

MATHEUS DA SILVA FERREIRA

**METAIS PESADOS EM SOLOS URBANOS E EM CORPOS HÍDRICOS DE
MANAUS, AM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F383m Ferreira, Matheus da Silva, 1992-
2017 Metais pesados em solos urbanos e em corpos hídricos de
Manaus, AM / Matheus da Silva Ferreira. – Viçosa, MG, 2017.
viii, 89f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Poluição - Manaus (AM). 2. Solos - Metais
pesados. 3. Química da água. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

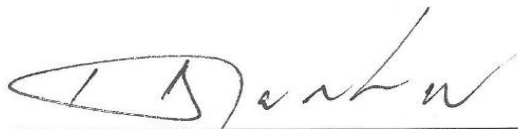
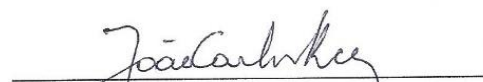
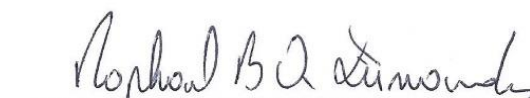
CDD 22 ed. 628.558113

MATHEUS DA SILVA FERREIRA

**METAIS PESADOS EM SOLOS URBANOS E EM CORPOS HÍDRICOS DE
MANAUS, AM.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de maio de 2017.


Hedinaldo Narciso Lima
João Carlos Ker
(Coorientador)
Raphael Bragança Alves Fernandes
Maurício Paulo Ferreira Fontes
(Orientador)

*Que o calor da minha terra aqueça o meu coração,
Que o verde da minha mata seja cada dia mais radiante,
Que não me falte a beleza do meu rio,
Que desagua no sorriso da menina,
Fazendo meu rosto corar com seu lindo olhar,
Que o orgulho de ser amazonense,
Eu possa sempre cantarolar...*

(Orgulho de ser mestiço – Matheus Ferreira)

À memória de Álvaro Pereira,
Avô, pai e exemplo de pessoa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais (Nilza e João Carlos), aos meus avós paternos (José Carlos “Caiá” e Alda) e avós maternos (Álvaro e Caetana) pelo incentivo em prosseguir na vida acadêmica, educação rígida e amor concedido.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de estudo e pela estrutura que permitiu a condução do presente trabalho.

À Universidade Federal do Amazonas, minha segunda casa, que desde os tempos de graduação sempre me acolheu, bem como ao setor de transporte que foi de uma competência extrema durante os deslocamentos das coletas.

Ao Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes, que através de sua orientação e didática contribuiu enormemente ao meu desenvolvimento científico e pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em especial a secretária Luciana de Castro Freitas, que é um símbolo de competência e educação.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado e também durante os anos de iniciação científica.

Ao Prof. João Carlos Ker, a quem eu serei eternamente grato pela confiança, conselhos e incentivos durante minha adaptação.

Ao Prof. Jose Zilton Lopes Santos, por quem eu tenho uma grande admiração e uma amizade que transcende as relações orientado-orientador. Agradeço pela orientação e treinamento durante os anos de graduação e ao apoio logístico durante a execução deste trabalho.

À Prof. Márcia Reis, pelo carinho e incentivo durante a vida acadêmica.

Ao paciente e prestativo Dr. Anderson Pacheco, pelos ensinamentos e apoio durante todo o meu período na UFV.

Aos técnicos de laboratório, em especial Adriana pela disponibilidade e ajuda.

Ao técnico e amigo José Francisco Dias (o inesquecível Chico da Mineralogia), pelo acolhimento, amizade e divertidas horas de descontração das quais nunca esquecerei.

Aos amigos: Ives San Diego, Macaulay Souza, Nonato Jr, Arnon Cardoso, Marcelo Victor, Jose Raulino, Rodrigo Fuinha Seixas e Elionay Barbosa pela ajuda durante os trabalhos de campo e os momentos de descontração.

Aos amigos de infância Ronan Leal, Rodrigo Goy, Vanielle Medeiros, Richardson Coelho, Cleumar Braga, Celiomar, Carlos Jr., Genilton Cardenes, pela amizade e incentivo.

Á amiga Flavia Alessandra, pela paciência e dicas de língua portuguesa que me acompanham desde 2003.

Ao meu irmão João Victor, pelo companheirismo, confiança e apoio.

Á Vanessa Moura, pelo carinho, paciência e companheirismo durante os momentos bons e ruins.

Aos amigos Renato Epifânio, Demétrio Ângelo, João Pedro, Judyson e em especial a Pedro e Raiza pela amizade e acolhimento.

Aos companheiros de República P.N.Ch.: Gabriel, Luiz, Alex, Diego e Haroldo pelos momentos de descontração.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

OBRIGADO!

RESUMO

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017.
Metais pesados em solos urbanos e em corpos hídricos de Manaus, AM. Orientador:
Maurício Paulo Ferreira Fontes. Coorientador: João Carlos Ker.

O objetivo do presente estudo foi realizar avaliar o impacto da ação humana nos teores de metais pesados em solos e corpos hídricos de Manaus, Iranduba e Manacapuru. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em toda área urbana e em áreas naturais representativas, bem como amostragens setoriais da camada de 60-80 cm. Foi realizada a determinação granulométrica, a caracterização química e mineralógica. Também foram determinação dos teores de metais pesados desses solos e de corpos hídricos localizados em zonas urbanas e naturais. Os solos estudados apresentam poucas variações quanto as características químicas e mineralógicas. Os teores de metais pesados determinados em solos urbanos foram classificados como moderadamente enriquecido/contaminado em relação a solos de ambientes naturais. Os resultados mostram que corpos hídricos que mantêm suas características naturais apresentam menores teores de metais pesados semelhantes aos valores dos padrões naturais da região.

ABSTRACT

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017.
Heavy metals in urban soils and hidrycal bodies of Manaus, AM. Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-adviser: João Carlos Ker.

The aim of this study was to assess the impact of human action on the heavy metal content in soil and hidrycal bodies of Manaus, Iranduba and Manacapuru. Soil samples were collected in the 0-20 cm layer across an urban area and representative natural areas, as well as industry samples of 60-80 cm layer. The granulometric determination was carried out, chemical and mineralogical characterization. The determination of the heavy metal content of these soils and of water bodies located in urban and natural areas was also performed. The studied soils present few variations regarding the chemical and mineralogical characteristics. The levels of heavy metals determined in urban soils were classified as moderately enriched / contaminated in relation to soils of natural environments. The results show that water bodies that maintain their natural characteristics have lower levels of heavy metals similar to the values of the natural.

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	2
CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE SOLOS URBANOS DE MANAUS – AM	3
RESUMO	3
ABSTRACT	4
INTRODUÇÃO	5
MATERIAL E MÉTODOS	6
Área de estudo	6
Amostragem dos solos	7
Composição granulométrica, química e mineralógica do solo.	8
Análise estatística	9
RESULTADOS	11
Composição granulométrica e atributos químicos dos solos	11
Caracterização mineralógica dos solos	16
Mineralogia da fração argila	18
DISCUSSÃO	20
Atributos físicos e químicos dos solos	20
Características mineralógicas dos solos	22
Mineralogia da fração argila	23
CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 2: METAIS PESADOS EM SOLOS URBANOS DE MANAUS	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO	30
MATERIAL E MÉTODOS	31
Área de estudo	31
Amostragem dos solos	33
Determinação dos teores de metais	33
Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados	33
Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos	34

Análise estatística	35
RESULTADOS.....	35
Teores semitotais e totais de metais	37
Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados	40
DISCUSSÃO.....	44
Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos	44
Teores semitotais e totais de metais	48
Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados	50
Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos	51
CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 3: METAIS PESADOS EM CORPOS HÍDRICOS DE MANAUS E REGIÃO METROPOLITANA.....	57
RESUMO	57
ABSTRACT	58
INTRODUÇÃO	59
MATERIAL E MÉTODOS.....	60
Área de estudo	60
Coleta e determinação dos teores de metais pesados em água	61
Análise estatística	63
RESULTADOS.....	63
Determinação dos teores de metais pesados em água	63
Parâmetros físico-químicos e sua relação com teores de metais na água.....	65
DISCUSSÃO.....	68
Teores de metais pesados em água.....	68
Parâmetros físico-químicos e sua relação com teores de metais na água.....	69
CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS	71
CONCLUSÕES GERAIS.....	74
ANEXOS	75

INTRODUÇÃO GERAL

A Região Metropolitana de Manaus é um grande complexo urbano, com população estimada de 2.360.490 habitantes, sendo o grande centro econômico do estado do Amazonas. Sua principal fonte de renda é oriunda da produção industrial diversificada, exibindo um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 51.396 bilhões, impulsionada pelos incentivos fiscais do Polo Industrial de Manaus (IBGE, 2015).

A formação deste complexo urbano aconteceu de maneira acelerada nas últimas décadas, o que acarretou uma grande pressão ambiental em função da grande geração de resíduos e conseqüentemente, o incremento dos teores de metais pesados no ambiente.

Estudos anteriores na região de Manaus apontam que as atividades antrópicas tem modificado os teores de metais pesados em solos e corpos hídricos localizados em áreas com considerável ocupação demográfica (Gurgel et al., 2005; Santana e Barroncas, 2007; Aniceto e Horbe, 2012; Ferreira et al., 2012).

Dada a importância nacional deste complexo urbano e os esforços para a manutenção e preservação do bioma amazônico, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da ação humana nos teores de metais pesados em solos e corpos hídricos de Manaus, Iranduba e Manacapuru.

No primeiro capítulo trata-se de uma caracterização dos solos da área de estudo, visando a melhor compreensão de suas características químicas, físicas e mineralógicas, além de contribuir com informações científicas que possam auxiliar nas pesquisas científicas futuras.

No segundo capítulo retratam-se os teores de metais pesados nos solos da área urbana da região metropolitana de Manaus, comparando-os com solos de ambiente natural e investigando as principais fontes de aporte destes metais no solo, bem como a distribuição dos teores ao longo da área de estudo.

Na última parte do estudo apresentam-se os teores de metais pesados e avaliação dos parâmetros físico-químicos na estação seca e durante o período chuvoso de igarapés localizados dentro da área urbana dos municípios estudados, comparando aos limites estabelecidos pela legislação nacional.

REFERÊNCIAS

Aniceto KCP, Horbe AMC. Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amaz.* 2012;42:135–148.

Ferreira SJF, Miranda SAF, Marques-Filho AO, Silva CC. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 2012;42:533–540.

Gurgel E, Melo F, Do M, Rocha S, Silva D, Átila S, Miranda F. Influência Antrópica Sobre Águas De Igarapés Na Cidade De Manaus – Amazonas 1 Antropic Influence on the Water of Streams in the City of Manaus – Amazonas. 2005;5:40–47.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. IBGE. Perfil do estado do Amazonas. <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=am>>. Acesso em 25 de dezembro de 2015.

Santana GP, Barroncas P de SR. Estudo de metais pesados (Co , Cu , Fe , Cr , Ni , Mn , Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). *Acta Amaz.* 2007;37:111–118.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE SOLOS URBANOS DE MANAUS – AM

RESUMO

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017.
Caracterização Química e Mineralógica de Solos Urbanos De Manaus – AM.
Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Coorientador: João Carlos Ker

O objetivo do presente estudo foi realizar a caracterização dos atributos químicos, físicos e mineralógicos de solos de Manaus, Iranduba e Manacapuru. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em toda área urbana e em áreas naturais representativas, bem como amostragens setoriais da camada de 60-80 cm. Foi realizada a determinação granulométrica, a caracterização química (pH água e KCl, K, Ca, Mg, Al^{3+} , CTC efetiva, acidez potencial, P, P-Rem, MO, Cu, Fe, Mn e Zn) e mineralógica desses solos. Os solos estudados apresentam poucas variações quanto as características químicas e mineralógicas. A composição mineralógica da fração argila é predominantemente caulínica em função da pobreza do material de origem e do intenso intemperismo da região. A presença de outros minerais é associada a deficiência de drenagem do solo.

ABSTRACT

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017.
Chemical and mineralogical characterization of urban soils in Manaus – AM.
Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-adviser: João Carlos Ker.

The objective of the present study was to characterize the chemical, physical and mineralogical attributes of soils of Manaus, Iranduba and Manacapuru. Soil samples were collected at depths of 0-20 cm in all urban areas and in representative natural areas, as well as sectorial samplings of the 60-80 cm layer. The determination of the soil size, chemical characterization (pH water and KCl, K, Ca, Mg, Al^{3+} , effective CTC, potential acidity, P, P-Rem, MO, Cu, Fe, Mn and Zn) was performed. The studied soils present few variations regarding the chemical and mineralogical characteristics. The mineralogical composition of the clay fraction is predominantly kaolinite due to the poverty of the source material and the intense weathering of the region. The presence of other minerals is associated with soil drainage deficiency.

INTRODUÇÃO

O estado do Amazonas é composto por dois ambientes pedológicos distintos. O primeiro é constituído por solos de várzea que estão presentes na cota mais baixa da paisagem, acompanhando as margens dos rios sendo sujeitos a inundações. O segundo corresponde aos solos de terra firme e ocupam as áreas mais elevadas da paisagem e não estão sujeitos as inundações.

Os solos de terra firme em geral apresentam baixa fertilidade em função da pobreza do material de origem e a intensa lixiviação das bases, decorrentes da elevada precipitação desta região (Lima, 2001).

Estudos apontam que a mineralogia de solos amazônicos de Terra Firme tende a apresentar a predominância de minerais como caulinita e óxidos de ferro e óxidos de alumínio (Lima, 2001; Magalhães, 2011). Contudo, pode ocorrer a presença de minerais pouco comuns como vermiculita com hidróxi entre camadas e esmectita em solos de boa drenagem (Campos et al., 2005; Lima et al., 2006; Xavier, 2013).

Os Argissolos Vermelhos-Amarelos e Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos são as classes de solos predominantes no ambiente amazônico de Terra Firme (Lepsch, 2011).

Neste contexto, a região metropolitana de Manaus surge como uma área imponente situada sob estes solos, já que é uma região onde está concentrado a maior ocupação demográfica e o grande centro econômico do estado e da região norte (IBGE, 2015).

Contudo, existem poucos trabalhos sobre os solos dessa região, de modo que, diante da necessidade de dados pedológicos para empreendimentos locais dos mais diversos setores, frequentemente são adotados dados de trabalhos científicos realizados em outras partes do estado, como municípios localizados no Alto Rio Negro e na calha do rio Solimões, contudo essa generalização sobre as características dos solos amazonenses acaba mascarando peculiaridades microregionais.

O seguinte trabalho foi realizado como o objetivo de caracterizar os solos de terra firme de Manaus, Iranduba e Manacapuru, a fim de investigar a relação dos atributos físicos, químicos e mineralógicos com os processos de gênese desses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em Manaus e dois municípios próximos (Iranduba, Manacapuru), conforme demonstrado na Figura 1, localizada na região norte do Brasil, a uma altitude média de 70 m.

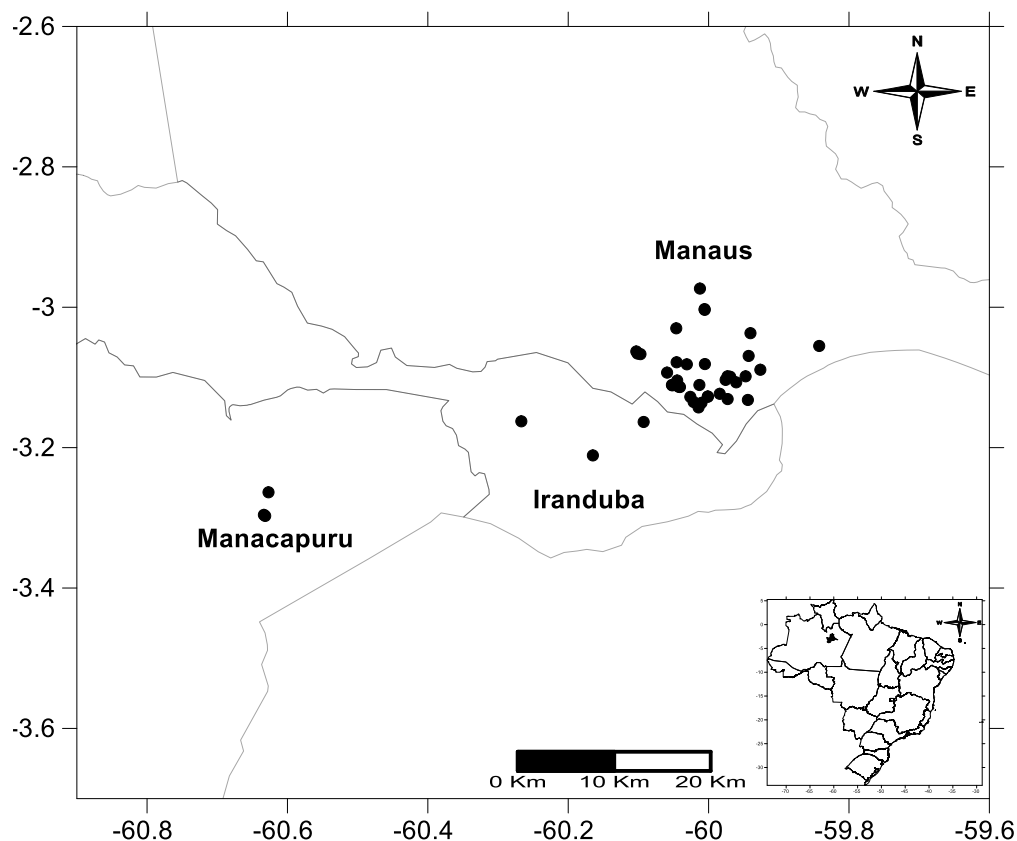


Figura 1: Localização da área de estudo.

O clima predominante na região caracteriza-se como quente e úmido, com temperatura e altitude médias de 26,7 °C e 97 m, respectivamente. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta Clima Tropical Chuvoso (Aw) com umidade relativa do ar oscilando em torno de 80 % e precipitação média anual ao redor 2.286 mm (Luizão e Vasconcelos, 2005).

O material geológico é oriundo de rochas sedimentares do período Cretáceo/Terciário, pertencentes a Formação Alter do Chão (Horbe et al., 2007). A alteração dessas rochas sedimentares deu origem principalmente aos Latossolos

Amarelos nas suas diferentes classes texturais e Argissolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 2013).

Amostragem dos solos

As coletas das amostras foram realizadas em áreas não antropizadas e antropizadas dos municípios de Manaus, Iranduba e Manacapuru.

As coletas consistiram de 5 amostras simples coletadas na camada superficial (0 – 20 cm), sendo uma amostra central e as demais coletadas a uma distância de 10 metros, em relação a amostra central, nas direções norte, sul, leste e oeste.

Posteriormente à coleta, as amostras simples foram homogeneizadas para obtenção de amostras compostas, totalizando 32 amostras compostas, abrangendo todas as áreas urbanas delimitadas pelo Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus (Figura 2).

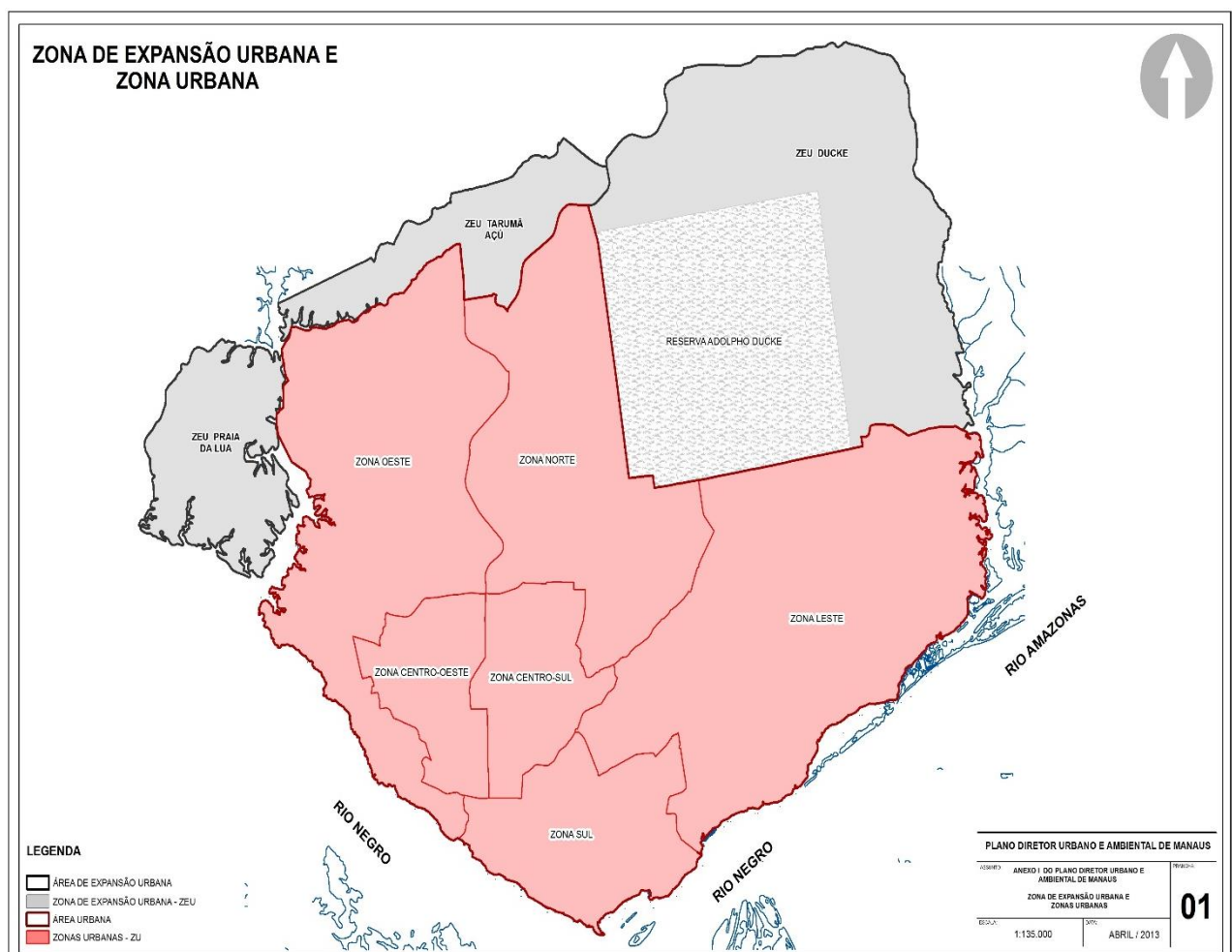


Figura 2: Mapa do zoneamento urbano de Manaus (IMPLURB, 2013).

De maneira semelhante, também foram coletadas cinco amostras (compostas) representativas na camada subsuperficial (60 – 80 cm), conforme descrito na tabela 1.

Composição granulométrica, química e mineralógica do solo.

As amostras de solo foram homogeneizadas, destorroadas, secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura e submetidas às seguintes análises químicas: pH em água, pH em solução KCl, K, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fosforo Remanescente (P-Rem), acidez potencial, matéria orgânica e determinação da capacidade de troca catiônica efetiva e a CTC_{pH 7} conforme Embrapa (2009). A granulometria foi determinada em terra fina seca ao ar (TFSA) pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2009), utilizando NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação por 16 horas, utilizando o agitador de Wagner a 30 rpm, sendo a fração areia (2 - 0,053 mm) separada por tamisação e a fração silte obtida através de diferença entre o teor de argila e o teor de areia.

O carbono orgânico do solo foi determinado pelo método Walkley-Black, com dicromato de potássio em meio ácido, seguida de titulometria com solução de sulfato ferroso (0,025 mol L⁻¹), sendo a matéria orgânica do solo (MO) calculada pela fórmula: carbono orgânico do solo x 1,724 (EMBRAPA, 2009).

Os teores de óxidos de Fe, Al e Mn foram obtidos através da digestão total conforme USEPA (1998). Os teores de Fe livres totais foram obtidos através de extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (MEHRA e JACKSON, 1960). As formas menos cristalinas de Fe foram extraídas pelo oxalato de amônio (Feo) segundo Schwertmann (1973).

A mineralogia da fração argila foi obtida por difratometria de raios-X, utilizando-se um difratômetro de raios-X (DRX) da marca PanAnalytical, modelo X'pert PRO, com tubo ânodo de cobalto, velocidade de varredura de 0,02° (2θ) s⁻¹ de emissão e recepção de raios - X com intervalo de leitura entre 4° e 60° (2θ). Utilizou-se amostras orientadas de argila natural, desferrificada e para a identificação de minerais 2:1, utilizou-se lâminas tratadas com diferenciação térmica (350 °C e 550 °C) e saturação com soluções de KCl 1M e MgCl₂, bem como MgCl₂ + Glicerol (20%).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando-se medida de tendência central (média), mínimo e máximo e de variabilidade de dados coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP). Posteriormente, foram realizadas correlações de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos analisados. O tratamento estatístico foi realizado através do programa Sistema para Análises Estatísticas – SISVAR 5.3 (Ferreira, 2014).

Os resultados obtidos nas amostras de 0 – 20 cm foram submetidos à transformação do tipo Box-Plot, com auxílio do programa BIOESTAT 5.0 (Ayres et al., 2007).

Tabela 1: Codificação dos locais de amostragem e o zoneamento urbano.

ZONA	CÓDIGO	ENDEREÇO	COORDENADAS
ZCS	S1S1	Alameda A Dias, S/N – Centro - Manaus	3° 7'39.76"S / 60° 1'33.75"O
ZCO	S1S2	Av. 7 Setembro, S/N - Centro- Manaus	3° 8'5.91"S/ 60° 1'16.85"O
ZS	S2S1	Av. Brasil - Santo Antônio- Manaus	3° 6'49.28"S/ 60° 2'26.89"O
ZL	S2S2	Rua Padre Agostinho Martin - Compensa- Manaus	3° 6'40.65"S/ 60° 3'6.24"O
ZS	S3	Av. Marquês da Silveira - Cachoerinha- Manaus	3° 7'37.96"S/ 60° 0'3.85"O
ZS	S4	Rua Inocêncio de Araújo - Educandos- Manaus	3° 8'33.91"S/ 60° 0'51.57"O
ZL	S5	Av. General Rodrigo Otávio - Coroadó- Manaus	3° 5'57.36"S/ 59°58'15.17"O
ZS	S6S1	Bola da Suframa - Distrito- Manaus	3° 7'50.92"S/ 59°58'22.44"O
ZL	S6S2	Av. Grande Circular - Distrito I- Manaus	3° 5'54.38"S/ 59°56'50.08"O
ZN	S7S1	Estrada do Aleixo- Manaus	3° 5'20.68"S/ 59°55'34.60"O
ZN	S7S2	Av. Min. Mário Andreaza - Mauazinho- Manaus	3° 7'55.52"S/ 59°56'38.56"O
ZN	S8	Estrada do Puraquequara - Puraquequara- Manaus	3° 3'18.63"S/ 59°50'32.75"O
ZL	S9	Rua 4 - São José do Operário 3- Manaus	3° 4'9.81"S/ 59°56'34.61"O
ZN	S10	Av. Autaz Mirin - Cidade Nova- Manaus	3° 2'13.15"S/ 59°56'25.31"O
ZCS	S11	Bola do Mindu- Manaus	3° 4'51.49"S/ 60° 0'19.02"O
ZO	S12	Av. Mário Ypiranga - Adrianópolis- Manaus	3° 6'38.72"S/ 60° 0'47.23"O
ZO	S13	Av. São Jorge - São Jorge- Manaus	3° 6'15.87"S/ 60° 2'41.12"O
ZO	S14	Rua 4 - Alvorada- Manaus	3° 4'42.34"S/ 60° 2'44.06"O
ZO	S15	Av. Coronel Teixeira - Ponta Negra- Manaus	3° 3'46.92"S/ 60° 6'10.73"O
ZO	S16	Av. Santos Dumont - Tarumã- Manaus	3° 1'48.17"S/ 60° 2'45.87"O
ZN	S17	Rua São Lourenço - Monte das Oliveiras- Manaus	3° 0'13.51"S/ 60° 0'20.01"O
ZN	S18	Av. Comendador José Cruz - Lagoa Azul- Manaus	2°58'24.37"S/60° 0'44.38"O
ZL	*S19 e S19B	Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho - Coroadó- Manaus	3° 5'54.37"S/ 59°58'22.86"O
ZS	*S20 e S20B		3° 6'12.67"S/ 59°58'32.74"O
-	S21 e S21B	Distrito Cacau Pirera - Iranduba	3° 9'45.17"S/ 60°16'0.44"O
-	*S22 e S22B	Área de floresta de Iranduba	3° 9'48.43"S/ 60°5'33.12"O
-	S23 e S23B	Centro Comercial de Manacapuru	3° 17'44.83"S/ 60°38'0.76"O

Códigos identificados com B referem-se as amostras coletadas na camada subsuperficial (60 – 80 cm), enquanto amostras identificadas com * são oriundas de áreas naturais. ZCS: Zona Centro-Sul; ZCO: Zona Centro-Oeste; ZS: Zona Sul; ZL: Zona Leste; ZO: Zona Oeste.

RESULTADOS

Composição granulométrica e atributos químicos dos solos

Os resultados da composição granulométrica dos solos na profundidade de 0 – 20 cm podem ser visualizados na figura 1A por meio dos gráficos box-plot, enquanto os resultados referentes a profundidade de 60 – 80 cm podem ser visualizados na tabela 1.

Em todas as amostras de solo estudadas notou-se a predominância das frações areia e argila, sendo este comportamento igualmente observado nas amostras de subsuperfície.

As maiores médias para a fração areia (camada 0-20 cm), foram observados nas amostras S21 e S23 com valores superiores a 83%, coletadas nos municípios de Iranduba e Manacapuru respectivamente, enquanto que as menores médias apresentaram valores inferiores a 20% observados nas amostras S19 e S22, oriundas dos municípios de Manaus e Iranduba. A média da fração areia observada nas amostras superficiais foi de 59%, enquanto que nas amostras subsuperficiais esse valor caiu para 46%.

Por outro lado, na fração argila notou-se um pequeno incremento no valor médio (48%) das amostras subsuperficiais em relação ao valor médio observado nas amostras superficiais (37%).

As maiores médias para a fração argila (camada 0-20 cm), foram obtidos nas amostras S5 e S19, com valores superiores a 70%, ambas coletadas no município de Manaus. No caso da amostra S19, o alto teor de argila também foi notado na sua correspondente subsuperficial (87%), que possui o maior valor entre as amostras subsuperficiais. Os teores mínimos da fração argila foram observados na amostra ES, tanto na camada 0-20 cm (14%) quanto na camada de 60-80 cm (16%).

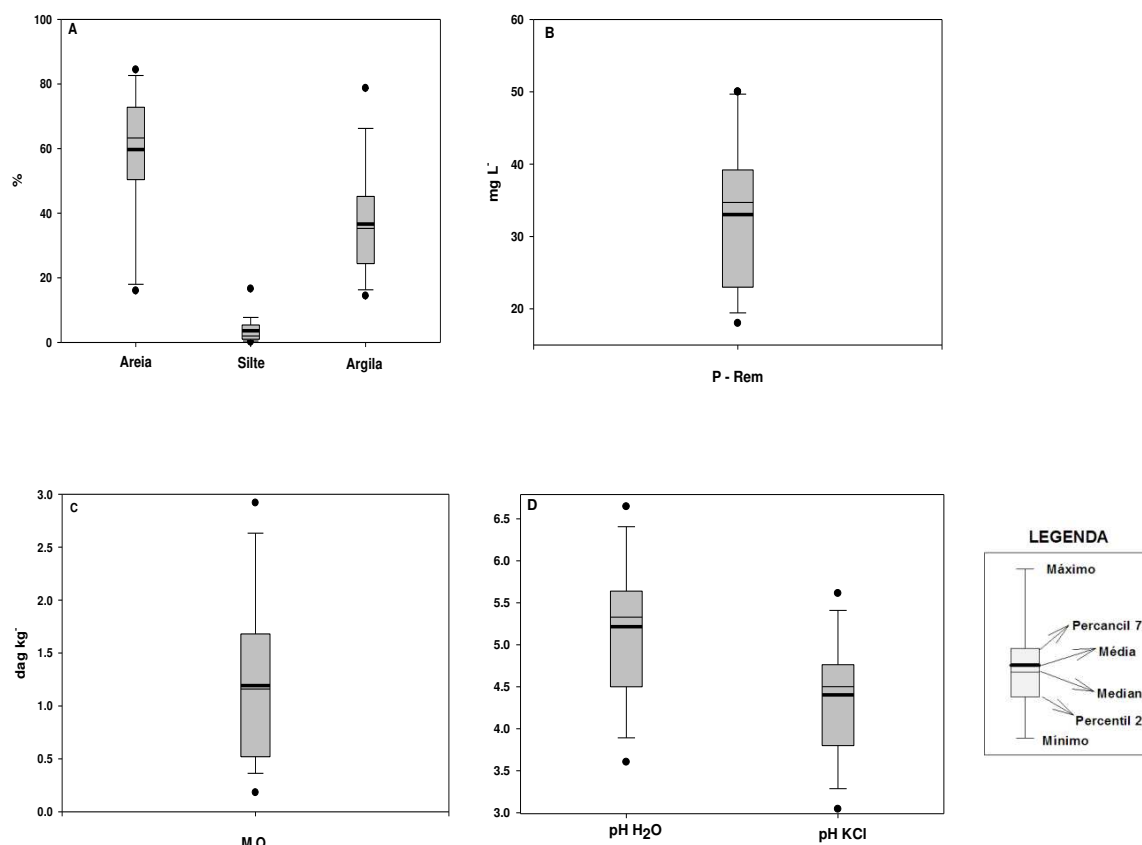


Figura 1: Gráficos do tipo box-plot referentes a granulometria (A), Fósforo Remanescente (P-Rem) (B), matéria orgânica do solo (M.O.) (C) e valores de pH (D) da camada 0 – 20 cm.

O valor médio de P-Rem observado na camada de 0-20 cm foi de 33 mg L⁻¹, enquanto que na camada o valor caiu para 20,56 mg L⁻¹. Também se observou a diferença de comportamento dos valores de P-Rem e sua relação com a fração areia e argila.

Na camada de 0-20 cm, observou-se correlação linear positiva entre o P-Rem a fração areia ($r = 0,72$), enquanto que a correlação com a fração argila foi negativa ($r = -0,65$). De forma semelhante, na camada de 60-80 cm foram obtidas correlações com coeficientes $r = 0,59$ (P-Rem e areia) e $r = -0,46$ (P-Rem e argila).

O teor médio de M.O. na camada de 0-20 cm foi de 1,3 dag kg⁻¹, com valores máximos obtidos nas amostras S19 e S23, oriundas dos municípios de Manaus e Iranduba. Na camada de 60-80 cm, o teor médio de M.O. decresceu para 0,54 dag kg⁻¹, os valores máximos obtidos nos correspondente subsuperficiais S19 e S23.

Não foram observadas correlações significativas entre os teores de M.O. e as frações areia e argila as amostras coletadas na camada 0-20 cm. Por outro lado, na camada

60-80 cm notou-se correlação linear negativa entre este parâmetro e a fração areia ($r = -0,52$), enquanto para a fração argila a correlação foi positiva ($r = 0,62$).

Tabela 2: Granulometria, P-Rem e teores de matéria orgânica do solo (M.O.) na camada 60 – 80 cm.

Amostra	Areia	Silte	Argila	P-Rem	MO
	%			mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹
S19B	12	1,1	86,9	15,7	1,42
S20B	32	0,5	67,5	24,9	0,39
S21B	84	0,2	15,8	21,9	0,26
S22B	31	16,3	52,7	3,8	0,13
S23B	77	3,5	19,5	36,5	0,52
Máx	84	16,3	86,9	36,50	1,42
Média	47	4,5	48,5	20,56	0,54
Mín	12	0,2	15,8	3,80	0,13
D.P.	31	6,6	30	12,03	0,51
CV	67,04	145,22	63,27	58,53	93,89

Não foram observadas correlações significativas entre os valores de pH e os teores de M.O. nas amostras superficiais. Em contrapartida, os teores de M.O. apresentaram correlações positivas com os valores de pH H₂O ($r = 0,85$) e pH KCl ($r = 0,86$) nas amostras subsuperficiais.

A reação do solo na camada superficial foi de acidez alta ou acidez media, com exceção das amostras S7S1 e S18 que apresentaram acidez fraca, segundo Alvarez Venegas et al., (1999). Na camada subsuperficial a reação do solo foi considerada alta para todos os solos (Tabela 2). Os valores médios observados foram de 4,32 (pH H₂O) e 3,65 (pH KCl).

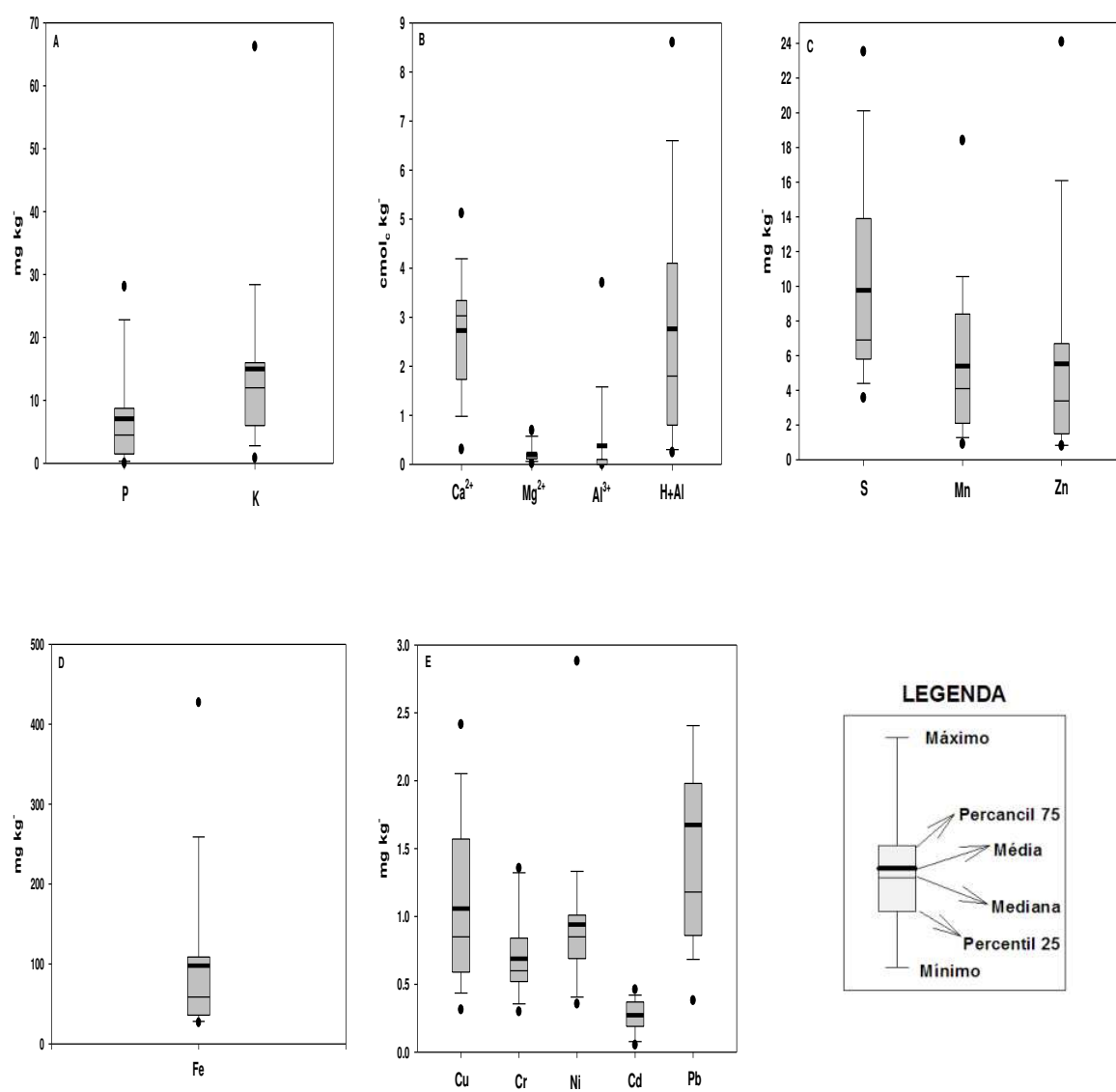


Figura 2: Gráficos do tipo box-plot referentes aos teores de P e K (A); Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+AL (B); S, Mn e Zn (C); Fe (D); Cu, Cr, Ni, Cd e Pb (E) na camada 0 – 20 cm.

O caráter ácido dos solos estudados, refletiu-se nos baixos teores dos macro nutrientes (Figura 2A e 2B). Na camada superficial, os teores desses elementos (P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+}) são considerados médios e/ou baixos.

Por outro lado, na camada 60-80 cm os teores de macro nutrientes decresceram significativamente, sendo geralmente considerados baixos, a exceção do K que apresentou teor médio adequado, contudo deve se levar em consideração a grande contribuição das amostras S19B e S23B, que apresentaram valores discrepantes das demais amostras.

Os teores médios de Al^{3+} foram considerados baixos na profundidade de 0-20 cm, enquanto nas amostras subsuperficiais o teor médio foi classificado como alto. A amostra S22 apresentou os maiores valores tanto na camada superficial quanto na camada subsuperficial.

A acidez potencial apresentou valor médio de $2,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo considerada média, embora as amostras S8 e S20 tenham apresentado teores que permitem classificá-las como de alta acidez ($>5,00 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e muito alta no caso de S22 ($>9,00 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Tabela 2: Valores de pH, teores de P, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+AL na camada 60 – 80 cm.

Amostra	pH		P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al
	H_2O	KCl	mg kg^{-1}				$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	
S19B	4,7	3,97	0,5	48	0,96	0,27	0,4	5,1
S20B	4,47	3,77	6,9	1	1,3	0,19	0,4	4
S21B	4,23	3,57	0	0	0,13	0,03	0,4	2,6
S22B	4	3,38	0	12	1,41	0,19	5,7	9,9
S23B	4,22	3,56	17,36	95	1,93	0,36	0,3	4,8
Máx	4,70	3,97	17,36	95,00	1,93	0,36	5,70	9,90
Média	4,32	3,65	4,95	31,20	1,15	0,21	1,44	5,28
Mín	4,00	3,38	0,00	0,00	0,13	0,03	0,30	2,60
D.P.	0,27	0,23	7,53	40,64	0,67	0,12	2,38	2,76
CV	6,20	6,19	151,99	130,26	58,13	58,53	165,4	52,24

Os teores médios de S e micronutrientes (Figura 2C, 2D e 2E) em ambas as camadas estudadas, apresentaram valores classificados como média ou alta disponibilidade. Os teores de ferro (Fe) por sua vez, foram notadamente altos com valores médios de 97, 8 mg kg⁻¹ (camada superficial) e 173,34 mg kg⁻¹ (camada subsuperficial).

Tabela 3: Teores de enxofre (S), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Chumbo (Pb) e micronutrientes na camada 60 – 80 cm.

Amostra	S	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
mg kg ⁻¹									
S19B	18,8	0,28	1,3	138,7	0,6	1,19	0,69	0,26	0,74
S20B	4,4	0,33	0,9	80,6	0,38	0,76	0,43	0,21	0,72
S21B	5,5	0,23	0,9	107,4	0,33	0,64	0,66	0,33	1,09
S22B	4,8	1,14	1,5	518,9	0,94	0,98	1,05	0,38	2,69
S23B	7,9	0,44	25,9	21,1	4,17	1,26	0,79	0,34	0,7
Máx	18,8	1,14	25,9	518,9	4,17	1,26	1,05	0,38	2,69
Média	8,28	0,48	6,1	173,34	1,28	0,96	0,72	0,30	1,18
Mín	4,4	0,23	0,9	21,1	0,33	0,64	0,43	0,21	0,7
D.P.	6,03	0,37	11,07	197,95	1,63	0,26	0,22	0,06	0,85
CV	72,89	77,45	181,5	114,2	127,04	27,65	31,06	22,38	71,96

A CTC efetiva apresentou valor médio de 3,4 cmol_c kg⁻¹ na camada superficial e 2,9 cmol_c kg⁻¹ na camada subsuperficial, enquanto que a CTC_{pH 7} apresentou 5,7 cmol_c kg⁻¹ e 6,7 cmol_c kg⁻¹, na camada de 0-20 cm e 60-80 cm respectivamente.

Caracterização mineralógica dos solos

Os teores óxidos de ferro (Fe₂O₃), alumínio (Al₂O₃), e manganês (MnO), obtidos através de ataque total e os teores de ferro associados às formas de óxidos de ferro de alta cristalinidade (Fed) e com baixo grau de cristalinidade (Feo), na profundidade de 0-20 cm são apresentados na Figura 3 através de gráficos tipo Box-plot.

O maior teor médio de Fe₂O₃ foi observado nas amostras S22 e S15, com valores médios acima de 80 g kg⁻¹, oriundas dos municípios de Iranduba e Manaus, respectivamente. Enquanto o menor teor médio foi observado na amostra S7S1 (32,5 g kg⁻¹) localizada na zona urbana de Manaus.

No caso do óxido de alumínio, os maiores teores foram obtidos nas amostras S6S2 e S7S1, ambas coletadas na área urbana de Manaus. Os menores teores foram observados nas S22 e S23, coletadas nos municípios de Iranduba e Manacapuru, respectivamente.

Os teores de MnO foram inferiores a $0,02 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 3B), o maior teor foi verificado na amostra S21 e o menor teor foi obtido na amostra S18, coletadas no município de Iranduba e Manaus, respectivamente.

As formas de ferro com baixa cristalinidade (Feo) apresentaram as maiores médias nas amostras S21 e S23, coletadas nos municípios de Iranduba e Manacapuru, respectivamente. Por outro lado, o menor valor de Feo foi observado na mostra S18 ($1,88 \text{ g kg}^{-1}$), coletada na área urbana de Manaus.

Os teores de ferro com maior cristalinidade (Fed) denotaram maior valor na amostra S22 ($22,14 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor valor na amostra S3 ($4,90 \text{ g kg}^{-1}$) dentro da distribuição normal.

A relação entre ferro extraído com oxalato e ferro extraído com ditionito (Figura 3D) teve média de $0,58 \text{ g kg}^{-1}$; com valor máximo de $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ (S15) e a menor média dentro da distribuição normal foi observada f na amostra S20 ($0,29 \text{ g kg}^{-1}$).

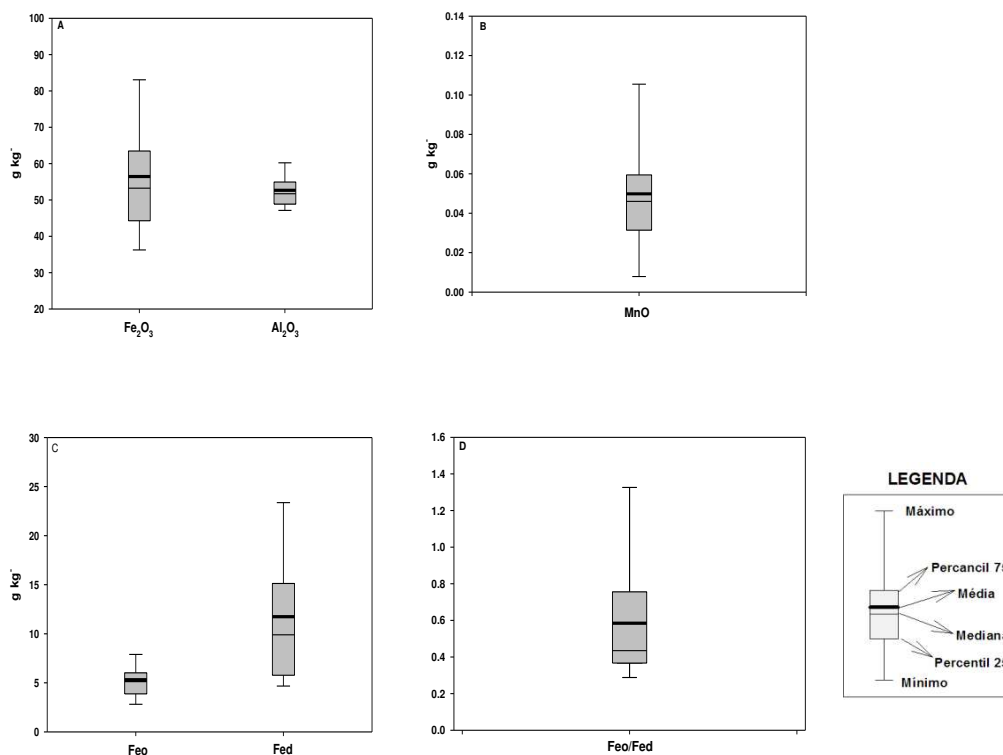


Figura 3: Gráficos do tipo box plot para atributos mineralógicos de solos da Região Metropolitana de Manaus, na profundidade de 0 – 20 cm.

Nas amostras coletadas em profundidade, os teores médios de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e MnO apresentaram similaridade com os teores médios observados nas amostras coletadas na camada de 0-20 cm.

Para os teores extraídos por oxalato, observou-se que um pequeno incremento no teor médio obtido na profundidade de 60-80 cm ($6,25 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao notado na camada superficial ($5,23 \text{ g kg}^{-1}$). De forma semelhante, o teor médio de Fed das amostras coletadas na camada subsuperficial ($18,34 \text{ g kg}^{-1}$) foi maior que o teor médio da camada superficial ($11,74 \text{ g kg}^{-1}$).

A relação entre ferro extraído com oxalato e ferro extraído com ditionito apresentou comportamento inverso, com um ligeiro decréscimo do valor médio observado nas amostras subsuperficiais ($0,47 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao valor médio observado nas amostras coletadas na camada de 0-20 cm ($0,58 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 4: Atributos mineralógicos de solos da Região Metropolitana de Manaus, na profundidade de 60 – 80 cm.

Amostra	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	Feo	Fed	Feo/Fed
	g kg ⁻¹					
S19B	50,49	50,88	0,012	4,63	4,68	0,991
S20B	33,54	51,89	0,024	2,20	5,92	0,372
S21B	34,23	49,23	0,065	6,62	23,19	0,285
S22B	90,64	54,84	0,052	9,34	40,55	0,230
S23B	93,03	51,33	0,24	8,44	17,37	0,486
Máx	93,03	53,84	0,24	9,34	40,55	0,99
Média	60,39	51,64	0,08	6,25	18,34	0,47
Mín	33,55	49,24	0,01	2,21	4,68	0,23
D.P.	29,51	2,05	0,09	2,89	14,65	0,31
CV	48,86	3,97	117,74	46,31	79,89	64,53

Mineralogia da fração argila

Os difratogramas de raios - X representativos da fração argila dos solos são apresentados nas figuras 4 e 5. Não foram observadas grandes variações entre os difratogramas das 32 amostras de solos avaliadas. Dessa forma os principais minerais encontrados foram: caulinita, gibbsita e montmorilonita.

O caráter caulinitico foi predominante em todas as amostras analisadas, com picos intensos e característicos de caulinita (0,720 nm e 0,357 nm) e picos menos acentuados de gibbsita. Nas amostras desferricadas os picos de gibbsita tornaram-se mais evidentes, de maneira que foi possível identificar com maior clareza os picos característicos (0,484 nm e 0,435 nm), mas em geral estes apresentaram pequenas intensidades sendo muitas vezes ausentes.

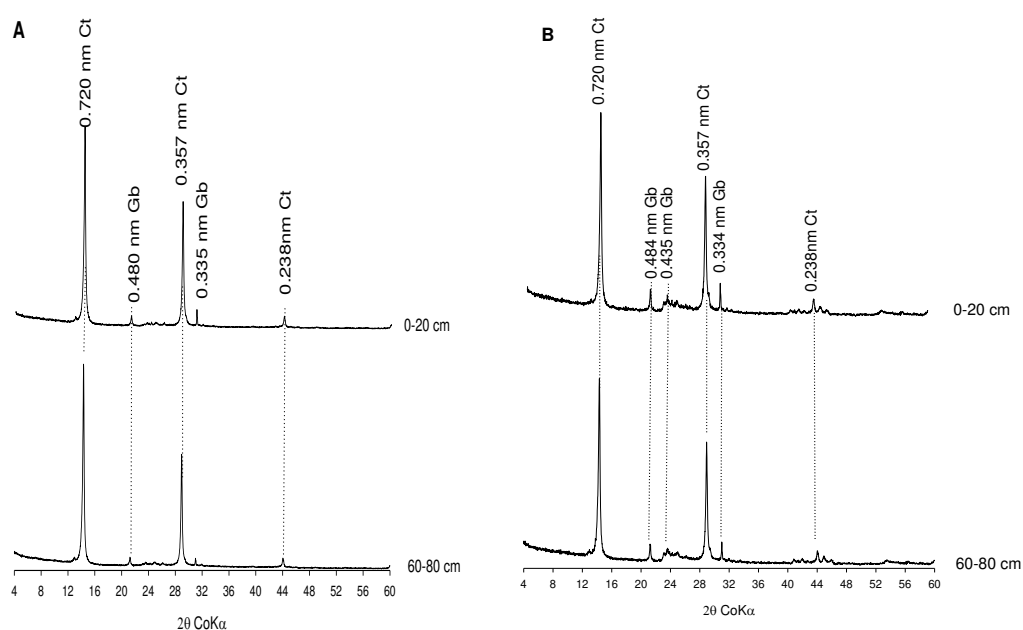


Figura 4: Difratometria de raios – X representativa da fração argila dos solos de Manaus. Amostra natural orientada (A) e amostra desferricadas orientada (B). Ct- caulinita; Gb – gibbsita.

A amostra S22, foi a única que apresentou picos de minerais do tipo 2:1, (Figura 4 e Figura 5). Ao ser submetida ao tratamento com saturação com $MgCl_2$ e glicerol, foi possível notar a existência de picos de montmorilonita, (1,78 nm) nas duas profundidades. Embora as intensidades destes picos não sejam grandes, o desaparecimento do pico 1,42 nm, após o tratamento com saturação com $MgCl_2$ e glicerol, confirme a existência de montmorilonita.

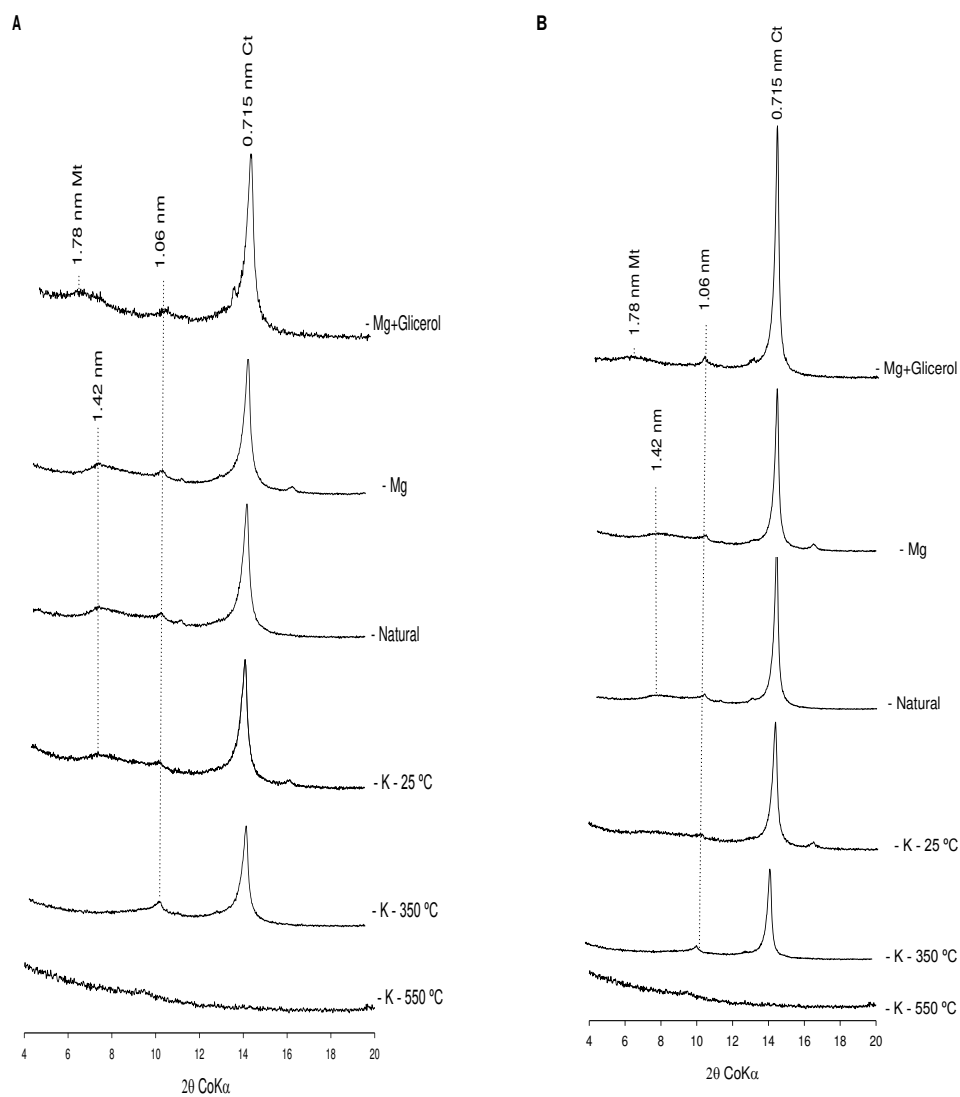


Figura 5: Difractometria de raios – X da fração argila do solo coletado no município de Iranduba (Amostra S22). Amostra orientada tratada com KCl 1M, $MgCl_2$ e glicerol coletada na camada de 0-20 cm (A) e na camada de 60-80 cm (B). Mt - Montmorilonita; Ct- Caulinita.

DISCUSSÃO

Atributos físicos e químicos dos solos

Os resultados obtidos tanto em superfície como em subsuperfície denotam dos solos da região metropolitana de Manaus apresentam classificação textural que varia desde franco argilo arenoso a muito argiloso (EMBRAPA, 2013).

De maneira geral, ocorreu a predominância da fração areia e teores baixos de silte, corroborando com as observações de Lima (2001), que estudando solos de terra firme do Médio Amazonas atribuiu os altos teores de areia e baixos teores de silte ao elevado grau de intemperismo destes solos e a pobreza dos materiais de origem.

Segundo Botschek et al. (1996), o incremento da fração areia pode ser provocado pelo posicionamento do perfil diante do relevo, em especial por posições que favoreçam a ocorrência de boas condições de drenagem e a remoção de argila por argiluviação ou de maneira lateral.

No presente estudo, os solos com maior teor de areia foram coletados nos municípios de Iranduba e Manacapuru em uma porção intermediária da vertente, o que aparentemente facilita a remoção lateral e a migração de argilas por meio da água de percolação em poros vazios para os horizontes subsuperficiais, o que explica o leve incremento do teor de argila na camada de 60-80 cm destes solos.

Os teores de M.O. obtidos no presente estudo estão classificados como médio ou baixos, segundo Alvarez Venegas et al. (1999). Contudo, vale ressaltar que os solos coletados em ambientes urbanos apresentaram teores médios inferiores aos obtidos em solos de ambientes naturais, possivelmente este comportamento encontra-se relacionado a constante adição de compostos orgânicos que ocorre nos ambientes naturais, favorecendo assim a manutenção da M.O.

Segundo Malavolta (1987), mesmo com a temperatura e umidade elevadas, grande acúmulo de material vegetal, ajuda a tamponar a velocidade de reação de mineralização, mantendo a quantidade de M.O. estável.

A acidez dos solos estudados aparentemente encontra-se associada a exposição deste ao intemperismo intenso o qual a região esta submetida, o que provoca a liberação de íons H^+ para o complexo de troca resultando em baixos valores de pH.

A baixa disponibilidade de nutrientes observadas nos solos do presente estudo é similar aos observados na literatura para solos amazônicos (Falcão e Silva, 2004; Moreira et al., 2005; Moreira, 2016). Segundo Lima (2001) e Marques et al., (2010), em estudos com solos do Médio e baixo Solimões, os baixos valores de nutrientes em solos de terra firme é associado a pobreza do material de origem e à intensa lixiviação à qual esses solos foram submetidos.

Embora os teores médios de Al^{3+} tenham sido classificados como baixos, vale ressaltar que, de maneira semelhante ao que foi observado na M.O., ocorreram diferenças significativas entre as amostras coletadas em ambientes urbanos e naturais.

Dessa forma, o teor médio de Al^{3+} obtido, utilizando somente as amostras coletadas em ambientes naturais, foi de $1,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o que permite classificá-lo como alto segundo Alvarez Venegas et al. (1999), corroborando com as classificações encontradas na literatura para solos da região (Lima, 2001; Moreira et al., 2005; Xavier, 2013; Moreira, 2016).

Comportamento semelhante foi observado para acidez potencial onde o valor médio para acidez potencial das amostras de ambiente natural ($5,86 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) mostrou-se superior ao obtido com todas as amostras da camada de 0-20 cm.

Provavelmente, essa diferença entre as médias obtidas entre os solos coletados em áreas urbanas e áreas naturais estejam ligadas ao uso de práticas de neutralização do alumínio trocável com objetivo de melhorar a adaptação de espécies paisagísticas dentro da área urbana.

Características mineralógicas dos solos

Os teores de Fe_2O_3 obtidos nas duas profundidades foram considerados baixos, sendo possível classificá-los com hipoférricos (EMBRAPA, 2013), corroborando com as observações de Aquino et al., (2015), que ao estudar solos do sul do Amazonas observou que os teores de Fe_2O_3 são em geral menores que 90 g kg^{-1} . De forma semelhante, Moreira (2016) estudando várias classes de solos do Amazonas notou que os valores médios de Fe_2O_3 para solos de terra firme foram de 70 g kg^{-1} .

Para Silva et al., (2011), valores de Fe_2O_3 variando de 42,9 a $99,3 \text{ g kg}^{-1}$, embora sejam considerados baixos, são valores normais para solos da região.

Os teores médios de Al_2O_3 observados no presente estudo foram inferiores aos observados por Moreira (2016), contudo são superiores aos valores observados por Garcia (2008) ao estudar solos de Iranduba.

Ao estudar alguns solos típicos na Amazônia Brasileira, Kitagawa e Moller, (1979) observaram grande variação dos valores de Al_2O_3 , o que possivelmente encontra-se relacionado com as diferentes condições de formações destes solos.

Os valores da relação Feo/Fed observados denotam a contribuição de cerca de 50% dos óxidos de ferro com baixa cristalinidade no teor total de ferro livre nas duas camadas estudadas. Possivelmente, este comportamento está ligado à ação inibidora da matéria orgânica do solo na cristalização dos teores de óxidos de ferro (Lima et al., 2006).

De acordo com Schwertmann e Kämpf (1983), o ferro pode formar complexos químicos com a matéria orgânica, que dificulta a cristalização dos óxidos de ferro. Esta hipótese é fortalecida pela pequena superioridade dos valores de Feo/Fed observados na camada de 0-20 cm em relação às amostras subsuperficiais.

Mineralogia da fração argila

A predominância de caulinita nos solos amazônicos vem sendo comumente relatada na literatura (Kitagawa e Moller, 1979; Lima et al., 2006; Xavier, 2013; Moreira, 2016). Segundo Marques et al., (2010), a natureza caulinítica de solos amazônicos ocorre em função do material de origem pertencer à Formação Alter do Chão, com litologia sedimentar terciária quimicamente pobre.

Contudo, fatores como a produção de caulinita através do intenso intemperismo de minerais primários e secundários (Moreira, 2016) e a intensa ciclagem de silício pela vegetação florestal, favorecendo a estabilidade da caulinita (Cornu et al., 1998), também são responsáveis pela predominância deste mineral nos solos desta região.

No presente estudo, as ausências e as baixas intensidades dos picos de gibbsita, quando presentes, demonstram que a remoção de sílica não tem sido eficiente nesse ambiente o que estaria provavelmente associado às contribuições pela ciclagem da floresta e pequenas deposições pluviométricas que aumentariam o conteúdo de silício em solução no solo (Cornu et al., 1998).

Ao estudar solos do Médio Solimões, Lima (2001) notou a ausência de gibbsita na fração argila dos solos de terra firme, que foi atribuída ao elevado conteúdo de silício na solução destes solos, o que inibiria a formação deste mineral, de modo que a ocorrência deste mineral nos solos amazônicos seria restringida a determinadas porções da paisagem.

A presença de minerais expansíveis, particularmente montmorilonita, em solo coletado no município de Iranduba vem sendo comumente relatada na literatura (Lima et al., 2006; Magalhães e Gomes, 2013). Normalmente a presença de montmorilonita nesta

área está associada a presença de depósitos aluviais (Fajardo et al., 2009; Magalhães e Gomes, 2013).

Contudo, no presente trabalho a ocorrência de montmorilonita parece estar muito mais associada a deficiência de drenagem existente em alguns trechos da paisagem, do que a deposições aluviais. Segundo Silva (2005), nesta área (trecho entre os municípios de Iranduba e Manacapuru) ocorre a predominância de solos com alto teor de argila que constituem a paisagem de baixos platôs (terra firme), de modo que nessa região a drenagem não se faz tão eficiente quanto nas áreas adjacentes.

A drenagem mais lenta dessas áreas provavelmente dificulta a saída de bases do sistema, resguardando assim a estrutura dos minerais 2:1. Além disso, a própria presença de minerais expansíveis retarda a velocidade da movimentação da água no perfil do solo, já que esse tipo mineral possui alta capacidade de absorver moléculas de água entre os cristais (Magalhães, 2011; Magalhães e Gomes, 2013; Rodrigues et al., 2015).

Corroborando com esta hipótese estudos de Silva (2005), revelam que o local onde foi coletada a amostra S22, tem como principal base geológica a Formação Alter do Chão estando distante de áreas de depósitos aluvionares.

Esse argumento é fortalecido ao se observar o estreitamentos dos picos de caulinita obtidos na amostra S22, que indicam a boa cristalinidade deste mineral. Segundo Rodrigues et al.(2015), a caulinita de baixa cristalinidade é o mineral característicos de solos oriundos de depósito aluvionar em função do constante retrabalhamento do solo por conta das deposições.

CONCLUSÃO

Os solos da região metropolitana de Manaus apresentam características semelhantes do ponto de vista químico e mineralógico. Embora as áreas urbanas apresentem maiores teores de nutrientes do que os solos coletados em ambiente natural, a fertilidade desses solos é baixa.

A mineralogia é predominantemente caulínica em função da pobreza do material de origem e do intenso intemperismo da região. A presença de minerais 2:1 em solos de terra firme é rara e quando ocorre está associada a áreas com deficiência de drenagem, constituindo, portanto uma exceção na paisagem.

REFERÊNCIAS

- Alvarez Venegas, V.H.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Cantarutti, R.B.; Lopes, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5.^a Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.
- Aniceto KCP, Horbe AMC. Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amaz.* 2012;42:135–148.
- Ayres, Manuel; AYRES JÚNIOR, Manuel; AYRES, Daniel Lima; SANTOS, Alex Santos dos. *BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. Belém: MCT; IDSM; CNPq, 2007. 364 p. il.
- Botschek J, Ferraz J, Jahnel M, Skowronek A. Soil chemical properties of a toposequence under primary rain forest in the Itacoatiara vicinity (Amazonas, Brazil). *Geoderma*. 1996;72:119–132.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- Campos ML, Da Silva FN, Furtini Neto AE, Guimarães Guilherme LR, Marques JJ, Antunes AS. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesqui Agropecu Bras.* 2005;40:361–367.
- Cornu S, Lucas Y, Ambrosi JP, Desjardins T. Transfer of dissolved Al, Fe and Si in two Amazonian forest environments in Brazil [Internet]. *Eur. J. Soil Sci.* 1998. p. 377–384.
- De Aquino RE, Campos MCC, De Oliveira IA, Siqueira DS, Soares MDR, De Freitas L. Técnicas geoestatísticas na avaliação de atributos químicos em Cambissolo com agrofloresta e cana-de-açúcar em Humaitá, Amazonas. *Rev Bras Ciencias Agrar.* 2015;10:544–552.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA, Brasília. 2009.
- Fajardo JDV, Souza LAG, Alfaia SS. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra , na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amaz.* 2009;39:731–740.
- Falcão NPDS, Silva JRA Da. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amaz.* 2004;34:337–342.

Ferreira SJF, Miranda SAF, Marques-Filho AO, Silva CC. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 2012;42:533–540.

Ferreira, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponible en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

Garcia CHP. Características Mineralógicas, Químicas e Físicas de solos com horizonte plinticoa no município de Iranduba - AM. 2008;

Gurgel E, Melo F, Do M, Rocha S, Silva D, Átila S, Miranda F. Influência Antrópica Sobre Águas De Igarapés Na Cidade De Manaus – Amazonas 1 Antropic Influence on the Water of Streams in the City of Manaus – Amazonas. 2005;5:40–47.

Horbe AMC, Paiva MRP De, Motta MB, Horbe MA. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari - AM from the Solimões Basin in the region of Coari , Amazonas. *Acta Amaz.* 2007;37:81–90. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. IBGE. Perfil do estado do Amazonas. <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=am>>. Acesso em 25 de dezembro de 2015.

Kämpf, n.; Schwertmann, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern of Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, v.29, p. 27-39, 1983.

Kitagawa V, Moller MRF. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region. *Pesqui Agropecuária Bras.* 1979;14:201–228.

Lima HN, De Mello JWV, Schaefer CEGR, Ker JC, Lima AMN. Mineralogia e química de solos de uma topossequencia da bacia sedimentar do alto solimoes, Amazonia ocidental. *Rev Bras Cienc do Solo.* 2006;30:59–68.

Lima HN. Química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2001;176.

Luizão, F. e Vasconcelos, H. Floresta tropical úmida (manaus)-site 1. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2005.

Magalhães RC, Gomes RCM. Mineralogia E Química De Solo De Várzea E Suas Susceptibilidades No Processo De Terras Caídas Na Comunidade Do Divino Espírito Santo-Am. *Soc Nat.* 2013;25:609–621.

Magalhães RC. AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E HIDRÁULICAS DO SOLO E SUA SUSCEPTIBILIDADE AO PROCESSO DE TERRAS CAIDAS: COMUNIDADE DO DIVINO ESPÍRITO SANTO - IRANDUBA/AM. 2011;

Marques JDDO, Teixeira WG, Reis AM, Cruz Junior OF, Batista SM, Afonso MACB. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. *Acta Amaz.* 2010;40:01–12.

Mehra, J.P. & Jackson, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. *Clay Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.

Moreira A, Gonçalves JRP, Plácido Júnior CG. Mapas da distribuição aproximada da fertilidade dos solos do estado do Amazonas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. 2005.

Moreira LJ da S. Caracterização Química, Física E Mineralógica E Teores Naturais De Metais Pesados Em Solos Do Estado Do Amazonas - Brasil. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2016.

Rodrigues V de O, Souza WR de, Lima RHC, Castro RT. Caracterização Das Matérias-Primas empregadas Na Fabricação De Produtos Do Pólo Cêramico De Iranduba-Am. *Cerâmica Ind.* 2015;20:37–40.

Santana GP, Barroncas P de SR. Estudo de metais pesados (Co , Cu , Fe , Cr , Ni , Mn , Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). *Acta Amaz.* 2007;37:111–118.

Schwertmann, U. Use of oxalate for Fe extraction from soil. *Can. J. Soil Sci.*, 53:244-248, 1973.

Silva MP, Teixeira WG, Batista M. CARACTERIZAÇÃO DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS. *Tempo.* 2011;673–681. USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1998;1–30.

Xavier BT de L. Mineralogia e Teores naturais de metais pesados em solos da Bacia Sedimentar Amazônica. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2013.

CAPÍTULO 2: METAIS PESADOS EM SOLOS URBANOS DE MANAUS

RESUMO

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017. **Metais pesados em solos urbanos de Manaus.** Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Coorientador: João Carlos Ker.

O presente estudo avaliou os teores totais e semitotais de Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd, Pb em solos urbanos de Manaus, Iranduba e Manacapuru. Foram coletadas amostras de solo nas camadas superficiais (0-20 cm) e nas camadas subsuperficiais (60-80 cm). Os resultados demonstraram que a ordem decrescente dos teores semitotais médios é a seguinte Zn>Cr>Mn>Cu>Pb>Ba>Ni>Cd>Co, enquanto a ordem decrescente dos teores totais médios é Ba>Zn>Cr>Mn>Pb>Cu>Ni>Cd>Co. As classificações obtidas através dos índices de enriquecimento (EF), índice de geoacumulação (Igeo) e índice de poluição (Pi) são equivalentes. A situação predominante para os solos do presente estudo é moderadamente enriquecido/contaminado. A distribuição espacial dos teores de metais pesados na área de estudo, apontam o tráfego de veículos e as emissões industriais como as principais fontes de contribuição não natural de metais pesados nos solos urbanos. Os teores de Ba, Co, Cr, Mn e Zn são controladas basicamente por fontes litogênicas embora ocorram áreas de enriquecimento, enquanto os teores de Cd, Cu, Ni e Pb são majoritariamente influenciadas por fontes antropicas.

ABSTRACT

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017. **Heavy metals in urban soils of Manaus.** Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-adviser: João Carlos Ker.

The present study evaluated the total and semi-total contents of Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd, Pb in urban soils of Manaus, Iranduba and Manacapuru. Soil samples were collected in the superficial layers (0-20 cm) and in the subsurface layers (60-80 cm). The results show that the decreasing order of the mean half-weights is the following Zn > Cr > Mn > Cu > Pb > Ba > Ni > Cd > Co, while the decreasing order of the mean total contents is Ba > Zn > Cr > Mn > Pb > Cu > Ni > Cd > Co. The classifications obtained through enrichment index (EF), geoaccumulation index (I_{geo}) and pollution index (Pi) are equivalent. The predominant situation for the soils of the present study is moderately enriched / contaminated. The spatial distribution of heavy metal contents in the study area indicates vehicle traffic and industrial emissions as the main sources of unnatural contribution of heavy metals in urban soils. The levels of Ba, Co, Cr, Mn and Zn are mainly controlled by lithogenic sources although areas of enrichment occur, while Cd, Cu, Ni and Pb contents are mostly influenced by anthropic sources.

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Manaus é um grande complexo urbano, com população superior 2 milhões de habitantes, o que a torna a segunda região metropolitana mais populosa da região norte do Brasil, representando 60 % da população do estado do Amazonas. Essa região ainda ocupa importante posição econômica a nível nacional, sendo uma das regiões com maior crescimento nos últimos quarenta anos (IBGE, 2015).

Contudo, a rápida expansão de centros urbanos frequentemente vem acompanhada do aumento da geração de resíduos poluentes, incluindo elementos químicos conhecidos como metais pesados (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Os teores de metais pesados são oriundos de duas fontes, a primeira é derivada das características geoquímicas do material de origem, enquanto a segunda é oriunda de atividade antrópicas (Li et al., 2013).

Em ambientes não naturais, geralmente a contribuição pedogênica aos teores de metais pesados em solos tem sido superada pelo incremento oriundo de atividades antrópicas (Nriagu e Pacyna, 1988; Facchinelli et al., 2001). Assim, ambientes urbanos tendem a apresentar solos com teores elevados de metais pesados (Kelly et al., 1996; Markus e McBratney, 1996), pois nesse ambiente o solo acaba funcionando como coletor de metais pesados oriundos das mais diversas fontes, incluindo resíduos industriais, emissão de veículos, queima de combustíveis fósseis e outras atividades antrópicas.

Estima-se que as atividades humanas promovam a entrada média de 120 de As; 30 de Cd, 150 de Cu, 11 de Hg, 110 de Mo, 470 de Ni, 1160 de Pb; 72 de Sb, 79 de Se, 71 de V e 2340 de Zn (em 10^3 t ano^{-1}) no solo (Nriagu e Pacyna, 1988).

Como agravante, os metais pesados depositados no solo permanecem presentes na pedosfera por muitos anos, mesmo após a remoção das fontes de poluição (Imperato et al., 2003). Dessa forma, o solo se torna um dos principais indicadores de contaminação nos ecossistemas terrestres.

No atual modelo de sociedade, onde a maioria das pessoas vive em grandes centros urbanos, a qualidade desses ambientes se torna de vital importância, já que a exposição de altos níveis de poluição pode ocasionar impactos negativos, tanto para a saúde humana quanto aos ecossistemas (Sanchez-Camazano e Lorenzo, 1994; Li et al., 2013). Elevados teores de metais pesados no ambiente podem causar efeitos adversos aos sistemas nervoso, sanguíneo, cardiovascular, renal e reprodutor (Christoforidis e Stamatis, 2009).

Diante do exposto este trabalho, teve como objetivo determinar os teores de Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd e Pb em solos urbanos de três municípios da região metropolitana de Manaus - AM.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no perímetro urbano de três municípios (Manaus, Iranduba, Manacapuru) da região metropolitana de Manaus-AM (Figura 1), localizada na região norte do Brasil, a uma altitude média de 70 m.

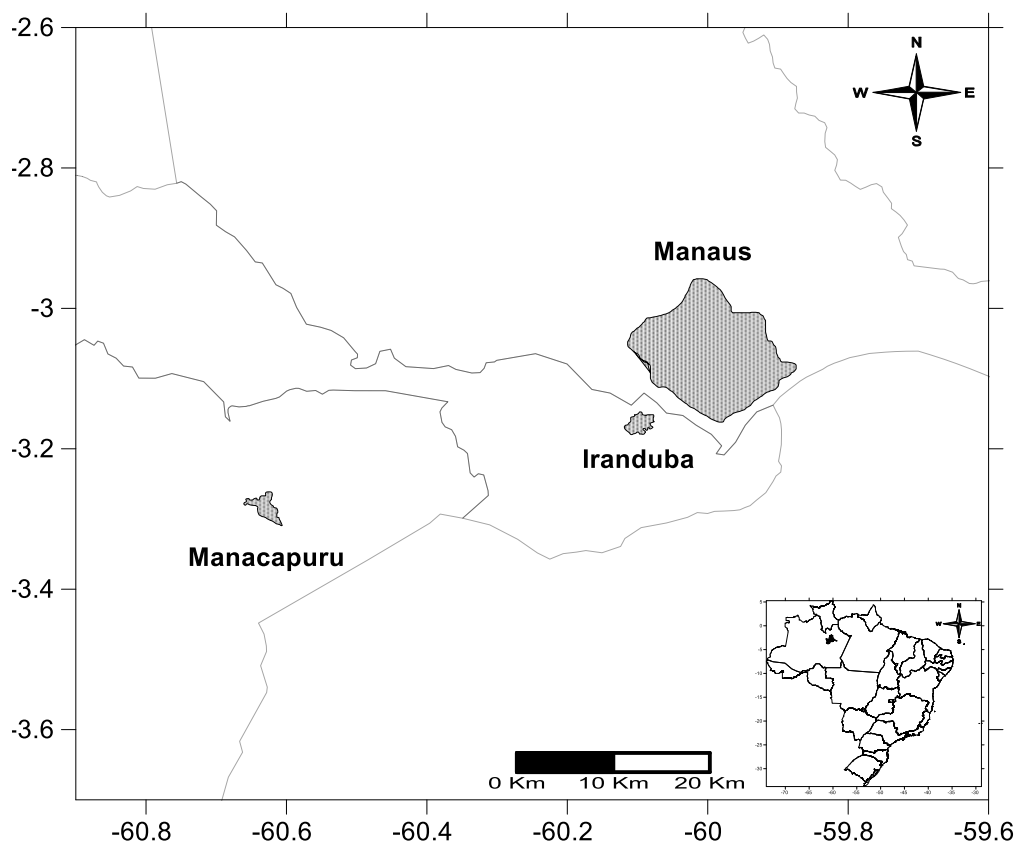


Figura 1:Localização da área de estudo.

O clima predominante na região caracteriza-se como quente e úmido, apresentando somente duas estações ao longo do ano: I) chuvosa (inverno), novembro a junho; II) seca (verão), julho a outubro, período que as temperaturas podem alcançar até 40 °C. A temperatura média anual situa-se em torno de 26,7 °C e a umidade relativa do ar é aproximadamente 80%, com precipitação média anual ao redor 2.286 mm (Luizão e Vasconcelos, 2005).

Do ponto de vista geológico, a região é caracterizada por uma extensa cobertura sedimentar fanerozóica, sendo esta representada pelas bacias sedimentares do Acre, Solimões, Amazonas e Alto Tapajós. Estas bacias estão depositadas sobre um substrato rochoso pré-cambriano, onde ocorrem rochas de natureza ígnea, sedimentar e metamórficas. A maior associação tectônica está sendo representada pelo Cráton Amazônico e esta compreende as duas grandes áreas pré-cambrianas: os escudos das

Guianas e Brasil Central, respectivamente ao norte e sul da Bacia Amazônica (CPRM, 2010).

Amostragem dos solos

Os municípios da região metropolitana foram divididos em subáreas, sendo estas selecionadas em função das diferentes atividades humanas socioeconômicas desenvolvidas nesta região. Também foram coletados amostras de solos fora dos domínios urbanos, sendo utilizadas como referência de ambientes naturais.

Em cada subárea foram coletadas 5 subamostras da camada superficial do solo (0 - 20 cm) e subsuperficial (60 – 80 cm) com o auxílio de um trado de aço inoxidável.

Posteriormente a coleta, as subamostras foram homogeneizadas para obtenção de amostras compostas, totalizando 32 amostras.

Determinação dos teores de metais

As amostras de solo forma homogeneizadas, destorroadas, secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

As amostras da TFSA foram maceradas em almofariz de ágata até completa passagem em peneira de 200 mesh (abertura de 0,074 mm).

Posteriormente, foram determinados os teores de metais: Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd e Pb, através de digestão em forno de microondas (Marca Anton Paar® - Modelo Mutiwave ECO), com o emprego de 9 mL de HNO₃ + 3 mL de HCl para extração semitotal (EPA 3051a) e 9 mL de HNO₃ + 3 mL de HCl + 4 mL de HF (EPA 3052) para obtenção dos teores totais.

Após a digestão, os elementos foram quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma induzido (ICP-OES).

O controle de qualidade da análise foi realizado com a utilização da amostra San Joaquin Soil (NIST 2709).

Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados

Os padrões de distribuição dos metais estudados nas áreas urbanas dos municípios foram obtidos através de um conjunto de mapas de concentração, onde se utilizou o processamento dos dados adquiridos pela digestão semitotal (EPA 3051a), que foram submetidos a krikagem ordinária através do programa Surfer® 13.

Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos

No presente estudo, utilizaram-se os dados obtidos pela digestão semitotal para se calcular o fator de enriquecimento (EF) com o objetivo de avaliar o nível de contaminação e o possível impacto antrópico nos solos urbanos. O EF foi definido através da formula adotada por Manta et al., (2002): $EF = \frac{\text{concentração do elemento em solo urbano}}{\text{concentração média de solos naturais}}$.

Para avaliar o possível enriquecimento de metais nas camadas superficiais em relação as camadas subsuperficiais (background geoquímico), utilizou se o índice de geoacumulação (Igeo).

Segundo Muller (1979) apud Wu et al., (2014), a fórmula utilizada para o cálculo de Igeo é expressa como: $Igeo = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$, onde: C_n é concentração do metal na camada de 0-20 cm; B_n é a concentração do metal na camada de 60-80 cm; e o fator 1,5 corresponde a possíveis variações litológicas oriundas do background geoquímico.

Outro índice utilizado no presente estudo foi o índice de poluição (P_i), que busca avaliar de forma direta a relação entre a concentração do metal na superfície e o background geoquímico, definida como $P_i = C_n / B_n$, onde C_n é concentração do metal na camada de 0-20 cm; B_n é a concentração do metal na camada de 60-80 cm.

O resultado obtido através desses índices foi agrupado em classes conforme mostrada no quadro abaixo:

Classificação de diferentes modelos de avaliação da contaminação do solo.

Classes	EF	Igeo	Pi	Nível de contaminação ⁽¹⁾
1	<1	<0	<1	Normal
2	1 a 5	0 a 1	1 a 3	Moderadamente
3	5 a 20	1 a 3	3 a 6	Consideravelmente
4	20 a 40	3 a 5	6 a 12	Altamente
5	>40	>5	>12	Extremamente

⁽¹⁾ (Wu et al., 2014).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando-se medida de tendência central (média), mínimo e máximo e de variabilidade de dados coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP). O tratamento estatístico foi realizado através do programa Sistema para Análises Estatísticas – SISVAR 5.3 (Ferreira, 2014).

Posteriormente os dados obtidos através da digestão semitotal foram padronizados, através da fórmula $Z = (X - m)/S$; onde Z = Valor padronizado, X = Valor da amostra, m = Média das amostras e S = Desvio padrão amostral.

Após a padronização, esses dados foram submetidos a análise de agrupamento hierárquico usando-se o quadrado da distância euclidiana como medida, com auxílio do programa BIOESTAT 5.0 (Ayres et al., 2007).

RESULTADOS

A qualidade dos procedimentos analíticos foi avaliada através da comparação entre os dados de metais e os respectivos resultados no material de referência *SRM 2709 – San Joaquim Soil*.

Embora seja observada a ocorrência de taxas de recuperação com valores inferiores a 50 % (Tabela 1), a comparação com o valor certificado não pode ser feita de maneira direta, já que, a digestão utilizada pelo método EPA 3051a tem como objetivo a obtenção dos teores semitotais enquanto os valores certificados foram obtidos através de digestão total.

Dessa forma, a comparação foi realizada com os valores lixiviados (leachable concentrations), em que as taxas de recuperação acima de 60 % foram consideradas satisfatórias.

Tabela 1. Taxa de recuperação dos metais no solo de referência *NIST SRM 2709 – San Joaquim Soil*, obtida pelo método EPA 3051a.

Metais	Valor Certificado	Valor Lixiviado	Taxa de recuperação (%)
--------	----------------------	--------------------	----------------------------

	(mg kg ⁻¹)	Recuperação por Lixiviado (NIST)	(NIST)	Valor determinado (mg kg ⁻¹)	Total ⁽¹⁾	Lixiviado ⁽¹⁾
Zn	106±3	94%	100	70,5	66,5%	70,5%
Cr	130±4	61%	79	69	53,1%	87,4%
Cd	0,37±0,002	100%	0,37	0,25	67,4%	67,4%
Ba	968±40	41%	398	297,3	30,7%	74,7%
Co	13,4±0,7	90%	12	10	74,6%	83,3%
Cu	34,6±0,7	92%	32	29,3	84,7%	91,6%
Ni	88±5	89%	78	72,4	82,3%	92,8%
Pb	18,9±0,5	69%	13	12,1	64%	93,1%
Mn	538±17	87%	470	345,3	64,2%	73,5%

Taxa de recuperação do valor determinado= (valor determinado/valor certificado (NIST) ou Valor Lixiviado (NIST)) x100

No caso do método EPA 3052 (Tabela 2), as comparações entre os valores determinados e os valores certificados dos metais, no solo de referência *NIST SRM 2709 – San Joaquim Soil*, foram obtidos de maneira direta, onde valores de taxa de recuperação acima de 60 % foram consideradas satisfatórias.

Tabela 2. Taxa de recuperação dos metais no solo de referência *NIST SRM 2709 – San Joaquim Soil*, obtida pelo método EPA 3052.

Metais	Valor Certificado (mg kg ⁻¹)	Valor determinado (mg kg ⁻¹)	Taxa de recuperação (%)
Zn	106±3	86,9	82%
Cr	130±4	92,3	71%
Cd	0,37±0,002	0,34	91,8%
Ba	968±40	612	63,2%
Co	13,4±0,7	10,64	81,2%

Cu	34,6±0,7	29,9	86,7%
Ni	88±5	75,1	85,3%
Pb	18,9±0,5	17,1	90,5%
Mn	538±17	371,8	69,1%

Taxa de recuperação do valor determinado= (valor determinado/valor certificado (NIST) x100)

Teores semitotais e totais de metais

Os teores de Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd e Pb em solos urbanos são listados na Tabela 3, juntamente com a média, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos de cada elemento.

Nota-se que os elementos Co, Cd e Ni apresentaram baixos teores na maioria dos solos coletados, apresentando médias de 0,63; 2,99 e 6,16 mg kg⁻¹ respectivamente. Por outro lado, os maiores teores foram observadas nos elementos Zn, Cr e Mn, com médias de 34,63; 34,58 e 16,23 mg kg⁻¹ respectivamente.

Os teores máximos de Ba (45,72 mg kg⁻¹), Cd (5,71 mg kg⁻¹) e Co (2,10 mg kg⁻¹) foram observados na amostra S22, oriunda da área urbana de Iranduba.

Os maiores teores de Cr (61,76 mg kg⁻¹) e Pb (2,44 mg kg⁻¹) foram obtidos na amostra S5. Comportamento semelhante foi verificado nos teores máximos dos elementos Cu (119,02 mg kg⁻¹) e Ni (22,70 mg kg⁻¹), que foram observadas nas amostra S9; o teor máximo de Zn (181,3 mg kg⁻¹) foi observado na amostra S7S2. Em todos os casos supracitados as amostras são oriundas da área urbana de Manaus.

O teor máximo de Mn (114,26 mg kg⁻¹) foi observado na amostra S23, coletada na zona central do município de Manacapuru.

Quanto aos valores de mínimo, destacam-se que os elementos Ba, Mn e Zn apresentaram teores menores do que o limite de detecção do equipamento, contudo nota-se que esses valores mínimos foram obtidos nas amostras S2S1, S2S2, S3 e S18 coletadas no município de Manaus, essas amostras também apresentam valores baixos para os demais elementos, com exceção do Cr.

Os desvios padrões variaram de 0,45 a 46, sendo estes valores obtidos a partir dos teores dos elementos Co e Zn, respectivamente.

A variação dos teores de cada elemento foi obtida por intermédio do coeficiente de variação dos dados, indicando que a menor variação ocorreu no elemento Cr (29 %) e a maior para o elemento Mn (151 %).

A ordem decrescente quanto aos teores médios de metais pesados obtidos foi de Zn> Cr>Mn>Cu>Pb>Ba>Ni>Cd>Co.

Tabela 3. Teores de semi totais metais pesados (mg kg⁻¹) nas camadas superficiais das áreas urbanas de Manaus, Iranduba e Manacapuru, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos e o desvio padrão (D.P.).

Solos	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
S1S1	21,05	3,23	0,87	27,81	19,76	11,58	4,07	13,63	26,38
S1S2	21,33	3,65	0,61	47,30	27,82	33,14	4,50	28,78	59,45
S2S1	0,086	4,98	1,06	32,52	5,82	<LD	3,33	11,16	1,06
S2S2	<LD	3,57	0,32	38,02	5,23	<LD	3,53	10,18	3,08
S3	0,058	4,78	1,10	35,39	14,92	<LD	6,38	5,70	0,30
S4	10,33	1,54	0,51	22,66	3,14	15,28	2,30	10,60	23,59
S5	0,07	3,57	0,10	61,76	1,78	0,74	1,97	2,44	0,52
S6S1	11,11	3,25	0,76	40,99	11,34	4,82	6,84	18,06	37,93
S6S2	6,06	1,78	0,23	44,74	0,50	19,37	5,54	9,59	26,83
S7S1	1,23	1,22	0,16	29,78	6,22	2,45	19,72	32,41	5,36
S7S2	34,56	2,68	0,88	31,73	14,15	37,51	9,10	21,92	181,3
S8	28,77	2,20	0,82	39,70	5,20	9,46	15,90	17,12	141,09
S9	6,99	1,79	0,77	37,01	119,02	10,44	22,70	10,59	17,56
S10	34,88	1,94	0,56	27,14	17,40	26,37	6,28	14,22	110,69
S11	8,13	1,88	0,25	18,99	21,40	13,37	2,68	18,46	31,55
S12	24,50	1,40	0,22	21,17	16,01	15,03	3,67	8,40	29,16
S13	3,98	5,09	0,68	47,20	7,41	3,87	1,54	9,87	6,61
S14	7,91	2,3	0,62	23,79	6,70	47,16	1,91	7,92	15,95
S15	3,00	5,42	1,07	44,71	9,07	2,94	3,49	6,56	8,69
S16	3,91	2,63	0,55	36,82	10,03	0,23	3,10	7,70	28,77
S17	8,78	2,13	0,24	23,23	15,00	9,60	4,60	12,86	15,65
S18	<LD	0,905	0,03	25,60	2,10	<LD	1,86	4,85	<LD
S22	45,72	5,71	2,10	35,57	22,15	11,99	3,63	18,99	24,86
S23	19,66	4,05	0,72	36,44	23,53	114,26	9,09	11,21	34,63
Média	12,59	2,99	0,63	34,59	16,07	16,23	6,16	13,05	34,63
Max	45,72	5,71	2,10	61,76	119,02	114,26	22,70	32,41	181,3
Min	<LD	0,90	0,03	18,99	0,50	<LD	1,54	2,44	<LD
D. P.	13,14	1,43	0,45	10,19	23,22	24,49	5,62	7,26	45,99

<LD: Menor que o limite de detecção.

Os teores obtidos através da digestão total de Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em solos urbanos são apresentados na Figura 2, juntamente com os teores obtidos através da digestão semitotal.

Semelhante ao ocorrido na digestão semitotal, os elementos Ni, Cd e Co apresentaram baixos teores na maioria dos solos coletados, com médias de 6,39; 3,09 e 1,74 mg kg⁻¹ respectivamente. Os maiores teores foram observadas nos elementos Ba, Zn e Cr com médias de 156,46; 53,68 e 41,78 mg kg⁻¹ respectivamente.

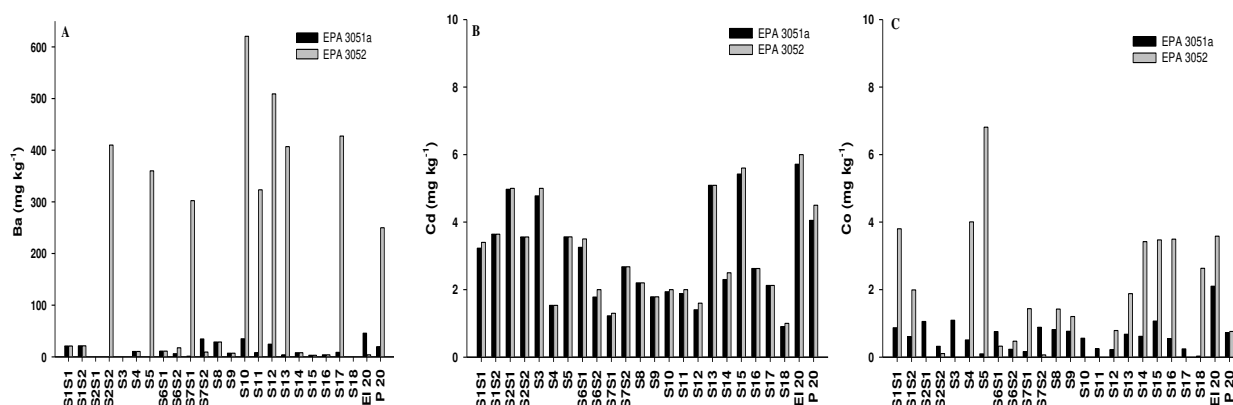
Os desvios padrões variaram de 5,70 a 204,69 sendo estes valores observados nos teores dos elementos Ni e Ba, respectivamente.

A ordem decrescente quanto aos teores totais médios de metais pesados obtidos foi de Ba>Zn>Cr>Mn>Pb>Cu>Ni>Cd>Co.

O coeficiente de variação dos dados mostrou que a menor variação ocorreu no elemento Cd (47,2 %) e a maior para o elemento Zn (154,84 %).

Por meio da comparação entre os dois métodos de digestão foi possível observar a relação entre os teores disponíveis de metais e sua relação com minerais silicatados no solo.

Notou-se que os elementos Ba, Co, Cr, Mn e Zn apresentaram teores totais muito superiores aos teores semitotais. Contrastando com esse comportamento, os elementos Cd, Cu, Ni e Pb apresentaram teores semelhantes em ambos os métodos de digestão demonstrando a participação mínima desses elementos nos complexos silicatados do solo.



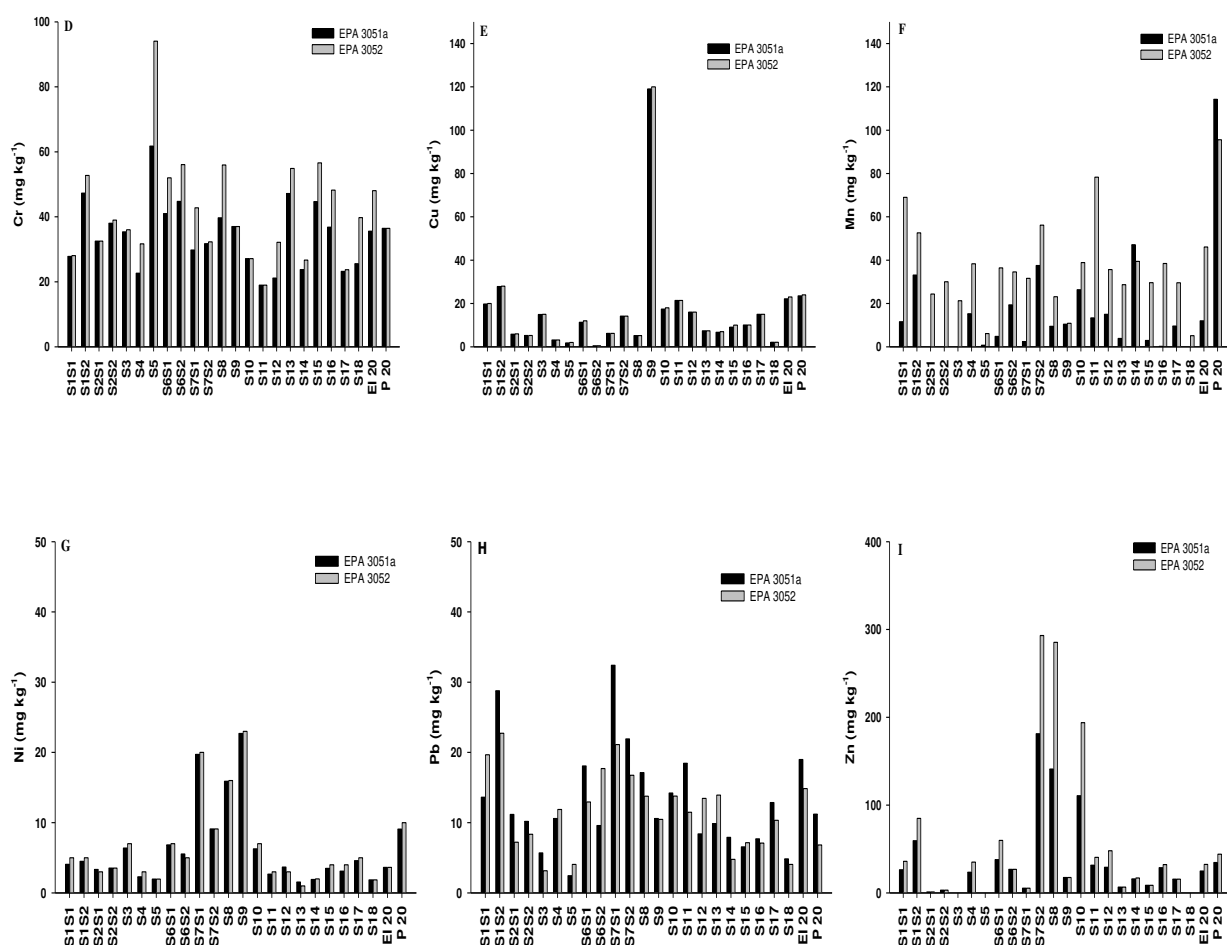


Figura 2: Comparação entre os teores semitotais e totais dos metais em solos urbanos de Manaus e região metropolitana.

Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados

A variação espacial dos teores semitotais de metais foi maior na área urbana de Manaus (Figura 3), sendo menos pronunciada nas áreas urbanas de Iranduba e Manacapuru (Anexo).

A distribuição espacial dos teores dos metais nos solos foram extremamente heterogênea no perímetro urbano de Manaus.

Observou-se que os teores de Ba foram maiores em áreas localizadas nas zonas norte e em pontos das porções leste e sul da cidade (Figura 3A). Por outro lado, os menores teores desse elemento foram observados na zona oeste e em pontos da região centro-sul.

O Cr apresentou teores mais elevados em áreas situadas na zona oeste e na zona centro-sul da cidade (Figura 3B), apresentando uma extensa faixa, que vai desde a região central seguindo até boa parte da zona norte da cidade, onde os teores de Cr são menores ($\sim 20 \text{ mg kg}^{-1}$).

Os teores de Mn (Figura 3C) apresentaram variação espacial pequena, contudo foi possível notar a existência de áreas, localizadas nas zonas oeste, nordeste e sudeste, onde os teores desse elemento foram superiores a 40 mg kg^{-1} .

Os maiores teores de Zn (Figura 3D) foram localizados na borda leste de Manaus, sendo que a porção sul desta faixa concentra teores acima de 160 mg kg^{-1} . A borda oeste contrastou com a borda leste e apresentou os menores teores de Zn ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$).

O Co apresentou distribuição pouco heterogênea, sendo possível notar que os maiores teores desse elemento formam uma faixa que se estende da borda oeste, passando pela zona sul, até a borda leste de Manaus (Figura 3E).

Comportamento semelhante foi observado nos teores de Ni, onde os maiores formaram uma faixa que vai da porção central da cidade rumo a borda leste da cidade (Figura 3F). Por outro lado, o Cd (Figura 3G) apresentou distribuição contrária, sendo observado que os maiores teores desse elemento formaram uma faixa que vai da região central até a borda oeste da cidade, sendo os teores mais baixos observados na faixa leste e no extremo norte de Manaus.

O Cu apresentou maior homogeneidade, quanto a distribuição espacial (Figura 3H), entre os elementos estudados em Manaus. Nota-se que, com exceção de pequenas áreas onde os teores de Cu apresentaram valores elevados, a maior parte do território estudado apresentou teores entre 25 a 40 mg kg^{-1} .

Os teores de Pb apresentaram maiores valores na zona sudeste de Manaus (Figura 3I), o restante do território, com exceção de alguns pontos na zona centro-sul e zona norte com valores $< 5 \text{ mg Kg}^{-1}$, apresentou valores que variam de 10 a 15 mg kg^{-1} de Pb.

No município de Iranduba a maior heterogeneidade na distribuição espacial dos metais (Anexo) foi notada no distrito de Cacau Pirera e regiões periféricas próximas a ponte do Rio Negro. Contudo, foi possível notar padrões de distribuições muito semelhantes entre os elementos Ba, Mn, Zn, Co, Ni, Cd, Cu e Pb onde os maiores teores foram encontrados na parte central do distrito e os menores foram obtidos na borda norte da região estudada.

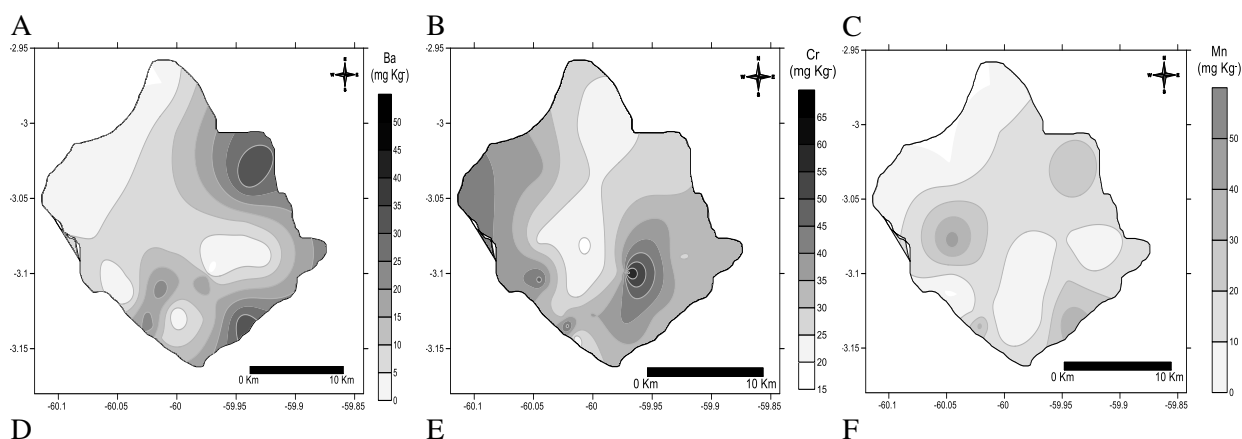
Por outro lado, os teores de Cr seguiram o comportamento inverso, apresentando os maiores valores na zona norte, com decréscimo a medida que se aproxima da região central.

Entre os municípios estudados, Manacapuru apresentou a maior homogeneidade na distribuição espacial dos teores de metais (Anexo).

O Ba, por exemplo, apresentou teores entre 10 a 20 mg Kg⁻¹ na maior parte da área urbana de Manacapuru, com exceção da zona sul da cidade que apresentou valores superiores. O Cr, por sua vez apresentou distribuição espacial extremamente homogeneia, apresentando variações pequenas (~0,5 mg kg⁻¹) ao longo da área urbana deste município.

Os teores de Mn, Ni e Cu apresentaram distribuição espacial semelhante, de forma que, os maiores valores observados para esses elementos encontram-se na zona centro-oeste e decrescem nas demais zonas.

Os teores de Zn, Co, Cd e Pb foram maiores na porção sul da área urbana de Manacapuru, apresentando decréscimos graduais em direção zona norte do perímetro urbano.



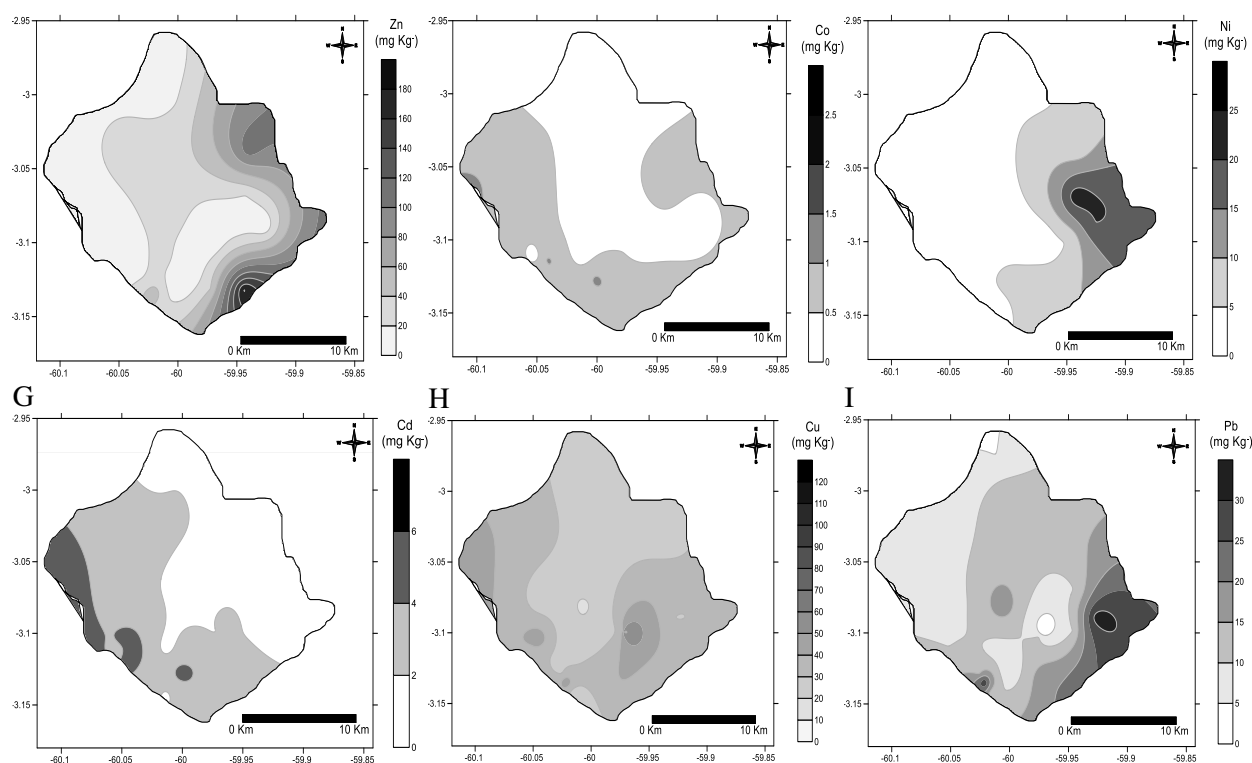


Figura 3: Distribuição espacial dos teores semitotais de Ba (A), Cr (B), Mn (C), Zn (D), Co (E), Ni (F), Cd (G), Cu (H) e Pb (I) na área urbana de Manaus – AM.

Baseado no resultado da análise de agrupamento hierárquico (AGH), as amostras foram classificadas em quatro grupos usando o critério de 0 a 60 na escala euclidiana. Foram observadas 8 amostras no grupo I, 2 amostras no grupo II, 8 amostras no grupo III e 6 amostras no grupo IV (Figura 4).

As concentrações médias dos metais pesados nas amostras do grupo I foram superiores as médias do grupo II.

Notadamente, as 8 amostras do grupo 1 são oriundas de áreas comerciais e avenidas de tráfego intenso de veículos leves e/ou pesados. No grupo II, as duas amostras são oriundas de vias com tráfego menos acentuado, sendo desta forma, consideradas rotas alternativas as vias onde foram coletadas as amostras S7S1 e S8 do grupo I.

As amostras do grupo III são majoritariamente oriundas de áreas de transição entre zonas comerciais e zonas dominadas por conjuntos habitacionais.

A exceção fica por conta das amostras S1S2 e S16, oriundas do centro comercial de Manaus e da Estrada do Turismo, contudo é importante salientar que no caso da amostra S1S2 esta foi coletada dentro da área verde da Praça Heliodoro Balbi que historicamente vem sendo preservada.

A amostra S16, por sua vez foi coletada em uma das áreas menos habitada da cidade de Manaus, porém é importante frisar que a avenida do turismo é uma das principais vias de tráfego entre as zonas norte e oeste, além de ser a única via de acesso aos terminais de carga e de passageiros do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes.

O grupo IV é composto de amostras oriundas de zonas estritamente dominadas por conjuntos habitacionais, áreas verdes e poucas áreas comerciais, além de apresentarem vias com tráfego moderado.

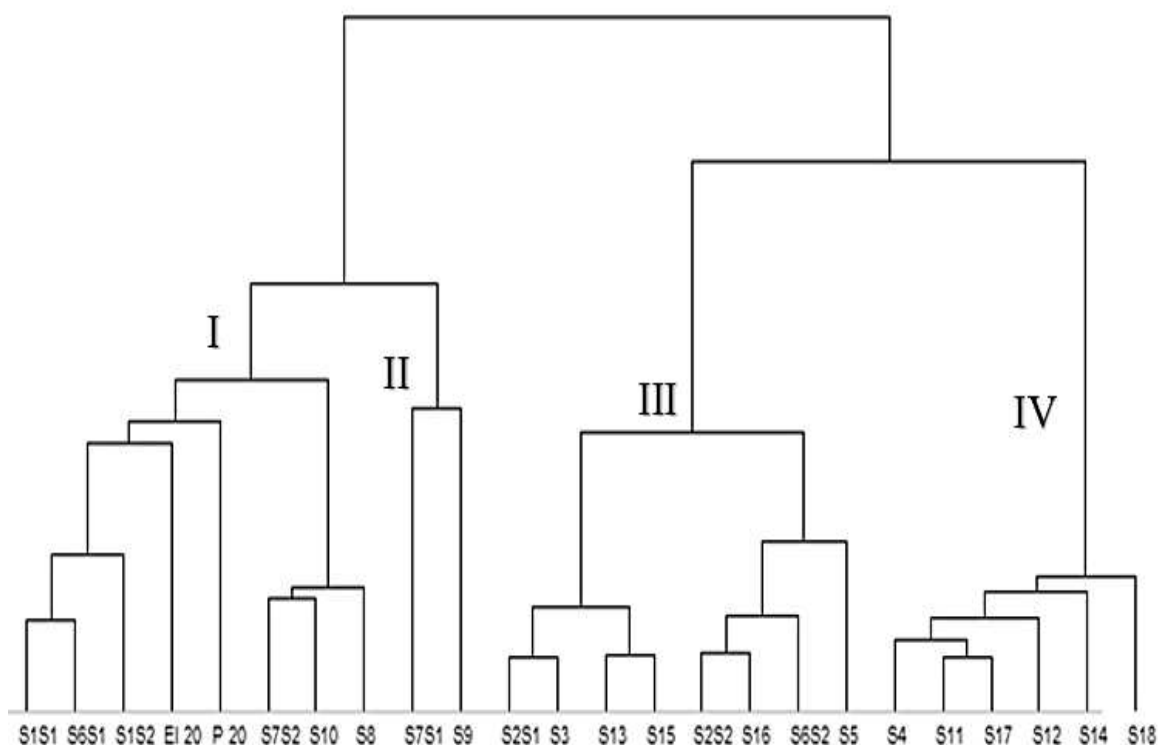


Figura 4: Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico de concentrações de metais pesados em solos de Manaus e região metropolitana.

DISCUSSÃO

Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos

Em consonância com as indicações obtidas através dos EFs (Figura 5), em elementos com valores superiores a 1, sugere-se que ocorra enriquecimento por fontes não naturais.

Dessa forma, observou-se que, o Ni foi o elemento que apresentou a maior quantidade de amostras com EFs elevados, sendo que 79,2 % das amostras apresentam valores superiores a 1. Os demais elementos apresentaram as seguintes porcentagens de amostras enriquecidas: Zn e Co (66,7%); Cu (62,5%); Mn e Pb (58,3%); Cd (45,8%), Cr (37,5%) e Ba (33,3%).

De maneira geral, os solos que apresentaram $EF > 1$ encontram-se dentro da classificação moderadamente enriquecido.

No entanto, foram observados solos com valores $EF > 5$, classificados como consideravelmente enriquecidos, tais como: Cu (S9); Mn (S14 e S23); Ni (S7S1, S8, S9) e Zn (S1S2, S6S1, S7S2, S8, S10, S11 e S23). Nesses casos, percebe-se a forte influência da ação antrópica sob esses solos uma vez que, apresentam teores enriquecidos cerca de cinco vezes mais do que os teores dos solos naturais.

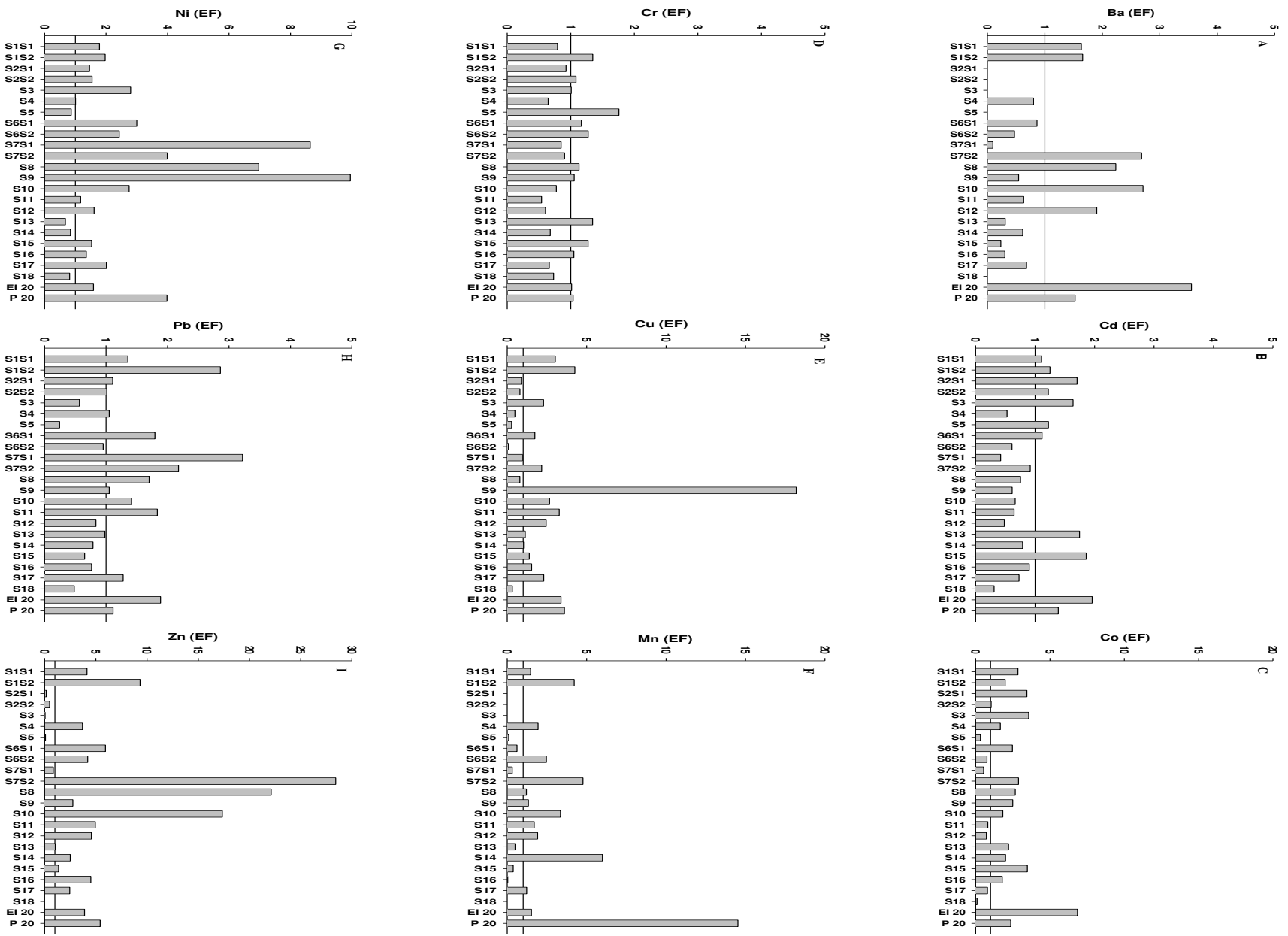


Figura 5: Fatores de enriquecimento para metais em amostras de solo superficial em relação aos solos de Manaus e região metropolitana.

Os valores de Igeo e Pi para os elementos Ba, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em solos urbanos são listados na Tabela 4, juntamente com a média e os valores máximos e mínimos de cada elemento.

Os valores de Igeo obtidos para Ba demonstraram que a maioria das amostras analisadas foram classificadas na situação normal ou moderadamente contaminadas, a exceção foi a amostra S22 que apresentou Igeo de 1,15 sendo classificada como consideravelmente contaminada.

Os elementos Cd, Co, Cr e Mn apresentaram valores de Igeo com comportamentos semelhantes, com valores máximos pouco maiores que 0, dessa forma todas as amostras estavam em situação normal ou moderadamente contaminadas.

No caso de Cu, Ni, Pb e Zn, a grande maioria das amostras foi enquadrada como normal e/ou moderadamente contaminada (Tabela 4).

Tabela 4: Resumo dos Índices de geoacumulação (Igeo) e Índices de poluição (Pi) obtidos no presente trabalho.

		Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Igeo	Max	1,15	0,10	0,22	0,14	2,80	0,80	1,37	1,92	3,36
	Média	-1,75	-1,02	-1,94	-0,76	-0,87	-2,33	-0,93	0,40	-0,21
	Min	-8,47	-2,57	-5,99	-1,57	-5,11	-8,16	-2,51	-1,81	-5,90
Pi	Max	3,33	1,60	1,75	1,65	10,43	2,61	3,89	5,67	15,36
	Média	0,92	0,84	0,53	0,93	1,41	0,37	1,05	2,29	2,93
	Min	0	0,25	0,02	0,51	0,04	0	0,26	0,43	0

No entanto, em alguns casos as amostras apresentaram valores elevados de Igeo, sendo enquadradas na classe 3. Os elementos que apresentaram esse comportamento foram o Cu (S9); Ni (S7S1, S9); Pb (S1S2, S6S1, S7S1, S7S2, S11 e S22); Zn (S1S2, S6S1, S8, S10). A classe 4 (altamente contaminado) só foi observada na amostra S7S2 com o elemento Zn.

Por sua vez, os valores de Pi apresentaram médias que variaram de 0,37 (Mn) a 2,93 (Zn) e apresentaram consonância com a classificação obtidas através dos dados de Igeo.

A grande maioria das amostras encontra-se dentro da classificação normal e/ou moderadamente poluída, contudo notou-se a existência de áreas classificadas como consideravelmente contaminadas (Classe 3) em menor frequência. De forma semelhante ao Igeo, os elementos que apresentaram esse comportamento foram o Ni (S7S1, S9); Pb (S1S2, S6S1, S7S1, S7S2, S11 e S22); Zn (S1S2, S6S1, S10).

Por outro lado, foi observada a ocorrência de amostras classificadas como altamente contaminadas, diferentemente da avaliação feita pelo método Igeo.

Teores semitotais e totais de metais

A variação dos teores de metais pesados na área metropolitana de Manaus mostra-se bastante peculiar já que, a área de estudo encontra-se implantada sobre rochas sedimentares intemperizadas da Formação Alter do Chão (Sarges e Riccomini, 2007; CPRM, 2010), onde ocorrem a presença de arenitos e argilitos, que apresentam baixos teores de metais pesados. No entanto, a homogeneidade geológica não foi refletida nos coeficientes de variação dos teores semitotais dos metais pesados nos solos estudados, pois dos nove elementos avaliados cinco apresentaram coeficientes de variação acima de 90 % (Ba, Cu, Mn, Ni e Zn).

Os baixos teores médios de Co, Cd e Ni refletem os baixos teores desses elementos no material de origem destes solos (Reis et al., 2006; Moreira, 2016). A pobreza desses elementos no material de origem torna-se mais evidente ao se comparar os teores semitotais e totais obtidos no presente estudo, onde os teores totais de Cd e Ni são praticamente iguais aos teores semitotais, denotando a existência de uma reserva muito pequena desses elementos nos minerais silicatados. No caso específico de Co, observa-se que mesmo ocorrendo uma maior discrepância entre os teores totais e semitotais os valores máximos obtidos em ambos os casos permanecem baixos.

Por outro lado, os altos teores médios de Zn e Mn refletem a abundância desses elementos na crosta terrestre. Corroborando com esse comportamento nota-se que a diferença entre os teores totais e semitotais desses dois elementos é considerável,

indicando a existência de uma abundante reserva desses nutrientes nos complexos silicatados.

No caso do Cr, os altos teores médios desse elemento aparentemente estão ligados a sua maior habilidade de mobilização no solo em relação a elementos como Cu e Cd (Gomes et al., 2001) e sua incorporação ao óxidos de Fe por conta de substituições isomórficas (Fontes e Gomes, 2003).

Para a comparação entre os teores semitotais de metais obtidos no presente estudo visando verificar a qualidade ambiental do solo, adotou-se os valores de referência de qualidade (VRQ), obtidos por Moreira (2016) para solos de terra firme (p 75), além dos valores de prevenção (VP) e valores de investigação (VI) estabelecidos pelo (Conama, 2009).

No presente estudo a maioria dos metais pesados apresentaram médias e/ou algum ponto de amostragem com teor superior ao VRQ.

Contudo, o teor médio de Ba obtido ficou abaixo do VRQ obtido por Moreira (2016), sendo que mesmo o teor máximo obtido ($45,72 \text{ mg kg}^{-1}$) ficou abaixo do VRQ ($47,91 \text{ mg kg}^{-1}$) deste elemento.

De modo semelhante, o teor médio de Co apresentou valor inferior ao VRQ, contudo os pontos de amostragem S2S1, S3, S15 e S22 apresentara valores próximos ao VRQ.

Possivelmente, este contraste ocorre em função das variações espaciais nos teores desse elemento, pois devido as dimensões geográficas do estado é provável que ocorram manchas significativas onde os elementos apresentam valores maiores ou menores quando comparados aos VRQs. As grandes variações espaciais tem sido citadas para o Ba e Co (Moreira, 2016) e para macroelementos (Plácido Junior, 2007; Moreira, 2016) em solos amazonenses.

Os teores obtidos de Cd são superiores do que o VP, com exceção das amostras S7S1 e S18, além disso, o teor médio de Cd apresentou-se muito próximo ao VI estabelecido.

Elevados teores de Cd, são frequentemente observados em grandes cidades como Hamburgo (Lux, 1993), Hong Kong (Li et al., 2001), Kavala (Christoforidis e Stamatis, 2009) e Bangkok (Wilcke et al., 1998). Segundo Manta et al., (2002), teores atípicos de Cd em solos urbanos ocorrem em função da influência de fontes poluentes que causam o enriquecimento em relação à ambientes naturais.

Os teores médios de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn estão em conformidade com os VRQs do estado, embora alguns pontos de amostras apresentem teores acima dos VRQs este não ultrapassam os valores de prevenção. O mesmo ocorreu com o teor médio de Cu, embora a amostra S9 tenha apresentado teor acima do VP.

Variação espacial dos teores semitotais de metais pesados

Bário, Zn, Ni, Pb e Mn demonstraram distribuição espacial nos três perímetros urbanos estudados semelhante, embora em proporções diferenciadas, com os maiores teores localizados em uma faixa que engloba as zonas industriais e comerciais. Tal distribuição relaciona-se diretamente com os Grupos I e II obtidos através da AGH, a maioria das amostras desses grupos pertence a faixa onde estão os maiores teores desses elementos.

Esta distribuição espacial sugere a importância do tráfego de veículos e da área industrial como fonte de incremento no teor desses elementos, principalmente nos casos de Zn, Ni e Pb que possuem níveis mais elevados em área pertencentes aos Distritos Industriais I e II.

Comportamento semelhante foi notado para Cr e Cd, que apresentaram altos teores em áreas com amostras pertencentes ao Grupo I e II, localizadas em zonas comerciais onde o tráfego de veículos é intenso, porém, não existe influência de atividades industriais.

Os dados observados nesse estudo corroboram com Madrid e Madrid (2002), que observaram que as concentrações de Pb, Zn dos principais parques e áreas verdes mais próximas ao centro histórico de Sevilha, frequentemente superavam os limites aceitáveis para áreas residenciais, recreativas e institucionais. Os resultados de outros estudos mostram que os solos de centros comerciais de cidades como de Rostock, na Alemanha (Kahle et al., 2000), Damasco, na Síria (Möller et al., 2005) e Palermo, na Itália (Manta et al., 2002), possuíam teores de Ni, Cr e Cd mais altos do que os solos de regiões periféricas.

Segundo Turer et al., (2001), zonas comerciais com trânsito intenso são frequentemente locais com maiores teores de metais pesados em áreas urbanas.

Cobre, Co e Mn apresentaram distribuição espacial homogênea nas três cidades não sendo notadas grandes discrepâncias dos teores desses elementos nos grupos obtidos pela AGH, revelando pouca influência de fatores antrópicos nos teores desses elementos.

Avaliando os teores de metais pesados na cidade industrial de Shenyang, China, (Li et al., 2013) observaram que diferentemente do ocorrido com os outros elementos, a distribuição dos teores de Mn não apresentava pontos com teores discrepantes, sendo notada a baixa heterogeneidade espacial desse elemento. Esses sugerem que os teores de Mn podem apresentar participação majoritária de fontes naturais, como o material de origem do solo, embora não sejam descartadas as contribuições por fontes não naturais.

De modo semelhante, nos caso de Cu e Co a distribuição pouco heterogênea pode mascarar a influência das contribuições não naturais, uma vez que os solos utilizados no presente estudo apresentam baixos teores destes elementos em função do material de origem.

Índices e métodos de avaliação de contaminação dos solos

Os três índices utilizados no presente estudo (EF, Igeo e Pi) apresentaram classificações equivalentes, provavelmente em função da baixa variação dos teores dos elementos nas amostras em profundidade (60 – 80 cm) coletadas ao longo da área de estudo.

Contrastando com os resultados obtidos por Wu et al., (2014), que ao avaliarem os níveis de contaminação através dos índices EF, Igeo e Pi encontraram diferentes interpretações a partir do mesmo conjunto de amostras. Contudo os mesmos autores defendem a utilização desses índices por utilizarem como referência valores locais, refletindo assim uma condição natural muito próxima da realidade do solo urbano diferentemente de outros métodos que utilizam médias de teores obtidos através de uma área amostral maior.

A ordem decrescente dos elementos que apresentaram maior quantidades de amostras enriquecidas foi de Ni>Zn, Co>Cu>Mn, Pb>Cd>Cr>Ba.

A alta frequência de amostras que apresentam teor de Ni acima da média de ambientes naturais sugere a existência de um aporte antrópico deste elemento no solo, principalmente pelos baixos teores de Ni no material de origem dos solos estudados.

Embora os índices obtidos nesse estudo para Ni classifiquem os níveis mais altos como moderadamente contaminados e enriquecidos devem-se ressaltar os impactos ambientais causados pelo acúmulo desse elemento no solo. A concentração dos altos teores Ni em áreas de intensa atividade industrial deixam clara a participação da corrosão de máquinas automotiva e industrial como fonte de Ni em ambientes de intensa atividade antrópica (Salim Akhter e Madany, 1993).

Os altos índices de enriquecimento de Zn em áreas portuárias e comerciais de tráfego intenso, indicam a forte contribuição de atividade abrasivas em peças de carro e lubrificantes automotivos como fontes não naturais de zinco em solos urbanos (Salim Akhter e Madany, 1993).

Segundo Morton-Bermea et al., (2009), o enriquecimento de Zn e Cu em solos urbanos pode se dar de duas maneiras, uma diretamente ligada a tráfego intenso ocorre nas principais vias urbanas, enquanto a outra surge de atividades industriais que lançam elementos químicos na atmosfera que posteriormente são depositados no solo.

A intensa atividade veicular, também parece ser a principal fonte de enriquecimento dos teores de Pb, já que amostras que apresentaram maiores índices apresentam similaridade com as zonas de enriquecimento de Zn. Segundo Gray et al., (2003), o Pb é um dos elementos com concentração no solo mais facilmente afetados por fatores antrópicos. Sendo sua deposição de chumbo fortemente influenciada pelas emissões dos veículos e pela presença de Pb na gasolina, que por anos foi usada como aditivo para melhorar o desempenho veicular (Blake e Goulding, 2002).

Segundo Morton-Bermea et al. (2009), o enriquecimento de Pb em solos urbanos foi mais acentuado em áreas onde o tráfego de carros é maior que 200 veículos por minuto. Embora, não seja o objetivo deste trabalho relacionar o fluxo veicular e o teor de Pb no solo, nota-se que as maiores taxas de enriquecimento foram notadas nas áreas de maior fluxo veicular.

Cromo e Ba foram os elementos que apresentaram menor proporção de amostras com enriquecimento, sugerindo que a fonte majoritária para os teores desses elementos no solo estudado seja oriunda do material de origem.

CONCLUSÃO

Com base no conjunto de dados dos teores totais e semitotais foi possível inferir que as distribuições de Ba, Co, Cr, Mn e Zn são controladas basicamente por fontes litogênicas embora também ocorram áreas de enriquecimento, enquanto as distribuições de Cd, Cu, Ni e Pb são majoritariamente influenciadas por fontes antrópicas.

Os dados obtidos no presente estudo demonstram que as atividades humanas representam as principais fontes de enriquecimento dos teores de metais na camada superficial dos solos urbanos, a maioria das amostras de áreas urbanas apresentam teores superiores aos solos coletados em ambientes naturais. As amostras subsuperficiais não demonstraram enriquecimento, apresentando pouca heterogeneidade em relação as amostras naturais.

As zonas central, sul e leste de Manaus, bem como as zonas centrais de Iranduba e Manacapuru apresentam os maiores teores de Cr, Zn, Co, Ni, Pb e Cd.

Os três índices utilizados para avaliação da contaminação apresentam resultados semelhantes e mostram que na maioria das áreas avaliadas são classificadas como moderadamente enriquecidas e contaminadas.

REFERÊNCIAS

- Ayres, Manuel; AYRES JÚNIOR, Manuel; AYRES, Daniel Lima; SANTOS, Alex Santos dos. BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Belém: MCT; IDSM; CNPq, 2007. 364 p. il.
- Blake L, Goulding KWT. Effects of atmospheric deposition , soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station , UK. 2002;235–251.
- Christoforidis A, Stamatis N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*. Elsevier B.V.; 2009;151:257–263.
- Conama. Resolução CONAMA n.420. 2009;2013:20.
- CPRM. Geodiversidade do estado do Amazonas. Programa Geol do Bras Levant da Geodiversidade. 2010;275.
- Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ Pollut*. 2001;114:313–324.
- Ferreira, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec*. [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
- Fontes MPF, Gomes PC. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. *Appl Geochemistry*. 2003;18:795–804.
- Gomes, P. C., M. P.F. Fontes, A. G. da Silva, E. de S. Mendonça, and A. R. Netto. 2001. Selectivity Sequence and Competitive Adsorption of Heavy Metals by Brazilian Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1115-1121. doi:10.2136/sssaj2001.6541115x
- Gray CW, McLaren RG, Roberts AHC. Atmospheric accessions of heavy metals to some New Zealand pastoral soils. 2003;305:105–115.
- Imperato M, Adamo P, Naimo D, Arienzo M, Stanzione D, Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environ Pollut*. 2003;124:247–256.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. IBGE. Perfil do estado do Amazonas. <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=am>>. Acesso em 25 de dezembro de 2015.

Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. 2001.

Kahle P, Rostock U, Fakultät A-U, Bodenkunde I, Rostock D-. Schwermetallstatus Rostocker Gartenböden Heavy metals in garden soils from the urban. 2000;

Kelly J, Thornton I, Simpson PR. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Appl Geochemistry*. 1996;11:363–370.

Li X, Liu L, Wang Y, Luo G, Chen X, Yang X, Hall MHP, Guo R, Wang H, Cui J, He X. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*. Elsevier B.V.; 2013;192:50–58.

Li X, Poon CS, Liu PS. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Appl Geochemistry*. 2001;16:1361–1368.

Luizão FJ, Vasconcelos HL. Floresta Tropical Úmida (Manaus). Site 1. Os Sites e o Programa Bras Pesqui Ecológicas Longa Duração. 2005;11–27.

Lux W. Long-term heavy metal and as pollution of soils, Hamburg, Germany. *Appl Geochemistry*. Pergamon Press Ltd; 1993;8:135–143.

Madrid L, Madrid F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. 2002;49:1301–1308.

Manta DS, Angelone M, Bellanca A, Neri R, Sprovieri M. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Sci Total Environ*. 2002;300:229–243.

Markus JA, McBratney AB. An urban soil study: Heavy metals in Glebe, Australia. *Aust J Soil Res*. 1996;34:453–465.

Möller A, Müller HW, Abdullah A, Abdelgawad G, Utermann J. Urban soil pollution in Damascus, Syria: Concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. *Geoderma*. 2005;124:63–71.

Moreira LJ da S. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA E TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS - BRASIL. 2016;

Morton-Bermea O, Hernández-Álvarez E, González-Hernández G, Romero F, Lozano R, Beramendi-Orosco LE. Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the

metropolitan area of Mexico City. *J Geochemical Explor. Elsevier B.V.*; 2009;101:218–224.

Müller, G. Heavy Metals in the Sediment of the Rhine-Changes Seity. *Umschau in Wissenschaft und Technik*, 79, 778-783. (1979)

Nriagu JO, Pacyna J. Group Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*. 1988;333:134–139.

Plácido Junior CG. Distribuição e caracterização química da fertilidade dos solos do estado do Amazonas. 2007;

Reis NJ, Almeida ME, Riker SL, Ferreira AL. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas*. Serviço Geológico do Bras. 2006;

Salim Akhter M, Madany IM. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water Air Soil Pollut*. 1993;66:111–119.

Sanchez-Camazano M, Lorenzo LF. The content and distribution of cadmium in soils as influenced by the soil properties. *Sci Total Environ*. 1994;156:183–190.

Sarges RR, Riccomini C. Relações entre as estruturas tectônicas, sedimentação coluvial e geomorfogênese da região de Manaus, Amazonas. *Inst Geociências*. 2007;Ph.D.:109.

Turer D, Maynard JB, Sansalone JJ. Heavy metal contamination in soils of urban highways: Comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio. *Water Air Soil Pollut*. 2001;132:293–314.

Wilcke W, Müller S, Kanchanakool N, Zech W. Urban soil contamination in Bangkok: Heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. *Geoderma*. 1998;86:211–228.

Wu J, Teng Y, Lu S, Wang Y, Jiao X. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. *PLoS One*. 2014;9.

CAPÍTULO 3: METAIS PESADOS EM CORPOS HÍDRICOS DE MANAUS E REGIÃO METROPOLITANA

RESUMO

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2017. **Metais pesados em corpos hídricos de Manaus e região metropolitana.** Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Coorientador: João Carlos Ker.

O presente trabalho foi realizado para avaliar os teores de Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd, Pb e as variáveis físico-químicas de corpos hídricos localizados em áreas naturais e urbanas da região metropolitana de Manaus. Não foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nos teores de metais pesados em função da sazonalidade. Os teores de metais obtidos no presente estudo apresentam-se em conformidade com Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), exceto nas amostras P1, P2 e P4 coletadas na estação seca. A determinação dos parâmetros físico-químicos mostrou que as amostras coletadas em ambientes naturais apresentaram valores médios de temperatura, pH, TDS e EC menores do que amostras coletadas em ambientes urbanos. Os resultados mostram corpos hídricos que mantêm suas características naturais apresentam menores teores de metais pesados e os valores dos parâmetros físico-químicos semelhantes aos valores dos padrões naturais da região.

ABSTRACT

FERREIRA, Matheus da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2017.
Heavy metals in hydric bodies of Manaus and metropolitan region. Adviser:
Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-adviser: João Carlos Ker.

This study was conducted to evaluate the contents of Ba, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Cu, Cd, Pb and the physicochemical variables of natural hydric bodies located in urban areas and the metropolitan area of Manaus. No statistical differences ($p < 0.05$) were observed in the heavy metals contents as a function of seasonality. The metal contents obtained in the present study are in compliance with CONAMA, except for samples P1, P2 and P4 collected during the dry season. The determination of the physico-chemical parameters showed that the samples collected in natural environments presented average values of temperature, pH, TDS and EC lower than samples collected in urban environments. The results show hydric bodies that maintain their natural characteristics have lower levels of heavy metals and the values of physicochemical parameters similar to the values of the natural patterns of the region.

INTRODUÇÃO

Os metais pesados podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou por fontes antropicas. A introdução natural ocorre por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e pelo transporte a partir da rocha matriz ou outros compartimentos do solo onde estão naturalmente (Seyler et al., 1990; Queiroz et al., 2009; Lima et al., 2015). Por outro lado, as fontes antropogênicas podem ser oriundas de segmentos variados como: esgoto de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (Gomes e Sato, 2011).

No caso das atividades industriais, frequentemente há a deposição de elevados níveis de chumbo, cádmio, mercúrio e zinco em rios e lagos (Fergusson e Kim, 1991). Além disso, esses metais podem ser lançados no solo, onde então são carreados para os rios pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas, persistindo no meio aquático por apresentar forma livre ou iônica, possibilitando assim sua entrada na cadeia alimentar e consequentemente acúmulo e contaminação do fator biótico (Jain et al., 2005; Korf et al., 2008).

O acúmulo de metais pesados tende a acontecer em plantas e animais aquáticos, penetrando nesses organismos através da superfície do corpo e de estruturas respiratórias, e também pela ingestão que fazem de material particulado e água, criando uma condição de toxicidade (Melville e Burchett, 2002).

Apesar dos metais possuírem características químicas que conferem resistência à degradação química, física e biológica no sistema aquático (Ikem et al., 2003), a mobilidade e a toxidade podem ser afetados pelas características da solução. Fatores como o pH, temperatura e oxigênio dissolvido na água também influenciam a mobilidade e, consequentemente, a potencialidade tóxica de metais pesados como cádmio, cromo, cobre, chumbo, zinco e mercúrio no meio aquático (Cajuste e Laird, 1991).

Em locais como parques e praças públicas, onde ocorre a exposição a níveis elevados de poluição, podem ocorrer a manifestação de efeitos tóxicos como consequência da inalação ou ingestão acidental de material contaminado por pessoas,

principalmente crianças, representando assim risco para a saúde (Sanchez-Camazano e Lorenzo, 1994).

Na região metropolitana de Manaus, esse cenário apresenta maior destaque, pois culturalmente a existência de corpos hídricos em áreas urbanas está associado a construção de parques e passeios públicos.

Estudos anteriores envolvendo metais pesados em corpos hídricos (Gurgel et al., 2005; Santana e Barroncas, 2007; Oliveira e Santana, 2010; Ferreira et al., 2012) nessa região, verificaram que as concentrações dos metais pesados não estão em conformidade com a legislação nacional vigente. Contudo, existem poucos estudos envolvendo o impacto das atividades humanas e industriais na concentração de metais pesados na região metropolitana.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os teores de metais pesados nos principais corpos hídricos localizados dentro dos domínios urbanos de Manaus e região metropolitana.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi realizado em corpos hídricos localizados dentro do perímetro urbano de três municípios (Manaus, Iranduba, Manacapuru) da região metropolitana de Manaus-AM (Figura 1).

O clima da região é tropical úmido de monções, com temperatura média compensada anual de 26,7 °C e umidade do ar médias mensais entre 79% e 88% (INMET, 2014). Predominam duas estações: seca (verão) que vai de julho a outubro, período caracterizado por altas temperaturas e a estação chuvosa (inverno) que ocorre de novembro a junho, caracterizada por intensas chuvas e pela elevação do nível de rios e igarapés, oriundos das bacias hidrográficas da região.

A cidade de Manaus é rendilhada por quatro bacias hidrográficas afluentes do rio Negro: São Raimundo, Educandos, Tarumã-Açu e do Puraquequara. As duas primeiras se encontram totalmente dentro dos domínios urbanos e outras duas parcialmente inseridas na malha urbana, todas contribuintes da grande bacia do Rio Negro.

No município de Iranduba, o lago Iranduba e os igarapés do Testa e do Chico Preto são os maiores corpos hídricos, sendo o primeiro totalmente inserido na área urbana

e os demais com pequenos trechos. Devido à sua localização a cidade convive com dois ecossistemas diversos, um com forte influência da orla do Rio Negro onde ocorrem praias e cachoeiras; e outro sobre influência do Rio Solimões com extensas áreas de várzea.

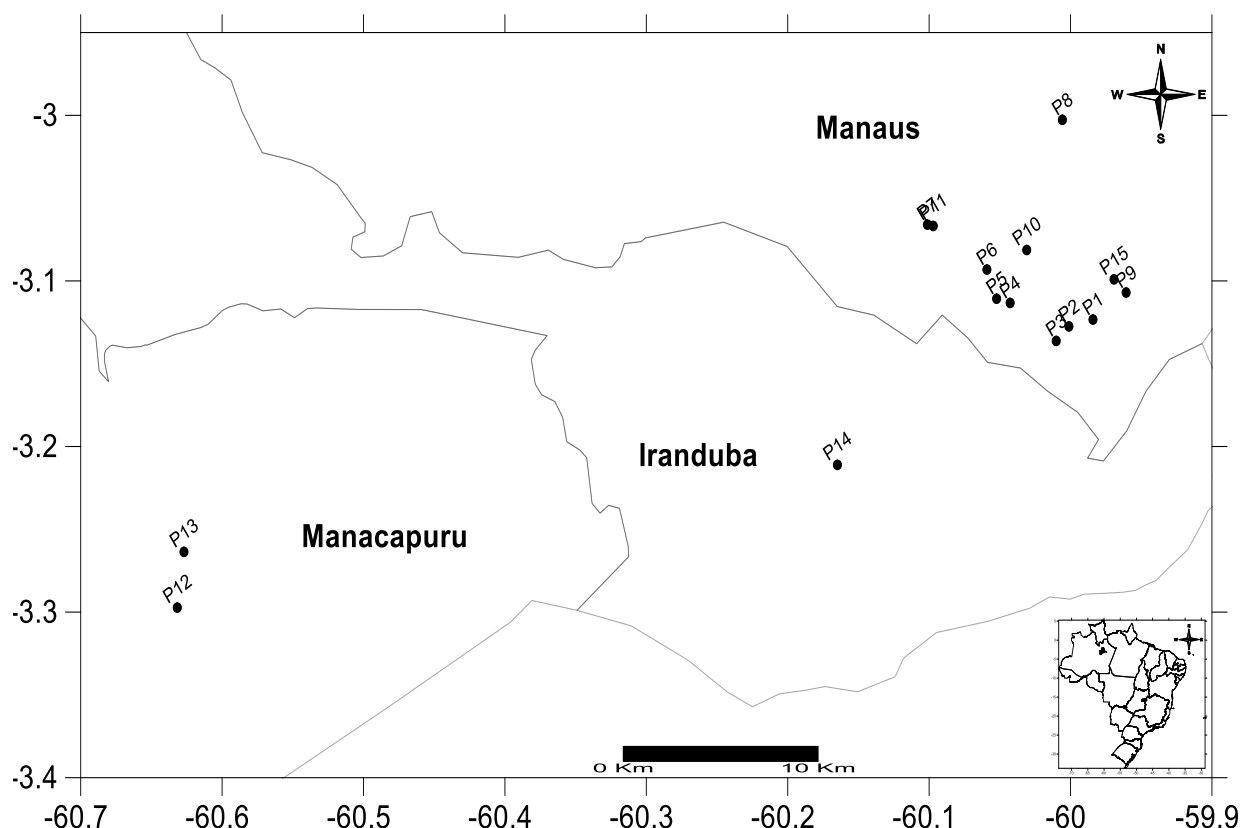


Figura 1: Localização da área de estudo.

O município de Manacapuru também faz parte da mesorregião do Centro Amazonense, na Sub-região rios Negro/Solimões, inserida no contexto da Bacia do Rio Amazonas, onde o igarapé do Miriti e o rio Manacapuru são os principais corpos hidrográficos influenciados pela área urbana.

Coleta e determinação dos teores de metais pesados em água

Os pontos de amostragem foram obtidos em corpos hídricos localizados nas áreas urbanas dos municípios estudados (Tabela 1). As coletas foram realizadas nos meses de janeiro (período das chuvas) e agosto (período de seca) na profundidade 0 – 25 cm, com o ponto de amostragem localizado no meio do leito.

Todos os materiais utilizados para coleta e acondicionamento das amostras eram de polietileno e foram previamente submergidos em solução de ácido nítrico a 30 % (Steinbörn e Breen, 1999) por 24 horas, para eliminação de metais interferentes, posteriormente enxaguados com água ultrapura (Milli-Q).

Tabela 3: Codificação e localização dos pontos de amostragem.

COD.	LOCAL	COORDENADAS
P1	Studio 5 - Manaus	S 03°07'24.9'' / 059°59'02.9''O
P2	Silves - Manaus	S 03°07'38.9'' / 060°00'04.1''O
P3	Centro - Manaus	S 03°08'10.5'' / 060°00'36.5''O
P4	São Jorge - Manaus	S 03°06'47.9'' / 060°02'33.7''O
P5	Lagoa Compensa - Manaus	S 03°06'38.7'' / 060°03'08.2''O
P6	Avenida Brasil – Manaus	S 03°05'35.4'' / 060°03'32.9''O
P7	Ponta Negra – Manaus	S 03°03'57.7'' / 060°06'04.4''O
P8	Igarapé Passarinho – Manaus	S 03°00'09.8'' / 060°00'20.8''O
P9	Cj Nova Republica – Manaus	S 03°06'25.3'' / 059°57'38.5''O
P10	Arena Amazonia – Manaus	S 03°04'52.9'' / 060°01'51.6''O
P11	Coroadó – Manaus	S 03°04'00.6'' / 060°05'49.4''O
P12	Orla Manacapuru – Manaus	S 03°17'50.3'' / 060°37'54.1''O
P13	Igarapé do Miriti - Mancapuru	S 03°15'49.1'' / 060°37'37.1''O
P14	Igarapé do Testa - Iranduba	S 03°12'40.0'' / 060°09'53.4''O
P15	Nascente – Igarapé 40 - Manaus	S 03°05'56.7'' / 059°58'09.3''O

No momento da coleta, foram realizadas as leituras de pH, temperatura e teor de sólidos dissolvidos totais pelo aparelho PH-MV-TEMP. METER da marca LT lutron e modelo PH-206. Em seguida, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos de 100 mL, devidamente etiquetados, posteriormente foi adicionado em cada recipiente 1 mL de Ácido Nítrico (p.a.) com o objetivo de evitar a degradação da amostra (APHA, 2012).

Em seguida as amostras foram armazenadas em ambiente resfriado ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) até o momento das análises.

Os teores de metais Ba, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb, foram determinados após digestão em forno de microondas (Marca Anton Paar® - Modelo Mutiwave ECO), com o emprego de 4 mL HNO_3 + 1 mL HCl para extração dos teores de metais (EPA, 2007), posteriormente procedeu-se a leitura em ICP - OES.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando-se medida de tendência central (média), mínimo e máximo e de variabilidade de dados através do coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP), as diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$.

Posteriormente, os teores de metais foram submetidos a correlações, entre os teores de metais e os parâmetros físico-químicos da água e ao teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), visando evidenciar possíveis diferenças em função da sazonalidade. O tratamento estatístico foi realizado através do programa Sistema para Análises Estatísticas – SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011)

RESULTADOS

Determinação dos teores de metais pesados em água

Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os teores de metais em função da sazonalidade das chuvas segundo o teste Scott-Knott ($p < 0,05$). A ordem decrescente quanto aos teores médios de metais pesados obtidos foi de $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Ba} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cd}$ (Tabela 2).

Os elementos Pb, Co e Cd apresentaram baixos teores na maioria dos pontos coletados, apresentando médias em torno de 0,0007; 0,0005 e 0,0003 mg L^{-1} respectivamente. Por outro lado, os maiores teores foram observadas nos elementos Zn, Mn e Ba, com médias de 0,083; 0,074 e 0,06 mg L^{-1} respectivamente.

Tabela 2: Valores médios dos teores de metais pesados (mg L⁻¹) e seus referidos desvios padrão em corpos hídricos da área urbana de Manaus e região metropolitana.

Metais	Período Chuvoso	Período Seco	Médias
Ba	0,03±0,02	0,1±0,3	0,06
Cd	<LD	0,001±0,002	0,0005
Co	<LD	0,001±0,002	0,0005
Cr	0,01±0,007	0,023±0,04	0,02
Cu	0,04±0,009	0,05±0,023	0,043
Mn	0,03±0,02	0,122±0,32	0,074
Ni	0,001±0,003	0,03±0,05	0,015
Pb	<LD	0,001±0,005	0,0007
Zn	0,08±0,04	0,09±0,06	0,083

< LD – Menor que o limite de detecção.

Os teores de Ba apresentaram em geral, pouca variação entre as estações, oscilando com valores próximos a 0,1 mg L⁻¹. Exceção a esse comportamento foi observado no ponto 4 em amostragem realizada durante a estação seca, que apresentou valor próximo 1 mg L⁻¹ (Figura 1). Comportamento semelhante foi observado nos casos de Cr, Cu, Mn, Ni e Zn que também apresentaram os maiores valores no ponto 4 na estação II (seca), sendo obtidos os seguintes teores 0,04; 0,023; 0,32; 0,05 e 0,06 mg L⁻¹ respectivamente.

Embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre os teores de metais e as estações de coleta, o Zn foi o elemento que apresentou maior variação em função do momento da coleta, dessa forma notou-se que os pontos P1, P3, P8, P9, P10, P13 e P14 coletados na estação I apresentaram teores consideravelmente superiores aos verificados na etapa II, comportamento pouco comum nos demais elementos.

Os elementos Cd, Co e Pb apresentaram todos os teores de metais abaixo do limite de detecção do equipamento na estação I, esse comportamento se repetiu na estação II, exceto nas amostras P2 e P14 (Cd); P1, P4 e P9 (Co) e P4 (Pb) que apresentaram teores de 0,005 mg L⁻¹ para Cd e Co e 0,02 mg L⁻¹ no caso da amostra P4 (Pb).

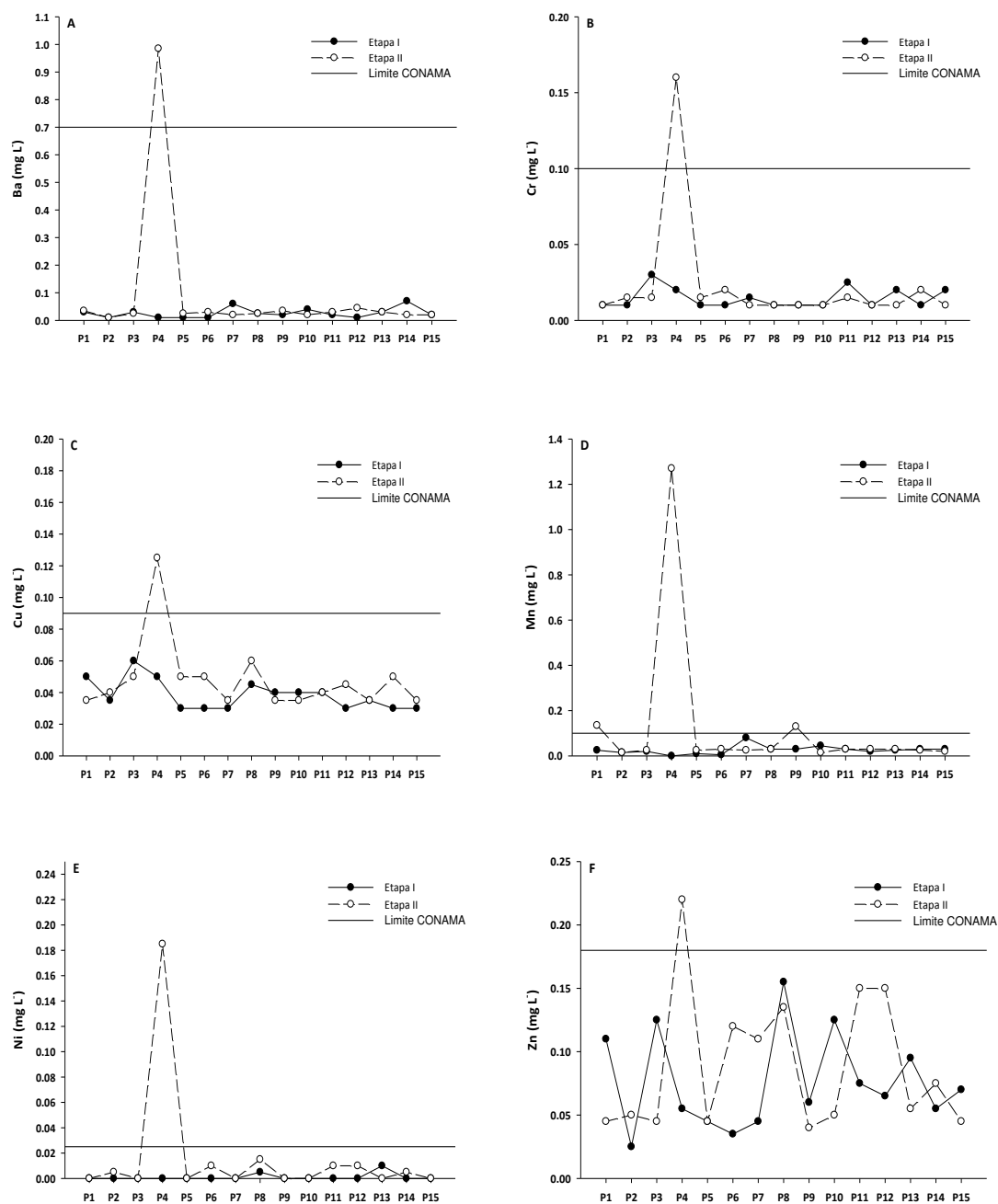


Figura 2: Representação dos resultados analíticos para metais em água medidos nas estações chuvosa (etapa I), estação seca (etapa II) e o limite estabelecido pelo CONAMA para águas das Classe I e II em corpos hídricos da área urbana de Manaus e região metropolitana.

Parâmetros físico-químicos e sua relação com teores de metais na água

Na etapa I, a temperatura (T) na água apresentou média de 30,08 °C, com máxima de 32,6 °C e mínima de 27,9 °C, coletadas nas amostras P6 e P15, respectivamente.

Na etapa II, a temperatura (T) na água apresentou média de 29,6 °C, com a máxima de 32,5 °C e mínima de 23,2 °C, observado nas amostras P3 e P8 respectivamente. Nota-se que as temperaturas são relativamente constantes nas duas estações, havendo somente um ligeiro aumento de 1,4 a 2,7 nos desvios-padrão da estação I em relação a estação II, respectivamente.

Os valores de pH variaram de 5,3 (P15) a 9,3 (P5), com média de 7,00 na etapa I, enquanto na etapa II os valores máximo (7,6) e mínimo (5,5) foram mais próximos, e a média mais baixa (6,6). Apesar das médias serem situadas acima de 6,5 para a maioria dos locais de coleta, notou-se a ocorrência de pHs menores, tais como 5,4 (P13), 5,7 (P14) e 5,2 (P15) na estação I e 5,5 (P13), 5,9 (P14) e 5,5 (P15) na estação II.

Os níveis de sólidos totais dissolvidos (TDS) variaram de 0,003 mg L⁻¹ (P13) a 1,73 mg L⁻¹ (P9), com média de 0,84 mg L⁻¹ na estação I (chuvosa). Na etapa II, os níveis variaram de 0,007 mg L⁻¹ (P15) a 1,84 mg L⁻¹ (P2), com média de 0,73 mg L⁻¹. De maneira semelhante ao observado para os valores de pH, as amostras tomadas nos pontos P13, P14 e P15 apresentaram valores baixos tanto na estação chuvosa (0,003 mg L⁻¹; 0,005 mg L⁻¹; 0,007 mg L⁻¹) quanto na estação seca (0,03 mg L⁻¹; 0,08 mg L⁻¹; 0,007 mg L⁻¹).

A condutividade elétrica (EC) na etapa I apresentou valor mínimo de 4,7 x 10⁻⁶ dS m⁻¹ no ponto P13 e valor máximo de 2,7 x 10⁻³ dS m⁻¹ obtido nos pontos P9 e P10, e a média foi de 1,3 x 10⁻³ dS m⁻¹. Na etapa II, a amostra P15 foi a que apresentou valor menor (1,1 x 10⁻⁵ dS m⁻¹) e o maior valor foi observado na amostra P2 (2,9 x 10⁻³ dS m⁻¹), a média desta etapa foi de 1,13 x 10⁻³ dS m⁻¹.

Não foram observadas correlações significativas entre os teores de metais na água e os parâmetros físico-químicos em nenhuma das estações (Tabela 3 e 4).

Na estação I, notou-se correlações positivas entre os elementos Ba-Mn (0,72), Cu-Zn (0,62), além dos parâmetros EC e TDS (1,00) que apresentaram forte correlação.

Tabela 3: Matriz de correlação entre os teores de metais e os parâmetros físico-químicos medidos em corpos hídricos da área urbana de Manaus e região metropolitana, na etapa I.

Ba	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	T	TDS	pH	EC
----	----	----	----	----	----	---	-----	----	----

Ba	1,00									
Cr	-0,03	1,00								
Cu	-0,09	0,48	1,00							
Mn	0,72	-0,02	-0,20	1,00						
Ni	0,04	0,11	0,00	0,01	1,00					
Zn	0,17	0,21	0,62	0,16	0,39	1,00				
T	0,04	0,03	-0,10	-0,15	0,03	-0,53	1,00			
TDS	-0,40	-0,17	0,40	-0,26	-0,20	0,22	-0,24	1,00		
pH	-0,33	-0,27	0,11	-0,12	-0,41	-0,07	0,30	0,51	1,00	
EC	-0,40	-0,17	0,40	-0,26	-0,20	0,22	-0,24	1,00	0,51	1,00

T: Temperatura (°C); TDS: Teor de sólidos dissolvidos; EC: Condutividade elétrica (dS m⁻¹).

Na estação II, as correlações entre os teores de metais apresentaram maior frequência e maior intensidade quando comparado a estação I, demonstrando a existência de um possível efeito diluição causado pela sazonalidade.

Tabela 4: Matriz de correlação entre os teores de metais e os parâmetros físico-químicos medidos em corpos hídricos da área urbana de Manaus e região metropolitana, na etapa II.

	Ba	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	T	TDS	pH	EC
Ba	1,00									
Cr	0,99	1,00								
Cu	0,94	0,95	1,00							
Mn	0,99	0,98	0,92	1,00						
Ni	0,99	0,99	0,96	0,98	1,00					
Zn	0,67	0,66	0,72	0,63	0,72	1,00				
T	-0,26	-0,26	-0,35	-0,22	-0,29	-0,33	1,00			
TDS	0,00	0,00	-0,06	0,06	0,00	-0,12	0,48	1,00		
pH	0,27	0,26	0,35	0,27	0,31	0,51	-0,06	0,49	1,00	
EC	0,00	0,00	-0,06	0,06	0,00	-0,12	0,48	1,00	0,49	1,00

T: Temperatura (°C); TDS: Teor de sólidos dissolvidos; EC: Condutividade elétrica (dS m⁻¹).

As correlações entre metais que se mostravam mais expressivas envolveram os elementos Ba-Cr (0,99), Cu-Ba (0,94), Cu-Cr (0,95), Mn-Ba (0,99), Mn-Cr (0,98), Mn-Cu (0,92), Ni-Ba (0,99), Ni-Cr (0,99), Ni-Cu (0,96), Zn-Ba (0,67), Zn-Cr (0,66), Zn-Cu (0,72), Zn-Mn (0,63) e Zn-Ni (0,72). Além da forte correlação entre os parâmetros EC e TDS (1,00).

DISCUSSÃO

Teores de metais pesados em água

De maneira geral, os teores de metais pesados obtidos nas amostras de água estão abaixo do limite máximo proposto segundo a resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para águas da Classe I e Classe II.

A amostra coletada no ponto 4 (P4) na estação seca (Etapa II) apresentou valores acima do estabelecido para os elementos Ba, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn, de forma semelhante as amostras P1 e P2 demonstraram níveis de Mn acima do limite proposto.

Ao se correlacionar os pontos de coleta P1, P2 e P4 com as amostras de solo coletadas no presente trabalho, nota-se que as mesmas pertencem as zona central e sul da cidade de Manaus, áreas de constante expansão populacional, comercial e industrial, sugerindo que o despejo de resíduos domésticos e a deposição atmosférica de metais pesados são as principais fontes para o aumento dos teores de metais pesados nestes corpos hídricos.

Os valores encontrados no presente estudo são similares aos obtidos por Santana e Barroncas (2007), que avaliaram a composição química da água de duas nascentes do Igarapé do Matrinxã, Igarapé da Bolívia e Bacia do Tarumã-Açu em Manaus.

Por outro lado, a ausência significativa de interação entre os teores de metais e as diferentes sazonalidades, diferem das observações de Oliveira e Santana (2010), que observaram que em elementos como Zn e Cu, os teores aumentaram significativamente durante o período chuvoso. Esses autores ainda afirmam que, no período chuvoso, observa-se uma dispersão da poluição por todos os pontos de coleta. Provavelmente, esse comportamento foi notado devido à restrição geográfica e a proximidade dos locais de coleta com áreas de deposição de chorume.

O presente estudo utilizou-se de uma maior distribuição geográfica dos pontos de coleta, com o objetivo de verificar os níveis de metais pesados ao longo dos corpos hídricos, não se limitando a setores específicos.

De maneira global, durante a estação chuvosa ocorreu a diluição dos teores de metais pesados, muito embora as diferenças entre os teores não tenham sido estatisticamente significativas. Contudo, em determinados pontos de coleta onde a profundidade era menor, verificou-se a ocorrência de teores de metais superiores na estação chuvosa, aparentemente este efeito é causado pela suspensão das partículas

depositadas no fundo do leito, em função do grande volume de chuvas, aumentando localmente os teores de metais (Pandey et al., 2010).

Parâmetros físico-químicos e sua relação com teores de metais na água

As médias de temperatura da água obtidas na estação chuvosa (30,08 °C) e na estação seca (29,6 °C) foram muito próximas, contudo observou-se que nas duas estações, pontos de coleta como P8, P10 e P15, onde ainda existem resquícios de vegetação ciliar, a temperatura apresentou valores mais baixos do que os demais pontos de coleta. Corroborando com Gurgel et al., (2005) e (Ferreira et al., 2012), que ao estudarem bacias na região urbana de Manaus, observaram que os altos valores de temperatura estavam relacionados com a falta de mata ciliar nesses igarapés, oxidação biológica da matéria orgânica e lançamento de despejos industrial e doméstico, que modificam os parâmetros físicos da água.

Os valores de pH observados no presente estudo, também seguem esse comportamento onde pontos de coleta que possuem parte de suas características naturais preservadas, apresentaram valores de pH baixos nas duas etapas de coleta. Estudos preliminares envolvendo os igarapés que drenam a cidade de Manaus, apontam que em áreas influenciadas por ações antrópicas os valores de pH são frequentemente superiores a 6,0, em função da exposição do lançamento de esgotos sem tratamento, favorecendo aumento do pH das águas (Silva et al., 1999; Santos et al., 2006).

O intervalo de pH observados no presente estudo, favorece a ocorrência de um ambiente redutor, devido à queda de oxigênio dissolvido, provocando danos a organismos, principalmente aqueles de respiração branquial (Øygard et al., 2004).

Embora no presente estudo não tenham sido observadas correlações entre o valores de pH e o teor de metais, ambientes alcalinos ($\text{pH} > 6,5$) podem diminuir a mobilidade de metais pesados no ambiente aquático em função da precipitação (Sletten et al., 1995).

Os valores de condutividade observados nas duas estações foram baixo, refletindo a pobreza de íons nas águas, principalmente em ambientes que ainda guardam parte de suas características naturais.

Notou-se que a ocorrência de um pequeno aumento da condutividade elétrica da estação chuvosa em relação a estação seca, corroborando com Horbe et al., (2007) e

Nascimento et al., (2007) que estudaram bacias próximas e/ou da mesma formação geológica.

Possivelmente esse comportamento está relacionado com o aumento de vazão desses corpos hídricos na estação chuvosa, o que provoca o aumento de partículas sólidas em suspensão, o que é evidenciado quando se observam os dos metais, já que na estação chuvosa são observadas poucas correlações entre os metais pesados enquanto na estação seca as correlações entre os teores de metais foram muito frequente. Ao se observar os teores de metais obtidos, nota-se que não houve grandes diferenças nas duas etapas de coleta, o que ocorre aparentemente é uma diluição dos teores de metais que afeta particularmente aqueles com teores $<0,05 \text{ mg L}^{-1}$, acima desse valor a sazonalidade parece não influenciar a concentração de metais.

CONCLUSÃO

Os teores de metais pesados obtidos no presente estudo apresentam-se em conformidade com a resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para águas da Classe I e Classe II, com exceção das amostras P1, P2 e P4 coletadas na estação seca.

Os parâmetros físico-químicos obtidos demonstram forte influência da urbanização sobre a qualidade das águas, através dos altos valores obtidos em parâmetros como temperatura, pH, TDS e EC. Por outro lado, pontos de coleta localizados em áreas em que as ações antrópicas são menos pronunciadas apresentaram menores teores de metais pesados, bem como valores menores em todos os parâmetros físico-químicos avaliados, mantendo-se dentro dos padrões naturais da região.

REFERÊNCIAS

- Cajuste LJ, Laird RJ. THE DISTRIBUTION OF METALS FROM WASTEWATER IN THE MEXICAN VALLEY OF MEZQUITAL. *Water Air Soil Pollut.* 1991;57:763–771.
- EPA. MICROWAVE ASSISTED ACID DIGESTION OF AQUEOUS SAMPLES AND EXTRACTS. 2007;1–25.
- Fergusson JE, Kim ND. Trace elements in street and house dusts: sources and speciation. *Sci Total Environ.* 1991;100:125–150.
- Ferreira SJF, Miranda SAF, Marques-Filho AO, Silva CC. Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amaz.* 2012;42:533–540.
- Ferreira, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
- Gomes TVM, Sato Y. AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS EM PEIXES DO RIO SÃO FRANCISCO À JUSANTE DA REPRESA DE TRÊS MARIAS, MINAS GERAIS, BRASIL. *Saúde Amb Rev.* 2011;6:24–30.
- Gurgel E, Melo F, Do M, Rocha S, Silva D, Átila S, Miranda F. Influência Antrópica Sobre Águas De Igarapés Na Cidade De Manaus – Amazonas 1 Antropic Influence on the Water of Streams in the City of Manaus – Amazonas. 2005;5:40–47.
- Horbe AMC, Paiva MRP De, Motta MB, Horbe MA. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre sedimentos neógenos e quaternários da bacia do Solimões na região de Coari - AM from the Solimões Basin in the region of Coari , Amazonas. *Acta Amaz.* 2007;37:81–90.
- Ikem A, Egiebor NO, Nyavor K. Trace elements in water, fish and sediment from tuskegee lake, southeastern usa. *Water Air Soil Pollut.* 2003;149:51–75.
- Jain P, Kim H, Townsend TG. Heavy metal content in soil reclaimed from a municipal solid waste landfill. *Waste Manag* 25. 2005;25:25–35.
- Korf EP, Thomé A, Alexandre P, Escosteguy V. RETENÇÃO DE METAIS EM SOLO DA ANTIGA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE PASSO FUNDO – RS. *Rev CIÊNCIAS Ambient.* 2008;2:43–60.

Lima DP De, Santos C, Silva RDS, Tie E, Yoshioka O, Bezerra RM. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé , Estado do Amapá , Brasil. Diss Mestr. 2015;45:405–414.

Melville F, Burchett M. Genetic variation in *Avicennia marina* in three estuaries of Sydney (Australia) and implications for rehabilitation and management. 2002;44:469–479.

Nascimento EL, Gomes JPO, Almeida R, Bastos WR, Bernardi JVE, Miyai RK. Mercúrio no Plâncton de um Lago Natural Amazônico, Lago Puruzinho (Brasil). J Braz Soc Ecotoxicol. 2007;2004:67–72.

Oliveira DL De, Santana GP. Influência do aterro municipal de manaus sobre as águas superficiais 1 da circunvizinhança: um enfoque ao estudo de metais pesados. Caminhos Geogr. 2010;11:75–83.

Øygard JK, Mage A, Gjengedal E. Estimation of the mass-balance of selected metals in four sanitary landfills in Western Norway , with emphasis on the heavy metal content of the deposited waste and the leachate. Water Res. 2004;38:2851–2858.

Pandey J, Shubhashish K, Pandey R. Heavy metal contamination of Ganga river at Varanasi in relation to atmospheric deposition. Trop Ecol. 2010;51:365–373.

Queiroz MMA, Horbe AMC, Seyler P, Moura CAV. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas - Brasil. Acta Amaz. 2009;39:943–952.

Sanchez-Camazano M, Lorenzo LF. The content and distribution of cadmium in soils as influenced by the soil properties. Sci Total Environ. 1994;156:183–190.

Santana GP, Barroncas P de SR. Estudo de metais pesados (Co , Cu , Fe , Cr , Ni , Mn , Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). Acta Amaz. 2007;37:111–118.

Santos I, Maria A, Horbe C, Rocha S, Átila S, Miranda F. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes - AM. Acta Amaz. 2006;36:229–235.

Seyler P, Boaventura GR, Sondag F, Alves VP. Distribution and partition of trace elements in the amazon basin. 1990;

Silva MSR, Ramos J f., Pinto AGN. Metais de Transição nos sedimentos de igarapés de Manaus-AM. 1999. p. 89–100.

Sletten RS, Benjamin MM, Horng JJ, Ferguson JF. PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE FOR METALS REMOVAL RONALD. Warter Resc. 1995;29:2376–2386.

Steinborn, M.; Breen, J. Heavy metal in soil and vegetation at shalee mine, silvermines, CO. Tipperary. *Biology and Environment: proceedings of the Royal Irish Academy*, Dublin, v. 99B, n 1, p. 37- 42, 1999.

CONCLUSÕES GERAIS

Os solos estudados apresentam características químicas e mineralógicas pouco heterogêneas, refletindo a pobreza do material de origem e o intenso intemperismo ao qual a área está sujeita.

Os teores de metais pesados nos solos estudados apresentam enriquecimento por fontes antrópicas, sendo este enriquecimento maior em áreas industriais e de forte tráfego.

Os teores de metais pesados nos corpos hídricos de Manaus apresentam-se em conformidade com a legislação vigente, contudo o comparativo entre áreas naturais e áreas urbanas revela que os parâmetros físico-químicos nas áreas antropizadas encontram-se alterados.

ANEXOS

Teores de metais pesados extraído pelo método EPA 3051A (mg kg⁻¹) nas camadas superficiais da áreas naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Amostra	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
S19	0,00	1,76	0,21	36,30	1,29	0,00	0,91	2,16	0,00
S20	19,78	2,92	0,42	34,70	6,45	4,12	3,64	10,67	6,84
S21	18,84	4,07	0,29	34,43	11,89	19,49	2,30	17,36	12,30
Médias	12,88	2,92	0,31	35,14	6,54	7,87	2,28	10,06	6,38
Max	19,78	4,07	0,42	36,30	11,89	19,49	3,64	17,36	12,30
Min	0,00	1,76	0,21	34,43	1,29	0,00	0,91	2,16	0,00
D.P.	11,16	1,16	0,11	1,01	5,30	10,27	1,36	7,61	6,16
CV	86,68	39,71	35,71	2,87	80,95	130,51	59,67	75,66	96,57

Teores de metais pesados extraído pelo método EPA 3051A (mg kg⁻¹) nas camadas subsuperficiais da área urbanas e naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Amostras	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
S19B	0,00	2,40	0,50	47,09	0,06	0,00	0,44	0,87	0,19
S20B	0,00	1,36	0,21	28,50	0,43	0,00	0,13	2,05	0,00
S21B	3,34	3,94	1,31	28,69	34,42	1,03	22,01	4,64	5,55
S22B	10,93	4,31	1,79	32,19	4,51	0,00	0,87	10,14	4,54
S23B	54,30	5,86	2,20	50,96	17,63	217,52	5,77	10,89	48,76
Médias	13,71	3,57	1,20	37,49	11,41	43,71	5,84	5,72	11,81
Max	54,30	5,86	2,20	50,96	34,42	217,52	22,01	10,89	48,76
Min	0,00	1,36	0,21	28,50	0,06	0,00	0,13	0,87	0,00
D.P.	23,12	1,75	0,84	10,72	14,70	97,17	9,33	4,59	20,81
CV	168,6	48,9	69,9	28,6	128,9	222,3	159,6	80,3	176,3

Teores de metais pesados extraído pelo método EPA 3052 (mg kg⁻¹) nas camadas superficiais e subsuperficiais da áreas naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Solos	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Fe	Al
S1S1	21,0	3,4	3,8	28,1	20,0	69,0	5,1	19,67	36,0	43529,8	25300,5
S1S2	21,3	3,6	2,0	52,7	28,0	52,6	5,0	22,73	84,9	46054,1	27383,4
S2S1	0,1	5,0	0,0	32,5	6,0	24,4	3,1	7,23	1,1	54112,8	25885,3
S2S2	409,9	3,6	0,1	39,0	5,2	30,0	3,5	8,35	3,1	44548,7	28322,6
S3	0,1	5,0	0,0	36,0	15,0	21,3	7,2	3,16	0,3	57615,8	27656,0
S4	10,3	1,5	4,0	31,7	3,1	38,3	3,5	11,88	35,1	35813,8	27728,5
S5	360,1	3,6	6,8	94,1	1,8	6,1	2,0	4,06	0,5	38396,0	31853,7
S6S1	11,1	3,5	0,3	52,0	12,0	36,4	7,0	12,95	59,8	44706,0	27211,4
S6S2	17,4	2,0	0,5	56,1	0,5	34,6	5,0	17,70	26,8	32027,2	32777,3
S7S1	302,4	1,3	1,4	42,8	6,2	31,6	20,0	21,12	5,4	22890,6	34948,7
S7S2	9,3	2,7	0,1	32,3	14,1	56,2	9,1	16,74	293,2	37506,9	28694,9
S8	28,8	2,2	1,4	55,9	5,2	23,1	16,3	13,76	285,4	32874,5	26961,3
S9	7,0	1,8	1,2	37,0	120,0	10,9	23,6	10,46	17,6	31183,7	28362,6
S10	620,5	2,0	0,0	27,1	17,4	38,9	7,3	13,78	193,9	30457,3	31372,9
S11	323,4	2,0	0,0	19,0	21,4	78,3	3,0	11,48	40,5	29581,4	27482,2
S12	509,1	1,6	0,8	32,2	16,0	35,7	3,0	13,46	48,0	37252,2	31157,1
S13	406,9	5,1	1,9	54,9	7,4	28,7	1,0	13,93	6,6	55149,2	28773,4
S14	7,9	2,5	3,4	26,7	7,0	39,4	2,0	4,77	17,0	34058,9	25648,0
S15	3,0	5,6	3,5	56,6	10,0	29,6	4,1	7,15	8,7	62040,7	26660,7
S16	3,9	2,6	3,5	48,2	10,0	38,4	4,0	7,09	32,2	38353,0	25997,0
S17	427,4	2,1	0,0	23,7	15,0	29,6	5,1	10,33	15,6	41222,6	29932,4
S18	0,0	1,0	2,6	39,8	2,1	5,1	1,9	4,06	0,0	26106,2	25911,8
S19	0,0	2,0	5,7	25,5	1,3	6,1	0,0	5,32	0,0	32780,7	27355,9

S19B	0,0	2,7	7,6	33,7	0,1	9,3	0,0	4,88	0,2	35560,4	27066,0
S20	309,1	2,4	0,1	1,9	6,4	39,3	3,6	3,70	6,8	23224,3	27504,4
S20B	281,7	1,9	0,4	0,2	0,4	19,2	0,0	3,15	0,0	23624,1	27604,1
S21	0,0	4,5	4,5	0,0	11,9	97,8	2,3	6,72	12,3	44080,2	29230,1
S21B	0,0	3,9	0,2	2,5	34,4	51,1	23,5	4,81	5,5	24110,0	26189,9
S22	4,0	6,0	3,6	48,0	23,0	46,1	3,9	14,86	32,5	67028,1	24116,3
S22B	466,4	4,3	0,4	2,9	0,0	40,4	0,0	8,66	0,0	63831,3	29174,8
S23	250,0	4,5	0,8	36,4	24,0	95,6	10,1	6,82	44,1	30701,9	22089,2
S23B	189,2	5,9	3,6	14,2	0,0	187,8	0,0	10,28	32,5	65516,1	27308,1
Media	156,3	3,2	2,0	33,9	13,9	42,2	5,8	10,16	42,1	40185,6	27926,9
Max	620,5	6,0	7,6	94,1	120,0	187,8	23,6	22,73	293,2	67028,1	34948,7
Min	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	3,15	0,0	22890,6	22089,2
D. P.	196,6	1,4	2,1	20,5	21,3	35,1	6,4	5,49	74,6	12942,8	2543,4

Características químicas de amostras de solo de áreas naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Cod.	pH		P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	MO	P-Rem
	H ₂ O	KCl	mg dm ⁻³									dag kg ⁻¹	mgL ⁻¹
S1S1	5,3	4,48	5,08	13	3,47	0,19	0	3,6	3,69	3,69	7,29	1,55	39,2
S1S2	5	4,22	6,57	10	3,34	0,24	0	2,5	3,61	3,61	6,11	2,45	33,2
S2S1	6,4	5,40	0,6	3	2,9	0,07	0	0,3	2,98	2,98	3,28	1,16	32,4
S2S2	5,6	4,73	5,58	5	2,31	0,11	0	0,8	2,43	2,43	3,23	0,65	35,2
S3	5,9	4,98	3,8	2	1,73	0,02	0	0,2	1,76	1,76	1,96	0,39	36,2
S4	5,6	4,73	7,17	26	4,88	0,36	0	1,7	5,31	5,31	7,01	0,39	37
S5	3,7	3,12	2,5	15	1,1	0,18	1,5	6,4	1,32	2,82	7,72	0,52	23
S6S1	5,33	4,50	1,5	3	3,06	0,16	0	0,3	3,23	3,23	3,53	1,55	40,6
S6S2	5,41	4,57	0,4	3	1,45	0,16	0	0,8	1,62	1,62	2,42	2,58	37,1
S7S1	6,43	5,43	2,2	15	4,02	0,16	0	0,7	4,22	4,22	4,92	1,42	33,4
S7S2	5,31	4,48	9,83	12	3,13	0,21	0	1,7	3,37	3,37	5,07	0,65	50
S8	3,94	3,33	3	12	1,07	0,09	1,9	7,4	1,19	3,09	8,59	0,65	22,2
S9	5,19	4,38	14,3	8	2,77	0,15	0	2	2,94	2,94	4,94	1,42	38,7
S10	5,26	4,44	15,54	12	2,91	0,16	0	2,1	3,1	3,1	5,2	1,68	49,6
S11	4,63	3,91	4,5	15	2,57	0,25	0,1	4,1	2,86	2,96	6,96	0,52	50
S12	5,57	4,70	21,8	16	5,27	0,76	0	2,3	6,07	6,07	8,37	1,81	38,1
S13	5,52	4,66	26,8	10	3,03	0,22	0	1,7	3,28	3,28	4,98	1,16	34,7
S14	5,64	4,76	6,2	11	3,19	0,19	0	1,8	3,41	3,41	5,21	1,81	32,1
S15	5,7	4,81	28,9	16	3,19	0,19	0	1,7	3,42	3,42	5,12	0,52	34,4
S16	5,55	4,69	1,6	15	3,06	0,11	0	1,7	3,21	3,21	4,91	1,55	39,5
S17	6,1	5,15	3,7	13	2,46	0,09	0	1	2,58	2,58	3,58	0,39	30,7
S18	6,79	5,73	0,8	20	3,51	0,13	0	0,5	3,69	3,69	4,19	0,26	21,9
S19	4,5	3,80	1,2	85	3,32	0,57	0	4,6	4,11	4,11	8,71	2,97	18

S19B	4,7	3,97	0,5	48	0,96	0,27	0,4	5,1	1,35	1,75	6,45	1,42	15,7
S20	4,3	3,63	8,74	6	1,71	0,2	0,5	5,8	1,93	2,43	7,73	0,65	20,5
S20B	4,47	3,77	6,9	1	1,3	0,19	0,4	4	1,49	1,89	5,49	0,39	24,9
S21	4,38	3,70	0	0	0,1	0,02	0,5	4,1	0,12	0,62	4,22	0,13	19,8
S21B	4,23	3,57	0	0	0,13	0,03	0,4	2,6	0,16	0,56	2,76	0,26	21,9
S22	4,23	3,57	0	38	3,56	0,58	4,9	9,4	4,24	9,14	13,64	0,52	5,1
S22B	4	3,38	0	12	1,41	0,19	5,7	9,9	1,63	7,33	11,53	0,13	3,8
S23	3,54	2,99	8,7	21	0,61	0,1	0,8	5,4	0,76	1,56	6,16	2,84	39,2
S23B	4,22	3,56	17,36	95	1,93	0,36	0,3	4,8	2,53	2,83	7,33	0,52	36,5
Max	6,79	5,73	28,90	95,0	5,27	0,76	5,70	9,90	6,07	9,14	13,64	2,97	50,00
Média	5,08	4,29	6,74	17,5	2,48	0,21	0,54	3,16	2,74	3,28	5,89	1,09	31,08
Min	3,54	2,99	0,00	0,00	0,10	0,02	0,00	0,20	0,12	0,56	1,96	0,13	3,80
D.P.	0,83	0,70	7,79	21,6	1,26	0,16	1,33	2,58	1,37	1,74	2,54	0,82	11,44
CV	16	16,4	115	123	50,8	77,9	244	81,7	50,1	53,1	43,1	74,1	36,9

Características químicas e físicas de amostras de solo de áreas naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

cod	S	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb	Silte	Argila	Areia
	mg dm ⁻³									kg/kg		
S1S1	4,4	2,06	11,2	93,5	6,7	0,59	0,33	0,04	1,98	0,009	0,244	0,747
S1S2	6,5	2,65	8,4	104,1	8,1	0,57	0,39	0,08	2,18	0,015	0,258	0,728
S2S1	21	0,66	2,1	56,8	1,01	0,36	0,68	0,23	0,5	0,054	0,392	0,554
S2S2	19,9	0,59	1,7	69,9	1,6	0,57	0,43	0,07	0,3	0,012	0,364	0,624
S3	13,9	0,7	1,2	32,6	0,77	0,34	0,71	0,25	0,86	0,038	0,279	0,683
S3	4,4	0,63	6,3	35,9	5,46	0,57	0,41	0,1	1,17	0,011	0,297	0,691
S5	6,9	0,44	1,3	119,9	0,82	0,55	0,73	0,24	0,73	0,017	0,804	0,179
S6S1	7,2	1,86	2,8	42,2	7,75	0,27	0,81	0,28	2,18	0,005	0,362	0,633
S6S2	6,5	0,57	9,2	28,2	1,77	0,41	0,69	0,22	0,77	0,001	0,28	0,718
S7S1	16	0,92	9,6	51,6	3,43	0,84	1,5	0,19	9,61	0,051	0,498	0,451
S7S2	5,5	1,23	7,1	59,2	24,12	0,52	1,01	0,28	2,16	0,035	0,206	0,759
S8	5,8	0,59	4,1	254	14,11	0,72	3,8	0,19	2,4	0,037	0,353	0,611
S9	6,2	0,78	3	52,3	3,39	0,62	0,86	0,3	1,7	0,013	0,357	0,631
S10	5,8	2,05	9,1	86,8	24,02	0,71	0,74	0,17	1,12	0,032	0,214	0,754

S11	6,2	1,93	4,4	67,5	5,72	0,58	0,85	0,33	1,63	0,007	0,167	0,825
S12	18,5	1,95	10,4	25,6	11,67	0,6	1,28	0,46	1,78	0,018	0,424	0,559
S13	13,9	1,07	3	34,8	3,62	0,48	0,91	0,36	1,18	0,01	0,421	0,568
S14	14,6	0,54	2,1	27,9	1,07	0,52	0,9	0,3	0,86	0,02	0,475	0,504
S15	10,7	0,86	4,1	50,2	2,9	0,66	0,67	0,28	1,07	0,074	0,265	0,661
S16	6,5	1,57	2,9	108,8	5,51	0,85	1,01	0,34	1,79	0,058	0,222	0,72
S17	7,6	0,9	1,6	33,7	2,57	1,33	1,11	0,37	1,09	0,064	0,262	0,674
S18	25,2	0,75	2,5	47,5	2,5	0,74	1,04	0,41	0,91	0,092	0,452	0,457
S19	8,3	0,42	2,5	278,3	1,49	1,32	0,91	0,4	0,84	0,059	0,761	0,18
S20	7,9	0,85	4,8	128,9	3,04	0,92	0,9	0,4	1,29	0,005	0,612	0,383
S21	3	0,24	0,7	165,9	1,4	0,66	0,71	0,38	1,01	0,002	0,147	0,852
S22	5,5	0,97	6,5	526	0,83	0,93	0,72	0,23	2,43	0,215	0,638	0,147
S23	5,8	0,79	23,2	58,7	4,02	1,37	1,29	0,46	1,66	0,026	0,142	0,832
Max	25,20	2,65	23,20	526,00	24,12	1,37	3,80	0,46	9,61	0,22	0,80	0,85
Média	9,77	1,06	5,40	97,81	5,53	0,69	0,94	0,27	1,67	0,04	0,37	0,60
Min	3,00	0,24	0,70	25,60	0,77	0,27	0,33	0,04	0,30	0,00	0,14	0,15
D.P.	5,92	0,63	4,75	106,76	6,29	0,29	0,63	0,12	1,69	0,04	0,18	0,19
CV	60,6	59,4	88,0	109	113	41,4	67,5	42,8	101	119	47,9	32,4

cod	S	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb	Silte	Argila	Areia
	mg dm ³ -									kg/kg		
S19B	18,8	0,28	1,3	138,7	0,6	1,19	0,69	0,26	0,74	0,015	0,869	0,115
S20B	4,4	0,33	0,9	80,6	0,38	0,76	0,43	0,21	0,72	0,006	0,675	0,319
S21B	5,5	0,23	0,9	107,4	0,33	0,64	0,66	0,33	1,09	0,008	0,158	0,835
S22B	4,8	1,14	1,5	518,9	0,94	0,98	1,05	0,38	2,69	0,162	0,527	0,311
S23B	7,9	0,44	25,9	21,1	4,17	1,26	0,79	0,34	0,7	0,037	0,195	0,769
Max	18,80	1,14	25,90	518,90	4,17	1,26	1,05	0,38	2,69	0,16	0,87	0,84
Média	8,28	0,48	6,10	173,34	1,28	0,97	0,72	0,30	1,19	0,05	0,48	0,47
Min	4,40	0,23	0,90	21,10	0,33	0,64	0,43	0,21	0,70	0,01	0,16	0,12
D.P.	6,04	0,37	11,07	197,95	1,63	0,27	0,22	0,07	0,85	0,07	0,31	0,31
CV	72,9	77,4	181	114	127	27,7	31,1	22,4	72	145	63,3	67,0

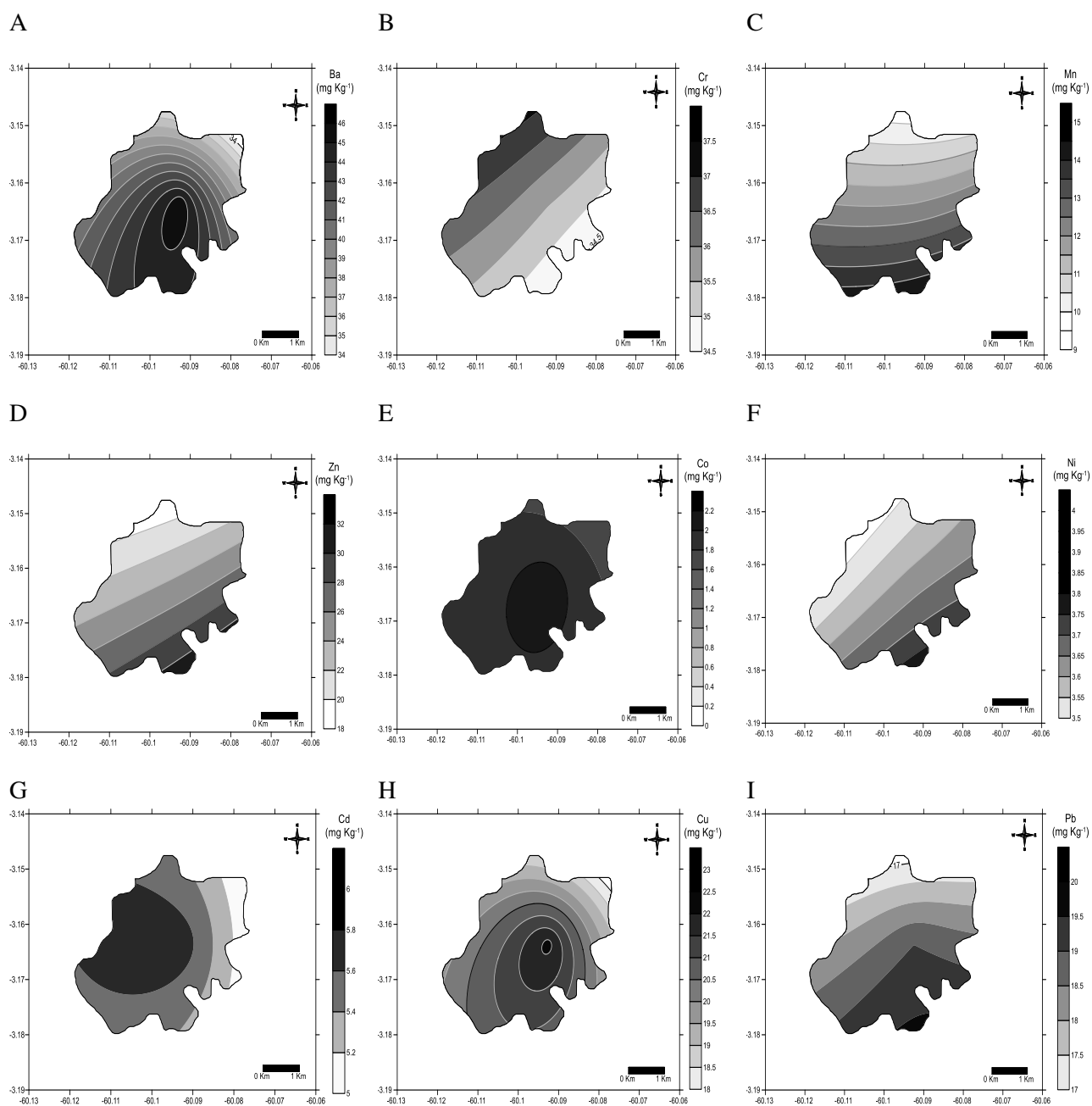
Teores de óxidos de amostras de solo (mg kg⁻¹) de áreas naturais de Manaus e região metropolitana, juntamente com valores médios, valores máximos, valores mínimos, desvio padrão (D.P.) e coeficiente de variação (CV).

Solos	MnO	Fe₂O₃	Al₂O₃	Fe₂O₃/ Al₂O₃
S1S1	0,09	61,81	47,57	0,98
S1S2	0,07	65,40	51,48	1,00
S2S1	0,03	76,84	48,66	0,80
S2S2	0,04	63,26	53,25	1,07
S3	0,03	81,81	51,99	0,81
S4	0,05	50,86	52,13	1,30
S5	0,01	54,52	59,88	1,39
S6S1	0,05	63,48	51,16	1,02
S6S2	0,04	45,48	61,62	1,72
S7S1	0,04	32,50	65,70	2,57
S7S2	0,07	53,26	53,95	1,29
S8	0,03	46,68	50,69	1,38
S9	0,01	44,28	53,32	1,53
S10	0,05	43,25	58,98	1,73
S11	0,10	42,01	51,67	1,56
S12	0,05	52,90	58,58	1,41
S13	0,04	78,31	54,09	0,88
S14	0,05	48,36	48,22	1,27
S15	0,04	88,10	50,12	0,72
S16	0,05	54,46	48,87	1,14
S17	0,04	58,54	56,27	1,22
S18	0,01	37,07	48,71	1,67
S19	0,01	46,55	51,43	1,40

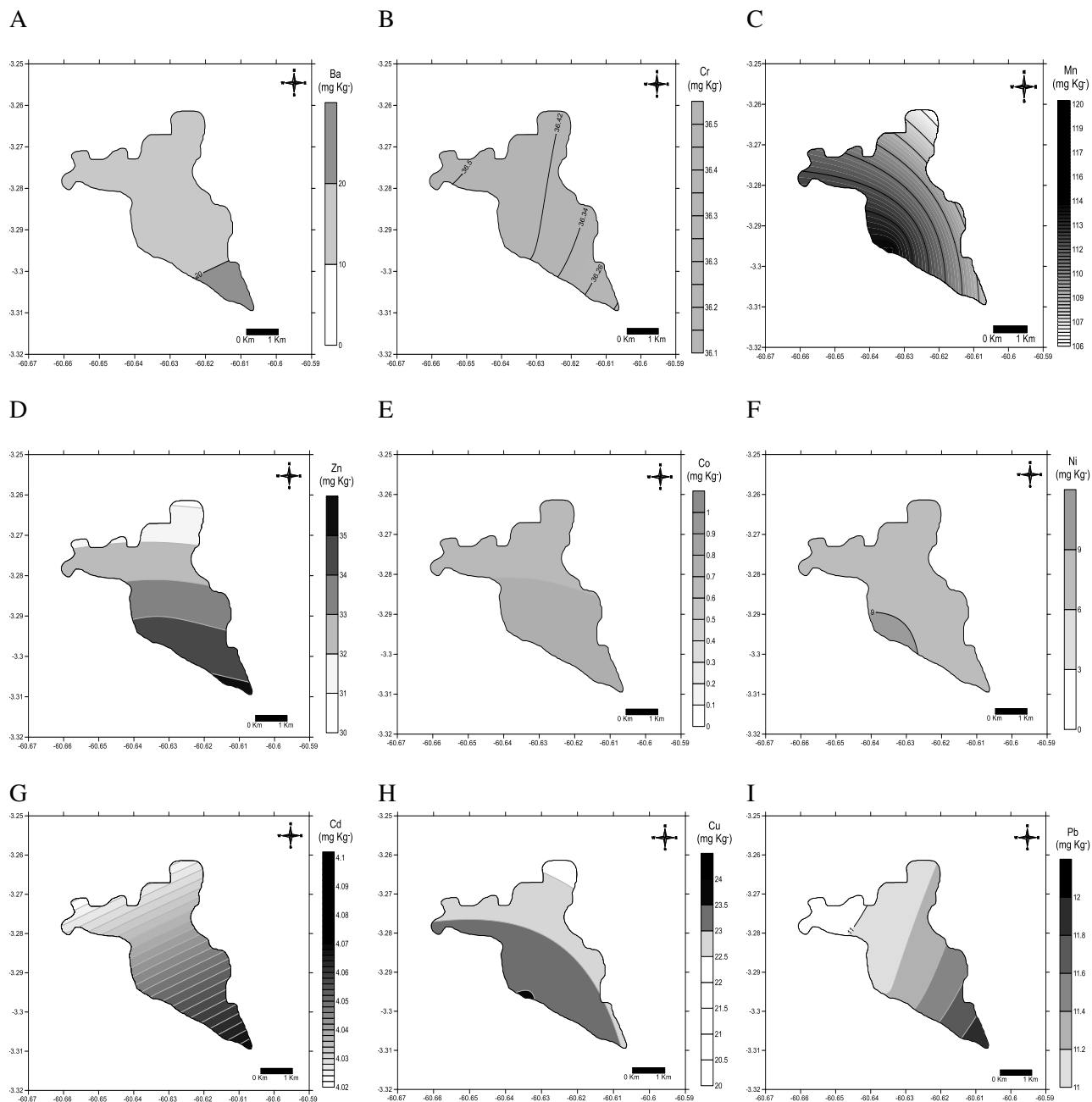
S20	0,05	32,98	51,71	1,99
S21	0,13	62,59	54,95	1,11
S22	0,06	95,18	45,34	0,60
S23	0,12	43,60	41,53	1,21
Media	0,05	56,45	52,66	1,29
Max	0,13	95,18	65,70	2,57
Min	0,01	32,50	41,53	0,60
D.P.	0,03	16,32	5,14	0,42
CV	62,11	28,91	9,77	32,73

Solos	MnO	Fe₂O₃	Al₂O₃	Fe₂O₃/ Al₂O₃
S19B	0.01	50.50	50.88	1.27
S20B	0.02	33.55	51.90	1.96
S21B	0.07	34.24	49.24	1.82
S22B	0.05	90.64	54.85	0.76
S23B	0.24	93.03	51.34	0.70
Média	0.08	60.39	51.64	1.31
Max	0.24	93.03	54.85	1.96
Min	0.01	33.55	49.24	0.70
D.P.	0.09	29.51	2.05	0.58
CV	117.74	48.86	3.97	44.59

Distribuição espacial dos teores semitotais de Ba (A), Cr (B), Mn (C), Zn (D), Co (E), Ni (F), Cd (G), Cu (H) e Pb (I) na área urbana de Iranduba – AM.



Distribuição espacial dos teores semitotais de Ba (A), Cr (B), Mn (C), Zn (D), Co (E), Ni (F), Cd (G), Cu (H) e Pb (I) na área urbana de Manacapuru – AM.



Validação do método

Limites de detecção e quantificação obtidos para o método EPA 3051a.

Elementos	C.V. (%) (Branco)	L.D.	L.P.
		mg kg ⁻¹	
Ba	0,8	0,0027	0,27
Cd	1,5	0,0016	0,16
Co	1,6	0,0030	0,30
Cr	1,2	0,0086	0,86
Cu	1,7	0,0153	1,53
Mn	2,2	0,0046	0,46
Ni	3,7	0,0065	0,65
Pb	1,2	0,0002	0,02
Zn	2,2	0,0136	1,36

LD: Limite de detecção. LP: Limite de quantificação praticável = LD x fator diluição (FD).

Validação do método

Limites de detecção e quantificação obtidos para o método EPA 3052.

Elementos	C.V. (%) (Branco)	L.D.	L.P.
		mg kg ⁻¹	
Ba	1,0	0,0035	0,35
Cd	1,8	0,0019	0,19
Co	1,6	0,0030	0,30
Cr	0,8	0,0055	0,55
Cu	1,5	0,0135	1,35
Mn	2,3	0,0051	0,51
Ni	1,1	0,0020	0,20
Pb	1,8	0,0004	0,04
Zn	2,2	0,0161	1,61

LD: Limite de detecção. LP: Limite de quantificação praticável = LD x fator diluição (FD).