

IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS METAIS PESADOS DO SOLO NA IDENTIFICAÇÃO E SEPARAÇÃO DE MATERIAIS DE ORIGEM¹

Teogenes Senna de Oliveira²
Liovando Marciano da Costa³
Cosme Damião Cruz⁴

1. INTRODUÇÃO

Os metais pesados (elementos químicos com densidade $> 6 \text{ g/cm}^3$) estão presentes no solo como parte do material de origem ou de minerais do solo de origem secundária, precipitados com outros compostos (carbonatos, por exemplo), adsorvidos em sítios de troca (óxidos ou hidróxidos, minerais de argila silicatados e matéria orgânica), dissolvidos na solução do solo ou incorporados em microrganismos, plantas ou animais (26). As interações com a fase sólida são bastante complexas, envolvendo reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica.

¹ Aceito para publicação em 04.03.1998.

² Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, 60455-760 Fortaleza, CE. E-mail: teogenes@ufc.br.

³ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq.

⁴ Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa 36571-000, Viçosa, Mg. Bolsista do CNPq.

O grau de mobilidade, atividade e biodisponibilidade desses elementos vão depender de vários fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e a composição e força iônica da solução do solo. Vários autores, citados por MATOS (14), consideram ainda que a mobilidade dos metais pesados é também influenciada pela superfície específica, textura, densidade aparente, a quantidade de matéria orgânica, o tipo e quantidade de minerais de argila, além do tipo e da quantidade de metais. Não obstante, deve-se fazer referência às variações das diferentes propriedades do solo em curtas distâncias, considerando os teores naturais de metais pesados em face da inerente variabilidade espacial do solo (28, 30). De maneira geral, estudos de mobilidade têm demonstrado que os metais pesados Pb, Cr e Cu apresentam baixa mobilidade, acumulando-se nas camadas superficiais do solo, enquanto Zn, Mn, Ni e Cd são, relativamente, mais móveis (9, 15).

Os vários mecanismos envolvidos relacionados às propriedades do solo de influência direta poderão levar, como consequência, à manutenção de um equilíbrio quanto ao nível dos teores de metais pesados no solo, refletindo não somente os teores característicos das diferentes situações de material de origem e pedogênese, mas também o resultado de interações, tanto quantitativas quanto qualitativas. É consenso geral na literatura o fato de que os teores desses elementos no solo refletem os teores do material de origem, exceto nos casos de intensa deposição destes por uma fonte antrópica qualquer (4, 7, 10, 18, 22, 23, 29). Solos originados de rochas básicas, em razão de sua maior riqueza em metais pesados, apresentariam teores maiores destes elementos que aqueles provenientes de outros materiais, como granitos, gnaisses, calcários, arenitos e sedimentos diversos (3, 10, 17, 25).

Vários autores atribuem ao material de origem o componente principal na distribuição dos metais pesados no solo (3, 8, 17, 20), devendo-se esperar que, mesmo em condições severas de intemperismo, como as dos trópicos, o material de origem ainda possa exercer papel importante no conteúdo de grande parte dos metais pesados nos solos, definindo níveis característicos e que sejam representativos dos materiais que deram origem ao solo.

A caracterização de diferentes classes de solo e a inter-relação com o material que lhe deu origem torna-se, assim, possível. JING-SHENG *et alii* (10) avaliaram as tendências geográficas dos conteúdos de metais pesados em solos chineses derivados de basalto, granito e silito, identificando, nesta mesma ordem, a seqüência decrescente de conteúdo dos metais pesados, com variações, conforme a localização geográfica, especificamente para o basalto e o silito, sendo esta tendência similar às variações do conteúdo de óxidos de ferro do solo. Estes resultados confirmam as observações feitas por RESENDE *et alii* (25) e CURI e

FRANZMEIER (4) para as mesmas tendências nos solos brasileiros. Todavia, a avaliação e definição da intensidade de influência de um ou outro material de origem nos solos formados parece ser a maior dificuldade encontrada, principalmente quando se considera em uma mesma área mais de uma formação geológica, uma vez que há uma interposição das contribuições no material intemperizado formador do solo.

Objetivou-se, neste estudo, determinar os teores de metais pesados em amostras de solos em uma topo-litoseqüência no Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, para avaliar a hipótese de que estes elementos contribuem diferentemente para a identificação e separação da influência do material de origem sobre os solos desenvolvidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo, Seleção e Coleta de Solos

A área de estudo da topo-litoseqüência situa-se na zona fisiográfica denominada Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, pertencendo à bacia do rio Paranaíba, componente da grande bacia hidrográfica do rio Paraná. Os solos foram coletados em pontos ao longo da rodovia BR-050, entre os municípios de Uberlândia e Araguari, no trecho compreendido entre o rio Araguari e a sede do primeiro município (Figura 1) (16).

A seleção dos pontos de amostragem na topo-litoseqüência considerou as variações na paisagem que refletissem os diferentes materiais de origem típicos (gnaisse-basalto-arenito+sedimentos) da área em estudo, principalmente no que se refere a mudanças no relevo, altitude, afloramentos de rochas, cor dos solos etc. No total foram coletados 24 solos, procurando-se amostrar pontos em áreas representativas dos diferentes materiais litológicos e suas áreas de transição. Neste último caso, com maior intensidade, ou seja, a intervalos de distância menores, de acordo com as observações de campo e a expectativa de amostragem detalhada dessas transições, visando o atendimento dos objetivos do presente estudo.

Foram coletadas amostras de solos nas profundidades de 0 a 10 cm (1) e de 50 a 60 cm (2), correspondentes aos horizontes A e B, aproveitando-se cortes ao longo do leito da estrada, ou com a abertura de uma pequena trincheira, considerando-se uma distância mínima de 50 m do leito da estrada.

Foi feita a descrição dos perfis nas profundidades de coleta, de acordo com LEMOS e SANTOS (11), à exceção do transecto. O posicionamento geográfico foi determinado com a utilização de

equipamento de posicionamento geográfico global (GPS) e a altitude obtida com altímetro de mão.

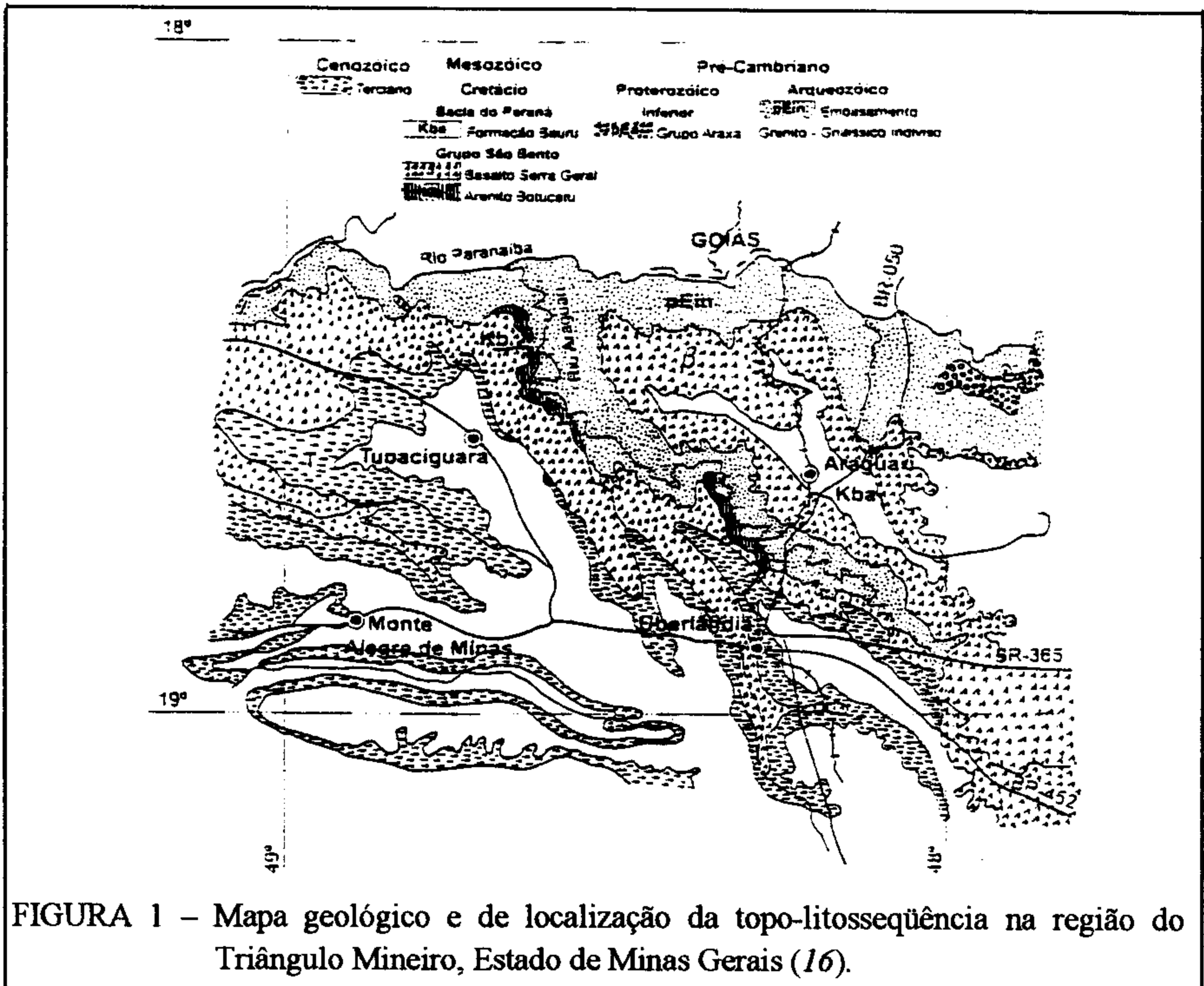


FIGURA 1 – Mapa geológico e de localização da topo-litosequência na região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais (16).

2.2. Características e, ou, Propriedades Físicas e Químicas dos Solos Coletados

Na análise granulométrica foi utilizado o método da pipeta para a determinação da argila e silte, com dispersão efetuada química (NaOH, 0,1 mol/L) e mecanicamente (agitação rápida), e areia grossa e fina, por tamisação. Para a classificação textural usou-se o triângulo textural e os valores obtidos na análise granulométrica (6). As cores de solos foram determinadas por comparação com padrões contidos na Carta de Cores de Munsell MUNSELL (19) em amostras de TFSA secas e ligeiramente umedecidas.

O pH em água e em KCl 1 mol/L foram determinados potenciométricamente em suspensão, empregando-se a relação 1:2,5 de solo:água e solo:KCl, após 1 hora, no mínimo, de repouso e agitação da suspensão antes da leitura, conforme EMBRAPA (6). Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol/L, na proporção 1:20, sendo Al^{3+} determinado por titulação com NaOH 0,25 mol/L e Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (5). Extraíram-se K e P disponíveis com solução HCl 0,05 mol/L e H_2SO_4

0,0125 mol/L (Mehlich-1), na proporção 1:10. O K foi dosado por fotometria de chama e o P determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (5). A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi determinada com $Ca(OAc)_2$ 0,5 mol/L, ajustado para pH 7,0, na proporção 1:15 e titulação com NaOH 0,0606 mol/L, segundo EMBRAPA (6).

A determinação de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 e P_2O_5 consistiu de pré-tratamento da argila para a extração de Fe, Al, Ti e Si, após contato com H_2SO_4 1:1 (volume), aquecendo até a fervura, sob refluxo, com posterior resfriamento, diluição e filtração. No resíduo determinou-se SiO_2 e no filtrado Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 , conforme EMBRAPA (6). As relações moleculares K_i , K_r e Al_2O_3/Fe_2O_3 foram calculadas.

No Quadro 1 são apresentadas a identificação e as características e, ou, propriedades dos solos coletados.

2.3. Determinação dos Teores Metais Pesados

A determinação de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Zr e V foi feita por dois diferentes processos de ataque ácido, visando à obtenção dos teores totais. No primeiro foram utilizados 25 mL de ácidos nítrico (HNO_3) e perclórico ($HClO_4$), concentrados, na proporção 4:1 (volume), em erlemeyers de 125 mL e chapa quente, com aumento gradual da temperatura. Foram usados 2 g de TFSA, triturados em almofariz de ágata e tempo de contato prévio de 12 horas. Após secagem, adicionaram-se 3 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado, transferindo-se para balão de 25 mL com água destilada e filtragem, utilizando papel-filtro quantitativo lento. Como não houve dissolução completa, o resíduo foi recolhido, seco e armazenado para posterior análise. Foram determinados os elementos por espectrofotometria de absorção atômica, sendo realizadas 10 repetições.

No segundo procedimento, em beakers de teflon e em duplicatas, adicionaram-se 6 mL de HNO_3 e 1 mL de $HClO_4$ concentrado, com elevação gradual de temperatura em chapa quente e banho de areia. Após secagem, adicionaram-se 10 mL de ácido fluorídrico (HF) e 1 mL de $HClO_4$, aquecendo novamente até secura ($HF/HNO_3/HClO_4$, 20:6:3, volume). Este último passo foi repetido novamente, adicionando-se ao final 5 mL de HCl 6 mol/L e 5 mL de água deionizada, sendo aquecido por 10 minutos para dissolução completa do material contido no becker (13). Transferiu-se para balão de 25 mL, completando o volume com água deionizada. Este ataque ácido foi realizado na TFSA, no resíduo originário do ataque $HNO_3/HClO_4$ (4:1) do primeiro procedimento e argila, sendo usados 2 g nos dois primeiros e 1 g de material no último. Os elementos, à exceção de Zr e V, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

QUADRO 1 - Identificação, características e, ou, propriedades químicas, físicas e morfológicas dos solos coletados, na profundidade de 50-60 cm

N	Solos Classe	pH(1:2,5)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	II ⁺ +Al ³⁺	K ⁺ disp.	P disp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Composição granulométrica (g/kg)			Cor do solo (Úmido)	
																	Água	KCl	(1 mol/dm ³)		Areia grossa
1	C/L	5,4	1,6	0,5	0,3	3,9	59	1,3	273	249	115	13,2	2,1	1,86	1,44	3,40	230	260	130	380	2,5YR 3/6
2	PV	5,4	1,1	0,5	0,0	2,7	62	0,8	273	262	104	10,0	8,0	1,77	1,41	3,95	280	210	70	440	2,5YR 4/6
3	PV	4,9	0,6	0,8	0,4	3,9	80	1,5	313	246	91	9,0	8,0	2,16	1,75	4,24	220	220	150	410	5YR 3/4
4	C	5,2	1,2	0,4	0,0	3,6	85	1,1	300	254	96	9,4	1,1	2,01	1,62	4,15	310	320	110	260	5YR 4/4
5	PE	4,9	0,6	0,8	0,0	1,5	163	0,2	243	283	151	15,4	1,3	1,46	1,09	2,94	140	200	200	460	2,5YR 4/4
6	PI/TE	5,5	1,9	0,9	0,0	3,6	31	0,2	233	238	190	17,4	2,6	1,66	1,10	1,97	210	140	170	480	2,5YR 3/4
7	L	5,4	2,6	3,1	12,9	16,5	25	7,7	334	190	139	9,6	2,7	2,99	2,03	2,15	210	310	250	230	-
8	LR/TE	6,0	4,4	2,5	0,0	3,6	397	0,5	239	214	174	16,2	1,7	1,90	1,25	1,93	30	100	250	620	2,5YR 3/4
9	LR	5,3	1,1	0,4	0,7	5,4	28	0,2	222	247	190	15,6	1,6	1,53	1,02	2,04	30	160	200	610	10R 3/4
10	LR	5,0	0,8	0,2	0,1	7,5	19	0,6	185	235	239	35,6	2,1	1,34	0,81	1,54	50	60	220	670	10R 3/4
11	L	5,3	1,2	0,7	0,9	9,6	37	0,8	237	202	224	32,8	2,9	1,99	1,17	1,41	40	40	320	600	2,5YR 3/4
12	LE	5,3	1,2	0,2	0,0	7,8	13	0,2	123	234	258	36,4	2,6	0,89	0,52	1,42	140	120	290	450	10R 3/2
13	LR	5,6	1,3	0,2	0,0	7,2	10	0,2	92	245	258	36,0	2,9	0,64	0,38	1,49	140	100	290	470	10R 3/2
14	LR	5,1	1,0	0,0	0,0	6,9	15	0,2	84	268	263	39,2	2,2	0,53	0,33	1,60	120	100	260	520	10R 3/2
15	LR	4,9	0,8	0,0	0,0	2,4	7	0,5	35	248	311	40,0	2,2	0,24	0,13	1,25	180	110	310	400	10R 3/2
16	LR	4,9	0,8	0,0	0,0	2,4	7	0,5	35	248	311	40,0	2,2	0,24	0,13	1,25	170	130	260	440	10R 2,5/2
17	LE	5,4	1,4	0,7	1,3	5,4	51	0,2	242	235	186	18,4	1,7	1,75	1,16	1,98	70	80	260	590	10R 3/4
18	LR	5,0	0,7	0,1	0,0	2,7	14	0,2	164	253	206	28,0	2,5	1,10	0,72	1,93	130	220	150	500	10R 3/4
19	LR	4,8	0,4	0,0	0,0	2,4	7	0,3	154	257	215	35,2	2,5	1,02	0,66	1,88	250	280	70	400	10R 3/4
20	LE	4,8	0,1	0,1	0,0	1,8	5	1,8	152	261	167	22,4	1,2	0,99	0,70	2,45	290	290	90	330	10YR 3/6
21	LR/TE	5,3	1,1	0,3	0,0	3,0	10	0,2	148	230	224	50,8	2,6	1,09	0,67	1,61	260	240	80	420	10R 3/2
22	LE	4,7	0,1	0,0	0,0	1,8	9	0,2	165	279	142	23,2	1,0	1,00	0,76	3,08	330	220	50	400	2,5YR 3/6
23	LE	4,9	0,4	0,1	0,0	2,7	11	0,2	202	283	136	16,4	1,0	1,21	0,93	3,27	320	160	50	470	2,5YR 4/6
24	LE	4,7	0,3	0,0	0,1	3,6	10	0,2	187	304	126	19,8	0,9	1,04	0,83	3,79	150	70	90	690	2,5YR 3/6

2.4. Análises Estatísticas

A análise multivariada foi aplicada aos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn da TFSA e argila, agrupadas em quatro conjuntos de variáveis. Estes conjuntos foram definidos pelos elementos determinados nos dois primeiros procedimentos de extração total com HNO₃/HClO₄ (4:1), concentrados, na TFSA (C1) e HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3), concentrados, na TFSA (C2) e na argila (C3), e, por último, um conjunto de variáveis composto pelos conjuntos anteriores: C4=C1+C2+C3, organizados nesta ordem, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo.

As técnicas utilizadas envolveram a determinação de medidas de similaridade e dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis (DGM), uma medida de dissimilaridade (D^2) aplicável nos casos em que existe correlação residual entre as características e, ou, propriedades analisadas (12), e a importância relativa das variáveis estudadas, utilizando a proposição de SINGH (27), que se baseia na primeira técnica

Os fundamentos teóricos e exemplos de aplicação são apresentados por CRUZ e REGAZZI (2) e, para execução dos procedimentos estatísticos, foi utilizado o programa Análise de Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético - Programa Genes, desenvolvido na UFV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da importância relativa dos diferentes elementos estudados deve ser antecedida de uma discussão a respeito da classificação dos materiais de origem dos solos amostrados na topo-litossequência do Triângulo Mineiro, proposta por OLIVEIRA (21) (Quadro 2). Justifica-se em função de que os dados discutidos a seguir são diretamente dependentes destes resultados.

Essa proposição tem como base técnicas multivariadas aplicadas; no caso, análise de agrupamento pelo método de Tocher (24), variáveis canônicas (24) e a análise discriminante de Anderson (1), esta última apresentada no presente estudo, porém de forma individual por conjuntos de variáveis e profundidades analisadas, pois resume bem todo o desenvolvimento proposto por OLIVEIRA (21). Deve-se salientar que foi conduzida em nível de repetição, sendo apresentada, porém, a resultante que predominou em todas as repetições, e, nos casos em que uma única repetição ou mais proporcionou um enquadramento diferenciado de mais de um solo, ela é apresentada e, entre parênteses, está o número de repetições em que isto foi constatado.

QUADRO 2 - Classificação individual e geral dos 24 solos coletados na topolitossequência do Triângulo Mineiro por conjunto de variáveis (C1, C2, C3 e C4) e profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Solos	Conjunto de variáveis ^{1/}								Geral
	C1		C2		C3		C4		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	G ^{2/}	G	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G	G	G
3	G	G	G	G	G	G	G	G	G
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G
6	G	G	G	G	G	B	G	G	G
7	G	G	G	B	G	B	G	G	G
8	G	G	G	G	G	B	B	G	G
9	G	B	G	B	G	B	B	G	G
10	G	G, B(1) ^{3/}	G	B	G	B	B	G	B
11	G	B(7), G(3)	G	B	G	B	B	G	B
12	A(9), B(1)	B(8), A(2)	B	B	B	B, A	B	B	B
13	B	B	B	B	B	B	B	B	B
14	B	B(9), A(1)	B	B	B	B	B	B	B
15	B	B	B	B	B	B	B	B	B
16	B	B	B	B	G, B	B	B	G, A	B
17	G	B	G, B	B	A	B	B	G	B
18	G	B	B	B	A	B	B	G	B
19	A	A	B	A	A	B	A	A	A
20	A	A	A	A	A	A	A	A	A
21	A	A	G	A	A	A	B	A	A
22	A	A	A	A	A	A	A	A	A
23	A	A	A	A	A	A	A	A	A
24	A	A	A	A	A	A	A	A	A

1/C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO₃/HClO₄ (4:1) (C1) e HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO₃/HClO₄ (4:1) e HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na TFSA e Argila, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2/G: gnaisse; B: basalto e A: arenito+sedimentos do Terciário

3/Casos em que as repetições não foram classificadas como de origem de um único material, sendo apresentada a Segunda classificação e, entre parênteses, o número de repetições em que isso ocorreu.

Da mesma forma, como observado para as outras técnicas testadas, não se constatou concordância entre as classificações obtidas com o uso da análise discriminante de Anderson, com variações entre conjuntos de variáveis e profundidades testadas, porém, pode-se observar que essas diferenças concentram-se naquelas áreas de transição entre materiais de origem, como é o caso dos solos 8, 9, 16, 17 e 18, por exemplo. Mas, mesmo assim, pode-se propor a classificação proposta no Quadro 2, tomando como referência o número de vezes em que há coincidência da classificação proposta para determinado solo, nas profundidades e conjuntos de variáveis estudadas, a partir dos resultados obtidos pela técnica da função discriminante de Anderson, como também os obtidos pelos métodos de agrupamento utilizados: Tocher e variáveis canônicas, com base na distância generalizada de Mahalanobis. Os solos de 1 a 9 podem ser classificados como formados a partir do gnaiss, mesmo quando, em alguns casos, o 6, 7, 8 e 9 ainda sejam classificados como de basalto, pois esta sugestão é suportada pelo número de vezes em que estes solos estão agrupados, tanto pelo método Tocher quanto pela dispersão obtida com a técnica das variáveis canônicas, estando próximos do grupo formado pelo gnaiss e arenito+sedimentos do Terciário ou, então, de solos específicos com esta origem.

A influência do basalto se faz sentir a partir do solo 10, mesmo quando este é ainda classificado como originário de gnaiss, pois observou-se tendência geral para maior proximidade com os solos de origem evidente do basalto, tanto no agrupamento pelo método de Tocher, quanto pela técnica de variáveis canônicas, à semelhança das observações feitas para definição da origem dos solos de gnaiss já comentados. Todas estas avaliações indicam que se pode atribuir a maior influência do basalto a partir do ponto de coleta do solo 10 até o 18, este último, um tanto contraditório, pois existem indicações de influência do arenito+sedimentos do Terciário e, numericamente de gnaiss, junto com o seu enquadramento e mesmo proximidade de solos de basalto. Porém, a análise discriminante, como técnica de adequação da classificação proposta indicou a formação a partir do basalto. Finalmente, a partir do solo 19 constata-se a influência do arenito+sedimentos do Terciário na formação dos solos, predominando, tanto na análise discriminante quanto nas demais técnicas utilizadas, a maior participação deste solo.

A partir dos resultados obtidos por OLIVEIRA (21), avaliou-se a participação dos diferentes elementos estudados na partição proposta, estudando-se a importância relativa das diversas variáveis, componentes dos conjuntos estudados C1, C2, C3 e C4, quanto à divergência entre solos. Utilizou-se a proposição de SINGH (27), que se baseia na distância generalizada de MAHALANOBIS (12).

Constata-se, pelo Quadro 3, que a ordem dos elementos que mais contribuíram para a diversidade entre os solos das classes estudadas, nos três diferentes materiais de origem, considerando C1, C2, C3 e C4 e as profundidades 1 e 2, foi: $Cu > Ni = Fe = Mn = Zn$, e os elementos que menos contribuíram foram Cd e Pb. O Cu se destaca tanto por sua contribuição a diversidade dos solos que, mesmo no C4, em um total de 24 variáveis, essa se apresenta elevada, a exceção dos teores de Cu determinados na fração argila (0,07%). No C3, a contribuição apresenta-se bastante elevada em relação aos demais elementos, na ordem de 61,10 e 57,28%. Tal aspecto leva a inferência que, no futuro, estudos com objetivos semelhantes poderão dispensar a avaliação de Cd e Pb, ou até mesmo de mais alguns elementos, conforme a exigência, concentrando em elementos mais específicos, como o Cu, por exemplo. Esta técnica desponta como uma alternativa potencial na avaliação preliminar dos solos com origens diferenciadas. Segundo considerações de CRUZ e REGAZZI (2), as variáveis com pouca contribuição à diversidade, de acordo com a técnica proposta por SINGH (27), certamente poderão ser dispensadas por não variarem com as classes de solo estudadas, e, ou, por serem redundantes, podendo estar correlacionadas com outras variáveis, não justificando a sua avaliação.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se, neste estudo, determinar os teores de metais pesados em amostras de solos em uma topo-litoseqüência no Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, para avaliar a hipótese de que esses elementos contribuem diferentemente para a identificação e separação da influência do material de origem sobre os solos desenvolvidos. Para tanto, coletaram-se amostras de solo, determinando-se na TFSA e na argila os teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, por dois diferentes procedimentos de ataque ácido: $HNO_3/HClO_4$ (4:1) e $HF/HNO_3/HClO_4$ (20:6:3), dosados por espectrofotometria de absorção atômica. Técnicas de análise multivariada foram utilizadas. Os resultados permitem estabelecer que entre os elementos estudados, os que mais contribuíram para a diversidade foram: $Cu > Ni = Fe = Mn = Zn$, sendo o Cd e Pb os de menor importância, o que leva a inferir a inutilidade desses elementos em estudos futuros em áreas semelhantes.

QUADRO 3 - Contribuição relativa (S_j) de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, variáveis componentes dos quatro conjuntos estudados (C1, C2, C3 e C4), avaliadas em solos coletados na topo-litosequência do Triângulo Mineiro, nas profundidades de 0-10 cm (1) e 50-60 cm (2)

Prof. Var.	C1			C2			C3			C4				
	S _j	%	S _j	%	S _j	%	S _j (VC1) ²	S _j (VC2)	S _j (VC3)	%(VC1)	%(VC2)	%(VC3)		
1	Cd	875,25	0,48	25.943,31	2,55	37.630,18	2,40	23.869,042	236,031,552	15,035,003	0,06	0,61	0,04	
	Cr	17.038,80	9,41	15.893,51	1,56	59.063,25	3,78	189.739,184	694.686,976	27.737,268	0,50	1,79	0,07	
	Cu	40.684,00	22,47	320.948,72	31,50	956.645,00	61,10	9.860.649,984	7.036.384,768	2.402.377,472	25,45	18,16	0,07	
	Fe	16.525,32	9,13	200.348,30	19,67	169.497,39	10,83	1.642.018,944	23.119,274	182.462,736	4,24	0,06	0,47	
	Mn	67.229,40	37,13	116.698,91	11,46	142.745,69	9,12	749.901,504	2.917.378,816	24.684,542	1,94	7,53	0,06	
	Ni	29.251,95	16,15	250.253,27	10,03	156.996,56	10,03	3.146.563,328	1.814.451,968	341.915,232	8,12	4,68	0,88	
	Pb	2.371,32	1,31	25.784,62	2,53	33.830,35	2,16	90.818,360	21.652,620	173.377,856	0,23	0,06	0,45	
	Zn	7.107,90	3,93	62.925,77	6,18	9.360,55	0,60	2.296.411,904	4.813.883,392	15.522,865	5,93	12,43	0,04	
	2	Cd	301,73	0,26	29.800,20	1,20	15.849,66	1,49	780,255	17.091,956	1.296,501	0,11	2,31	0,18
		Cr	6.153,80	5,33	248.508,17	10,03	51.537,92	4,83	21.923,164	13.770,940	1.164,802	2,96	1,86	0,16
Cu		29.214,96	25,29	427.796,25	17,27	610.999,38	57,28	15.021,688	70.879,856	72.317,984	2,03	9,57	9,77	
Fe		12.834,57	11,11	161.691,80	6,53	108.312,55	10,15	15.929,715	41.256,424	46.102,256	2,15	5,57	6,23	
Mn		20.676,63	17,90	179.769,56	7,26	64.342,95	6,03	53.975,132	7.285,195	5.567,060	7,29	0,98	0,75	
Ni		31.122,18	26,94	715.584,56	28,89	168.992,56	15,84	32.851,296	137.094,320	55.527,940	4,44	18,51	7,50	
Pb		2.660,87	2,30	31.667,22	1,28	22.653,93	2,12	67,065	3.638,139	17,912	0,01	0,49	0,00	
Zn		12.548,19	10,86	682.132,88	27,54	23.963,75	2,25	36.000,600	83.684,144	7.353,533	4,86	11,30	0,99	

1/C1, C2, C3 e C4 são conjuntos de variáveis formados pelos teores de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, em mg/kg, extraídos pelos procedimentos de extração total com HNO₃/HClO₄ (4:1) (C1) e HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na TFSA (C2), HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na Argila (C3). O C4 é formado pelos três primeiros conjuntos, respeitando-se a disposição individual das variáveis em cada grupo, ou seja, os elementos extraídos com HNO₃/HClO₄ (4:1) e HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3) na TFSA e Argila, respectivamente a disposição individual das variáveis em cada grupo, C4=C1+C2+C3.

2/Referem-se aos valores de S_j e % do conjunto C4, uma simples junção das variáveis de C1, C2 e C3, na mesma sequência disposta nestes.

5. SUMMARY

(RELATIVE IMPORTANCE OF SOIL HEAVY METALS ON THE IDENTIFICATION AND SEPARATION OF PARENT MATERIALS)

This study aimed to determine heavy metal content in soil samples of a topo-lithosequence collected in the Triângulo Mineiro region, Minas Gerais, Brazil, in order to test the hypothesis that these elements may contribute differently to the identification and discrimination of parent material effect on the soils formed. The contents of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were extracted from air dried total soil (< 2 mm) and clay samples, through two types of attack of concentrated acid: HNO₃/HClO₄ (4:1) and HF/HNO₃/HClO₄ (20:6:3). The elements were determined by atomic absorption spectrophotometry. Procedures of multivariate analysis were used for the statistical evaluation of the data. The results obtained confirmed the hypothesis that among the studied elements those that contributed for the diversity were: Cu>Ni=Fe=Mn=Zn. Cd and Pb were the elements of least importance, which suggests that they could be omitted from any evaluation model measuring the effect of these elements in future studies of parent materials diversity.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDERSON, T.W. *An introduction to multivariate statistical analysis*. New York, John Wiley, 1958. 374p.
2. CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV, 1994. 390p.
3. CURI, N. *Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil*. West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. (Ph. D.thesis).
4. CURI, N. & FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:153-158, 1987.
5. DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo*. Viçosa, UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
7. ESSER, K. B., BOCKHEIM, J. G. & HELMKE, P. A. Trace element distribution in soils formed in the Indiana dunes, U.S.A. *Soil Sci.*, 152:340-350, 1991.
8. FERREIRA, S.A.D., SANTANA, D.P., FABRIS, J.D., CURI, C., NUNES FILHO, E., & COEY, J. M. D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do estado de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo.* 18:167-174, 1994.
9. FONTES, M.P.F., MATOS, A.T. & JORDÃO, C.P. Mobilidade de metais no perfil de um latossolo vermelho amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. *Anais...Goiânia*, SBCS, 1993. v.3. p. 297.
10. JING-SHENG, C., BAO-SHAN, D., MAO, P., XUE-JUN, W., SHUI-QUAN, Z. & QUN, HE. Geographical tendencies of trace element contents in soils derived from granite, basalt and limestone of Eastern China. *Pedosphere*, 3:45-55, 1993.

11. LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Campinas, SBCS, SNLCS, 1984. 45p.
12. MAHALANOBIS, P.C. On the generalized distance in statistics. *Proc. Nat. Inst. Sci.*, 2:49-55, 1936.
13. MANN, S.S. & RITCHIE, G.S.P. The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 31:255-270, 1993
14. MATOS, A.T., FONTES, M.P.F. & JORDÃO, C.P. Mobility and retention of Cd, Zn, Cu and Pb in a Brazilian oxisol profile. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, 1994, Acapulco, *Anais...* Acapulco, ISSS, 1994, v.3b.p.193.
15. MATOS, A.T. *Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG*. Viçosa, UFV, 1995. 110p. Tese de D.S.).
16. MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento e Coordenadoria Geral, Instituto de Geociências Aplicadas. *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 1976.
17. MITCHELL, R.L. Trace elements in soils. In: BEAR, F.E. (ed.). *Chemistry of the soil*. New York, Reinhold, 1964. p.320-368.
18. MOURA, C.A.V. Aplicação de tratamento estatístico multivariante em dados geoquímicos de solo no mapeamento geológico na província de Carajás (alvo 2 - corpo 4). *R. Bras. Geoc.*, 15:241-248, 1985.
19. MUNSELL COLOR. *Munsell soil color charts*. Baltimore, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975. (n.p.).
20. NALOVIC, L. Étude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., II.* 16-31:11-17, 1969.
21. OLIVEIRA, T.S. *Metais pesados como indicadores do material de origem de solos*. Viçosa, UFV, 1996. 114p. (Tese de D.S.).
22. PETTRY, D. E. & SWITZER, R. E. *Heavy metal concentration in selected soils and parent materials in Mississippi*. M.S.U., 1993. 33p. (Bulletin, 998).
23. PICCOLO, A. & CELANO, G. *Distribution of heavy metals in profiles of a hydromorphic soil system*. *Fresenius Envir. Bull.*, 1:16-21, 1992.
24. RAO, R. C. *Advanced statistical methods in biometric research*. New York, John Wiley and Sons, 1952. 390p.
25. RESENDE, M., ALLAN, J. & COEY, J.M.D. The magnetic soils of Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 78:322-326, 1986.
26. SCHMITT, H. W. & STICHER, H. Heavy metal compounds in the soil. In: Merian, E. (ed.). *Metals and their compounds in the environment*. New York, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1991. p.311-331.
27. SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *The Ind. J. Genet. Plant Breed.*, 41:237-245, 1981.
28. TRANGMAR, B.B., YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:45-94, 1985.
29. XING, B. & DUDAS, M.J. Trace and rare earth element content of white clay soils of the Three River Plain, Heilongjiang Province, P.R. China. *Geoderma*, 58:181-199, 1993.
30. WOPEREIS, M. C., GASCUEL-ODOUX, C., BOURRIE, G. & SOIGNET, G. Spatial variability of heavy metals in soil on a one-hectare scale. *Soil Sci.*, 146:113-118, 1988.