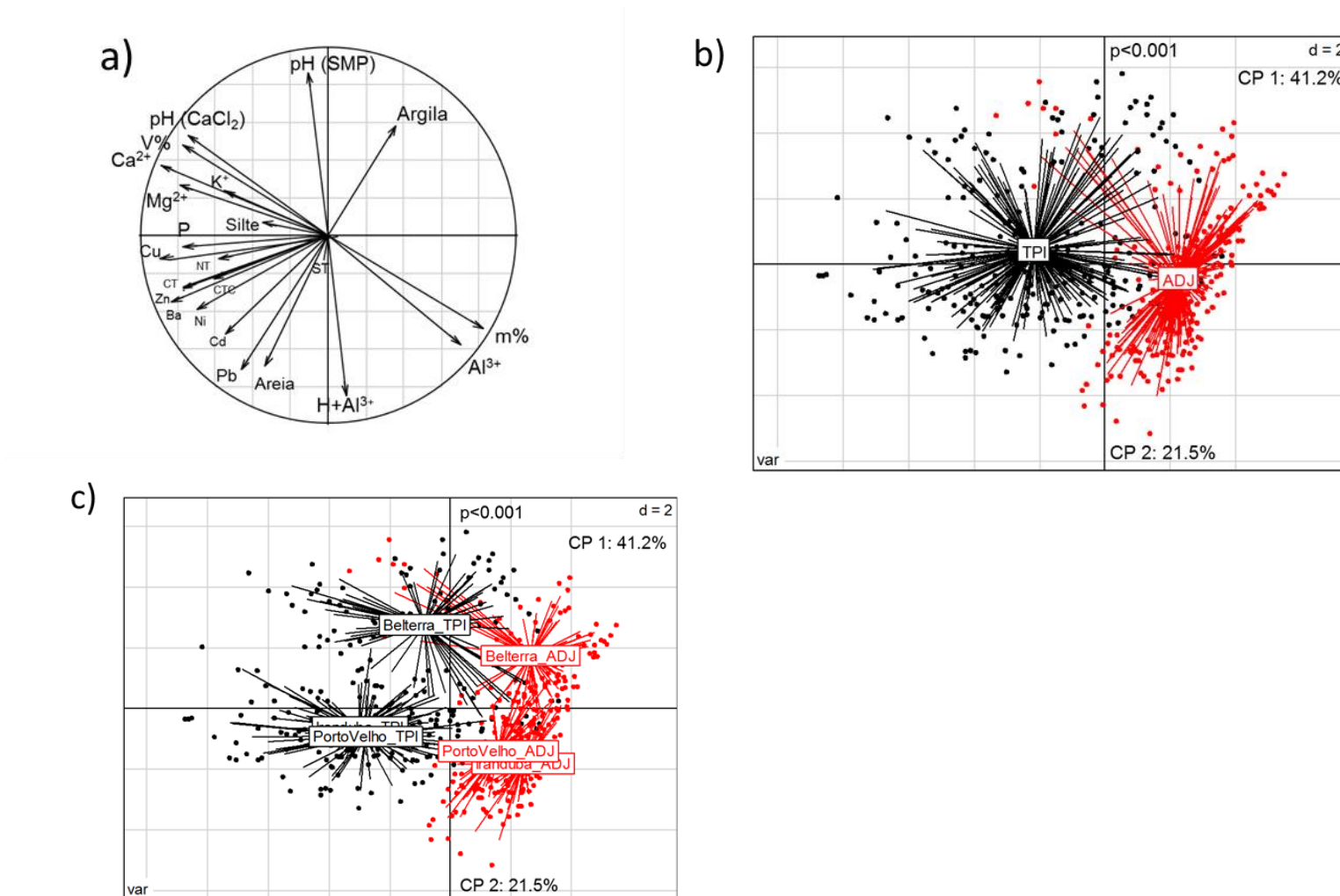


Figura 31. ACP dos atributos químicos e físicos avaliados nos 3 municípios. Círculo de correlação (a), Solos (TPI x ADJ) (b) e Solos x Profundidades (c). Teste de permutação $p < 0.001$.

4. DISCUSSÃO

4.1 GRUPO 1- ACIDEZ ATIVA, ACIDEZ TROCÁVEL, ACIDEZ POTENCIAL, CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA POTENCIAL (T), SATURAÇÃO POR BASES (V%) E SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO (m%)

Os solos de Terra Preta apresentaram maiores valores de pH (CaCl_2) sendo menos ácidos do que seus solos adjacentes.

Moline et al., (2015) em um estudo conduzido próximo a Manaus-AM, obteve média de pH (CaCl_2) de 6,2 na camada 0-20 cm. Neste presente trabalho, a média verificada para os solos de Terra Preta, foi de 4,72 para a mesma camada. A elevação do pH pode estar relacionada com a adição de cinzas, dado que este fato é comumente relatado quando da queima de florestas primárias (Numata et al., 2002). As maiores variações e maiores profundidades devem estar relacionadas com as atividades indígenas, como o uso do fogo no cozimento e produção de cerâmica. Neste caso, a adição por maior tempo ou maior intensidade foi superior em Iranduba-AM, seguido de Belterra-PA e Porto Velho-RO.

Observou-se que não houve variação brusca do pH (CaCl_2) em profundidade.

No município de Iranduba-AM, para as amostras realizadas neste estudo, na profundidade de até 20 cm, o valor máximo encontrado de Al^{3+} foi 1,61 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e a variação média foi de 0,12 a 0,44 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Na camada de 20-60 cm, o valor máximo encontrado foi de 1,33 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com média de 1,23 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Falcão et al., (2001), em solos de TPI, na camada de 0-20 cm, onde o valor máximo encontrado foi 1,60 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com média de 0,20 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Na camada de 20-40 cm de profundidade, o valor máximo de Al^{3+} foi de 1,90 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com média de 1,15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

A saturação por alumínio (%) nas Terras Pretas apresentou teores muito baixos até 20 cm de profundidade e esse valor passou a ser considerado baixo em profundidade (30-90 cm). Para os solos adjacentes, em todas as profundidades, esses valores foram considerados muito altos e estão em acordo com os resultados encontrados por Silva (2006).

Em um trabalho realizado por Falcão et al., (2001), no Amazonas, a saturação por alumínio obteve 4,80 (%) como média, na camada de 0-20 cm. Na região de Iranduba-AM, neste trabalho, a média de saturação por alumínio nos sistemas avaliados nos primeiros 20 cm foi de 4,67 (%), apresentando valores bem semelhantes.

Os valores da acidez potencial encontrados nos solos de Terra Preta foram inferiores aos valores encontrados em solos adjacentes nos primeiros 20 cm. Para todos os sistemas de

TPI, nos primeiros 20 cm, o valor considerado é alto (5,01 – 9,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O maior teor de matéria orgânica determinaria um maior poder tampão e valor de ($\text{H}^+ + \text{Al}$), para um mesmo pH de solo, nas TPI's. Contudo, o maior pH em TPI levaria a um menor valor de ($\text{H}^+ + \text{Al}$), assim, efeito resultante do aumento do pH sobrepuseram o aumento na concentração de matéria orgânica. Meurer (2004), cita que esses resultados podem estar relacionados com o teor de matéria orgânica presentes nos solos antrópicos, uma vez que, a acidez potencial refere-se ao teor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ trocáveis e certamente estes valores estão relacionados com o H^+ liberado pela matéria orgânica.

O aumento do pH resultou em diminuição do Al^{3+} tóxico.

Moreira (2007), analisando 17 áreas de TPI no Amazonas, observou que na camada de 0-10 cm o teor de acidez potencial foi de 5,06 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e na camada de 0-20 cm o teor foi de 6,93 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), resultado semelhante para o sistema de uso agrícola – TPI, que atingiu o valor de 4,89 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na superfície e valores inferiores a 7 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na AGR e FLJ.

A CTC (T) nas áreas de terras pretas apresentou maiores valores quando comparados aos ambientes não antrópicos, provavelmente pelo aumento do teor de matéria orgânica do solo. Para todos os sistemas avaliados, há uma tendência de decréscimo da CTC com a profundidade do solo, mesmo com o decréscimo na porcentagem de argila em profundidade, comportamento resultante do decréscimo da matéria orgânica com a profundidade (Glaser, et al., 2000), comprovando a importância na geração de matéria orgânica ao solo. (McGrath et al., 2001).

Schmidt et al., (2009) observaram que os teores de CTC variavam conforme o uso da área; Áreas abandonadas e que serviram de lixeiras apresentaram 25,3 e 12,3 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e em áreas cultivadas o teor da CTC variou de 10,8 e 6,4 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Neste trabalho, os teores da CTC foram um pouco superiores, variando a CTC no sistema agrícola de 8,53 a 13,51 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A percentagem de saturação de bases (V%) apresentou valores mais elevados na TPI, quando comparados aos solos não antropogênicos. Para os solos adjacentes, o (V%) foi considerado muito baixo e para os solos de Terra Preta, os teores são considerados médios (40,1 – 60,0 %). Falcão et al., (2001) obteve a média de 95 (%) na camada 0-20 cm, resultado este, superior ao encontrado neste trabalho, onde a média foi de 54 (%).

Em Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO, a saturação por bases média foi de caráter eutrófico, (0-10 cm) ocorrendo um decréscimo em profundidade, enquanto os solos

naturais da Amazônia, distróficos, evidenciando que a intensidade das contribuições antropogênicas interfere no comportamento dos solos (Campos et al., 2011).

4.2 GRUPO 2- BASES TROCÁVEIS (Ca^{2+} Mg^{2+} , K^{+}), SOMA DE BASES (SB), BÁRIO E CÁDMIO

Os teores de Cálcio encontrados nos solos de Terra Preta em Iranduba-AM e Belterra-PA são considerados muito altos até os 30 cm de profundidade e altos, posterior esta camada. Somente em Porto Velho-RO, os solos de Terra Preta apresentaram teores muito alto até os 20 cm e no sistema agrícola, alto, até os 30 cm. O mesmo não acontece para os solos naturais, pois foram encontrados valores menores que $0,40 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ e são considerados muito baixos.

Observa-se que os maiores teores de Ca^{2+} ocorreram na profundidade 0-20 cm. Esses resultados não diferiram dos trabalhos relatados por outros autores (Falcão, 2003; Kern, 2003; Lehmann, 2003; Madary, 2003)

Em um trabalho realizado por German (2003), próximo a Manaus-AM, encontrou-se o valor médio $5,41 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ nos primeiros 30 cm de profundidade em solos de Terra Preta, resultado um pouco inferior encontrado em Iranduba-AM neste trabalho, onde a média encontra-se em $7,04 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ para a mesma camada.

O alto teor de Cálcio trocável encontrado principalmente nas camadas superficiais das terras pretas, está relacionado com a grande quantidade de resíduos orgânicos que foram depositados nessas áreas ao longo dos anos Kern (2002). O decréscimo de Ca^{2+} em profundidade, pode indicar a dependência da manutenção via ciclagem de nutrientes.

Em decorrência do aumento do pH, houve uma maior adição dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}). Os acréscimos de Cálcio podem ser principalmente via osso, comuns nas TPI's e a manutenção deste nutriente no solo pode ser obtida via absorção e ciclagem, visto que o Ca^{2+} é o mais abundante elemento na biomassa florestal. (Braz et al., 2011). O decréscimo nos valores em profundidade, pode estar relacionado à diminuição da CTC, que por sua vez está associado ao decréscimo de C total.

O Mg^{2+} apresentou valores considerados médios (TPI) até os 20 cm de profundidade e muito baixos (ADJ) na mesma camada avaliada. Tanto o Cálcio quanto o Magnésio, apresentaram maior concentração nas camadas superficiais, o que está de acordo com o (Steinbeiss et al., 2009). Esses autores afirmaram que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} podem variar

entre as Terras Pretas, o que pode ser reflexo da variação do tempo e da densidade da ocupação humana nas áreas.

A relação Ca/Mg indica uma maior adição e manutenção do Ca^{2+} no sistema, pois o Ca^{2+} se encontra em maiores teores nos tecidos de plantas e principalmente nos ossos depositados ao longo dos anos.

Os teores de potássio encontrados são considerados baixos e médios, para todos os solos e profundidades. Ao contrário dos teores de Ca^{2+} e P, que foram muito elevados nos solos de Terra Preta, os teores de potássio são bem menos expressivos, embora levemente maiores que encontrados nos solos adjacentes. Para a floresta antiga-TPI (Iranduba-AM), na camada 0-10 cm, a média é de 0,08 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) enquanto que para o mesmo sistema, porém, adjacente, a média é de 0,06 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), na mesma camada avaliada. Estes valores, estão de acordo encontrados por (Lehmann et al., 2003b). Valores de baixo a médio, estão associados com a menor força de adsorção no solo, menor que Ca^{2+} e Mg^{2+} , tornando-o mais susceptível à lixiviação.

Os valores de K^+ relatados na literatura, são mais altos nas áreas de produção em comparação com a floresta Ferreira et al., (2009), por consequência da ciclagem via excreção de animais (Costa e Paulino, 2008). Neste trabalho, apenas para a região de Iranduba-AM o K^+ mostrou-se altamente significativo entre os sistemas de uso de solo.

Segundo Cochrane et al., (1985) os teores de K^+ nas Terras Pretas é baixo, pois há uma predominância de caulinita, com argila (1:1), visto que, as argilas 1:1 não apresentam sítios de elevada força de adsorção de K^+ , além do alto índice pluviométrico responsável pela lixiviação, dificultando a permanência deste nutriente no solo por longos períodos.

Na região de Iranduba, a Soma de Bases (SB), a média encontrada nas Terras Pretas foi 8,58 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade de 0-20 cm. Valor muito parecido foi encontrado por Falcão et al., (2003), onde a média verificada entre os dez sítios, foi de 8,55 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Portanto, entre os cátions básicos, o Cálcio e o Magnésio são o que mais contribuíram para a Soma de Bases (SB) nas Terras Pretas.

Os teores de Bário total foram nitidamente muito mais altos em relação aos solos adjacentes, para todas as profundidades avaliadas, totalizando em uma concentração maior em 15x até os 60 cm de profundidade no sistema agrícola – TPI. Tal fato, pode estar associado à sua maior força de adsorção do Ba, em relação ao Ca^{2+} e a adição via alimentos ricos em Ba, como castanha do Pará (Gonçalves, 2007), que podem permitir a adição de doses elevadas do

mesmo. Grande diferença na concentração nativa do solo foi observada e pode estar associada ao material de origem, sendo que o Ba é comum em rocha granítica.

Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com os resultados encontrados por Costa et al., (2013), em que os teores de Bário decrescem em profundidade, ou seja, os teores aumentam da camada subsuperficial para a superficial.

Ainda segundo estes autores, essas áreas com altas concentrações deste elemento, como também (P, Ca, Mg, K, Zn, Cu, Mn, Ba e Sr) pode ser indicativo de fragmentos cerâmicos, o que indica que estes eram os locais de maior ocupação ou atividade e, portanto, são relacionados a atividades domésticas, como preparo e consumo dos alimentos. Estes autores ainda citam que, as altas concentrações deste elemento em áreas sem fragmentos cerâmicos, podem indicar a presença de resíduos orgânicos de origem animal (pele e ossos), peixes, ou até mesmo excrementos humanos e (ou) animais.

Pesquisas relacionadas com teores de Cádmio em TPI ainda são escassas, sugere-se que sejam realizadas a fim de compreender a função deste elemento no complexo sistema de Terra Preta.

4.3 GRUPO 3- FÓSFORO, ZINCO, COBRE, CHUMBO, NÍQUEL

Observa-se que em Porto Velho-RO, a FLJ-TPI apresentou as maiores médias em relação ao sistema agrícola, cujo valor na profundidade de 30-60 cm é de 594,23 (mg dm⁻³).

Kern e Kampf (1989) e Lima (2001) também observaram teores mais elevados de P em camada mais subsuperficial. A variação do P em profundidade pode ser atribuída ao abandono temporário do sítio, à mudança no tamanho da população ou na forma de subsistência (Sjoberg, 1976), ou ainda, resulta da lixiviação, em decorrência dos teores muito elevados de P, das perdas por erosão (Lima, 2001). Outros autores (Smith, 1980; Kern, Kampf, 1989; Kern; Lima, 2001) também observaram teores elevados de P disponível (Mehlich-1) em Terras Pretas de diferentes locais da Amazônia.

De acordo com Lima (2001), esta mobilidade do P pode resultar do excesso de fosfato incorporado na superfície, que supera e muito as exigências das plantas e satura os sítios de adsorção, aumentando assim o potencial de perdas por lixiviação deste elemento.

Os teores médios de Zinco encontrados na TPI foram: 33,18 – 14,28 e 34,14 (Irlanduba, Belterra e Porto Velho (mg/kg⁻¹), respectivamente. Essas diferenças, dentro da TPI, possivelmente, são consequências de sua localização (Moreira et al., 2009).

Falcão e Borges (2006), observaram que em TPI natural o teor de Zinco foi de 9,68 (mg/kg^{-1}) e em TPI adubada os teores de Zinco foram de 13,21 (mg/kg^{-1}). Estes autores ainda afirmam que, os teores variam entre os sítios, o que confirma a teoria de que o uso e manejo do solo associado ao hábito alimentar interferem na disponibilidade deste nutriente em solos antrópicos.

Semelhante aos resultados obtidos neste trabalho, variação de (7,90 a 82,24 mg/kg^{-1}), foi observado que a disponibilidade de Zinco em amostras TPI, indicou grandes amplitudes que variaram de 0,77 a 69,55 (mg/kg^{-1}) (Moreira et al., 2009).

Em um estudo realizado na Amazônia Ocidental por Moline et al., (2015), o teor médio de Cobre na camada 0-20 cm nas TPI é de 0,9 (mg/dm^{-3}). Resultado este, bem inferior ao encontrado neste trabalho, onde o valor médio para a mesma camada avaliada é de 11,06 (mg/dm^{-3}).

Para os solos analisados em Iranduba-AM, os teores de Níquel crescem em profundidade, valores semelhantes encontrados (Lemos et al., 2011). Em Belterra-PA e Porto Velho-RO, ocorre o oposto, os valores decrescem em profundidade.

Segundo Costa et al., (2013) Ni e Pb estavam presentes em concentrações similares em Terras Pretas e Terras mulatas. O enriquecimento de Ni nos solos de Terra Preta reflete a presença parcial de ferro (FeOH) e oxi-hidróxidos de alumínio (AlOH), que são comuns em solos caulíníticos (Kern, 1996; Costa e Kern, 1999; Kampf et al., 2003).

Neste presente trabalho, a média do teor de Níquel na Terra Preta variou de 1,03 a 19,39 (mg/kg^{-1}) em Iranduba-AM; 0,35 a 2,57 (mg/kg^{-1}) em Belterra-PA e 1,20 a 5,32 (mg/kg^{-1}) em Porto Velho-RO.

Os teores de Chumbo foram semelhantes para ambos os tratamentos, variando de 3,93 a 5,64 (mg/kg^{-1}) na Terra Preta e 2,18 a 5,72 (mg/kg^{-1}) nos solos adjacentes.

Os teores de Chumbo são relativamente similares ao longo do perfil de solo, valores semelhantes encontrados por (Lemos et al., 2011).

4.4 GRUPO 4- CARBONO, NITROGÊNIO E ENXOFRE TOTAL E HIDROGÊNIO.

Os teores de Carbono Total (CT) mostraram efeito significância somente entre os tratamentos, exceto no estudo realizado em Porto-Velho-RO, onde não foi significativo.

Em um estudo realizado em Santarém-PA por Birk et al., (2010), as amostras de solo de Terra Preta obtiveram valores de CT de 4,5 (%) em 0-10 cm; 2,0 (%) em 30-40 cm. Enquanto que os solos adjacentes apresentaram 1,5 e 0,7 (%) nas mesmas profundidades, respectivamente.

Neste trabalho, para Belterra-PA, obtivemos valores um pouco superior, 5,45 (0-10 cm) e 2,63 em 30 cm de profundidade.

Moline et al., (2015) encontrou valores de CT que variam de 2,4 na camada 0-5 cm a 1,60 (%) em 20 cm nas TPI. Esses valores são inferiores ao encontrado neste estudo, onde as médias são de 3,65 e 2,20 (%) nas camadas 0-5 cm e 10-20 cm, respectivamente.

German, (2002) em 8 amostras de Terra Preta, encontrou teores que variaram de 0,6 a 3,20 CT (%), até 96 cm de profundidade. Neste trabalho, encontraram-se valores que variaram de 0,55 a 3,97 (%) – Iranduba-AM. Em Porto Velho-RO, esses valores foram um pouco superiores, alternando entre 1,54 a 6,90 (%) ao longo do perfil.

Segundo Lehmann et al., (2003), as concentrações de N total nas TPI's são muito mais altas que nos solos adjacentes. Neste presente trabalho, as concentrações de N na TPI em relação aos solos adjacentes foi levemente maior, não havendo efeito vegetação e (ou) tratamento x vegetação, mas, se destaca a diminuição de acordo com a profundidade no perfil de solo, fato observado também por (Moline et al., 2015).

Em um estudo realizado por Moline et al., (2015), próximo a Manaus, os teores de Enxofre mostraram pouca variação a partir da mata nativa e ocorre aumento no teor de acordo com a maior profundidade e somente na TPI a diminuição dos teores foi mais expressiva, mostrando a baixa capacidade deste solo na retenção de SO_4^{2-} provavelmente pelo alto pH e preenchimento das cargas dos colóides do solo pelo ânion fosfato, que é mais fortemente retido, assim, liberando o Enxofre para a solução e perdas para a subsuperfície do solo. (Caires e Fonseca, 2000). No presente estudo, as áreas de floresta jovem e floresta antiga, houve uma diminuição nos teores de 34 e 36% ao longo do perfil, respectivamente, enquanto que, no sistema agrícola, essa redução foi de 61%.

4.5 GRANULOMETRIA DO SOLO

Falcão et al., (2003) em um trabalho conduzido na região de Belterra-PA, em que 50% dos sítios analisados possuem classe textural Muito Argiloso, idêntico aos solos (TPI e Adjacente) conduzidos neste trabalho, para o mesmo local.

Lima et al., (2002) destacaram que as TPI's são bem drenadas e com textura variando de arenosa a muito argilosa, em razão dos aspectos pedogenéticos.

Em um estudo conduzido por Silva et al., (2011) em amostras de solos TPI na Amazônia Central, indicou a predominância da fração areia sobre as frações mais finas (silte e argila), resultado distinto ao encontrado neste trabalho, onde as frações mais finas,

principalmente Argila predominou sobre as demais. Os solos adjacentes na região de Iranduba-AM, são representados basicamente pela fração areia, valores semelhantes encontrados por (Silva et al., 2011).

Teixeira et al., (2010) relataram que os solos de Terra Preta normalmente apresentam a fração areia em maior percentual em relação aos solos circundantes, mas ocorre uma grande variação entre os sítios de TPI, variando de textura argilosa a muito argilosa.

No Sul do Amazonas, os solos de TPI apresentaram textura variando entre franca, franco-arenosa, franco-siltosa, franco-argilosa, enquanto que nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, as texturas foram classificadas como franco-siltosa, franca, argilosa e muito argilosa. (Santos et al., 2013). Neste trabalho, já nas camadas mais superficiais, os teores de argila já são relativamente altos e ocorre um acréscimo em profundidade ($> 40 \text{ g kg}^{-1}$).

4.6 DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE

As TPI's apresentam valores de densidade do solo melhor correlacionada com a distribuição granulométrica das partículas do que com os teores de matéria orgânica, segundo Teixeira et al., (2010). Ainda, segundo esses autores, valores de densidade maiores que 1,3 a 1,4 (g/cm^3) são indicativos de compactação para os solos de textura argilosa e muito argilosa, na Amazônia Central.

Laird et al, (2010) destaca que os solos ricos em carvão apresentam menor densidade e maior porosidade que os solos adjacentes. Esses resultados estão de acordo ao encontrado neste trabalho, onde a densidade dos solos de TPI foram inferiores aos solos adjacentes e a porosidade (%) foi suavemente maior.

Campos et al., (2012) e Neves Júnior (2008), estudando áreas de TPI's em regiões da Amazônia Central, afirmaram que a baixa densidade do solo nos horizontes antropogênicos relaciona-se com os altos teores de carbono orgânico.

Para Steinbeiss et al. (2009), a menor densidade do solo nos horizontes superficiais pode ser resultante da intensa atividade biológica (fauna e raízes), que contribui para a formação de poros.

A porosidade total (%) foi levemente maior nos solos antrópicos que nos demais solos adjacentes, esses resultados, relacionam-se com os elevados teores de matéria orgânica e a intensa atividade biológica nos horizontes antrópicos (Campos et al., 2011).

5. CONCLUSÃO

1. As fertilidades das Terras Pretas foram maiores em relação aos solos adjacentes da Amazônia;
2. Embora as Terras Pretas apresentem níveis muito altos de P e Ca^{2+} , também apontam limitações com relação ao K^+ ;
3. O efeito da cobertura vegetal foi altamente significativo para os elementos chave na gênese das TPI's, (Ca^{2+} e P) nas regiões de Belterra-PA e Porto Velho-RO;
4. As TPI's apresentaram teores elevados de Ba, Ni e Cd em relação aos solos adjacentes, apesar de que o último ainda é pouco estudado no complexo sistema TPI;
5. Ocorreu um decréscimo nos teores de Enxofre total para todos os sistemas avaliados;
6. Para os parâmetros físicos do solo avaliados, não houve diferença estatística entre os tratamentos (ADJ x TPI), exceto para a região de Iranduba-AM.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JL de M, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift*. 2013;22:711–728.
- Anderson JM, Ingram JSI. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2ed. Wallingford: CAB International, 1993.171 p.
- Arroyo-Kalin M. Slash-burn-and-churn: Landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. *Quaternary International*. 2012; 249:4-18.
- Balée W, Erickson CL. *Time and complexity in historical ecology*. Columbia University Press, New York. 2006.
- Braz AM de Souza, Fernandes AR, Alleoni LRF. land degradation & development. 24: 33–38 (2013). Soil attributes after the conversion from forest to pasture in amazon.
- Birk JJ, Teixeira WG, Neves EG, Bruno G. Faeces deposition on Amazonian Anthrosols as assessed from 5b-stanols. *Journal of Archaeological Science*, 2010.
- Campos MCC, Santos LAC, Silva DMP, Mantovanelli BC, Soares MDR. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *R. Agro@mbiente On-line*, 2012; 6:102-109.

- Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VS, Ribeiro Filho VS, Ribeiro Filho MR, Souza RVCC, Almeida MC. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. *Bragantia*, 70:18-27, 2011.
- Caires EF, Fonseca AF. 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/S0006-87052000000200013>.
- Carson JF, Whitney BS, Mayle FE, Iriarte J, Prümers H, Soto JD, Watling J. Environmental impact of geometric earthwork construction in pre-Columbian Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014; 111:10497-10502.
- Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. Aproximação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 1999. 359p.
- Cochrane T, Sanchez L, Azevedo L, Porras J, Garver C. *Land in Tropical America*. Brasília: CIAT; 1985. 29 p.
- Costa NL, Paulino VT. 2008. Use of fire in pasture management. *Pubvet* 2:1–8 (in Portuguese).
- Costa JA, Costa ML, Kern DC. 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, 2013.
- Chauvel A, Lucas Y, Bollet R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazônia, Brasil. *Experientia*. 1987; 43:234-241.
- Cunha L, Brown G, Stanton DWG, Silva D, Hansel FA, Jorge G. Soil animals and pedogenesis: the role of earthworms in anthropogenic soils. *Soil Science*. 2016;181:110–125. doi: 10.1097/SS.0000000000000144.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: SPI/Embrapa Produção de Informação. 1999; p. 412.
- Eden MJ, Bray W, Herrera L. “Terra Preta” soils and their archaeological context in the Caqueta basin of southeast Colombia. *American Antiquity*. 1984; 49: 125-140.
- Falcão NPS, Carvalho EJM, Comerford N. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. In: Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira, XI. Grupo de trabalho: Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia: estudo da arte. Rio de Janeiro, 2001.
- Falcão NPS, Comerford N, Lehmann J. Determining nutrient bioavailability of Amazonian dark earths. In: Lehmann J, Kern DC, Glaser B, Woods W. *Amazonian dark earths – origin – properties – management*. Netherlands: chapter: kluwer academic publishers, 2003.

- Falcão NPS, Silva JRA. Phosphorus adsorption characteristics in some Central Amazonian soils. *Acta Amazonica*. Acta Amaz. vol.34 no.3 Manaus July/Sept. 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>.
- Falcão NPS, Borges LF. Efeito da fertilidade de Terra Preta de Índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*Carica papaya* L.). *Acta amazônica*, v. 36, n. 4, p. 401–6, 2006.
- Ferreira EVO, Anghinoni I, Carvalho PCF, Costa EVGA, Cao EG. 2009. Soil potassium content in an integrated crop-livestock system under no-tillage with different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 1675–1684.
- Fearnside PM. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and management*. 1996; 80p.
- Glaser B; Guggenberger G, Zech W, Ruyter ML. Soil Organic matter stability in Amazonian Dark Earths. In: Lehmann, J: et al. (Eds.). *Amazonian dark earths: origin, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003.p.141-158.
- Glaser B, Birk JJ. State of the scientific know-ledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). In: *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2012; 82, 39–51. DOI: 10.1016/j.gca.2010.11.029.
- Glaser B, Lehmann J, Steiner C, Nels T, Yosaf M, Zech W. 12th ISCO Conference. Beijing. 2002; 425-427.
- Glaser B, Balashov E, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region *Organic Geochemistry*, v. 31, p. 669-678, 2000.
- German LA. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma*, v.111, p.307–331, 2003.
- Gonçalves AM. Determinação e fracionamento de bário em castanha-do-pará. Universidade federal de São Carlos. Centro de ciências exatas de tecnologia. Departamento de Química. 115 pg. 2007.
- Heckenberger MJ, Russel JC, Toney JR, Schmidt MJ. The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2007; 362:197-208.
- Hoorn C, Wesselingh FP. Introduction: Amazonia, landscape and species evolution. Carina and F. P. Wesselingh, editors. *Amazonia: landscape and species evolution: A look into the past*. Willey- Blackwell, Oxford, UK. 2010; Pages 1-8 in H.
- INPE: pág. da internet http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2003 Jordan CF, Herrera, R. Les forêts ombrofiles tropicales: les elements nutritifs sontils réellement un facteur critique? *Nature et Ressources*. 2003; 17:8- 15.
- Kern DC, 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*. 1989; v. 13, p. 219-25.

- Kern DC, D'Aquino G, Rodrigues TE, Frazão FJL, Sombroek W, Myers TP, Neves EG. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: Amazonian Dark Earths: Origin, Properties and Management. 2003.
- Kern DC. Solos de Terra Preta podem ser solução para a agricultura na Amazônia. 2002. Disponível em: <<http://www.museu-goeldi.br/destaqueamazonia/tpa.htm>> Acesso em: 29 mai. 2003.
- Laird DA, Fleming PD, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, Amsterdam, v. 158, p. 443-449, 2010.
- Lehmann J, Kern DC, German LA, McCann GC, Martins L, Moreira A. Soil Fertility and Production Potential. In J. Lehmann, D. C. Kern, B. Glaser, and W. Woods (Eds.). Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, management. 2003; pp. 105–124. Kluwer Academic Publishers.
- Lehmann J, Da Silva JJR, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B. 2003b. Nutrient availability and leaching in a archaeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249:343-357.
- Lemos VP. Nutrients in Amazonian Black Earth from Caxiuanã Region. *J Braz Chem Soc.* v. 22, n. 4, p. 772–9, 2011.
- Lima HN, Schaefer CER, Mello JWV, Gilkes RJ, Ker JC. 2002. Pedogenesis and pre-Columbian land use of "Terra Preta Anthrosols" (Indian black earth) of Western Amazonia. *Geoderma*, 110:1-17.
- Luizão FJ, Schubart ORH, 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 43:259-265.
- Madary B, Benites VM, Cunha TJF. The Effect of Management on the Fertility of Amazonian Dark Earth Soils. In: Lehmann J, Kern DC, Glaser B, Woods W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Chapter: Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- McGrath DA, Smith CK, Gholz HL, Oliveira FA. Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazonia. *Ecosystems* (2001) 4: 625–645 DOI: 10.1007/s10021-001-0033-0.
- Meurer EJ. Fundamentos de Química do solo. 2ª ed. Porto Alegre: Genesys, (2004).
- 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, Teixeira WG, Martins GC. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em Terra Preta de Índio da Amazônia Central. *Rev Cienc del Suelo*. v. 27, n. 1, p. 127–34, 2009.
- Moline EFV. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. *Revista de Ciências Agrárias. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1683>. p.14-20, 2015.

- Neves EG, Petersen JB, Bartone RN, Silva CA. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003. p.29-50.
- Neves Júnior AF. Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008. 94p. (Tese de Doutorado).
- Numata, Soares JV, Leônidas FC. 2012. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.26 núm.4, 2002, pp.949-955.
- Pabst E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. 1991; 7: 5-19.
- Quesada CA, Lloyd J, Schwarz M, Patiño S, Baker TR, Czimczik C, Fyllas NM, Martinelli L, Nardoto GB, Schmerler J, Santos AJB, Hodnett MG, Herrera R, Luizão FJ, Arneeth A, Lloyd G, Dezzio N, Hilke I, Kuhlmann I, Raessler M, Brand WA, Geilmann H, Filho JOM, Carvalho FP, Filho RNA, Chaves JE, Junior OFC, Pimentel TP, Paiva R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*. 2010; 7, 1515- 1541.
- Ranzani G. Identificação e caracterização de alguns solos da Extensão Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazônica*. 1980; 10 (1): 7-41.
- Rodrigues TE. Solos da Amazônia In: O solo do Brasil. UF Viçosa – MG. 1996; 930p.
- Santos LAC, Campos MCC, Aquino RE, Bergamin AC, Silva DMP, Junior JM, França ABC. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.37 no.4 Viçosa July/Aug. 2013.
- Schmidt MJ, Heckenberger MJ. 2009. Formação de terra preta na região do alto Xingu: resultados preliminares. pp. 103 – 126. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5.
- Schroth G, Silva LF, Seixas R, Teixeira WG. Significant subsoil accumulation of mineral nitrogen under perennial crops in a ferralitic Amazonian upland soil: effects of land-use systems and single tree patterns *Agric. Ecosys. Environm.* 1998.
- Sioli H. *Amazônia. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Vozes, Petrópolis. 1991; 3ª ed. 72p.
- Silva FWR, Lima HN, Teixeira WG, Motta MB, Santana RM. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 673-681, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300002>.
- Silva, ACS. Avaliação da fertilidade de solos antrópicos (Terra Preta de Índio) com ênfase na biodisponibilidade de Fósforo. p.1-117.2006.Universidade Federal do Amazonas.

- Sjoberg A. Phosphate Analysis of Anthropic Soils. *JF Archaeol.* v. 3, n. 4, p. 447–54, 1976.
- Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1301-1310, 2009.
- Smith NJ. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. *Annals of the Association of American Geographers*. 1980; 70: 553-566.
- Teixeira WG, Martins GC, Macedo RS, Neves Jr AF, Moreira A, Benites VM, Steiner C. 2010. As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. In: Teixeira, W.G. (org.). *As terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. 1ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA.
- Tomé JR. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997.
- WinklerPrins AMGA, Aldrich SP. 2010. Locating Amazonian Dark Earths Creating an interactive GIS of known locations. *Journal of Latin American Geography* 9(3): 33-50.
- Woods WI, McCann JM. The Anthropogenic Origin and Persistence of Amazonian Dark Earths. *Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers*. 1999; vol. 25, pp7-14.
- Woods WI. Development of Anthrosol Research. In: *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties and Management*. 2003; 503p. Kluwer Academic Publishers. Netherlands

7. ANEXOS

Tabela 11. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 0-10 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.

Atributos	Iranduba-AM						Belterra-PA				Porto Velho-RO			
	CAP -ADJ	CAP -TPI	AGR -ADJ	AGR -TPI	FLA -ADJ	FLA -TPI	AGR -ADJ	AGR -TPI	FLA -ADJ	FLA -TPI	CAP -ADJ	CAP -TPI	AGR -ADJ	AGR -TPI
pH (CaCl ₂)	3,63	4,70	3,66	4,78	3,58	4,84	5,76	6,12	3,93	5,13	3,96	5,28	4,26	5,05
pH (SMP)	4,78	5,62	5,07	5,36	5,28	5,74	6,86	6,89	5,14	5,97	4,89	5,69	5,50	5,74
Al ³⁺	3,09	0,45	2,68	0,12	2,16	0,22	0,08	0,04	2,19	0,42	3,43	0,21	1,68	0,63
H+Al ³⁺	14,82	7,17	10,27	8,87	8,99	4,90	2,37	2,32	10,78	5,80	13,47	6,78	8,02	6,28
Ca ²⁺	0,23	8,84	0,8	8,96	0,11	8,38	6,05	11,25	1,88	11,42	0,08	11,44	0,23	3,30
Mg ²⁺	0,01	1,03	0,03	0,96	0,00	0,82	0,47	0,79	0,37	0,95	0,01	1,37	0,08	0,21
K ⁺	0,08	0,09	0,08	0,13	0,06	0,08	0,19	0,29	0,10	0,14	0,08	0,19	0,10	0,16
SB	0,31	9,95	0,91	10,06	0,17	9,29	6,71	12,32	2,35	12,50	0,16	13,00	0,41	3,67
CTC	15,13	17,12	11,18	18,93	9,15	14,18	9,08	14,64	13,13	18,30	13,63	19,78	8,43	9,95
P	6,15	430	10,73	675	9,49	261	23,89	341	9,16	39,32	32,23	396	5,35	250
NT	0,21	0,32	0,23	0,28	0,19	0,25	0,28	0,33	0,32	0,46	0,42	0,56	0,25	0,32
CT	2,91	3,90	2,62	3,97	2,22	3,07	3,42	4,98	4,14	5,92	6,26	6,90	3,25	4,14
H	0,90	1,05	0,95	1,11	0,55	0,72	1,57	1,65	1,77	1,98	1,73	1,79	1,59	1,50
ST	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
V%	2	55	8	53	2	69	74	84	16	64	1	63	5	36
m%	91	9	75	1	86	3	1	0	56	8	96	3	81	18
Ba	1,83	24,21	2,04	32,96	0,61	3,50	1,56	6,58	0,67	4,71	6,20	53,95	1,01	15,67
Cd	0,24	0,41	0,28	0,52	0,12	0,13	0,13	0,19	0,11	0,15	0,31	0,41	0,20	0,32
Cu	2,36	8,60	2,86	13,82	0,74	6,46	4,16	11,51	2,16	8,47	3,18	13,03	2,53	8,77
Ni	2,38	3,61	0,92	3,39	0,83	1,45	0,89	1,53	0,83	1,55	1,56	3,42	0,70	2,57
Pb	4,70	4,94	5,26	5,67	1,80	2,38	1,58	1,63	1,42	2,25	4,70	6,43	2,61	4,67
Zn	11,56	29,49	15,01	51,01	8,18	11,54	12,07	35,20	8,63	17,16	17,55	46,36	16,47	30,52
Argila	410	504	429	484	285	359	679	563	756	679	561	476	570	553
Areia G.	307	258	247	227	487	397	39	41	38	58	95	119	189	96
Areia fina	182	130	184	136	184	146	25	53	17	40	85	102	53	96
Areia total	489	388	462	394	671	543	75	107	55	98	180	221	270	212
Silte	101	107	141	153	44	98	256	342	190	223	260	295	187	255
DA	1,39	1,00	1,09	1,20	1,09	1,15	1,04	1,09	1,03	0,95	0,92	0,89	1,22	1,27
VTP (%)	46	62	58	54	58	56	60	58	61	63	65	66	53	51

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; DA: Densidade Aparente; VTP (%): Volume Total de Poros; CAP: Capoeira; FLA: Floresta antiga; AGR: Agrícola; TPI: Terra Preta de Índio; ADJ: Adjacente.

Tabela 12. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 10-20 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.

Atributos	Iranduba-AM						Belterra-PA				Porto Velho-RO			
	CAP-ADJ	CAP-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI	FLA-ADJ	FLA-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI	FLA-ADJ	FLA-TPI	CAP-ADJ	CAP-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI
pH (CaCl ₂)	3,69	4,77	3,72	4,68	3,68	4,56	4,53	4,53	3,85	4,53	4,15	4,88	4,29	4,69
pH (SMP)	5,05	5,67	5,40	5,38	5,47	5,58	6,14	6,45	5,28	5,79	5,17	5,46	5,57	5,66
Al ³⁺	2,35	0,40	2,33	0,18	2,34	0,20	2,45	0,05	2,45	0,65	2,59	0,66	1,49	0,96
H+Al ³⁺	10,60	6,60	8,01	8,64	7,59	6,81	4,58	3,49	9,00	6,83	9,86	8,09	7,22	6,81
Ca ²⁺	0,10	8,36	0,53	7,26	0,07	5,87	2,63	8,17	0,68	7,92	0,04	6,87	0,15	2,47
Mg ²⁺	0,04	0,76	0,16	0,72	0,02	0,39	0,14	0,42	0,12	0,63	0,00	0,74	0,00	0,16
K ⁺	0,03	0,07	0,03	0,07	0,03	0,03	0,14	0,17	0,06	0,63	0,05	0,10	0,06	0,06
SB	0,17	9,19	0,72	8,04	0,13	4,98	2,91	8,76	0,85	8,62	0,09	7,71	0,20	2,68
CTC	10,77	15,79	8,72	16,68	7,72	13,09	7,48	12,26	9,85	15,45	9,95	15,79	7,42	9,49
P	3,09	788	6,06	627	4,67	337	6,75	398	7,25	43,39	32	460	3,39	315
NT	0,17	0,25	0,20	0,23	0,15	0,17	0,21	0,24	0,22	0,29	0,31	0,41	0,24	0,26
CT	2,05	3,25	2,31	3,26	1,88	2,20	2,34	3,45	2,71	3,89	4,62	5,33	3,03	3,46
H	0,86	1,04	0,96	1,03	0,60	0,70	1,51	1,53	1,61	1,80	1,63	1,57	1,59	1,45
ST	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,10	0,04	0,04	0,03
V%	2	54	9	48	2	48	37	70	8	54	1	44	3	28
m%	93	10	78	2	95	3	24	1	76	15	97	16	88	29
Ba	1,90	32,67	2,89	33,57	0,56	35,37	0,57	4,80	0,50	3,86	5,83	48,37	0,91	16,05
Cd	0,36	0,57	0,40	0,45	0,18	0,63	0,09	0,16	0,12	0,14	0,31	0,40	0,17	0,26
Cu	2,02	13,05	3,78	13,34	1,15	11,12	2,12	7,92	1,79	7,34	2,93	13,09	2,10	8,61
Ni	1,71	4,23	0,93	3,38	1,50	3,15	0,71	1,30	0,73	1,63	1,50	3,54	0,58	2,56
Pb	5,16	5,27	6,94	5,10	2,23	4,40	1,32	1,61	1,38	2,18	4,81	6,24	2,53	4,77
Zn	14,37	37,65	14,75	38,03	6,98	38,14	5,72	17,97	6,81	15,14	14,09	41,85	20,05	27,98
Argila	450	537	516	520	384	381	805	685	767	708	562	469	580	581
Areia grossa	277	229	210	208	358	348	22	29	28	47	81	119	158	75
Areia fina	197	132	182	125	189	175	11	33	14	40	84	116	52	88
Areia total	474	361	422	362	547	523	42	73	42	87	165	235	236	181
Silte	76	102	91	147	69	96	161	252	192	206	273	296	210	255

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; CAP: Capoeira; FLA: Floresta antiga; AGR: Agrícola; TPI: Terra Preta de Índio; ADJ: Adjacente

Tabela 13. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 20-30 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.

Atributos	Iranduba-AM						Belterra-PA				Porto Velho-RO			
	CAP- ADJ	CAP- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI	FLA- ADJ	FLA- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI	FLA- ADJ	FLA- TPI	CAP- ADJ	CAP- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI
pH (CaCl ₂)	3,78	4,62	3,77	4,51	3,86	4,45	4,41	5,16	3,91	4,72	4,34	4,68	4,32	4,65
pH (SMP)	4,89	5,61	5,44	5,37	5,63	5,60	6,04	6,45	5,41	5,67	5,33	5,43	5,75	5,71
Al ³⁺	2,29	0,48	2,30	0,51	2,04	0,43	0,99	0,16	2,31	0,83	2,19	0,99	1,33	1,14
H+Al ³⁺	11,66	6,76	7,71	8,20	6,56	6,67	5,06	3,68	7,93	7,10	8,68	8,16	6,00	6,30
Ca ²⁺	0,10	6,37	0,29	4,94	0,04	4,38	1,91	5,24	0,36	5,39	0,03	3,97	0,15	2,09
Mg ²⁺	0,02	0,62	0,05	0,37	0,00	0,23	0,12	0,32	0,03	0,47	0,00	0,37	0,00	0,14
K ⁺	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,10	0,09	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03
SB	0,15	7,03	0,37	5,35	0,06	3,67	2,13	5,65	0,42	5,90	0,05	4,39	0,19	2,25
CTC	11,81	13,78	8,08	13,55	6,62	11,31	7,19	9,34	8,35	13,00	8,72	12,55	6,18	8,55
P	2,23	956	2,23	904	4,31	418	4,75	158	5,05	40,34	32,59	553	2,01	349
NT	0,13	0,18	0,14	0,16	0,13	0,12	0,17	0,19	0,19	0,22	0,25	0,29	0,19	0,21
CT	1,60	2,42	1,59	2,49	1,45	1,67	1,90	2,36	2,31	2,90	3,80	4,18	2,34	3,03
H	0,86	1,07	0,93	1,17	0,67	0,72	1,52	1,49	1,66	1,71	1,55	1,44	1,66	1,40
ST	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05	0,03	0,04	0,02
V%	1	47	5	39	1	41	29	58	5	45	1	31	3	25
m%	94	13	87	10	97	9	38	4	85	21	98	30	88	38
Ba	1,63	31,95	2,22	34,94	0,52	33,47	0,34	3,00	0,38	2,75	12,63	40,39	0,55	4,41
Cd	0,32	0,48	0,37	0,45	0,16	0,64	0,08	0,28	0,12	0,15	0,28	0,43	0,18	0,28
Cu	1,41	12,77	1,31	13,10	2,37	10,26	1,73	5,19	1,98	5,97	8,43	13,54	2,00	3,02
Ni	1,62	4,29	0,85	4,51	1,81	2,97	0,62	1,22	0,69	1,52	2,52	3,46	0,62	1,43
Pb	5,78	4,52	5,72	5,72	2,36	4,15	1,11	1,73	1,35	2,03	4,51	6,55	2,41	4,35
Zn	7,61	41,98	9,11	44,86	6,73	32,16	11,55	17,53	5,37	14,83	28,06	44,25	17,36	13,08
Argila	464	592	541	610	396	455	820	764	785	739	574	491	594	595
Areia grossa	235	203	174	170	348	310	16	22	24	38	77	124	131	72
Areia fina	185	119	166	101	187	155	10	23	11	35	83	110	47	85
Areia total	421	322	366	297	535	465	32	54	35	72	160	234	200	174
Silte	115	87	119	120	70	80	155	191	180	188	266	275	229	248

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; CAP: Capoeira; FLA: Floresta antiga; AGR: Agrícola; TPI: Terra Preta de Índio; ADJ: Adjacente

Tabela 14. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 30-60 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.

Atributos	Iranduba-AM						Belterra-PA				Porto Velho-RO			
	CAP- ADJ	CAP- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI	FLA- ADJ	FLA- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI	FLA- ADJ	FLA- TPI	CAP- ADJ	CAP- TPI	AGR- ADJ	AGR- TPI
pH (CaCl ₂)	3,89	4,46	3,95	4,40	4,03	4,34	4,16	4,93	4,00	4,52	4,27	4,46	4,41	4,33
pH (SMP)	5,22	5,67	5,86	5,60	5,98	5,65	6,19	6,57	5,78	5,95	5,38	5,39	5,96	5,69
Al ³⁺	1,84	0,55	1,63	0,55	5,98	0,54	1,19	0,29	1,99	1,02	2,12	1,44	1,98	1,58
H+Al ³⁺	9,28	6,38	5,66	6,73	5,05	6,45	4,34	3,37	5,97	5,87	8,34	8,18	5,17	6,35
Ca ²⁺	0,26	4,85	0,35	3,64	0,04	2,87	0,86	3,44	0,12	2,31	0,04	2,22	0,14	0,93
Mg ²⁺	0,04	0,53	0,04	0,08	0,00	0,12	0,03	0,15	0,00	0,31	0,00	0,17	0,00	0,07
K ⁺	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03
SB	0,31	5,41	0,40	3,74	0,05	3,01	0,94	3,63	0,14	2,63	0,05	2,42	0,16	1,02
CTC	9,59	11,79	6,06	10,46	5,09	9,47	5,28	7,00	6,11	8,50	8,39	10,60	5,32	7,37
P	2,06	962	1,72	968	2,76	606	3,09	89,00	1,94	34,24	41,67	594	1,09	326
NT	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,13	0,12	0,13	0,14	0,18	0,17	0,16	0,14
CT	1,22	1,48	1,21	1,49	0,81	1,11	1,19	1,25	1,60	1,66	2,73	2,66	2,07	2,08
H	0,98	1,18	0,96	1,24	0,69	0,93	1,47	1,46	1,60	1,66	1,39	1,31	1,55	1,32
ST	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02
V%	3	40	7	33	1	32	18	48	2	33	1	21	3	14
m%	87	17	80	17	97	15	56	12	94	32	98	48	86	62
Ba	1,32	23,27	1,36	28,08	0,37	34,36	0,19	0,85	0,30	1,02	4,16	32,68	0,79	11,49
Cd	0,45	0,47	0,29	0,41	0,18	0,58	0,08	0,10	0,12	0,16	0,31	0,38	0,14	0,21
Cu	1,39	11,43	1,17	11,05	0,85	9,49	1,22	2,28	1,42	3,52	3,94	11,04	2,14	6,40
Ni	0,72	8,46	0,84	3,45	1,22	3,50	0,45	0,68	0,60	1,16	1,44	2,71	0,63	1,92
Pb	6,13	4,89	5,32	5,70	2,27	4,26	0,99	1,21	1,31	1,89	4,35	6,47	2,45	4,18
Zn	11,63	28,64	10,55	32,56	6,42	31,14	4,36	11,99	5,49	10,59	14,02	34,36	10,71	19,84
Argila	514	705	557	687	477	575	894	854	860	831	637	605	695	681
Areia grossa	213	148	177	129	295	287	11	13	19	21	78	105	131	67
Areia fina	179	89	148	81	154	83	6	10	8	18	89	101	40	80
Areia total	392	237	351	233	449	370	22	29	27	40	167	206	194	162
Silte	93	58	118	103	74	56	89	123	113	130	197	188	134	173

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; CAP: Capoeira; FLA: Floresta antiga; AGR: Agrícola; TPI: Terra Preta de Índio; ADJ: Adjacente

Tabela 15. Média dos atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes na profundidade 60-90 cm nas regiões de Iranduba-AM, Belterra-PA e Porto Velho-RO nos diferentes sistemas de uso do solo.

Atributos	Iranduba-AM						Belterra-PA				Porto Velho-RO			
	CAP-ADJ	CAP-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI	FLA-ADJ	FLA-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI	FLA-ADJ	FLA-TPI	CAP-ADJ	CAP-TPI	AGR-ADJ	AGR-TPI
pH (CaCl ₂)	4,02	4,25	4,00	4,29	4,10	4,45	4,31	4,83	4,05	4,43	4,01	4,38	4,36	4,25
pH (SMP)	5,34	5,63	5,85	5,84	6,39	5,85	6,44	6,78	6,00	6,13	5,42	5,45	6,07	5,67
Al ³⁺	1,66	0,62	1,47	0,45	0,94	0,35	0,94	0,26	1,90	0,94	2,53	1,49	0,98	1,72
H+Al ³⁺	8,52	6,59	5,64	5,63	3,72	5,65	3,61	2,76	5,19	4,92	7,66	7,72	4,73	6,35
Ca ²⁺	0,16	3,36	0,33	2,21	0,04	2,97	0,69	1,81	0,05	1,22	0,04	1,81	0,14	0,85
Mg ²⁺	0,03	0,09	0,03	0,07	0,00	0,07	0,03	0,10	0,00	0,09	0,00	0,18	0,00	0,06
K ⁺	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,10	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03
SB	0,19	3,46	0,37	2,28	0,04	3,13	0,75	1,95	0,05	1,32	0,04	2,02	0,15	0,94
CTC	8,71	10,06	6,01	7,91	3,76	8,78	4,37	4,70	5,24	6,23	7,70	9,73	4,88	7,29
P	1,29	663	3,73	618	3,76	733	0,71	77,92	1,27	22,77	71,65	545	0,95	302
NT	0,11	0,09	0,09	0,06	0,07	0,08	0,12	0,14	0,10	0,11	0,11	0,17	0,11	0,11
CT	1,02	0,91	0,77	0,56	0,51	0,94	0,74	1,53	1,07	1,02	1,49	2,51	1,24	1,54
H	1,04	1,21	1,04	1,26	0,74	0,96	1,47	1,48	1,59	1,57	1,40	1,30	1,60	1,29
ST	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,07	0,03	0,03	0,02
V%	2	31	6	29	1	35	18	39	1	24	1	19	3	13
m%	90	22	79	18	96	10	55	16	98	38	98	54	86	65
Ba	0,89	12,61	1,56	8,85	0,19	30,40	0,14	0,35	0,19	0,39	2,96	22,05	0,31	7,56
Cd	0,32	0,36	0,34	0,38	0,16	0,61	0,06	0,11	0,07	0,16	0,12	0,27	0,13	0,23
Cu	1,63	5,88	1,77	4,39	1,35	9,14	0,99	1,54	1,23	2,16	2,59	8,66	1,74	5,67
Ni	1,06	2,21	1,38	2,26	1,98	2,63	0,36	0,50	0,46	0,88	1,09	2,34	0,45	1,96
Pb	6,37	4,84	5,35	6,01	2,22	4,45	0,78	1,16	1,05	1,93	2,44	4,90	2,46	4,34
Zn	7,41	19,07	10,45	30,34	6,26	31,22	4,58	6,82	5,40	7,66	8,73	26,23	10,26	21,81
Argila	557	724	604	727	530	666	854	797	911	811	777	658	695	686
Areia grossa	191	140	137	99	267	207	11	12	22	18	32	75	134	63
Areia fina	160	70	146	63	176	71	5	5	8	14	63	77	53	72
Areia total	351	209	306	182	444	278	21	22	29	31	95	153	210	150
Silte	93	67	63	111	27	56	130	186	60	158	128	190	118	180

SB: Soma de Bases; CTC (T); NT: Nitrogênio Total; CT: Carbono Total; ST: Enxofre Total; CAP: Capoeira; FLA: Floresta antiga; AGR: Agrícola; TPI: Terra Preta de Índio; ADJ: Adjacente

Tabela 16. Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica.

Característica	Unidade ^{1/}	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ^{2/}	Bom	Muito Bom
Carbono orgânico (C.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06
Matéria orgânica (M.O.) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ^{4/}	cmol _e /dm ³	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ^{4/}	cmol _e /dm ³	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺) ^{4/}	cmol _e /dm ³	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00 ^{11/}	> 2,00 ^{11/}
Soma de bases (SB) ^{5/}	cmol _e /dm ³	≤ 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
Acidez potencial (H + Al) ^{6/}	cmol _e /dm ³	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00 ^{11/}	> 9,00 ^{11/}
CTC efetiva (t) ^{7/}	cmol _e /dm ³	≤ 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC pH 7 (T) ^{8/}	cmol _e /dm ³	≤ 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
Saturação por Al ³⁺ (m) ^{9/}	%	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0 ^{11/}	> 75,0 ^{11/}
Saturação por bases (V) ^{10/}	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

^{1/} dag/kg = % (m/m); cmol_e/dm³ = meq/100 cm³. ^{2/} O limite superior desta classe indica o nível crítico. ^{3/} Método Walkley & Black; M.O. = 1,724 x C.O. ^{4/} Método KCl 1 mol/L. ^{5/} SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺. ^{6/} H + Al, Método Ca(OAc)₂. ^{7/} t = SB + Al³⁺. ^{8/} T = SB + (H + Al). ^{9/} m = 100 Al³⁺/t. ^{10/} V = 100 SB/T. ^{11/} A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

Tabela 17. Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes

Micronutriente	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ^{1/}	Bom	Alto
	(mg/dm ³) ^{2/}				
Zinco disponível (Zn) ^{3/}	≤ 0,4	0,5 - 0,9	1,0 - 1,5	1,6 - 2,2	> 2,2
Manganês disponível (Mn) ^{3/}	≤ 2	3 - 5	6 - 8	9 - 12	> 12
Ferro disponível (Fe) ^{3/}	≤ 8	9 - 18	19 - 30	31 - 45	> 45
Cobre disponível (Cu) ^{3/}	≤ 0,3	0,4 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,8	> 1,8
Boro disponível (B) ^{4/}	≤ 0,15	0,16 - 0,35	0,36 - 0,60	0,61 - 0,90	> 0,90

^{1/} O limite superior desta classe indica o nível crítico. ^{2/} mg/dm³ = ppm (m/v).

^{3/} Método Mehlich-1. ^{4/} Método água quente.

Tabela 18. Classificação da leitura do pH do solo em água e em cloreto de cálcio.

Classificação	pH água	Classificação	pH CaCl₂
acidez elevada	$\leq 5,0$	acidez muito alta	$\leq 4,3$
acidez média	5,0 - 5,9	acidez alta	4,4 - 5,0
acidez fraca	6,0 - 6,9	acidez média	5,1 - 5,5
neutro	7,0	acidez baixa	5,6 - 6,0
alcalinidade fraca	7,1 - 7,8	acidez muito baixa	6,1 - 7,0
alcalinidade elevada	$\geq 7,8$	neutro	7,0
		alcalino	$\geq 7,0$

Fonte: Thomé Jr. (1997)