

**SANDRO MARCELO DE CAIRES**

**DETERMINAÇÃO DOS TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DE  
MINAS GERAIS COMO SUBSÍDIO AO ESTABELECIMENTO DE VALORES DE REFERÊNCIA DE  
QUALIDADE**

Tese 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 *Doctor Scientiae*.

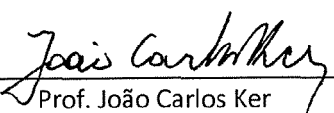
**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009**

**SANDRO MARCELO DE CAIRES**

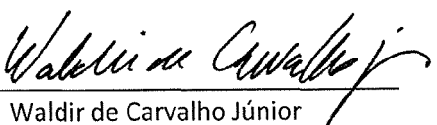
**DETERMINAÇÃO DOS TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DE  
MINAS GERAIS COMO SUBSÍDIO AO ESTABELECIMENTO DE VALORES DE REFERÊNCIA DE  
QUALIDADE**


Tese 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 *Doctor Scientiae*.

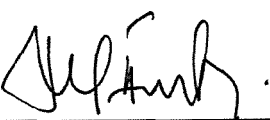
APROVADA: 27 de abril de 2009.

  
Prof. João Carlos Ker  
(Co-Orientador)

  
Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes

  
Waldir de Carvalho Júnior

  
Diego Lang Burak

  
Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes  
(Orientador)

“A felicidade está presente quando o que você pensa, o que você diz e o que você faz  
estão em harmonia”

***Mahatma Gandhi.***

**Ao Estado de Minas Gerais e todo o povo mineiro;**

À minha esposa e companheira Renata;

Aos meus filhos Carolina, Matheus e Thiago;

Com amor e carinho;

**Dedico!**

A Olímpia Margonato Naldi (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, particularmente ao Departamento de Solos pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao professor Maurício Paulo Ferreira Fontes pela paciência, pela orientação eficiente, pela segurança transmitida, pelo apoio e pela atenção dispensada durante todos os momentos do curso. Sou-lhe grato, ainda, pela amizade desencadeada desde o mestrado e pelos ensinamentos transmitidos ao longo destes anos, que muito contribuíram na minha formação profissional.

Aos professores Raphael Bragança Alves Fernandes e João Carlos Ker, pelas pertinentes críticas, sugestões e incalculável colaboração ao meu trabalho de tese.

Aos professores Renildes Lúcio Ferreira Fontes, João Luiz Lani e Epídeo Inácio Fernandes Filho, pelos ensinamentos, pela atenção e pela receptividade sempre que preciso e pela valiosa colaboração no exame de qualificação.

Ao Dr. Waldir de Carvalho Júnior e a Embrapa Solos pela valiosa contribuição no treinamento e coleta das amostras de solos e pelas preciosas contribuições que colaboraram para a melhoria da versão final.

Ao Dr. Diego Burak pela valiosa participação e contribuição na defesa de tese e pelas preciosas contribuições que colaboraram para a melhoria da versão final.

Ao Professor Nairan Félix de Barros, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de plantas, pela atenção e apoio no decorrer do doutoramento.

Ao Professor Walter Pereira de Abraão, pela atenção e apoio enquanto Chefe do Departamento de Solos.

Ao Professor Ivo Ribeiro Silva pela valiosa colaboração durante o desenvolvimento do doutoramento.

A todos os professores do Departamento de Solos e da Universidade Federal de Viçosa que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho;

À FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais) pela concessão da bolsa de estudos.

À Luciana de Castro Freitas pelo apoio, atenção e simpatia despendida todos estes anos na Secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Solos.

À Sônia do Carmo de Almeida, Tatiana Teixeira e Carla Ferreira de Freitas pelo apoio frente à Secretaria de graduação do Departamento de Solos.

Ao Daniel Vieira de Sousa, pela valiosa colaboração na produção dos mapas utilizados no campo.

Aos laboratoristas, José Francisco Dias (Laboratório de Mineralogia do Solo); Cláudio Márcio Brustolini, Benedito Gonçalves dos Santos e Fábio Soares dos Santos (Física do Solo), Carlos Antônio da Fonseca, Jorge Luiz Orlando e Zélia Estevam Barbosa (Fertilidade do Solo), Antônio Carlos Alves Pinto e Geraldo Vitor Teixeira Filho (Laboratório de Espectrofotometria de Absorção Atômica), Janilson Gonçalves da Rocha (Laboratório de Rotina); José Alberto Cardoso e José Roberto Valente (Laboratório de Solos de Ecossistemas Florestais), Geraldo Robésio (Laboratório de Geoquímica) e Antônio Carlos de Pádua e João Batista Lelis (Almoxarifado) pelo apoio logístico no Departamento de Solos.

Ao técnico de informática Francisco Andrade pelo apoio técnico dispensado todos estes anos na manutenção dos computadores de uso.

Ao preparador de amostras de solo do laboratório de rotina, Oiro Herculano de Paula, pela amizade, colaboração e atenção.

Aos estudantes de graduação Acácio Nascimento da Silva, Bruna Botin Nascimento, Francine Vinche, Leandro Tavares dos Santos, Pedro Igor Rodrigues Silva, pela valiosa colaboração no decorrer das análises.

A Clarice Dias do Amaral pela valiosa colaboração no decorrer das análises.

Aos companheiros de gabinete Pedro Geraldo Lelis Leal, Eng<sup>o</sup> Florestal, M.Sc., (Síndico do prédio do Departamento de Solos) e Helderson Rodrigues Alves, discente de administração e receptor de amostras de solos para análises, pela amizade, companheirismo e colaboração no ambiente de trabalho.

Aos amigos Bruno Nery Fernandes Vasconcelos, Carlos Eduardo Pacheco Lima, e Guilherme Corrêa, pela valiosa ajuda nas campanhas de campo.

Ao amigo Breno Serafim, pela amizade e contribuição durante o processo de análises laboratoriais.

Ao bibliotecário do Departamento de Solos, Sebastião Geraldo Barros, pela ajuda e amizade no decorrer de todos estes anos, ao copário do Departamento de Solos, Vicente de Oliveira, pela amizade e companheirismo e ao porteiro, Nelson Silveira, pela amizade e companheirismo, sempre nas madrugadas frias do inverno de Viçosa, no início das atividades de trabalho.

Ao Sansei Francisco Carlos de Oliveira (Preguinho), sua família, aos amigos Edson Vander Ferreira, Evaldo da Silva Ferreira, Valdir de Souza Delfino e todos os amigos da Academia Jkan de Karatê-Do pela amizade, companheirismo, incentivo e orientação no equilíbrio entre o corpo e a mente.

À minha esposa, Renata Pimenta Soares de Caires e aos meus filhos, Carolina Soares de Caires, Matheus Soares de Caires e Thiago Soares de Caires, pelo amor mútuo entre nós, pela existência de nossa família, pela paciência e compreensão, carinho, amizade, companheirismo e, acima de tudo, pelo incentivo nestes árduos anos de dedicação.

Aos meus sogros, Benedito Lores Soares e Maria Lúcia Rezende Pimenta Soares, pelo apoio, incentivo, companheirismo, mesmo a distância, no decorrer de toda a Pós-Graduação.

Aos meus Pais, espelho de muito do que sou hoje, por este presente que é a vida, pelos árduos anos iniciais de disciplina e educação, pela lapidação do meu caráter, pelas oportunidades disponibilizadas na vida, respeito, compreensão, atenção, dedicação, apoio e orientação nas decisões, fidelidade, exemplo de vida, pela constante preocupação com o nosso futuro, pela convivência harmoniosa e respeitosa com minha família, pela dedicação e preocupação com os meus filhos, seus netos e pelo suporte durante todos estes longos e árduos anos.

À minha irmã e amiga, Renata de Caires, pelo respeito, pela honra ao nosso nome, pela fidelidade, caráter e participação.

À minha querida sobrinha Mariana Gomes dos Santos pela felicidade de sua existência.

Ao meu tio materno, Aduino Margonato Naldi, pelo incentivo e os sábios conselhos sobre a importância no prosseguimento e finalização dos estudos.

Aos amigos de pós graduação, Alan Carlos Costa, Roseli Freire Melo, Pablo Barreto Pinto, Juberto Babilônia de Souza, Beno Wendling, Cleiton Henrique de Sequeira, Arley Figueiredo Portugal, Edson Alves de Araújo, Marcos Antônio Gomes, Eufra Ferreira do Amaral, Nilson Bardales, Igor Rodrigues de Assis, Henrique de Sá Paye, Juscimar da Silva, Donizetti Tomaz Rodrigues, Eton Luiz Valente, Marcos Locatelli, Joaquim, Hugo e Henrique, os companheiros colombianos, Arlicélio, Cleiton, Raquel e todos os colegas do laboratório de geoprocessamento e todos os outros na qual eu tenha, Esmo que momentaneamente, esquecido seus nomes, porém suas lembranças estão presente na memória.

Aos colegas Danieli Marcolan Carari, Guilherme Furin Rosa, Rubens Moreira de Almeida e Wagner Luiz Pereira pelos momentos agradáveis de boa conversa, troca de informação e de companheirismo durante a convivência e uso do Laboratório de Mineralogia.

Aos amigos de Alta Floresta, também viçosenses de passagem, Rogério Dias Dalla Riva, Lurdes Iarema, Osvaldo Saragosa Rossi, Ana Aparecida Brandini Rossi, Marcília Aparecida do Nascimento e José Fernandes Martins, pelos bons momentos de lazer e convivência na qual compartilhamos no decorrer de nossa estadia em Viçosa durante a pós-graduação.

Sinceramente eu gostaria de colocar o nome de todos os envolvidos neste trabalho, mas infelizmente neste momento, mais próximo à insanidade do que a serenidade visto o desgaste físico, emocional e intelectual, lamentavelmente não terei condições de me lembrar de todas as pessoas importantes que me auxiliaram para chegar até aqui. Peço a estas que me perdoem, mas peço em minhas orações que Deus as ilumine e retribua ao máximo de direito todas as recompensas merecidas. Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta tese.

A Minas Gerais, meu Estado de coração, na qual aprendi a admirar e amar pela sua história e cultura, pelo seu povo acolhedor, por suas belezas cênicas, por sua simplicidade, por sua majestosa imponência, por seus contrastes, por sua culinária ímpar, encontrada em cada palmo de terra em que eu tive a oportunidade de pisar e pela a oportunidade de enriquecimento de minha cultura e intelectualidade.

A todo o povo brasileiro, gigantes pela própria natureza e ao meu país, BRASIL! Eis aqui um filho teu que não foge a luta!

E, acima de tudo, agradeço a **Deus**, por toda a sua obra em minha vida.

*Sem **Deus**, nada tem sentido!*

**Muito Obrigado!**

**OSS!**

## BIOGRAFIA

Sandro Marcelo de Caires, filho de Maria Helena Margonato de Caires e José Popim de Caires, nasceu em 07 de julho de 1971, na cidade de Maringá-PR. Em 1982, junto com sua família, mudou-se para a cidade de Alta Floresta, fundada no ano de 1976, no extremo norte do Estado do Mato Grosso, incentivados pelo projeto de colonização daquela região sob o lema “*Integrar para não entregar*”. Em agosto de 1996, iniciou a sua graduação em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas oferecido pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus Universitário de Alta Floresta, vindo concluí-la em julho de 2002.

Em março de 2003 ingressou no programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, oferecido pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Campus Universitário de Viçosa, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*. Neste período desenvolveu seus estudos e pesquisas na área de *Impactos Ambientais pelo uso da terra*, submetendo-se a defesa de tese em 25 de fevereiro de 2005.

Em março de 2005 iniciou o seu doutoramento no mesmo programa, desenvolvendo seus estudos e pesquisas na área de *Geoquímica de Superfície, Química e Mineralogia de Solos e Sedimentos*, submetendo-se a defesa de tese em 27 de abril de 2009.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XV
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1. INTRODUÇÃO.....	2
1.2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.2.1. DEFINIÇÃO DE METAIS PESADOS.....	3
1.2.2. OS METAIS PESADOS NOS SOLOS.....	4
1.2.3. A CONTAMINAÇÃO DOS SOLOS COM METAIS PESADOS.....	6
1.2.4. GESTÃO AMBIENTAL DO SOLO COM ÊNFASE À CONTAMINAÇÃO COM METAIS PESADOS.....	9
1.3. HIPÓTESES.....	11
1.4. OBJETIVOS.....	12
1.4.1. OBJETIVO GERAL.....	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.5. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
1.5.1. COLETA DAS AMOSTRAS.....	13
1.5.2. PONTOS DE COLETA.....	14
1.5.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE.....	16
1.5.4. ANÁLISES DE ROTINA.....	17
1.5.5. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	17
1.5.5.1. ÁGUA RÉGIA.....	17
1.5.5.2. EPA 3051A.....	18
1.5.5.3. EPA 3052.....	18
1.5.6. DOSAGEM DOS EXTRATOS.....	19
1.5.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	19
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

<b>COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE DIGESTÃO PARA ANÁLISES DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.</b> .....	<b>30</b>
<b>2.1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>2.3.1. ÁGUA RÉGIA.</b> .....	<b>38</b>
2.3.1.1. Cádmio. ....	39
2.3.1.2. Chumbo. ....	39
<b>2.3.2. EPA 3051A.</b> .....	<b>40</b>
2.3.2.1. Arsênio. ....	40
<b>2.3.3. EPA 3052</b> .....	<b>41</b>
<b>2.4. CONCLUSÕES.</b> .....	<b>43</b>
<b>2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>44</b>
<b>TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>52</b>
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
3.3.1. Correlação de Pearson .....	56
3.3.1.2. Argissolos. ....	56
3.3.1.2. Cambissolos.....	59
3.3.1.3. Latossolos.....	62
3.3.2. Teores naturais de alumínio, ferro e metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais. .....	64
3.3.2.1 Alumínio. ....	65
3.3.2.2 Ferro. ....	69
3.3.2.3. Arsênio. ....	73
3.3.2.4. Bário. ....	78
3.3.2.5. Cádmio. ....	83
3.3.2.6. Cobalto. ....	87
3.3.2.7. Cromo.....	91
3.3.2.8. Cobre. ....	95
3.3.2.9. Manganês. ....	99
3.3.2.10. Níquel. ....	103
3.3.2.11. Chumbo. ....	107
3.3.2.12. Zinco. ....	112
<b>3.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>120</b>
<b>3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>121</b>
<b>GEOQUÍMICA DOS METAIS PESADOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE DIFERENTES LITOLOGIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS.</b> .....	<b>125</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO.</b> .....	<b>126</b>
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS.</b> .....	<b>131</b>
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.</b> .....	<b>132</b>

4.3.1. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Argissolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem. ....	132
4.3.1.1. Estatística descritiva. ....	132
4.3.1.2. Matriz de correlação de Pearson. ....	134
4.3.1.3. Análise das componentes principais. ....	136
4.3.1.4. Matriz de Classificação. ....	140
4.3.1.5. Teste de normalidade. ....	140
4.3.1.6. Componentes principais. ....	141
4.3.1.7. Metais pesados. ....	149
4.3.2. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Cambissolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem. ....	159
4.3.2.1. Estatística descritiva. ....	159
4.3.2.2. Matriz de correlação de Pearson. ....	161
4.3.2.3. Análise das componentes principais. ....	163
4.3.2.4. Matriz de classificação. ....	166
4.3.2.5. Componentes principais. ....	167
4.3.2.6. Metais pesados. ....	181
4.3.3. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Latossolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem. ....	185
4.3.3.1. Estatística descritiva. ....	185
4.3.3.2. Matriz de correlação de Pearson. ....	187
4.3.3.3. Análise das componentes principais. ....	187
4.3.3.4. Matriz de classificação. ....	191
4.3.3.5. Componentes principais. ....	193
4.3.3.6. Metais pesados. ....	203
<b>4.4. CONCLUSÕES. ....</b>	<b>204</b>
<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>205</b>
<b>GEOQUÍMICA DOS METAIS PESADOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS ENTRE CLASSES DE SOLOS DERIVADOS DE METAMÓRFICA/ÍGNEAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. ....</b>	<b>208</b>
<b>5.1. INTRODUÇÃO. ....</b>	<b>209</b>
<b>5.2. MATERIAIS E MÉTODOS. ....</b>	<b>211</b>
<b>5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....</b>	<b>212</b>
5.3.1. Estatística descritiva. ....	212
5.3.2. Matriz de correlação de Pearson. ....	214
5.3.3. Análise das componentes principais. ....	217
5.3.4. Matriz de classificação. ....	220
5.3.5. Teste de normalidade. ....	220
5.3.6. Análise de variância (ANOVA). ....	220
5.3.7. Componentes principais. ....	221
5.3.8. Metais pesados. ....	229
<b>5.4. CONCLUSÕES. ....</b>	<b>238</b>
<b>5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>239</b>

<b>FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS PARA DIAGNÓSTICO DA CONTAMINAÇÃO ANTROPOGÊNICA EM SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. ....</b>	<b>241</b>
<b>6.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>242</b>
<b>6.2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>245</b>
<b>6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>246</b>
6.3.1. Matriz de correlação. ....	246
6.3.2. Análise de agrupamento. ....	248
6.3.3. Variáveis do modelo.....	248
6.3.4. Arsênio. ....	256
6.3.5. Bário. ....	259
6.3.6. Cádmio. ....	260
6.3.7. Cobalto.....	261
6.3.8. Cromo.....	262
6.3.9. Cobre.....	263
6.3.10. Níquel.....	264
6.3.11. Chumbo.....	265
6.3.12. Zinco. ....	266
6.3.13. Matriz de classificação.....	268
<b>6.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>270</b>
<b>6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>271</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>274</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>275</b>
Quadro 2. 3. Resultados analíticos obtidos pelo método da água régia .....	276
Quadro 2. 4. Resultados analíticos obtidos pelo método EPA 3051a.....	280
Quadro 2. 4. Resultados analíticos obtidos pelo método EPA 3052.....	283
Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais .....	286
Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais .....	297

## RESUMO

CAIRES, Sandro Marcelo; D. Sc.; Universidade Federal de Viçosa; abril de 2009. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento dos valores de referência de qualidade.** Orientador: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-Orientadores: Raphael Bragança Alves Fernandes e João Carlos Ker.

Diante do contexto de preservação dos recursos naturais para promover o desenvolvimento sustentável, este trabalho teve como objetivo principal determinar os teores naturais de metais pesados como subsídio para a produção dos valores de referência de qualidade dos solos do Estado de Minas Gerais. Foram coletadas amostras de solos distribuídas por todo o território em locais de mínima intervenção antrópica aparente e com vestígios de mata nativa ou secundária. As amostras de solos foram preparadas para compor a TFSA com o máximo cuidado para evitar contaminação. Subamostras foram submetidas a análises químicas e físicas de rotina. Foram testados diferentes métodos analíticos com o objetivo de avaliar o melhor procedimento para determinar dos teores de metais pesados nos solos. Os metais pesados utilizados neste estudo foram: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn, bem como os elementos Al e Fe. Os métodos utilizados foram o EPA 3051a, EPA 3052 e o método da água régia. Os metais pesados dos extratos produzidos foram dosados em ICP-OES. Os resultados obtidos foram comparados entre si pelo teste *t* de *Student*. O método escolhido foi o EPA 3051a por garantir as melhores recuperações dos metais pesados da amostra de solo padrão utilizada para a calibração dos métodos e as melhores recuperações de As nos solos estudados. Realizada as análises, foi montado um banco de geodados com variáveis qualitativas referentes às classes de solos e tipos de materiais de origem, e quantitativas

compondo os resultados das análises químicas e físicas e os teores de metais pesados obtidos pelo método EPA 3051a. Os teores dos metais pesados para as Classes de Argissolos, Cambissolos e Latossolos foram comparadas entre si pelo teste *t* de *Student*, encontrando diferenças ( $p < 0,01$ ) entre teores de um mesmo elemento em razão das classes de solo. Com o objetivo de subtrair os valores anômalos, foi utilizado o percentil 75 para estabelecer os valores de referência de qualidade dos teores de metais pesados nas classes de solos estudadas. Utilizando técnicas de estatística multivariada, cada classe de solo em razão dos seus respectivos materiais de origem foi analisada, buscando evidências das particularidades do solo em razão do material de origem, relacionando os metais pesados como indicadores desta diferença. Isto foi alcançado para Argissolo e Cambissolo. Por fim, foi montado um modelo matemático utilizando os atributos significativos dos solos em estudo para estratificá-los em grupos. Tais grupos servem para subsidiar a tomada de decisão da existência de contaminação de metais pesados de origem antrópica numa amostra de solo que não pertença ao grupo de amostras até então estudadas, e, no caso da não existência de contaminação, aloca-lá num determinado grupo de amostras de solo pertencentes ao banco de geodados até então organizado. Os teores naturais obtidos, correspondentes ao percentil 75, para os metais pesados As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn, em  $\text{mg kg}^{-1}$ , para os **Argissolos** foram: (= 49,31), (= 265,50), (= 0,70), (= 10,99), (= 67,14), (= 1,42), (= 384,21), (= 25,07), (= 3,26), (= 1,35); para os **Cambissolos** foram: (= 0,001), (= 332,43), (= 1,05), (= 18,28), (= 77,81), (= 4,17), (= 528,02), (= 27,47), (= 15,38), (= 0,42) e para os **Latossolos** foram: (= 14,01), (= 267,64), (= 0,40); (= 28,29), (= 197,26), (= 83,38), (= 345,76), (= 53,48), (= 1,43), (= 37,42). Acredita-se que com os valores supracitados represente a realidade natural das respectivas classes de solos e, que os mesmos, possibilitem um monitoramento dos solos do Estado de Minas Gerais para uma melhor gestão ambiental de sua qualidade.

## ABSTRACT

CAIRES, Sandro Marcelo; D. Sc.; Universidade Federal de Viçosa; april of 2009. **Determination of natural heavy metals levels in soils of Minas Gerais State to help definition of background levels.** Adviser: Maurício Paulo Ferreira Fontes. Co-advisers: Raphael Bragança Alves Fernandes and João Carlos Ker.

Study of soil geochemistry is important because it offers a means by which to define the background levels of heavy metals in soils, which is an essential first step in the analysis of soil pollution. An intensive investigation was conducted to study the geochemical backgrounds of heavy metals in the unpolluted soils of Minas Gerais State (south-western Brazil). Ten heavy metals, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn, and, Al and Fe, were considered. Analytical determinations were performed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry after microwave and hotplate aqua regia sample dissolution in acid solution. A critical to compare sample digestion methods for evaluating soil, EPA Methods 3051a, 3052, and hotplate aqua regia, were used to digest standard reference materials and representative soils of Minas Gerais State. Precise analysis was achieved for all elements by Methods. No significant differences were observed for the three methods except for Al, As, bay EPA Method 3051a and Cd, Pb, bay hotplate aqua regia. Also, the study analyzed how a rock parent material influences the geochemistry of the soil that develops from it, thus confirming that a geochemical imprint is left in soil. This fact indicates that geology is an important factor influencing the geochemical background levels of heavy metals in soils of the region studied. Backgrounds, computed as upper confidence limits for a 75th percentile, were also provided to assist in the assessment of soil pollution in the region. For the heavy metals, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn, the backgrounds levels, in  $\text{mg kg}^{-1}$ , for **Ultisols** were: (= 49,31), (= 265,50), (=

0,70), (= 10,99), (= 67,14), (= 1,42), (= 384,21), (= 25,07), (= 3,26), (= 1,35); for **Inceptols** were: (= 0,001), (= 332,43), (= 1,05), (= 18,28), (= 77,81), (= 4,17), (= 528,02), (= 27,47), (= 15,38), (= 0,42), and for **Oxisols** were: (= 14,01), (= 267,64), (= 0,40); (= 28,29), (= 197,26), (= 83,38), (= 345,76), (= 53,48), (= 1,43), (= 37,42). It is believed that with the above figures represent the reality of their natural soil classes and, as these allows monitoring of the soil of Minas Gerais State for better environmental management of their quality.

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUÇÃO GERAL**

## **1.1. Introdução.**

Ao se iniciar o estudo da Poluição do Solo com metais pesados, torna-se importante conhecer os impactos possíveis que estes elementos podem causar neste compartimento e/ou nas comunidades que dele dependem. Os solos possuem extrema importância ao homem, principalmente em razão do seu uso para a produção de alimentos e fibras e várias outras matérias primas, bem como seu íntimo contato e influência na qualidade química das águas subterrâneas.

Os metais pesados são elementos químicos, inorgânicos, com densidade igual ou maior que  $6 \text{ g cm}^{-3}$  e são assim chamados em razão dos impactos negativos que promovem na saúde humana e no meio ambiente. Pelo mesmo modo, outros inorgânicos não metais e metalóides também recebem a denominação de “metais pesados”. Os metais pesados estão estreitamente ligados à gênese do solo, pois são componentes naturais dos minerais que compõem as rochas, material de origem dos mesmos. Naturalmente se encontram teores mínimos de metais pesados em solos virgens. As entradas naturais destes elementos nos solos estão relacionadas ao intemperismo, a pedogênese e as deposições atmosféricas originadas de processos naturais, tais como as erupções vulcânicas. No entanto, os diversos usos dos solos, atribuídos à produção agropecuária, industrial e a urbanização, em determinados cenários, podem favorecer a entrada e o acúmulo de metais pesados nos solos em proporções significativamente superiores quando comparadas às entradas naturais.

O senso popular dos dias atuais demonstra sinais de uma maior sensibilização ambiental. Dentre várias, a regra para este novo século é o aproveitamento da matéria prima, a reciclagem dos resíduos e minimização da contaminação dos corpos d'água como medidas de uma melhor gestão ambiental. Neste contexto, surge o papel do solo como receptor da carga residuária das populações.

Os solos funcionam como um compartimento tampão para os elementos químicos inorgânicos, orgânicos e xenobióticos. Para os elementos orgânicos e xenobióticos, os atributos biológicos (macro e microrganismos, MO) dos solos, imobilizam, quelatizam, degradam e mineralizam estes elementos, eliminando ou minimizando sua toxicidade. Em se tratando dos elementos inorgânicos como os metais pesados, os atributos químico-físicos dos solos retêm estes elementos em sua matriz orgânica e inorgânica, minimizando a disponibilidades dos mesmos e possíveis impactos relativos a uma labilidade excessiva dos metais pesados. Porém, se cria um problema quando o limite de retenção característico do solo é ultrapassado.

Em muitos países desenvolvidos já existe os chamados valores orientadores no qual disciplina o entrada máxima aceitável, do ponto de vista da sustentabilidade, dos elementos químicos mais perigosos, dentre eles os metais pesados, para as suas condições edafodimáticas. Um dos requisitos para a determinação destes valores é a obtenção da faixa de teores mínimos naturais em amostras de solos coletas em locais preservados. No Estado de Minas Gerais tais pesquisas são incipientes para propiciar a formulação dos valores de referência de qualidade para todo o Estado. Esta pesquisa propõe a determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais, para servirem como subsídio à produção dos valores de referência de qualidade. Pretende-se com isso colaborar para que seja feito um uso mais sustentável dos recursos naturais deste Estado, neste caso os solos e a água subterrânea.

## **1.2. Revisão de Literatura.**

### **1.2.1. Definição de metais pesados.**

O termo metal pesado é utilizado para tratar de um grupo de elementos químicos responsáveis por causar impactos negativos aos ecossistemas e seres vivos, principalmente os seres humanos. Por definição, os metais pesados são grupo heterogêneo de elementos químicos que englobam alguns metais (densidade =  $6 \text{ g.cm}^{-3}$ ),

metalóides e não-metais. Alguns são nutrientes essenciais para plantas e animais e outros não possuem nenhuma função biológica. Porém, todos eles, em concentrações acima do normal, comprometem a qualidade dos ecossistemas e causam efeitos tóxicos aos seres vivos. Em geral, eles são elementos persistentes, não-degradáveis, teratogênicos, mutagênicos e carcinogênicos (Davies & Wixson, 1987; Alloway, 1990; Chen et al., 1991; Holmgren et al., 1993; Amaral Sobrinho, 1996; Eysink & Moraes, 1998; Carneiro et al., 2001; Mulligan et al., 2001; Costa et al., 2004; Murzaeva, 2004; Weber, 2004; Caires, 2005), com tendência de acúmulo em solos e sedimentos (Denny & Wilkins, 1987; Turner & Dickinson, 1993; Taiz & Zeiger, 2004, Caires, 2005) e potencial de biomagnificação na cadeia alimentar (He, et al., 1992; Amaral Sobrinho, 1996; Cravo et al., 1998; Larcher, 2000; Mulligan et al., 2001; Rezende et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2005; Caires, 2005).

### **1.2.2. Os metais pesados nos solos.**

Os metais pesados estão estreitamente ligados à gênese do solo, pois são componentes naturais dos minerais que compõem as rochas, material de origem dos mesmos. Estes elementos ocorrem como constituintes de minerais primários e são incorporados na sua estrutura cristalina por substituição isomórfica durante a sua cristalização (Alloway, 1990). Após serem liberados das rochas pelos processos intempéricos, em razão de possuírem eletronegatividades, raios iônicos e estados de oxidação distintos, os metais pesados podem ser: precipitados ou co-precipitados com os minerais secundários, adsorvidos nas superfícies dos minerais secundários (argilas ou óxidos de Fe, Al e Mn) ou da matéria orgânica presente no solo ou, ainda, complexados e lixiviados pela solução do solo (Alleoni et al., 2005). Nesse sentido, a ocorrência de metais pesados nos solos é função do material de origem e sofre influência marcante dos processos pedogenéticos. Sua presença em solos geralmente são em baixas concentrações e formas prontamente não disponíveis, não representando em condições naturais riscos para o homem, plantas e animais (Alloway, 1990, King, 1996; Stevenson & Cole, 1999; Rezende et al., 2002, Costa et al., 2004; Kabata-Pendias, 2004).

Dentre as propriedades do solo que afetam a retenção, mobilidade e disponibilidade de metais pesados, estão o pH, CTC, CTA, quantidade de matéria orgânica, quantidade e o tipo da fração argila (argilas silicatadas e óxidos) (Fontes et al., 2000; Gomes et al., 2001; CETESB, 2001; Fontes & Gomes, 2003).

Os minerais de argila, principalmente a caulinita, os óxidos de ferro e alumínio (goethita, hematita e gibbsita), além da matéria orgânica, constituem a fase sólida dos principais solos brasileiros, e apresentam uma grande variedade de sítios de adsorção. A caulinita apresenta três planos morfológicos externos que expõem diferentes grupamentos funcionais OH de superfície (Greenland & Mott, 1978; Sposito, 1989, 1992; Stumm, 1992; Fontes, 1996; Fontes et al. 2001), os quais são importantes sítios de adsorção para os metais pesados.

Os óxidos de ferro e alumínio, designação genérica para óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos, são componentes do solo que desempenham importante papel na imobilização dos metais pesados (Kuo et al., 1985; Elliot et al., 1986; Slavek & Pickering, 1988; Hsu, 1989; McKenzie, 1989; Schwertmann, 1989). Esses óxidos são constituintes importantes dos solos tropicais (Kämpf & Schwertmann, 1983; Fontes e Weed 1991, 1996) e suas atividades extrapolam, em muito, as quantidades presentes nos solos (Shuman, 1977). Os metais pesados podem ser adsorvidos eletrostaticamente na superfície dos óxidos ou podem ser adsorvidos especificamente, formando ligações parcialmente covalentes com os oxigênios da estrutura do mineral (McBRIDE, 1994).

A matéria orgânica, que representa, em geral, de 0,5 a 5 dag kg<sup>-1</sup> dos componentes sólidos dos solos minerais, apresenta efeitos pronunciados nas reações químicas do solo e é de grande importância na retenção e mobilidade dos metais pesados no solo (Spark et al., 1995). A formação de complexos orgânicos com metais por meio da quelatação ou seqüestro é um dos mais importantes mecanismos de ligação que ocorrem nos horizontes superficiais dos solos. A quelatação pode tornar o metal mais ou menos solúvel. Ellis & Knezek (1977) dizem que onde os quelatos são insolúveis, a quelatação torna os metais não disponíveis para as plantas. De modo inverso, espera-se maior toxicidade para as plantas e mobilidade no perfil do solo em situações onde o quelato formado seja solúvel. A matéria orgânica possui grande capacidade de adsorver inespecificamente devido à sua

elevada capacidade de troca catiônica (CTC), e, também, especificamente, formando complexos e quelatos. São os grupamentos carboxílicos presentes em grande número na estrutura de ácidos húmicos e fúlvicos os maiores responsáveis pela capacidade adsortiva da matéria orgânica (Madrid & Díaz-Barrientos, 1992; Harter & Naidu, 1995).

Existe distinção entre os teores naturais de metais pesados nos solos em razão do material de origem. Rochas ígneas (máficas e félsicas), sedimentares e metamórficas possuem diferenças significativas entre as concentrações de metais pesados ditando os teores naturais destes elementos nos solos (Alloway, 1990, Stevenson & Cole, 1999; Kabata Pendias & Pendias, 2001). Solos derivados de rochas máficas são mais ricos em minerais escuros e apresentam, em geral, maiores teores de metais pesados comparado com rochas mais claras e, principalmente, com rochas sedimentares como argilitos, siltitos e arenitos (Oliveira, 1996; Oliveira et al., 2000). Solos mais jovens e formados *in situ* são, possivelmente, mais propensos a apresentarem naturalmente teores maiores de metais pesados, ao passo que, solos altamente intemperizados e, ou formados de material de origem que passou por vários ciclos pedogenéticos poderão apresentar, em geral, menores teores desses elementos.

Os solos também são utilizados como receptores dos resíduos humanos e industriais, atuando frequentemente como um filtro, tendo a capacidade de depuração e imobilização de grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, esta capacidade é limitada devido ao efeito cumulativo da deposição destes materiais (Moreira-Noderman, 1987; CETESB, 2001).

### **1.2.3. A contaminação dos solos com metais pesados**

O homem vem se tornando o fator mais importante na ciclagem biogeoquímica dos metais pesados. A entrada destes elementos na biosfera induzida pelas atividades humanas alcança em média, em  $10^3 \text{ t ano}^{-1}$ , 120 de As; 30 de Cd; 150 de Cu; 11 de Hg; 110 de Mo; 470 de Ni; 1.160 de Pb; 72 de Sb; 79 de Se; 71 de V; e 2.340 de Zn (Nriagu & Pacyna, 1988). O incremento na circulação desses elementos tóxicos através dos solos,

água e ar e a inevitável transferência para a cadeia alimentar constituem um importante problema ambiental levando riscos desconhecidos para a saúde humana. A presença de metais pesados no ambiente, principalmente nos solos, é uma realidade que vem sendo discutida cada vez mais em países desenvolvidos (Amaral Sobrinho, 1996).

A contaminação de solos agricultáveis por metais pesados normalmente tem sido relatada como resultado do manejo agrícola que utiliza fertilizantes, corretivos e outros materiais. A maioria dos solos desenvolvidos sob condições de intensa lixiviação, típica dos climas tropicais, necessita de grandes quantidades de corretivos de acidez e de fertilizantes. Esses materiais possuem teores variáveis de metais pesados (Williams e David, 1973; Jardim, 1983; Shuman, 1982; Sauerbeck, 1984; Amaral Sobrinho et al., 1992). Matthews (1984) relata a ocorrência de solos na Inglaterra com teores de Cd superiores a  $500 \text{ mg kg}^{-1}$ , em consequência da aplicação de calcário, e Felleberg (1980) situou os teores de Cd em adubos fosfatados na faixa de 10 a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Langenbach e Serpa (1985) verificaram baixas concentrações de Cd em fertilizantes de Araxá, MG, e concluíram que, devido aos baixos teores do metal, esses produtos poderiam ser usados, mas recomendaram a análise desse elemento quando da exploração de novas jazidas. Amaral Sobrinho et al. (1992) analisaram oito corretivos e diversos adubos comerciais e constataram níveis relativamente baixos de metais pesados, com exceção de um corretivo e um termosfosfato que teriam potencial de contaminação por alguns metais pesados. Silva (1994) e Silva et al. (1995) analisaram vários fertilizantes comerciais de Minas Gerais e utilizaram quatro deles na experimentação com plantas de milho e concluíram que a aplicação de todos eles provocou a absorção de Cd, Zn, Pb e Ni pelas plantas.

O acúmulo de metais pesados em solos devido à aplicação de fertilizantes fosfatados foi avaliado em experimentos de longo prazo por Kabata Pendias & Pendias (2001). Em adição, uma pesquisa conduzida pela USEPA – United States Environmental Protection Agency – revelou que a adição anual máxima ao solo (carga máxima anual) permitida para metais pesados provenientes de insumos agrícolas poderia ser superada pelo uso de alguns fertilizantes fornecedores de micronutrientes e subprodutos utilizados como corretivo de acidez (USEPA, 1999).

Ramalho et al. (1998) avaliaram o impacto do uso excessivo de agroquímicos na contaminação do solo, água, sedimentos e plantas hortícolas por metais pesados na microbacia de Caetés (Paty do Alferes, RJ) e a influência da topografia e do uso agrícola na acumulação de metais pesados. Os autores verificaram que a contaminação por metais pesados nos solos da microbacia de Caetés concentrou-se onde ocorria a aplicação intensiva de agroquímicos (áreas de horticultura), mas não atingiu os níveis críticos estabelecidos para solos. Porém, os autores observaram que a acumulação de metais pesados nos solos só não foi maior devido ao terreno ser muito declivoso, o que promoveu um arraste excessivo e contínuo da camada arável, sendo depositado nos córregos pelo uso agrícola inadequado à topografia. Em virtude do processo erosivo, os autores constataram nos sedimentos da microbacia de Caetés incrementos nos teores totais de metais pesados de acordo com a posição de coleta na área, ocorrendo contaminação da água do córrego e do açude, que apresentou teor total de Mn e Cd acima dos padrões máximos estabelecidos para água potável.

Além dos fertilizantes e agroquímicos, outras fontes de contaminação dos solos agrícolas por metais pesados são os produtos derivados de lixo urbano, o lodo de esgoto e resíduos industriais e siderúrgicos, a mineração, a água de irrigação, os gases veiculares, os materiais tóxicos e radioativos, entre outros. A entrada destes materiais nos solos podem alterar as suas concentrações naturais e prejudicar a sua funcionalidade (Chang *et al.*, 1984;1992; Nriagu & Pacyna, 1988; Heckman *et al.*, 1987; McGrath, 1987; Davis *et al.*, 1988; King e Hajjar, 1990; Jackson e Alloway, 1991; Defelipo *et al.*, 1992; Dias *et al.*, 1992; Alvarez *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 1995; Amaral *et al.*, 1995, Amaral Sobrinho, 1996; USEPA, 1999; Kabata Pendias & Pendias, 2001; Lombi *et al.*, 2001; Guilherme *et al.*, 2002).

Algumas estimativas do tempo de permanência de metais pesados no solo mostram que a contaminação com estes elementos pode se constituir em um problema de longa duração. Estima-se que o cádmio permanece entre 75 a 380 anos no solo, o mercúrio entre 500 a 1.000 anos, enquanto que para arsênio, cobre, níquel, chumbo, selênio e zinco esse tempo está entre 1.000 e 3.000 anos (Alloway, 1990).

#### **1.2.4. Gestão ambiental do solo com ênfase à contaminação com metais pesados.**

Historicamente, em virtude da percepção dos desequilíbrios ambientais, que foram se avultando ao longo dos anos, as pessoas vêm apresentando maior preocupação com a conservação da qualidade ambiental. Essa preocupação gerou a necessidade da implantação de alternativas de instrumentos de gestão ambiental com diferentes enfoques a fim de implantar a visão do desenvolvimento sustentável (Seiffert, 2009). Neste sentido, os teores de metais pesados encontrados em solos coletados em locais conservados, a determinação da capacidade máxima de adsorção de metais pesados em laboratório e a avaliação da toxicidade de plantas agrícolas em casa de vegetação são informações valiosas com subsídios para a determinação dos valores de referência de qualidade dos solos.

A obtenção de valores de referência de qualidade para solos com ênfase para os metais pesados, embora incipiente no Brasil, já é bem estabelecida em outros países. Vários são as pesquisas (Chen et al., 1991; Chen et al., 1993; Holmgren et al., 1993; King, 1996, Bak et al., 1997; Chen et al., 1997; Ma et al., 1997; Chen et al., 1999; Pierangeli et al., 2001; Abollino et al., 2002; Horckmans et al., 2005; Fadigas et al., 2006; McGrath & Zhao, 2006; Martinez et al., 2007; Salonem & Korkka-Niemi, 2007; Zhao et al., 2007; Borges Jr. et al., 2008; Martinez-Lladó et al., 2008; Su & Yang, 2008) que avaliam os teores naturais de metais pesados nos solos como subsídio para a sua gestão ambiental. Os dados gerados por estas pesquisas são fundamentais para os órgãos ambientais regularem e monitorarem a entrada dos metais pesados nos solos pelas vias antropogênicas. De acordo com o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA, 2008), já existe uma proposta de resolução que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, estabelecendo diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. A resolução estabelece que:

Valores orientadores - são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea.

Valor de Referência de Qualidade - é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

Valor de Prevenção - é a concentração de determinada substância no solo, acima da qual podem ocorrer alterações da qualidade do solo quanto as suas funções principais;

Valor de Investigação - é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

A resolução estabelece que a avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQ), de Prevenção (VP) e de Investigação (VI). Os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes deverão ser estabelecidos para cada Estado, pelo órgão ambiental competente, em até quatro anos após a publicação da resolução.

Em países desenvolvidos onde já existem listas de valores orientadores para a gestão ambiental dos solos, os valores de prevenção foram derivados a partir de modelos matemáticos de avaliação de risco, utilizando diferentes cenários de uso e ocupação do solo previamente definidos, se considerando diferentes vias de exposição e se quantificando as variáveis toxicológicas e ecotoxicológicas, dentre elas ensaios de fitotoxicidade com plantas em casa de vegetação (Dias & Casarini, 1996 *apud in* CETESB, 2001). Sendo assim, é imprescindível aos órgãos públicos ambientais conhecer o valor de referência de qualidade (background) dos metais pesados nos solos para uma gestão ambiental melhor de seus recursos naturais, dentre os quais, os solos.

### **1.3. Hipóteses.**

Diante do exposto, se levanta as seguintes hipóteses:

1. Não existirá diferenças entre os métodos de extração total e extração pseudo total dos teores de metais pesados nos solos;
2. Haverá diferença nos teores de metais pesados em razão das diferentes classes de solos, independente do material de origem;
3. Solos desenvolvidos sobre materiais de origem diferentes darão teores de metais pesados diferenciados, especialmente aqueles de rochas escuras, que apresentarão os maiores teores;
4. Solos desenvolvidos sobre um mesmo material de origem apresentarão teores de metais pesados diferenciados, sendo os teores mais elevados encontrados nos solos mais desenvolvidos, em razão da menor mobilidade do metal pesado no sistema solo.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo Geral.**

Diante do contexto exposto, este projeto possui como objetivo principal determinar os teores naturais dos elementos Al e Fe e dos metais pesados As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn, nas principais classes de solos do Estado de Minas Gerais.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

1. Comparar diferentes métodos de extração de metais pesados para a escolha do mais adequado para analisar os Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais;
2. Determinar os principais atributos químicos e físicos de rotina dos Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais;
3. Determinar os teores dos elementos Al e Fe e dos metais pesados As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn, nos Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais;
4. Correlacionar os teores de metais pesados obtidos com os principais atributos dos solos supracitados solos supracitados;
5. Discriminar as diferenças existentes entre as referidas classes de solos, em razão de seus respectivos materiais de origem, quanto aos teores naturais de metais pesados;
6. Disponibilizar, com as informações obtidas, subsídios para o órgão ambiental estadual propor os valores de referência de qualidade dos Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais em relação aos teores de metais pesados.

## **1.5. Material e Métodos.**

### **1.5.1. Coleta das amostras.**

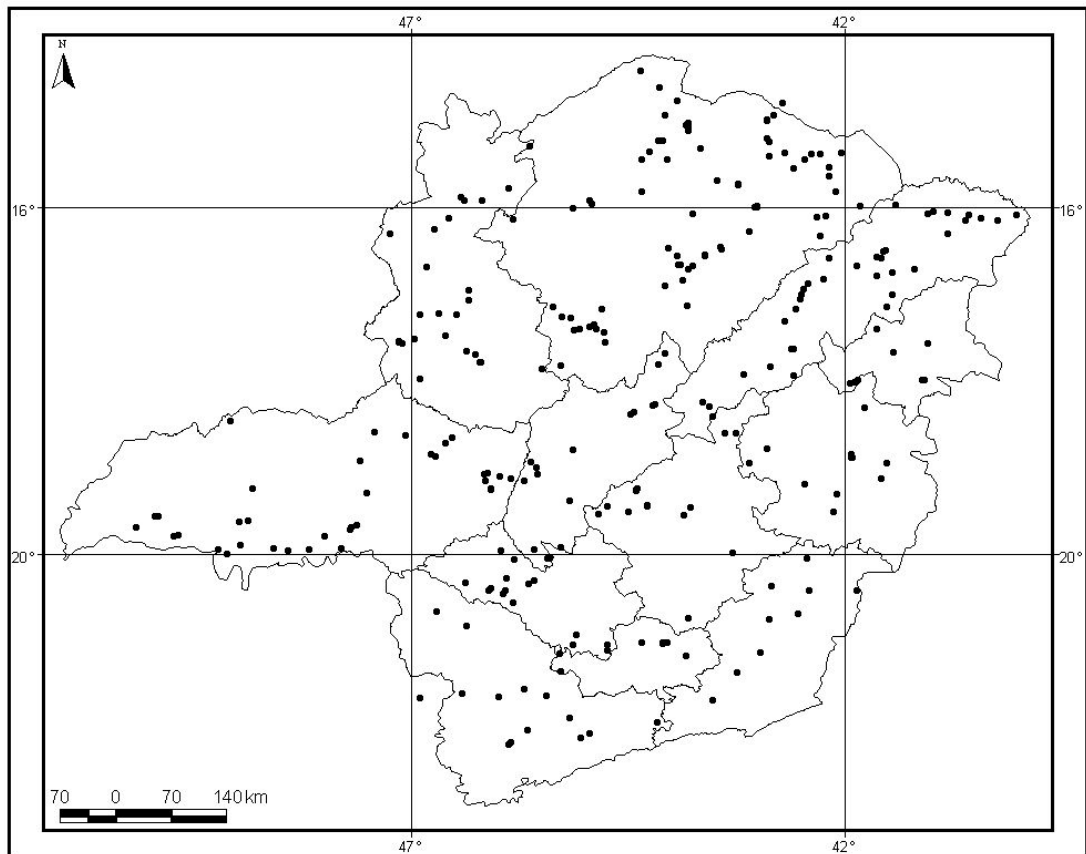
Para planejar as campanhas de campo utilizou-se o mapa de solos do Estado de Minas Gerais (escala 1:600.000) (Marques et al., 2007, não publicado). Este mapa foi compilado através de um conjunto de levantamentos realizados no Estado. Ao mesmo tempo em que se fez a coleta das amostras de solo no campo, também se executou a aferição das informações contidas do mapa. O mapa geológico de Minas Gerais (CPRM, 2003), simplificado por Lima (2007), foi utilizado para definir os principais grupos litológicos na qual as amostras de solos pertenciam. Após o estudo minucioso dos mapas, com auxílio de um Guia Quatro Rodas (2007) e dos sites Google Maps® e Google Earth®, procedeu-se o planejamento das campanhas de campo para a realização das coletas georreferenciadas das amostras de solos.

A coleta foi feita em estradas secundárias para afastar da área de maior trafegabilidade para a garantia de obtenção de amostras com pequena ou nenhuma alteração antropogênica. Geralmente esta distância variava de 5 a 10 km. As coletas foram aleatórias dentro do domínio da classe de solo conforme demonstrado no mapa de solos, em locais representativos da unidade em questão e com predomínio de vegetação preservada. Antes das coletas, checava-se a confirmação da classe de solo utilizando corte de estradas, erosões, voçorocas, interpretação geomorfológica e vegetacional, a cor do solo obtida pela a caderneta de Munsell (Munsell, 2000) e as respectivas profundidades dos horizontes. Com base destas características, coletava-se o solo com trado tipo caneco com capacidade de  $0,750 \text{ dm}^{-3}$  fabricado em aço inox e bacias de plástico. A utilização do aço inox e do plástico era para evitar possíveis contaminações das amostras. A primeira perfuração era para checar as características do solo reconhecido e estimar a profundidade pela mudança de cor. Procedia-se uma nova perfuração para a coleta do horizonte B, depois da limpeza do trado, se coletava o horizonte A em local próximo e

limpo. Eram coletados dois volumes de trado por horizonte compondo amostras de aproximadamente 1,5 dm<sup>3</sup>. O local de coleta foi fotografado para registro da pedogeomorfologia e o local de amostragem georreferenciado com um GPS Garmin GPSMAP<sup>®</sup> 76S. As amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas para o transporte até o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa onde foram preparadas para as análises.

### **1.5.2. Pontos de coleta.**

Foram percorridos mais de 20 mil quilômetros somados pelas diferentes campanhas executadas e georreferenciados 312 pontos de coleta (Figura 1), perfazendo um total de 590 amostras de solos. Neste sentido, foi possível amostrar todas as Mesoregiões do Estado de Minas Gerais. Em razão da área do Estado de Minas Gerais (588.384 km<sup>2</sup>) estima-se, com o número de pontos de coleta, um ponto para cada 1.900 km<sup>2</sup> do território mineiro.



**Figura 1.3 – Visualização dos pontos de coleta georreferenciados de solo efetivados no Estado de Minas Gerais.**

A distribuição dos pontos de coleta em razão das Ordens de solos amostradas encontra-se na tabela 1. A maior parte dos solos coletados pertence à ordem dos Latossolos, seguidos dos Neossolos, Argissolos e Cambissolos. Para a caracterização “outros” foram direcionados aqueles solos com apenas um e/ou dois pontos de coleta, tais como Chernossolos, Luvisolos, Planossolos, bem como as amostras por outras pesquisas.

**Quadro 1.1. Representação da distribuição do total de pontos de coleta dentro das principais Ordens de solos representativas do território mineiro e seu percentual ao total coletado**

<b>Ordem</b>	<b>Total de pontos</b>	<b>%</b>
<b>Latossolos</b>	154	49,5
<b>Neossolos</b>	41	13,2
<b>Argissolos</b>	38	12,2
<b>Cambissolos</b>	30	9,6
<b>Nitossolos</b>	14	4,6
<b>Gleissolos</b>	8	2,6
<b>Outros</b>	26	8,3
<b>Total</b>	<b>311</b>	<b>100,0</b>

### **1.5.3. Preparação das amostras para análise.**

As amostras foram expostas em local sombreado até a perda de umidade. Em seguida, foram destorroadas e passadas em peneira de polipropileno com malha de dois milímetros para compor a terra fina seca ao ar (TFSA). Evitou a passagem das amostras em peneira de metal para evitar possíveis contaminações. As amostras peneiradas foram armazenadas em potes plásticos e identificadas para compor um banco de amostras de solos georreferenciadas do Estado de Minas Gerais. Sub-amostras de aproximadamente 100 g de TSFA foram submetidas ao laboratório de rotina para a obtenção dos resultados físico-químicos dos solos. Sub-amostras de aproximadamente 50 g foram pulverizadas em almofariz de ágata para compor as amostras de laboratório utilizadas na obtenção dos teores de metais pesados. Devido ao cuidado com possíveis contaminações da sub-amostra, estas não foram passadas em peneira após a pulverização. As sub-amostras foram armazenadas em pequenos sacos plásticos, identificadas e reservadas para os procedimentos.

#### **1.5.4. Análises de rotina.**

As análises químicas e físicas de forma geral seguiram as recomendações EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados argila dispersa em água, granulometria, P, K, Na,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, micronutrientes, acidez potencial (H + Al), pH em água, pH em KCl e CaCl 1:2,5 e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e as saturações de bases (V) e por Al (m).

#### **1.5.5. Métodos analíticos.**

Os teores dos metais pesados foram obtidos por digestão pelo (i) método da água régia (McGrath & Ounliffe, 1985) e com ácido concentrado em forno de micro-ondas, Milestone Ethos Pró com controle de temperatura e pressão, conforme o (ii) método EPA 3051a (USEPA, 1998) e o (iii) método EPA 3052 (USEPA, 1996).

##### **1.5.5.1. Água Régia.**

Para a execução do método da água régia (McGrath & Ounliffe, 1985), sub-amostras de 500 mg, em triplicatas, foram adicionadas em tubos de borosilicato onde foram misturadas com 9 mL de HCl (32 %) e 3 mL de  $\text{HNO}_3$  (65 %) (3:1) concentrados de pureza analítica, deixando em repouso para pré-digestão por 12 h. Após, em bloco digestor, foram submetidas ao aquecimento em três estágios: (i) a 105 °C por uma hora. (ii) elevação da temperatura a 140 °C até secura. (iii) o resíduo foi resuspendido com 12 mL de HCl (20 % v/v) e novamente aquecido em bloco digestor por 20 min a 80 °C. A solução obtida foi transferida para balões e seu volume aferido para 50 mL com água deionizada. Finalmente os extratos foram transferidos para potes de polietileno e armazenados sob refrigeração em geladeira.

### **1.5.5.2. EPA 3051a.**

Na execução do método EPA 3051a (USEPA, 1998), sub-amostras de 100 mg, em triplicatas, foram adicionadas em vasos de TFM Teflon com capacidade de 100 mL juntamente com 9 mL de HNO<sub>3</sub> (65 %) e 3 mL de HCl (32 %) concentrados de pureza analítica e submetidas à irradiação de micro-ondas. O programa utilizado foi de 5,5 min para atingir 180 °C, podendo atingir pressão máxima de 16 atm, e 4,5 min de digestão com temperatura e pressão constantes. Após o resfriamento a temperatura ambiente, em capela, com o auxílio de pissetas, balões volumétricos, filtro rápido e funis de vidro, o extrato obtido pela digestão foi transferido para os balões e aferido para 50 mL com água deionizada. Finalmente os extratos foram transferidos para potes de polietileno e armazenados sob refrigeração em geladeira.

### **1.5.5.3. EPA 3052.**

Na execução do método EPA 3052 (USEPA, 1996), sub-amostras de 100 mg, em triplicatas, foram adicionadas em vasos de TFM Teflon com capacidade de 100 mL juntamente com 9 mL de HNO<sub>3</sub>(65 %) e 3 mL de HF (40 %) concentrados de pureza analítica e submetidas à irradiação de micro-ondas. O programa utilizado foi de 5,5 min para atingir 180 °C, podendo atingir pressão máxima de 16 atm, e 4,5 min de digestão com temperatura e pressão constantes. Após esfriar a temperatura ambiente, com o auxílio de pissetas, tubos e funis de polietileno, o extrato obtido pela digestão foi transferido para os tubos e aferido para 50 mL com água deionizada. Finalmente os extratos foram transferidos para potes de polietileno e armazenados sob refrigeração em geladeira.

O forno de micro-ondas foi checado e calibrado de acordo com as condições do laboratório e conforme orientações do método EPA 3051 (USEPA, 1994). Para a calibração e a verificação da precisão e da exatidão dos métodos se utilizou uma amostra certificada (EnviroMAT contaminated Soil SS-1 SCP SCIENCE) como padrão de referência.

### **1.5.6. Dosagem dos extratos.**

Os extratos foram dosados por espectrofotometria de emissão por plasma (ICP-OES Optima 3300 DV) após a calibração do aparelho com a curva padrão multielementar específica para os metais em questão. Decidiu-se por não utilizar ácido bórico no extrato de leitura obtido pelo método EPA 3052 (USEPA, 1996) para evitar contaminações. Isto foi possível porque o ICP-OES utilizava um nebulizador resistente ao HF. De acordo com Chen & Ma (2001), com a adição do ácido bórico pode criar um efeito matriz que resulta na perda de 20 % da sensibilidade do aparelho na leitura dos elementos Mo, Ni, Pb, Sb, Se e Sn e de 50 a 70 % para os elementos P e S respectivamente. Na confecção da curva de calibração foi adicionado o efeito matriz da amostra com a utilização de branco 2X. Os comprimentos de onda utilizados foram 188,979; 233,527; 214,440; 228,616; 267,716; 324,752; 231,604; 220,353; 213,857; 259,372; 394,401; 259,939 para As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Al e Fe respectivamente. Os resultados obtidos foram organizados numa planilha do Excel para a realização da estatística descritiva.

### **1.5.7. Análises Estatísticas.**

Os resultados foram apresentados e discutidos utilizando procedimentos estatísticos univariados e multivariados. Para os procedimentos univariados foram utilizados a estatística descritiva, o teste de normalidade Komolgorov-Smirnov, a análise de variância (ANOVA) e o teste de *t* de *Student*. Para os procedimentos multivariados foram utilizados a análise das componentes principais, análise de agrupamentos e análise discriminante. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o programa Statistica versão 7.0.

## 1.6. Referências bibliográficas

ABOLLINO, O.; ACETO, M.; MALANDRINO, M.; MENTASTI, E.; SARZANINI, C.; PETRELLA, F. Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. *Chemosphere*, 49: 545-557, 2002.

ABREU, M.F.; ABREU, C.A. & ANDRADE, J.C. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco, níquel, cádmio, cromo e chumbo em ácido nítrico usando métodos de USEPA. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p.151-161.

ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: Vidal-Torrado et al. (ed). *Tópicos de Ciência do Solo*. Vol. IV, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. pg. 391 - 470.

ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L.R.F.; Cooper, M.; Silva, A.P.; Cardoso, E.J. Ed. *Tópicos de ciência do solo*. – Vol. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. pg. 1-42.

ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990.

AMARAL, R.D.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. & FONTES, M.P.F. Avaliação de um resíduo da Indústria de zinco como corretivo da acidez e fertilizante do solo e fonte de metais pesados para plantas. XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Resumos Expandidos v. IV: 2323-2324, 1995.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Metais pesados em solos brasileiros. In: Alvarez, V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. ed. *O solo nos grandes domínios morfodimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. pg. 837 – 853.

BAK, J.; JENSEN, J.; LARSEN, M.M.; PRITZL, G.; SCOTT-FORDSMAND. A heavy metal monitoring-programme in Denmark. *Sci. Total Environ.*, 207: 179-186, 1997.

BORGES JUNIOR, M.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFFER, C.E.G.R.; DUSSIN, T.M.; ABRAHÃO, W.A.P. Valores de referência local e avaliação da contaminação por zinco em solos adjacentes a áreas mineradas no município de Vazante-MG. R. Bras. Ci, Solo, 32: 2653-2659, 2008.

CAIRES, S.M. Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 63 p. (Tese de mestrado)

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. Pesq. Agropec. Bras. V.36,n.12, p.1443-1452, 2001.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. DOROTHY C.P.CASARINI et al., São Paulo: CETESB, 2001. 73p. (Série Relatórios Ambientais).

CHANG, A.C.; GRANATO, T.C. & PAGE, ALL. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel, and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludge. Journal of Environmental Quality, 21: 521-536. 1992.

CHANG, A.C.; WARNEKE, J.E.; PAGE, A.L.; LUND, L.J. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. J. Environ. Qual., 13: 87-91, 1984.

CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIANO, D.C. Background concentrations of elements in soils of China. Water Air Soil Poll., 57,5: 699-712, 1991.

CHEN, J.S.; DENG, B.S.; PAN, M.; WANG, X.J.; ZENG, S.Q.; HE, QUN. Geographical tendencies of trace element contents in soils derived from Granite, Basalt and Limestone of eastern China. Pedosphere, 3: 45-55, 1993.

CHEN, T. B.; WONG, J. W. C.; ZHOU, H. Y.; WONG, M. H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. Environ. Pol. 96: 61-68, 1997.

CHEN, M.; MA, L.Q.; HARRIS, W.G. Baseline concentrations of 15 elements in Florida surface soils. J. Environ. Qua., 28: 1173-1181, 1999.

CHEN, M; MA, L.Q. Comparasion of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. Soil. Sci. Soc. Am. J., 65: 491-499, 2001.

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E.J. Fundamentos de Química do Solo. 2ª ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 239 – 282.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE 16ª Reunião do Grupo de Trabalho que Estabelece Diretrizes e Procedimentos para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas Processo n o 2 000.000917/2006-33. Gerenciamento de áreas contaminadas. Proposta de resolução. Versão limpa. 2008. 19 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 2003. Disponível em: <[www.codemig.com.br/site/content/parcerias/levantamento\\_aerofisico.esp?id=308idsuprj=48](http://www.codemig.com.br/site/content/parcerias/levantamento_aerofisico.esp?id=308idsuprj=48)>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

CRAVO, M.S; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. R. Bras. Ci. Solo, 22: 547-553, 1998.

DAVIES, B.E; WIXSON, A.J Use of factor analysis to differentiate pollutants from other trace metals in surface soils of the mineralized area of Madson County, Missouri, USA. Water Air Soil Poll., 33: 339-348, 1987.

DAVIS, R.D.; CARLTON-SMITH, C.H.; STARK, J.H.; CAMPBELL, J.A. Distribution of metals in grassland soils following surface applications of sewage sludge. Environ. Pollut., 49: 99-115, 1988.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A.V.; LOURES, E.G. & ALVAREZ V., V.H. Eficiência agronômica de um resíduo de indústria siderúrgica. R. Bras. Ci. Solo, 16: 127-131, 1992.

DIAS, LE; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FROES, F. Poder de neutralização de quatro resíduos industriais da Açominas SA. em três Latossolos de Minas Gerais. Seminário de Reciclagem de Rejeitos da Indústria Mineiro-metalúrgica, Ouro preto, 1992.

ELLIOTT, H.A.; LIBERATI, M.R.; HUANG, C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. J. Environ. Qual., 15: 214-217, 1986.

ELLS, B.G. & KNEZEK, B.D. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: DINAUER, R.C. (ed.) *Micronutrients in Agriculture, SSA*, Madison, 1977. 566 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, (1).

EYSINK, G.G.J. & MORAES, R.P. Subsídios para manejo e recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados por metais pesados. In: DIAS, LE & MELLO, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. 251p.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MANZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Rev. Bras. Eng. Agri. Amb.*, 10: n.3, 699–705, 2006.

FELLEMBERG, G. *Introdução aos problemas de poluição ambiental*. São Paulo, 196p. 1980.

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 55(4): 1143-1149, 1991.

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. *Geoderma*, 72: 37-52, 1996.

FONTES, M.P.F.; MATOS, A.T.; NEVES, J.C.L. Competitive adsorption of Zn, Cd, Cu and Pb in three highly weathered Brazilian soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, Athens, 31:2939-2958, 2000.

FONTES, M.P.F, CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. *Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados*. Scientia Agrícola. 2001.

FONTES, M.P.F.; GOMES, P.C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metal by the mineral matrix of tropical soils. *Appl. Geochem.*, 18: 795-804, 2003.

GOMES, P.C.; FONTES, M.P.F.; MENDONÇA, E.S.; NETO R, A. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. *Sci. Soc. Am. J.*, Madison, WI, V.65, n.4, p.1115-1121, 2001.

- GREENLAND, D.J.; C.J.B. MOTT. Surfaces of soil clay particles. In: GREENLAND, D.J.; M.H.B. HAYES (eds.) The Chemistry of Soil Constituents. Wiley-Interscience, New York. 1978.
- GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q. & CAMPOS, M.L. Elementos traços em solos, sedimentos e águas. In: V SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS- Água e Biodiversidade. Resumos. Belo Horizonte, 18 a 22 de novembro de 2002.
- HARTER, R. D., NAIDU, R. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. *Adv. Agron.*, 55:220-263, 1995.
- HE, T.H.; TRAINA, S.J.; LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 21: 318-329, 1992.
- HECKMAN, J.R.; ANGLE, J.S. & CHANEY, R.L. Residual effects of sewage sludge on soybean: I. Accumulation of heavy metals. *Journal of Environmental Quality*, 16:113-117, 1987.
- HOLMGREN, G.S.; MEYER, M.W.; CHANEY, R.L.; DANIELS, R.B. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.*, 22: 335-348, 1993.
- HORCKMANS, L.; SWENNEN, R.; DECKERS, J.; MAQUIL, R. Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. *Catena*, 59: 279-304, 2005.
- HSU, P.H. Aluminum oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. *Minerals in Soil Environments*. 2 ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1989, p. 331-378.
- JACKSON, A.P. ; ALLOWAY, B.J. The bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludge. *Plant and Soil*, 132: 179-186. 1991.
- JARDIM, W.F. Metais pesados, um dano irreparável. *Rev. Bras. Tecnol.*, 14(2): 41-45, 1983.
- KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants – 3ª ed.* Boca Raton, Florida: CRC Press, 2001. 315p.
- KABATA-PENDIAS, A. Soil-Plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 122: 143-149, 2004.

- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U., Goethite and hematite in a climate-sequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29: 27-39. 1983.
- KING, L.D.; HAJAR, L.M. The residual effect of sewage sludge on heavy metal content of tobacco and peanut. *Journal of Environmental Quality*, 19: 738-748. 1990.
- KING, L.D. Soil heavy metals. In: Alvarez, V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. ed. *O solo nos grandes domínios morfodimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. pg. 823 – 836.
- KUO, S.; JELLUM, E.J.; BAKER, A.S. Effects of soil type, liming and sludge application on zinc and cadmium availability to Swiss chard. *Soil Sci.*, 139: 122-130, 1985.
- LANGENBACH, T.; SERPA, M. Teor de cádmio nos fertilizantes fosfatados brasileiro. *R Bras. Ci. Solo*, Campinas, 9:179-181, 1985.
- LARCHER, W. A planta sobre estresse. In: Larcher, W. trad. Prado, C.H.B.A.; Franco, A.C.; *Ecofisiologia Vegetal –São Carlos: RIMA, 2000. pg. 341 – 478*.
- LIMA, C.E.P. Produção de mapas de vulnerabilidade de solos e aquíferos à contaminação por metais pesados para o Estado de Minas Gerais. Viçosa – MG, 2007. 93p. (Dissertação de mestrado).
- LOMBI, E.; ZHAO, F.J.; DUNHAM, S.J. & McGRATH, S.P. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils: natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *J. Environ. Qual.*, 30: 1919-1926, 2001.
- MA, L.Q.; TAN, F.; HARRIS, W.G. Concentration and distributions of eleven metals in Florida soils. *J. Environ. Qual.*, 26: 769-775, 1997.
- MADRID, L., DIAZ-BARRIENTOS, E. Influence of carbonate on the reaction of heavy metals in soils. *J. Soil Sci.*, 43:709-721, 1992.
- MARQUES, A.F.S.M.; QUADROS, A.C.; FLORES, C.A.; CARDOSO, I.D.; LEMOS, R.C.; GOUVEIA, E.A.B.; SANTOS, M.M.; FERNADES FILHO, E.I.; MAROTTA, G.S.; PORTES, R.C.; FRANÇA, M.M.; VIANA, E.M.; MOREIRA, G.F.; SOUSA, D.V. *Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, 2007*.

- MARTINEZ-LLADÓ, X.; VILÀ, M.; MARTÍ, V.; ROVIRA, M.; DOMÈNECH, J.A.; PABLO, J. trace element distribution in topsoils in Catalonia: Background and reference values and relationship with regional geology. *Environ. Engineer. Sci.*, 25: 863-878, 2008.
- MARTÍNEZ, J.; LLAMAS, J.; MIGUEL, E.; REY, J.; HIDALGO, M.C. Determination of the geochemical background in a metal mining site: example of the mining district of Linares (South Spain). *J. Geochem. Explo.*, 94: 19-29, 2007.
- MATTHEWS, P.J. Control of metal application rates from sewage sludge utilization in agriculture. *CRC Crit. Rev. Envir. Control*, 14(3): 199-250, 1984.
- McBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press. 1994.
- McGRATH, SP. Long-term studies of metal transfers following application of sewage sludge. In: *Pollutant transport and fate in ecosystems*. Special Publication number 6 of The British Ecological Society. P.J. COUGHTREY; M.H. MARTINS & M.H. UNSWORTH (eds.) Blackwell Scientific Publications. Oxford. p. 301-317. 1987.
- McGRATH, SP.; CUNLIFE, C.H. A simplified method for extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. *J.Sci. Food Agric.* 36, 794 – 798, 1985.
- McGRATH, SP.; ZHAO, F.J. Ambient background metal concentrations for soils in England and Wales. Science Report SC050054, Environment Agency, 2006.
- McKENZIE, R.M. Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. *Minerals in soil environment*. 2. ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1989. p. 439-466.
- MOREIRA-NODERMANN, LM. A Geoquímica e o meio ambiente. *Geochimica Brasiliensis*, v.1, n.1, p.89-107, 1987.
- MULLIGAN, C.N.; YONG, R.N. & GIBBS, B.F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Eng. Geol.*, 60: 193-207, 2001.
- MUNSELL COLOR. *Munsell soil color charts*. New Windsor, 2000. Revised edition.
- MURZAEVA, S.V. Effect of heavy metals on wheat seedlings: activation of antioxidant enzymes. *App. Bioch. Microbiol.*, 40: 98-103, 2004.

NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333: 134-139, 1988.

OLIVEIRA, T.S. Metais pesados como indicadores de materiais de origem. Viçosa: UFV, 1996. (Tese Doutorado).

OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; HORN, A. Relationship between magnetization and trace elements of Brazilian soils from different parent materials. *Soil Science*, v. 165, n. 10, p. 825-834, 2000.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURTI, N.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.M. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 279-288, 2001.

RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; SILVA, F.C. Acumulação de metais pesados pelo uso de insumos agrícolas na microbacia de Caetés, Paty do Alferes, RJ. Rio de Janeiro, 1998. 22 p. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de pesquisa; 5).

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. 2ª ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.: il.

SALONEM, V-P; KORKKA-NIEMI, K. Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. *Appli. Geochem.*, 22: 906-918, 2007.

SAUERBECK, D. The environmental significance of the cadmium content in phosphorus fertilizer. *Plant Research and Development*. 19: 24-34, 1984.

SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. *Minerals in soil environment*. 2. ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., p. 379-438, 1989.

SEIFFERT, M.E.B. *Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental*. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2009. 310 p.

SHUMAN, L.M. Separating soil iron and manganese-oxide fractions for microelement analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1099-1102, 1982.

SILVA, A.J. Metais pesados em plantas de milho cultivadas com diferentes fontes e doses de fósforo. Viçosa, UFV, 1994. (Tese de doutorado).

- SILVA, A.J.; COSTA, L.M.; CAMBRAIA, J.; ALVAREZ V.; V.H. & FONTES, M.P.F. Metais pesados em plantas de milho cultivados com diferentes doses de fósforo, formas de localização dos fertilizantes e níveis de calagem. Resumos. XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Vol. II: 1000-1101, 1995.
- SLAVEK, J. & PICKERING, W.F. Metal ion interaction with the hydrous oxides of aluminum. *Water, Air, and Soil Pollution*, 39: 201-216, 1988.
- SPARK, K. M., WELLS, J. D., JOHNSON, B. B. Characterizing trace metal adsorption on kaolinite. *Eur. J. Soil Sci.*, 46:633-640, 1995.
- SPOSTO, G. Surface reactions in natural aqueous colloidal systems. *Chimia*, 43: 169-176, 1989.
- SPOSTO, G. The characterization of particles surface charge. In: BUFFLE, J.; van LEEUVEN, H.P. (eds.). *Environmental Particles*. Lewis Publishers, v.1. 1992. P. 291-314.
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. Micronutrients and toxic metals. In: STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. *Cycles of soil*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. p. 371 – 414.
- STUMM, W. *Chemistry of the solid-water interface: processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems*. John Wiley & Sons, 1992. 428p.
- SU, Y.-Z.; YANG, R. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, north-west China. *J. Geoche. Explor.*, 98: 57-64, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: *Fisiologia Vegetal*. Taiz, L.; Zeiger, E. Trad. Santarém, E.R. [et al.]. 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 95 - 113.
- TURNER A.P.; DICKINSON, N.M. Survival of *Acer pseudoplatanus* L. (sycamore) seedlings on metalliferous soils. *New Phytol.*, 123: 509-521, 1993.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. Method 3051 – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1994. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Method 3052 – Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Background report on fertilizer use, contaminants and regulations. United States Environ. Protec. Agency Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA 747-r-98-003. 395 p., 1999.

ZHAO, Y-F; SHI, X-Z; HUANG, B.; YU, D.S.; WANG, H.J.; SUN, W.X.; ÖBOERN, I.; BLOMBÄCK, K. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based peri-urban area in Wuxi, China. *Pedosphere*, 17: 44-51, 2007.

WEBER, J. Biogeochemical processes and role of heavy metals in the soil environment. *Geoderma*, 122: 105-107, 2004.

WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J. The effect of superphosphate on the cadmium content of soil and plant. *Aust. J. Soil Res.*, 11: 43-56, 1973.

## **CAPITULO 2.**

**COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE DIGESTÃO  
PARA ANÁLISES DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO  
ESTADO DE MINAS GERAIS.**

## 2.1. Introdução

O termo metal pesado é utilizado para tratar de um grupo de elementos químicos responsáveis por causar impactos negativos aos ecossistemas e seres vivos, principalmente os seres humanos. Por definição, os metais pesados são grupo heterogêneo de elementos químicos que englobam alguns metais (densidade = 6 g.cm<sup>-3</sup>), metalóides e não-metais. Alguns são nutrientes essenciais para plantas e animais e outros não possuem nenhuma função biológica. Porém, todos eles, em concentrações acima do normal, comprometem a qualidade dos ecossistemas e causam efeitos tóxicos aos seres vivos. Em geral, eles são elementos persistentes, não-degradáveis, teratogênicos, mutagênicos e carcinogênicos (Davies & Wixson, 1987; Alloway, 1990; Chen et al., 1991; Holmgren et al., 1993; Amaral Sobrinho, 1996; Eysink & Moraes, 1998; Carneiro et al., 2001; Mulligan et al., 2001; Costa et al., 2004; Murzaeva, 2004; Weber, 2004, Caires, 2005), com tendência de acúmulo em solos e sedimentos (Denny & Wilkins, 1987; Turner & Dickinson, 1993; Taiz & Zeiger, 2004, Caires 2005) e potencial de biomagnificação na cadeia alimentar (He, et al., 1992; Amaral Sobrinho, 1996; Cravo et al., 1998; Larcher, 2000; Mulligan et al., 2001; Rezende et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2005; Caires, 2005).

A determinação de metais pesados em solos, águas e sedimentos, comumente envolve algum tipo de extração com ácidos minerais, na forma de uma solução aquosa, e dosagem por espectrofotometria de absorção atômica e/ou espectrofotometria de emissão óptica em plasma induzido, permitindo rápida mensuração de muitos metais de importância agrícola, ambiental e geoquímica (McGrath & Cunliffe, 1985), com alta sensibilidade e adequada exatidão e precisão dos resultados (Vieira et al., 2001).

Normalmente, a solução aquosa é realizada pela mistura de amostras inorgânicas com ácidos diluídos que permitem um bom número dissoluções sem maiores inconvenientes. Independentemente do tipo de digestão, estes procedimentos baseiam-se, essencialmente, na ação de uma fonte ininterrupta de

aquecimento em associação ao poder oxidante de um componente que age diretamente na amostra (Sodré et al., 2004). No entanto, uma infinidade de materiais resistentes, incluindo os metais mais eletronegativos, muitas ligas metálicas, muitos minerais comuns, solos, rochas, argilas, especialmente aluminatos e silicatos, devem ser dissolvidos com ácidos minerais concentrados a quente (Costa et al., 2008) como ácidos sulfúricos, clorídricos, fluorídricos, nítricos e ácidos perclóricos. Entretanto, o ácido sulfúrico não é recomendado para a extração simultânea de diferentes metais, especialmente em amostras ricas de metais alcalinos terrosos, devido à formação de sais de sulfato. Recentemente, o ácido fluorídrico e o perclórico não são recomendados para digestão em laboratórios de rotina. O ácido fluorídrico requer especial atenção no manuseio, pois quando em contato com a pele, pode causar seriíssimas queimaduras (Costa et al., 2008) e danificar os instrumentos analíticos, enquanto que o ácido perclórico possui um perigo imprevisível de explosão face ao seu elevado poder oxidante (Tam & Yau, 1999; Abreu et AL, 1996; Alloway, 1995). Uma melhor opção é o uso do ácido nítrico e/ou sua combinação com ácido clorídrico (USEPA, 1998) ou a mistura de nitricoperclórica, que possivelmente é a prática mais comum de digestão de amostras ambientais em laboratórios de rotina.

A escolha adequada do método de preparo e decomposição de amostras para análises ambientais é uma etapa crítica dentro do processo que visa o diagnóstico ambiental. Os métodos analíticos utilizados e recomendados por agências ambientais internacionais são diferentes entre si. Existe uma tendência de preferência para métodos de determinação dos teores pseudo totais (total recuperável ou digestão parcial) de metais pesados ao invés da digestão total. Um exemplo de digestão pseudo total seria a digestão com água régia, sendo esta muito utilizada para a análise de metais pesados e não possui muitos riscos associados ao seu uso. Segundo Pérez et al., (1997), este é o método padrão para certificação de amostras de solos em países como a Grã-Bretanha e França. O método é simples e seguro para o operador e utiliza bloco digestor em capela para a sua realização (McGrath & Cunliffe, 1985). A mistura de uma parte de HNO<sub>3</sub> concentrado com três partes de HCl concentrado, em volume, compõe a água régia. O ácido nítrico oxida o ácido clorídrico, dando origem a vários produtos de oxidação, como o cloro molecular e o cloreto de nitrosila ( $3 \text{ HCl} + \text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{NOCl} + \text{Cl}_2$ ) (Chen & Ma, 2001). Estes produtos têm alto poder oxidante e são intensamente reativos. Esta propriedade, associada à presença do íon cloreto

(complexante), faz desta uma mistura de dissolução altamente eficiente para os metais pesados (Costa et al., 2008). Também pode ser considerado um método de baixa tecnologia, comparado aos métodos proposto pelo órgão ambiental dos Estados Unidos (USEPA - United States Environmental Protection Agency), podendo ser executado em qualquer laboratório de rotina que tenha adequações para procedimentos de química analítica.

Os métodos USEPA, são considerados aqui, de alta tecnologia por utilizaram radiação de micro-ondas para sua execução. O desenvolvimento da tecnologia de micro-ondas ocorreu principalmente durante a II Guerra Mundial. Os fornos de micro-ondas começaram a ser utilizados para aquecimento de alimentos na década de 50, e a partir dos anos 80, esse tipo de energia passou a ser utilizado em laboratórios de química (Jassie & Kingston, 1988). O uso do forno de micro-ondas em química analítica proporciona uma rápida, segura e eficiente digestão com menor suscetibilidade a perda de metais voláteis (Chen & Ma, 2001). O método EPA 3051a (USEPA, 1998) é uma modificação do método 3051 (USEPA, 1994) pela adição de HCl para melhorar a recuperação de Ag, Al, Fe e Sb (USEPA, 1998; Chen & Ma, 1998). No entanto, são métodos que não atacam a sílica, ficando esta insolúvel no extrato de digestão. Por outro lado, o método EPA 3052 (USEPA, 1996), solubiliza a sílica por usar o HF, propiciando uma solubilização total da amostra. No entanto, em sistemas fechados de digestão, como em micro-ondas, o HF pode se tornar problemático pela formação de fluoretos insolúveis com precipitação (Al, Ca, Fe, Mg) e co-precipitação (Rb, Sr, Y, Cs, Ba, Pb, Th e U) de alguns elementos impedindo a recuperação quantitativa dos mesmos (Yokoyama et al., 1999; Vieira et al., 2005). Mas, solos tropicais, altamente intemperizados, são pobres em reserva mineral, muitas vezes não justificando o uso de métodos que utilizam HF, pois geralmente a fração sílica pouco contribui com os teores totais de metais pesados encontrados nestes solos.

Desta forma, levanta-se a hipótese que, para os solos tropicais do Estado de Minas Gerais, os métodos de digestão de amostras de solos para a extração pseudo total de metais pesados são igualmente eficientes quanto aqueles métodos que preconizam o ataque total para a obtenção dos teores destes elementos. O objetivo deste estudo foi comparar três métodos de digestão para a determinação das concentrações dos metais pesados (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn), além de alumínio e ferro, em 71 amostras de solos coletadas no Estado de Minas Gerais.

## 2.2. Material e métodos

Foram estudadas 71 amostras de solos (TFSA) dos horizontes A e B, em triplicatas, representativas do Estado de Minas Gerais. Todas as amostras foram coletas sob vegetação nativa aparentemente sem vestígios de intervenção antrópica. Para a validação dos métodos, foi utilizada amostra padrão (SS-1 (EnviroMAT™ SCP SCIENCE®) (Quadro 2. 1) com valores certificados. Os métodos utilizados foram à água régia (McGrath & Cunliffe, 1985), EPA 3051a (USEPA 1998) e EPA3052 (USEPA 1996). O forno de micro-ondas utilizado neste estudo foi um Milestone Ethos-Pró. As digestões foram realizadas no Laboratório de Mineralogia do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Os extratos analíticos foram dosados por espectrofotometria de emissão óptica em plasma (ICP – OES Otima 3.300 DV) equipado com nebulizador resistente ao HF. Para a calibração do ICP – OES, foram preparadas soluções de referência multielementar utilizando água ultra-pura. Através das curvas de calibração obteve-se os limites de detecção do aparelho (Quadro 2. 1). Os resultados foram aplicados a análise de variância (ANOVA) ( $F < 0,01$ ) e as médias comparadas pelo teste de *t* de Student ( $p < 0,01$ ) utilizando o programa Statística versão 7.0.

**Quadro 2. 1: Resultados da garantia de qualidade e limites de detecção para os métodos utilizados para a determinação da concentração de metais pesados nos solos**

	V.C. <sup>1</sup>	Água Régia	EPA 3051a	EPA 3052	L.D. <sup>2</sup>
	..... mg kg <sup>-1</sup> .....				
<b>As</b>	17 ± 4	27,87 ± 1,39	16,98 ± 3,72	18,03 ± 0,98	0,000
<b>Ba</b>	401 ± 45	105,37 ± 5,12	151,35 ± 15,59	333,05 ± 15,83	0,003
<b>Cd</b>	35 ± 3	34,19 ± 1,24	34,28 ± 1,85	31,43 ± 3,38	0,003
<b>Co</b>	32 ± 2	240,09 ± 11,63	32,97 ± 2,41	32,79 ± 1,82	0,001
<b>Cr</b>	110 ± 13	73,47 ± 4,45	99,07 ± 4,7	105,62 ± 13,30	0,007
<b>Cu</b>	720 ± 29	565,28 ± 66,36	1.097 ± 200,1	1.426,30 ± 75,48	0,020
<b>Ni</b>	263 ± 24	231,65 ± 11,42	242,61 ± 4,96	224,95 ± 27,73	0,014
<b>Pb</b>	279 ± 26	359,28 ± 11,77	243 ± 24,93	239,18 ± 37,30	0,030
<b>Zn</b>	7.290 ± 477	6.068,36 ± 204,72	7.345,58 ± 136,79	6.803,88 ± 726,24	0,007

<sup>1</sup>V.C.: Valores certificados para métodos de digestão total; <sup>2</sup>L.D.: Limite de detecção

### **2.3. Resultados e Discussão**

A ANOVA mostrou diferença significativa ( $F < 0,01$ ) entre os métodos para a recuperação dos metais Al, As, Cd, e Pb. Os teores dos metais Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn não tiveram diferenças estatísticas entre as médias ( $p < 0,01$ ) para os métodos (Quadro 2. 2), sustentando, em parte, a hipótese de que para solos altamente intemperizados, os métodos de extração pseudo totais também são adequados para a determinação dos teores naturais da maioria dos metais pesados.

**Quadro 2. 2. Teores de metais obtidos na comparação dos métodos Água Régia, EPA 3051a e EPA3052 usando 71 amostras de solos do Estado de Minas Gerais**

		<sup>1</sup> Media	<sup>2</sup> ±I.C.	n	<sup>3</sup> S <sup>2</sup>	<sup>1</sup> Mínimo	<sup>1</sup> Máximo	<sup>4</sup> Q25	<sup>1</sup> Mediana	<sup>5</sup> Q75
Al*	AR	75,53a	16,95	71	3,05 x10 <sup>9</sup>	7,53	240,71	26,54	57,63	113,08
	3051a	87,96a	20,03	71	4,41 x10 <sup>9</sup>	7,51	305,38	44,01	66,35	115,00
	3052	44,62b	4,81	71	0,23 x10 <sup>9</sup>	8,59	81,68	34,65	43,07	51,67
As	AR	8,33b <sup>6</sup>	2,36	71	58,6	< L.D. <sup>6</sup>	24,87	0,00	8,71	13,57
	3051a	16,0a	5,84	71	363,2	< L.D.	97,71	0,00	10,07	27,66
	3052	7,51b	3,59	71	132,7	< L.D.	48,46	0,00	0,00	10,94
Ba	AR	67,68a	21,37	71	4.831,6	0,83	335,20	21,16	45,16	88,00
	3051a	120,15a	42,43	71	19.318,2	2,08	752,06	23,66	73,00	171,43
	3052	85,28a	40,37	71	16.746,9	< L.D.	679,19	4,56	31,11	100,02
Cd	AR	2,38a	0,66	71	4,6	< L.D.	5,34	0,19	1,27	4,64
	3051a	0,75b	0,22	71	0,5	< L.D.	3,31	0,27	0,58	1,01
	3052	0,38b	0,2	71	0,3	< L.D.	2,75	0,00	0,07	0,50
Co	AR	8,63a	2,62	71	72,7	< L.D.	35,82	3,41	5,87	11,24
	3051a	10,15a	3,31	71	117,7	< L.D.	41,54	2,05	5,87	17,50
	3052	11,01a	3,17	71	103,6	< L.D.	41,84	2,79	8,02	16,00
Cr	AR	131,90a	142,47	71	214.721,0	1,05	3041,66	22,63	37,36	86,08
	3051a	131,09a	136,47	71	199.817,9	1,76	3019,06	19,46	43,16	86,59
	3052	140,06a	137,53	71	194.357,5	< L.D.	2803,10	21,47	50,49	100,30
Cu	AR	12,04a	11,62	71	1.430,3	< L.D.	187,97	0,00	0,00	4,51
	3051a	23,20a	15,82	71	2.686,3	< L.D.	220,32	0,00	4,44	13,22
	3052	25,58a	15,38	71	2.432,4	< L.D.	239,26	6,38	13,08	22,33
Fe*	AR	57,32a	15,87	71	2,66 x10 <sup>9</sup>	3,78	211,36	24,19	41,34	73,05
	3051a	66,44a	20,71	71	4,61 x10 <sup>9</sup>	3,52	278,99	20,20	42,47	83,07
	3052	72,36a	19,01	71	3,72 x10 <sup>9</sup>	3,64	280,23	31,50	54,35	101,46
Mn	AR	222,10a	116,86	71	144.453,2	< L.D.	1531,56	0,00	36,82	244,20
	3051a	319,51a	102,42	71	112.553,5	7,31	1359,03	87,71	166,31	446,91
	3052	306,33a	103,94	71	111.035,5	< L.D.	1259,63	79,98	176,51	438,24
Ni	AR	31,46a	21,9	71	5.070,8	0,72	463,33	8,72	17,27	25,72
	3051a	26,06a	19,94	71	4.264,0	< L.D.	417,96	5,00	10,13	23,04
	3052	51,40a	57,11	71	33.510,9	< L.D.	1167,52	9,02	13,76	31,63
Pb	AR	72,38a	25,32	71	6.784,8	< L.D.	187,03	0,00	7,09	167,91
	3051a	10,12b	3,25	71	11,7	< L.D.	63,28	0,00	9,12	15,80
	3052	14,93b	4,75	71	231,9	< L.D.	79,98	0,00	12,49	24,05
Zn	AR	38,75a	15,63	71	2.581,6	< L.D.	210,82	0,0	0,00	65,37
	3051a	26,54a	12,96	71	1.800,3	< L.D.	198,08	0,0	16,34	31,04
	3052	36,64a	13,67	71	1.921,0	< L.D.	199,77	6,81	24,02	49,26

<sup>1</sup>Dados apresentados em \*g kg<sup>-1</sup> para Al e Fe e em mg kg<sup>-1</sup> para os outros elementos. <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>S<sup>2</sup>: variância da média. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 % <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento em função dos métodos de extração, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste de médias *t* de Student. <sup>6</sup>L.D.: limite de detecção.

### 2.3.1. Água Régia.

Tomando-se como base os valores certificados do padrão, o método da água régia (AR) obteve valores semelhantes para quase todos os elementos, salvo Ba. A recuperação dos metais As e Pb que ficou bem acima dos valores certificados (Quadro 2. 1). Em geral, foram observadas boas recuperações (> 90 %) de Cd e Ni e recuperações da ordem de 70 % para Cu e Cr (> 70 %). Esta menor recuperação de Cu e Cr pode estar associada ao momento de ebulição da solução aquosa no decorrer do procedimento onde as borbulhas escapam dos tubos de borosilicato. Tal comportamento também observado por Nieuwenhuize et al. (1991) que criticaram este método por favorecer a perda de material no decorrer da digestão. Para os solos analisados com este método se obteve os maiores teores de Cd e Pb (Quadro 2. 2). Krug & Junior (2008) destacaram o elemento Pb como contaminante comum em atmosfera de laboratórios não adequados aos procedimentos analíticos. Neste sentido, tais resultados obtidos pelo método AR para este metal pesado são observados com precaução. Os resultados analíticos dos solos analisados pelo método da água régia são apresentados no Quadro 2. 3 (ANEXOS). Todos os métodos analíticos apresentaram problemas de subestimação dos teores de metais recuperados. A subestimação aqui referida é para quando a amostra analisada pelo método apresenta teores do elemento abaixo do limite de detecção (L.D.), enquanto se obteve resultados acima do LD. pelo outros dois métodos utilizados comparados entre si. Este problema provavelmente está relacionado com o tipo do método (bloco digestor, micro-ondas) e a variação da fonte de energia durante a digestão, ou mesmo na leitura do extrato. No Quadro 2. 3 podemos observar problemas de subestimação para os elementos As, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn, porém, para os elementos As e Cd, este método foi o que apresentou o maior número de leitura com apenas (amostras 3; 34 e 71 (4,2 % do total) e amostra 59 (1,4 % do total para As e Cd respectivamente) (Quadro 2. 3). Os elementos mais problemáticos de subestimação foram Cu (amostras nº 15; 16; 19; 20; 21; 22; 28; 29; 30; 31; 33; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 42 e 57, representando 26,7 % do total); Mn (amostras nº 1; 2; 5; 6; 11; 12; 15; 17; 19; 18; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 31; 32; 37; 38; 41; 42; 47 e 50 representando 38,0 % do total); Pb (amostras nº 8; 14; 29; 30; 33; 39; 40; 43; 45; 46; 57; 59; 60; 61 representando 19,7 % do total) e Zn (amostras nº

9; 10; 33; 36; 39; 40; 43; 44; 45; 46; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 61; 62; 70 e 71 representando 32,4 % do total) (Quadro 2. 3).

#### **2.3.1.1. Cádmio.**

O método da água régia foi mais eficiente na recuperação dos teores de Cd. Aproximadamente 46 % das amostras apresentaram concentrações  $> 3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Quadro 2. 3). Somente as amostras 36; 53; 54; 63; 64; 65 e 66 tiveram teores semelhantes ao método 3051a, sendo a amostra 64, a representante do teor máximo encontrado com este método (Quadro 2. 4). Numa comparação semelhante com o método 3052 também se observa teores semelhante de Cd nas amostras 63; 64; 65 e 66, sendo a amostra 63, a representante do valor máximo obtido por este método (Quadro 2. 5). Faz-se necessário chamar a atenção para a diferença existente entre o método da água régia o método EPA 3051a, pois se esperava que ambos os métodos apresentassem teores semelhantes, visto serem estes extratores pseudo totais de metais pesados. No entanto, os teores de Cd obtidos com o método da água régia são observados com reserva devido à similaridade dos teores observado nas 33 amostras que apresentaram os teores mais elevados. Outro aspecto que chama a atenção é o fato encontrado em literatura referente a este elemento também ser considerado um contaminante laboratorial (Krug & Junior, 2008).

#### **2.3.1.2. Chumbo.**

O método da água régia extraiu os maiores teores de Pb. Aproximadamente 42 % das observações possuíram teores  $> 150 \text{ mg kg}^{-1}$  (Quadro 2. 3). É possível perceber que as amostras que apresentaram os teores mais elevados de Pb (1; 2; 6; 11; 12; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 31; 32; 37; 38; 41; 42; 47; 48; 49 e 50) são as mesmas que apresentaram os teores mais elevados de Cd fortalecendo a hipótese de contaminação laboratorial (Quadro 2. 4). Não se encontrou teores próximos de Pb observados no método da água régia nos outros métodos.

### **2.3.2. EPA 3051a.**

O método EPA 3051a, salvo para o elemento Ba, apresentou boas recuperações (> 90 %) (Quadro 2. 1). No entanto, mesmo a recuperação de Ba do solo padrão não sendo satisfatória, este foi o método que melhor recuperou este elemento nos solos analisados (Quadro 2. 2). Isto se justifica porque os valores certificados são indicados para o ataque total e ambos os métodos, AR e 3051a, são considerados de ataque pseudo total na extração de metais. Portanto, os valores certificados para estes métodos tornam-se subjetivos, servindo apenas para comparações. O melhor método de recuperação ( $p < 0,01$ ) para o arsênio foi o EPA 3051a (Quadro 2. 2) corroborando com os resultados de Chen & Ma (1998) que compararam vários métodos USEPA, entre eles o 3051a, usando solos certificados e 40 amostras de solos do Estado da Florida – USA. Também houve uma tendência deste método recuperar melhor o Al (Quadro 2. 2). Neste método, os metais pesados subestimados foram As, Cu, Pb e Zn (Quadro 2. 4). Esta subestimação se refere àquelas amostras na qual se obteve valores para os metais supracitados com os métodos de AR (Quadro 2. 3) e EPA 3052 (Quadro 2. 5), confirmando a presença no solo analisado, porém, obtendo resultados abaixo do L.D. pelo este método EPA 3051a. Esta condição foi observada em 12 amostras do total (16,9 %) para o elemento As (amostras n° 2; 7; 9; 13; 25; 26; 27; 28; 37; 40; 41; 43), duas amostras (2,8 %) do elemento Cu (amostras n° 1 e 2); 14 amostras (19,7 %) do elemento Pb (amostras n° 1-3; 5; 6; 15; 16; 18; 21; 23; 24; 41) e quatro amostras (5,6 %) do elemento Zn (amostras n°22-25).

#### **2.3.2.1. Arsênio.**

O método EPA 3051a extraiu os maiores teores de As. Isto foi possível devido a menores perdas por volatilização proporcionada pelo método, visto que a digestão da amostras é realizada em sistema fechado. Aproximadamente 36 % das observações possuíram teores > 20 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 2. 4), o que propiciou uma maior média de recuperação quando comparado aos outros métodos (Quadro 2. 2).

### 2.3.3. EPA 3052.

O método EPA 3052 também teve boas recuperações para As, Co, Cr, Ni, Pb e Zn e recuperações razoáveis para Ba e Cd (> 80 %) (Quadro 2. 2). Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por Chen e Ma (2001) que concluíram haver maior acurácia dos métodos realizados em fornos de micro-ondas em contraste com aqueles em bloco digestor. A maior vantagem do forno de micro-ondas é a sua capacidade de fragmentar materiais sólidos em frações mais finas devido à alta pressão. Estas “novas” frações ficam sujeitas ao ataque ácido favorecendo a dessorção e dissolução de metais fortemente ligados a matriz do solo. Apesar de este método ser indicado para a dissolução total da amostra, foi o que apresentou a maior variedade de elementos envolvidos em subestimação. Neste caso Vieira et al. (2005), concluem que a formação de fluoretos com os analitos, devido a não volatilização do F, promove precipitação e co-precipitação de metais promovendo sua subestimação nos extratos. Aqui se observou subestimação dos elementos As (amostras nº 5; 20; 22; 35; 38; 51; 56; 57; 58; 60; 63; 64; 65;.66; 67 e 68, representando 22,5 % do total); Ba (amostras nº 16; 21; 22; 29; 30; 33; 34; 48; 49; 50; 51; 52; 70 e 71, representando 19,7 % do total); Cd (amostras nº 8; 10; 25; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 37; 38; 39; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52 e 68 representando 32,4 % do total); Co (amostras nº 8; 10; 12; 14; 16; 18 e 44, representando 9,8 % do total); Cr (amostras nº 8; 14; 16; 18; 44; 47 e 50, representando 9,8 % do total); Mn (amostras nº 8; 14 e 44, representando 4,2 % do total); Ni (amostras 8; 10; 12; 14 e 44, representando 7,0 % do total); Pb (10; 12; 44; 52; 63; 64; 65; e 66, representando 11,3 % do total) e Zn (amostras nº 18; 28; 42 e 60, representando 5,6 % do total) (Quadro 2. 5).

De forma geral, os dados aqui encontrados, para os solos do Estado de Minas Gerais, estão sugerindo que os métodos são similares entre si, para a obtenção dos teores naturais dos metais Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn e Fe, corroborando com os resultados encontrados em outros estudos (Chen & Ma, 2001; Sastre et al., 2002) que compararam métodos de água régia e de forno de micro-ondas na digestão de amostras ambientais. Porém, no quesito de acurácia pela análise do padrão certificado a sequência EPA 3052 > EPA 3051a > AR, foi observada. Mas, apesar da menor

contaminação e perda de material proporcionada pelas análises em fornos de micro-ondas, Pavlícková et al. (2003) defendem o uso do método da água régia, visto a sua praticidade. Tal condição deve ser considerada porque fornos de micro-ondas são aparelhos alto custo e dependendo das condições, inacessíveis a centros de pesquisas em fase de crescimento. Neste sentido, o método da água régia pode ser uma alternativa promissora para pesquisas de determinação de linhas de base de metais pesados nos diferentes compartimentos ambientais e no monitoramento destes. Outro quesito a ser evidenciado é que, se tratando de fornos de micro-ondas, a opção pelo método EPA 3051a, principalmente nas análises de solos tropicais altamente intemperizados, tem uma importância maior devido à precaução quanto à segurança do analista e a preservação dos instrumentos analíticos, visto que este método exclui o uso do ácido fluorídrico.

## **2.4. Conclusões.**

1. Não houve diferenças estatísticas entre os métodos na obtenção dos teores naturais dos metais Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, e Zn, para as amostras de solos do Estado de Minas Gerais, confirmando a hipótese de que para solos altamente intemperizados desse Estado, em pesquisas exploratória na obtenção dos teores de base (*background*) dos teores de metais pesados em solos, os métodos de extração pseudo totais são uma escolha acertada.
2. O método EPA 3051a foi o melhor na determinação dos teores naturais de As.
3. O método EPA 3051a foi considerado mais adequado para o uso em forno de micro-ondas.
4. O método da água régia recuperou maiores teores de Cd e Pb.
5. O método da água régia foi considerado o melhor para o uso em laboratórios que não dispõe de fornos de micro-ondas.
6. O método EPA 3052 teve maior acurácia na análise do solo certificado.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Fapemig pelo apoio financeiro ao projeto.

## 2.5. Referências Bibliográficas

- ABREU, M.F.; BERTON, R.S.; ANDRADE, J.C. Comparison of methods to evaluate heavy metals in organic wastes. *Commun Soil Sci. Pl. Anal* 27: 1125-1135, 1996.
- ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: Vidal-Torrado et al. (ed). *Tópicos de Ciência do Solo*. Vol IV, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. pg. 391 - 470.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Metais pesados em solos brasileiros. In: Alvarez, V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. ed. *O solo nos grandes domínios morfodimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG: SBCS, UFV, DPS, 1996. pg. 837 – 853.
- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990.
- CAIRES, S.M. Comportamento de mudas de espécies florestais nativas na fitorremediação de solo contaminado com zinco e cobre. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 63 p. (Tese de mestrado)
- CARNEIRO, M.A.C.; SQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesq. Agropec. Bras.* 36: 1443-1452, 2001.
- CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIANO, D.C. Background concentrations of elements in soils of China. *Water Air Soil Poll.*, 57: 699-712, 1991.
- CHEN, M.; MA, L.Q. Comparison of four USEPA digestion methods for trace metal analysis using certified and Florida soils. *J. Environ. Qual.* 27, n°6, 1294 – 1300, 1998.
- CHEN, M.; MA, L.Q. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:491–499, 2001.
- COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E.J. *Fundamentos de Química do Solo*. 2ª ed. Porto Alegre: Gêneses, 2004. p. 239 – 282.
- COSTA, A.C.S.; KRUG, F.J.; OLIVEIRA, E.; NÓBREGA, J.A.; MATIAS, T.B. Decomposição e solubilização de sólidos inorgânicos. In: KRUG, F.J. Ed. *Métodos de preparo de amostras; fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar*. 1.ed. Piracicaba, 2008, pg. 140-168.

CRAVO, M.S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22: 547-553, 1998.

DAVIES, B.E.; WIXSON, A.J. Use of factor analysis to differentiate pollutants from other trace metals in surface soils of the mineralized area of Madson County, Missouri, USA. *Water Air Soil Poll.*, 33: 339-348, 1987.

DENNY, H.J.; WILKINS, D.A. Zinc tolerance in *Betula* ssp.: I Effect of external concentration of zinc on growth and uptake. *New Phytol.*, 106: 517-524, 1987.

EYSINK, G.G.J. & MORAES, R.P. Subsídios para manejo e recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados por metais pesados. In: DIAS, LE & MELO, JW.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. 251p.

HE, T.H.; TRAINA, S.J.; LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 21: 318-329, 1992.

HOLMGREN, G.S.; MEYER, M.W.; CHANEY, R.L.; DANIELS, R.B. Cadmium, lead, zinc, cooper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.*, 22: 335-348, 1993.

JASSE, L.B.; KINGSTON, H.M. Introduction to microwave acid decomposition. In: Kingston, H.M.; Jassie, L.B. ed. *Introduction to Microwave Sample Preparation: theory and practice*. ACS: Washington, 1988. pg. 1-6.

KRUG, F.J.; JUNIOR, D.S. Erros sistemáticos no preparo de amostras. In: KRUG, F.J. Ed. *Métodos de preparo de amostras; fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar*. 1.ed. Piracicaba, 2008, pg.13-58.

LARCHER, W. A planta sobre estresse. In: Larcher, W. trad. Prado, C.H.B.A.; Franco, A.C.; *Ecofisiologia Vegetal –São Carlos: RIMA, 2000. pg. 341 – 478*.

McGRATH, S.P.; CUNLIFE, C.H. A simplified method for extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. *J.Sci. Food Agric.* 36, 794 – 798, 1985.

MULLIGAN, C.N.; YONG, R.N. & GIBBS, B.F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Eng. Geol.*, 60: 193-207, 2001.

MURZAEVA, S.V. Effect of heavy metals on wheat seedlings: activation of antioxidant enzymes. *App. Bioch. Microbiol.*, 40: 98-103, 2004.

NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C.H.; van den AKKER, A.H.; van DELF, W. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals

in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. *Analyst*, 116: 347-351, 1991.

PAVLÍČKOVÁ, J.; ZBÍRAL, J.; CIŽMÁROVÁ, E.; KUBÁN, V. Comparison of aqua regia and  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  procedures for extraction of Tl and some other elements from soils. *Anal. Bio. Anal. Chem.*, 376: 118–125, 2003.

PÉREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C.; MENEGUELLI, N.A.; MOREIRA, J.C.; VAITSMAN, D.S. Geoquímica de alguns solos brasileiros. *Pesq. And. CNPS*, 4: 1-14, 1997.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. 2a ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.: il.

SODRÉ, F.F.; PERALTA-ZAMORA, P.G.; GRASSI, M.T. Digestão fotoquímica, assistida por microondas, de águas naturais: aplicação em estudos de partição e especiação do cobre. *Quim. Nova*, Vol. 27, No. 5, 695-700, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Nutrição mineral*. In: *Fisiologia Vegetal*. Taiz, L.; Zeiger, E. Trad. Santarém, E.R. [et al.]. 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 95 - 113.

TAM, N.F.Y.; YAO, M.W.Y. Three Digestion Methods to Determine Concentrations of Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Cr, Mn, and Fe in Mangrove Sediments from Sai Keng, Chek Keng, and Sha Tau Kok, Hong Kong. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62:708-716, 1999.

TURNER A.P.; DICKINSON, N.M. Survival of *Acer pseudoplatanus* L (sycamore) seedlings on metalliferous soils. *New Phytol.*, 123: 509-521, 1993.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051 – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3052 – Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

VIBRA, E.C.; KAMOGAWA, M.Y. LEMOS, S.G.; NÓBREGA, J.A.; NOGUEIRA, A.R.A. Decomposição de amostras de solos assistida por radiação microondas: estratégia para evitar a formação de fluoretos insolúveis. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:547-553, 2005.

YOKOYAMA, T.; MAKISHIMA, A.; NAKAMURA, E. Evaluation of the coprecipitation of incompatible trace elements with fluoride during silicate rock dissolution by acid digestion. *Chem. Geol.*, 157:175-187, 1999.

WEBER, J. Biogeochemical processes and role of heavy metals in the soil environment. *Geoderma*, 122: 105-107, 2004.

## **CAPITULO 3.**

### **TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

### 3.1. Introdução

O Estado de Minas Gerais, localizado na Região Sudeste do Brasil, possui uma importância na economia brasileira, principalmente devido a sua rica base de recursos naturais. Como o quarto Estado brasileiro em extensão territorial (588.383,60 km<sup>2</sup>), possui uma equivalência a 6,9 % do território nacional e 63 % da região Sudeste, correspondendo à extensão da França e Bélgica e praticamente se igualando à da Península Ibérica (Espanha e Portugal) (Carneiro e Fontes, 2005). Diante do contexto internacional, Minas Gerais vem se igualando a países da União Européia e da América do Norte quanto à preocupação de uso de seus recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável nos usos dos seus recursos naturais, dentre eles, o solo.

A preocupação quanto da preservação da qualidade de seus solos, diante da contaminação com metais pesados, fez com que se desse importância à determinação dos teores naturais para a preposição dos valores de referência de qualidade. Os metais pesados são constituintes naturais de rochas e solos, nos quais normalmente ocorrem em baixas concentrações, não representando riscos para o homem, animais e plantas (Costa et al., 2004). Estes elementos ocorrem como constituintes de minerais primários e são incorporados na estrutura cristalina destes minerais por substituição isomórfica durante a sua cristalização (Alloway, 1990). Após serem liberados das rochas pelos processos intempéricos, em razão de possuírem eletronegatividades, raios iônicos e estados de oxidação distintos, os metais pesados podem ser: precipitados ou co-precipitados com os minerais secundários, adsorvidos nas superfícies dos minerais secundários (argilas ou óxidos de Fe, Al e Mn) ou da matéria orgânica presente no solo ou, ainda, complexados e lixiviados pela solução do solo (Alleoni et al., 2005). No entanto, atividades relacionadas à sociedade moderna adicionam ao ambiente, materiais que contêm esses elementos, podendo alterar as concentrações naturais e prejudicar a funcionalidade do solo. Os solos atuam frequentemente como um filtro, tendo a capacidade de depuração e imobilização de grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, esta capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da sua qualidade, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e a disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (Moreira-Noderman, 1987; CETESB, 2001).

A contaminação do solo com metais pesados tem chamado a atenção nos últimos anos, devido ao aumento de registros de áreas contaminadas na literatura científica. Estas colocam em risco a sustentabilidade do uso do solo por serem esses elementos persistentes, acumulativos e maléficos aos seres vivos. Neste sentido, valores de qualidade de metais pesados em solos são utilizados como referência no monitoramento dos mesmos diante das atividades com potencial de contaminação (Kabata Pendias & Pendias, 2000). Um solo pode ser considerado limpo quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Esta concentração é denominada como valor de referência de qualidade.

Lima (2007) trabalhou com solos do Estado de Minas Gerais objetivando avaliar a vulnerabilidade destes à contaminação com metais pesados. Os dados utilizados pelo autor foram os registros de 329 perfis com informações referentes às variáveis determinantes do índice de vulnerabilidade. Essas variáveis foram (1) profundidade dos solos, (2) teor de argila, (3) CTC, (4) pH, (5) carbono orgânico, (6) teor de óxidos de ferro, e (7) teor de óxidos de alumínio. A interação destas informações permitiram a produção de um mapa de vulnerabilidade dos solos do Estado de Minas Gerais à contaminação com metais pesados em escala 1:8.000.000. Este mapa mostrou que os solos de alta e média vulnerabilidade à contaminação com 23 e 59 % do território mineiro, respectivamente, totalizando mais de 80 % de todo o Estado. Áreas prioritárias ao monitoramento, principalmente quanto à adição de resíduos antropogênicos.

A tendência mundial sugere a adoção de listas orientadoras com valores de referência de qualidade, de alerta e de intervenção, como uma primeira etapa nas ações de monitoramento da qualidade, prevenção à poluição e diagnóstico de áreas suspeitas de contaminação. Como exemplo, na Holanda, nas últimas décadas, esforços consideráveis têm sido despendidos no desenvolvimento de política ambiental para a proteção de solo e água subterrânea. Como resultado, este país foi o primeiro a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e estabelecimento de níveis de intervenção, considerando para o solo sua multifuncionalidade, ou seja, as funções de agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável, etc. (CETESB, 2001). Após, vários países tais como da Comunidade Européia, Áustria, Polônia,

Alemanha, U.K., Estados Unidos (Kabata Pendias & Pendias, 2000), Inglaterra (McGrath & Zhao, 2006) seguiram seu exemplo. Aqui no Brasil, a companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) foi a precursora neste tipo de pesquisa (CETESB, 2001) e Fadigas et al. (2006) propuseram os valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. Mas existe uma exigência do CONAMA de que cada Estado venha produzir seus próprios valores de referência devido a peculiaridade regionais de solos e de matéria orgânica.

Sendo assim, levanta-se a hipótese que, para os solos do Estado de Minas Gerais, devido a sua heterogeneidade, as diferentes classes solos variam entre si quanto a sua composição natural de metais pesados em função dos diferentes materiais litológicos na qual os originam, possuindo a necessidade de determinação dos valores de referência de qualidade específica para cada classe de solo em razão do seu material de origem.

O objetivo deste estudo foi determinar os teores naturais de metais pesados (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn) para as diferentes classes de solos representativos do Estado de Minas Gerais oriundos de diferentes materiais litológicos.

### 3.2. Material e métodos

A amostragem foi realizada em solos representativos do Estado de Minas Gerais. Todas as amostras foram coletadas em superfície e sub-superfície sob vegetação nativa com trado tipo caneco de aço inox, armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas.

As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de plástico de malha de 2 mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas e físicas de forma geral seguiram as recomendações EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados argila dispersa em água, granulometria, P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>, acidez potencial (H + Al), pH em água, pH em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC (t)), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC (T)) e o índice de saturações por bases (V) e por Al (m). Sub-amostras, em triplicatas, foram pulverizadas em almofariz de ágata para a determinação de metais pesados com o método EPA 3051<sup>a</sup> (USEPA, 1998) em forno de micro-ondas. Para a calibração do método utilizaram-se amostras do padrão (SS-1 (EnviroMAT SCP Science®) com valores certificados. Os extratos analíticos foram dosados por espectrofotometria de emissão óptica em plasma (ICP – OES Otima 3.300 DV). Para a calibração do ICP – OES, foram preparadas soluções de referência multielementar utilizando água ultra-pura.

A matriz de correlação de Pearson, a análise de componentes principais (ACP), análise discriminante (FD), o teste de normalidade Komolgorov-Smirnov, a análise variância (ANOVA) e o teste *t* de *Student* foram utilizados para discutir os resultados encontrados em função das variáveis analisadas com o uso do programa Statistica versão 7.0.

### 3.3. Resultados e discussão

A seguir, são apresentados os resultados analíticos de rotina (Quadro 3. 3. 1, ANEXOS) e os resultados analíticos dos teores de alumínio, ferro e metais pesados (Quadro 3. 3. 2, ANEXOS) dos Argissolos, Cambissolos e Latossolos, originados de diferentes litologias, do Estado de Minas Gerais.

As concentrações de todos os elementos (Al, Fe e metais pesados) variaram de maneira considerável entre as diferentes classes de solo. Nos Argissolos os maiores desvios em relação à média foram observados nos elementos As e Mn enquanto Al, Cd, Cu e Fe apresentaram os menores desvios (Figura 3.1).

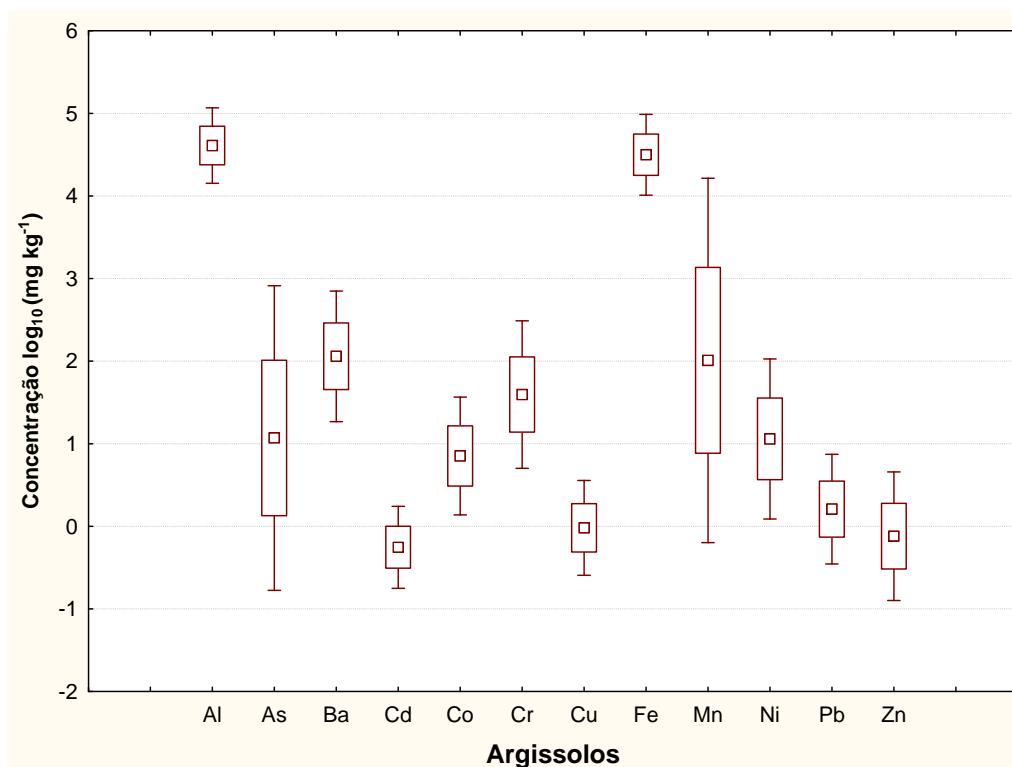


Figura 3.1. Gráficos box plots das concentrações de metais pesados e elementos maiores em Argissolos (n = 70) transformados em  $\log_{10}$ . Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

Nos Cambissolos se observam desvios mais homogêneos em relação à média para os elementos Al e Fe e uma leve semelhança entre os outros elementos, com maiores os desvios (Figura 3.2).

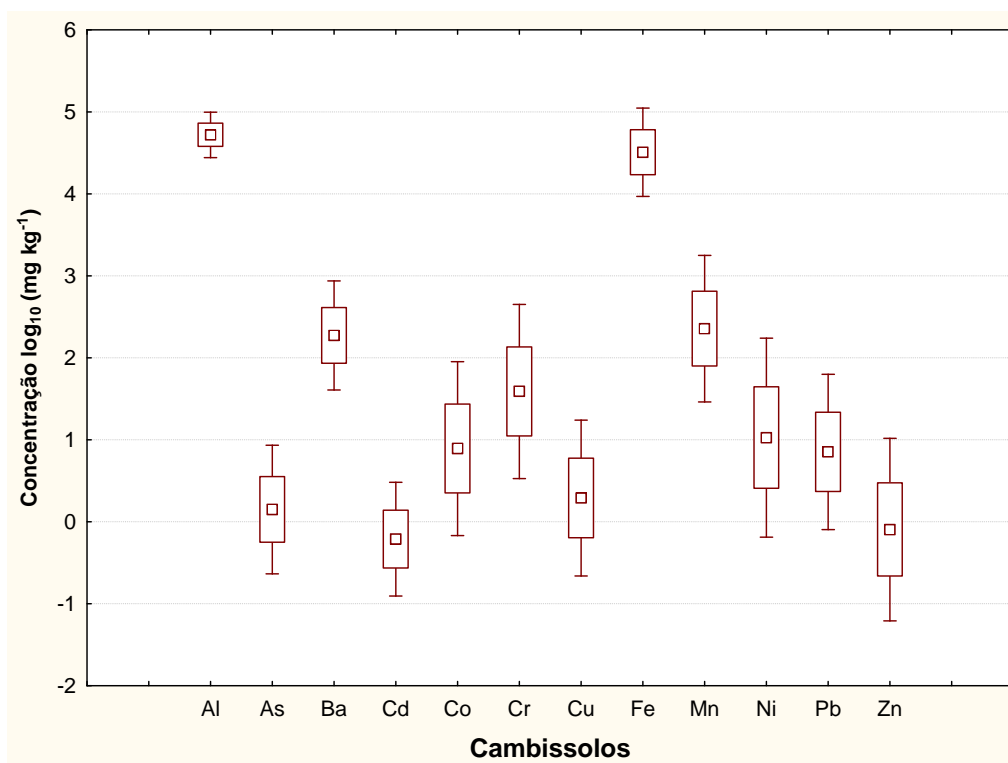


Figura 3.2. Gráficos box plots das concentrações de metais pesados e elementos maiores em Cambissolos (n = 26) transformados em log<sub>10</sub>. Simbologia (□ = média; □ = média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

Os Latossolos apresentam semelhança para os desvios dos elementos Al, Cr, Fe, Mn e Ni e maiores desvios para os elementos Cd, Co e Zn (Figura 3.3).

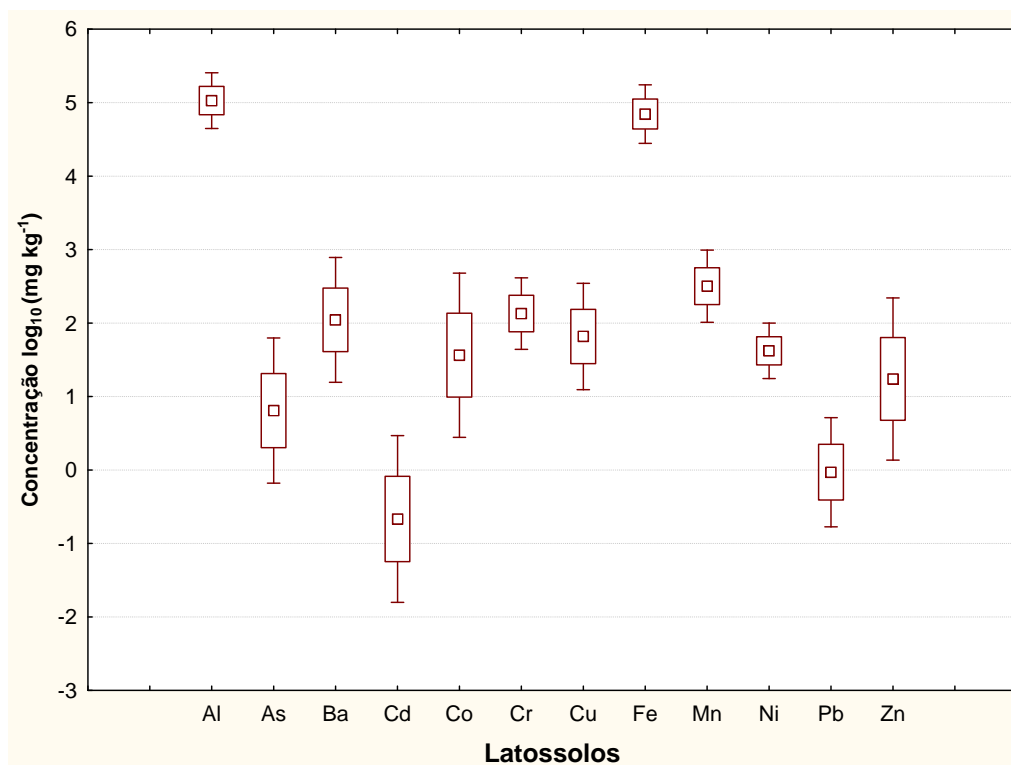


Figura 3.3. Gráficos box plots das concentrações de metais pesados e elementos maiores em Latossolos (n = 95) transformados em log<sub>10</sub>. Simbologia ( □ = média; □ = média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 3.3.1. Correlação de Pearson

#### 3.3.1.2. Argissolos.

Em Argissolos, o Al teve correlação significativa ( $p < 0,01$ ) com a fração areia fina (AF), fração argila (ARG) e a variável argila dispersa em água (ADA). Os elementos Cd e Fe tiveram correlações com a fração argila. O elemento Fe também apresentou correlação com o P-Rem (Quadro 3.3).

**Quadro 3.3. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, de Al, Fe e metais pesados e atributos de Argissolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
ADA	0,38	0,47	0,35	0,25	0,26	-0,27	-0,07	0,22	0,18	0,05	0,19	0,21
AG	-0,03	-0,23	-0,07	-0,17	-0,18	-0,19	-0,15	-0,27	-0,07	-0,27	0,27	0,07
AF	<b>-0,70</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,49</b>	-0,12	0,24	-0,05	<b>-0,53</b>	-0,09	-0,09	<b>-0,41</b>	-0,16
SI	0,00	0,37	0,29	0,14	0,39	-0,08	-0,02	0,17	0,22	0,26	0,10	0,36
ARG	<b>0,81</b>	0,31	0,23	<b>0,61</b>	0,01	-0,03	0,21	<b>0,73</b>	0,01	0,16	0,13	-0,15
pH (H <sub>2</sub> O)	-0,12	0,43	0,47	0,04	0,19	-0,02	-0,10	-0,08	0,35	-0,03	-0,25	0,17
pH (KCl)	-0,07	0,39	0,36	-0,02	0,04	-0,13	-0,09	-0,08	0,24	-0,13	-0,25	0,13
Al <sup>3+</sup>	0,09	-0,10	-0,24	-0,05	-0,17	0,15	-0,02	0,11	-0,22	0,05	0,07	-0,16
H + AL	0,17	-0,09	-0,27	0,17	-0,16	0,04	0,09	0,25	-0,14	-0,02	0,31	-0,05
SB	-0,29	0,30	0,41	-0,05	0,32	0,38	-0,13	-0,10	0,53	0,20	-0,24	0,18
CTC t	-0,29	0,30	0,39	-0,06	0,31	0,43	-0,14	-0,08	0,53	0,22	-0,24	0,16
CTC T	-0,24	0,28	0,32	0,04	0,28	0,44	-0,10	0,02	0,52	0,22	-0,11	0,18
V	-0,28	0,28	0,41	-0,14	0,28	0,07	-0,17	-0,25	0,40	0,03	-0,27	0,23
m	0,27	-0,15	-0,27	0,15	-0,22	0,13	0,08	0,30	-0,29	0,11	0,06	-0,25
ISNa	0,27	0,02	0,22	0,15	-0,11	-0,17	-0,06	0,26	-0,13	-0,17	-0,03	-0,04
MO	-0,11	0,30	0,08	-0,01	0,02	-0,04	-0,04	-0,04	0,20	-0,03	0,15	0,33
P-Rem	<b>-0,70</b>	-0,09	-0,14	<b>-0,47</b>	0,19	-0,12	-0,28	<b>-0,62</b>	0,18	-0,07	-0,07	0,39

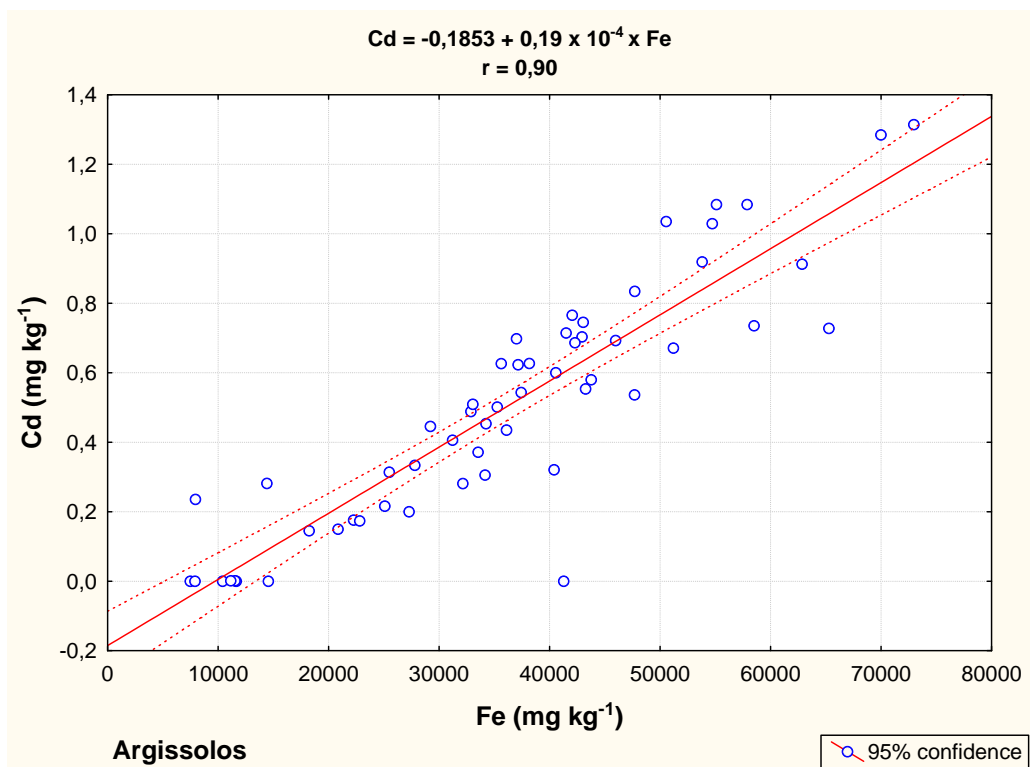
Lito: Litologia; ADA: argila dispersa em água; AG: areia grossa; AF: areia fina; SI: silte; ARG: argila; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H + Al: acidez potencial; CTC t: complexo de troca catiônica efetiva; CTC T: complexo de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica do solo; P-Rem: fósforo remanescente.

Nos Argissolos, entre os metais pesados, ocorreram correlações significativas ( $p < 0,01$ ) entre Al e Fe, As e Ba, Cd e Fe. O elemento Co teve correlação com Ni, Zn e Mn. Também se observou correlação entre Cr e Ni (Quadro 3.4).

**Quadro 3.4. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, entre Al, Fe e metais pesados em Argissolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Al	1,00											
As	0,17	1,00										
Ba	0,16	<b>0,82</b>	1,00									
Cd	<b>0,54</b>	0,14	0,28	1,00								
Co	0,04	0,11	0,34	0,33	1,00							
Cr	-0,11	-0,14	-0,00	0,36	0,33	1,00						
Cu	-0,06	-0,17	-0,20	0,11	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>	1,00					
Fe	<b>0,61</b>	0,12	0,29	<b>0,90</b>	0,33	<b>0,38</b>	0,17	1,00				
Mn	0,10	0,30	<b>0,40</b>	0,30	<b>0,64</b>	0,34	<b>0,34</b>	0,28	1,00			
Ni	0,10	0,01	0,15	<b>0,51</b>	<b>0,73</b>	<b>0,71</b>	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	<b>0,48</b>	1,00		
Pb	0,33	0,00	-0,16	-0,08	-0,19	<b>-0,39</b>	0,01	-0,06	0,02	-0,22	1,00	
Zn	-0,12	0,15	0,16	0,00	<b>0,61</b>	-0,12	0,37	-0,02	<b>0,48</b>	0,28	0,11	1,00

No entanto, a melhor correlação foi observada entre os elementos Fe e Cd corroborando os dados de Oliveira et al. (2000) que encontraram o Cd fortemente associado ao Fe em solos brasileiros (Figura 3.4).



**Figura 3.4. Relação entre ferro e cádmio em Argissolos do Estado de Minas Gerais.**

### 3.3.1.2. Cambissolos.

Os elementos Al, Ba, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn foram os que tiveram correlações significativas ( $p < 0,01$ ) com os principais atributos dos Cambissolos (Quadro 3. 5).

**Quadro 3.5. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, de Al, Fe e metais pesados com alguns atributos de Cambissolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Lito	-0,26	0,15	-0,57	-0,31	-0,18	0,06	-0,04	-0,29	-0,28	0,03	-0,17	0,19
ADA	0,30	-0,09	0,30	0,20	0,18	-0,16	0,08	0,19	0,15	-0,10	0,45	-0,21
AG	-0,28	0,05	-0,40	-0,44	-0,28	-0,06	-0,12	-0,48	-0,31	-0,18	0,19	0,16
AF	-0,53	-0,09	-0,32	-0,35	-0,15	-0,03	-0,15	-0,31	-0,14	-0,04	-0,37	0,38
SI	-0,07	0,14	0,40	0,35	0,35	0,15	0,14	0,32	0,43	0,22	0,22	-0,06
ARG	0,83	-0,13	0,19	0,31	-0,01	-0,09	0,08	0,35	-0,10	-0,05	-0,12	-0,42
pH (H <sub>2</sub> O)	-0,39	0,13	0,31	0,10	0,11	0,10	0,03	-0,01	0,30	0,12	0,30	0,10
pH (KCl)	-0,22	0,10	0,22	0,09	0,02	0,03	-0,00	0,01	0,23	0,04	0,20	0,07
Al <sup>3+</sup>	0,44	-0,15	-0,03	0,09	-0,06	-0,09	-0,02	0,16	-0,30	-0,07	-0,24	-0,33
H + AL	0,18	-0,22	0,00	0,11	0,02	-0,14	-0,06	0,16	0,09	-0,06	-0,13	0,15
SB	-0,44	-0,10	0,53	0,14	0,13	-0,07	-0,14	0,00	0,50	0,04	0,25	0,25
CTC t	-0,34	-0,16	0,59	0,20	0,12	-0,11	-0,16	0,06	0,47	0,02	0,20	0,17
CTC T	-0,34	-0,20	0,52	0,19	0,13	-0,14	-0,16	0,08	0,53	0,01	0,19	0,31
V	-0,48	-0,09	0,41	0,03	0,15	-0,11	-0,15	-0,07	0,42	-0,01	0,29	0,28
m	0,57	-0,17	-0,16	-0,06	-0,20	-0,14	-0,09	0,03	-0,43	-0,20	-0,34	-0,35
ISNa	-0,17	-0,09	0,24	-0,00	-0,05	-0,07	0,06	-0,04	-0,03	-0,07	0,27	0,07
MO	-0,08	-0,07	0,30	0,13	-0,01	-0,08	-0,04	0,04	0,25	-0,04	0,04	0,25
P-Rem	-0,69	0,01	0,17	-0,28	0,01	-0,11	-0,13	-0,39	0,18	-0,11	0,38	0,43

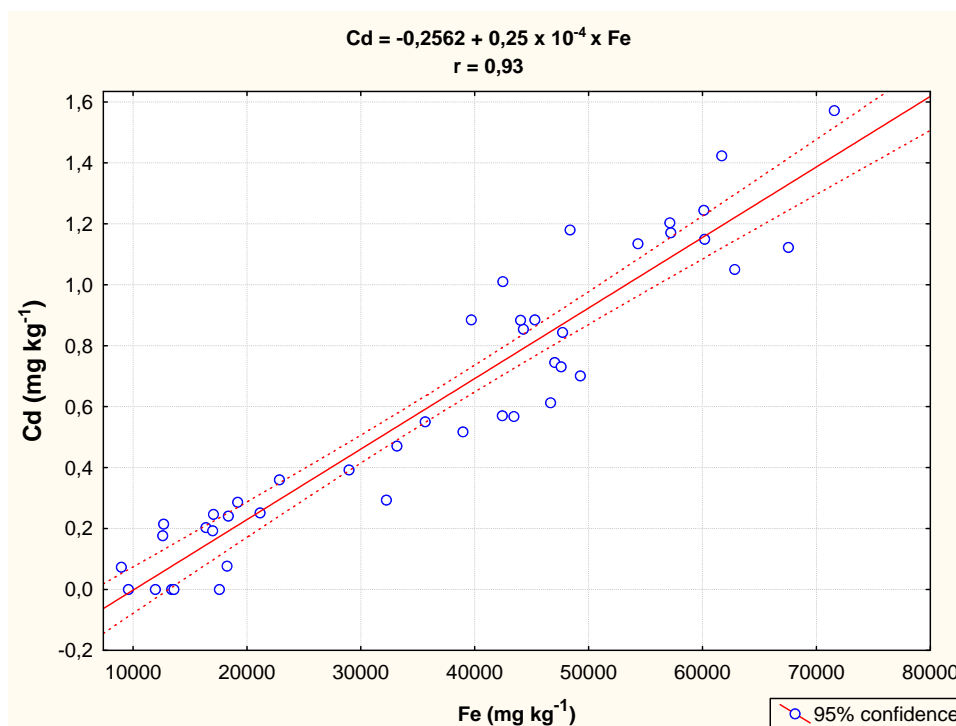
Lito: Litologia; ADA: argila dispersa em água; AG: areia grossa; AF: areia fina; SI: silte; ARG: argila; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H + AL: acidez potencial; CTC t: complexo de troca catiônica efetiva; CTC T: complexo de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica do solo; P-Rem: fósforo remanescente.

Nos Cambissolos, ocorreram correlações de As com Cd e Fe e de As com Cr e Ni. O elemento Cd teve correlações com Ni, Cr e Mn. O elemento Fe também teve correlação com Ni (Quadro 3.6).

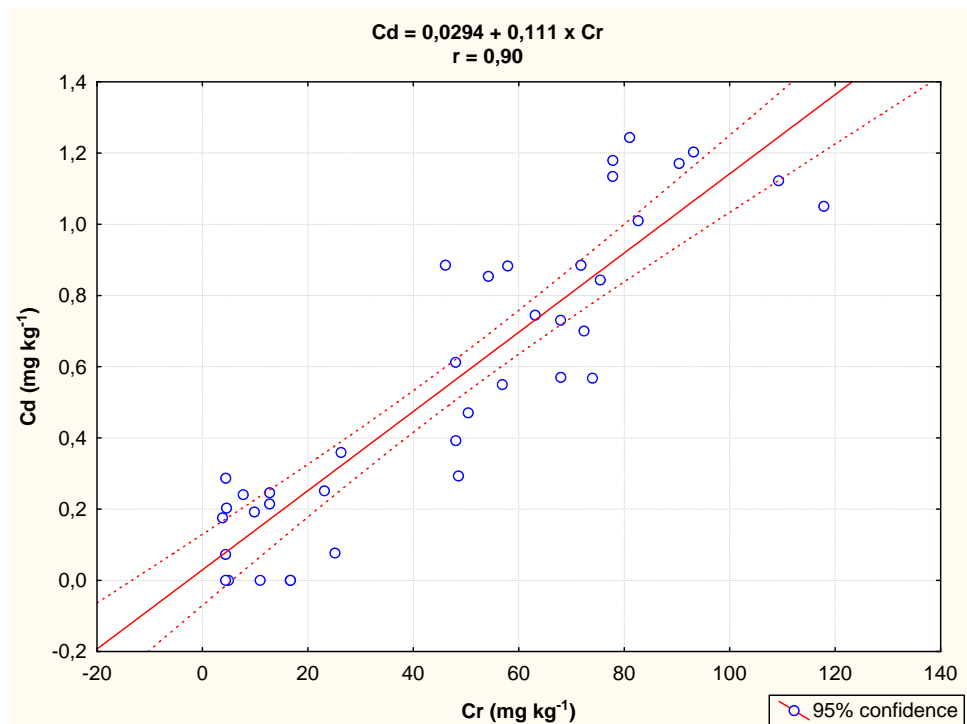
**Quadro 3.6. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, entre Al, Fe e metais pesados em Cambissolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Al	1,00											
As	0,12	1,00										
Ba	0,00	0,22	1,00									
Cd	0,15	0,22	0,54	1,00								
Co	-0,24	0,01	0,03	0,03	1,00							
Cr	0,13	0,12	0,21	0,90	-0,01	1,00						
Cu	0,20	0,32	0,35	0,46	0,11	0,25	1,00					
Fe	0,33	0,26	0,32	0,93	0,03	0,03	0,46	1,00				
Mn	-0,28	0,22	0,54	0,63	0,00	0,49	0,36	0,47	1,00			
Ni	0,02	0,07	0,21	0,82	-0,14	0,80	0,15	0,76	0,62	1,00		
Pb	-0,13	0,33	0,28	-0,04	0,19	-0,18	0,22	-0,14	0,20	-0,11	1,00	
Zn	-0,32	-0,01	0,33	0,25	-0,16	-0,01	-0,01	-0,02	0,48	0,10	0,06	1,00

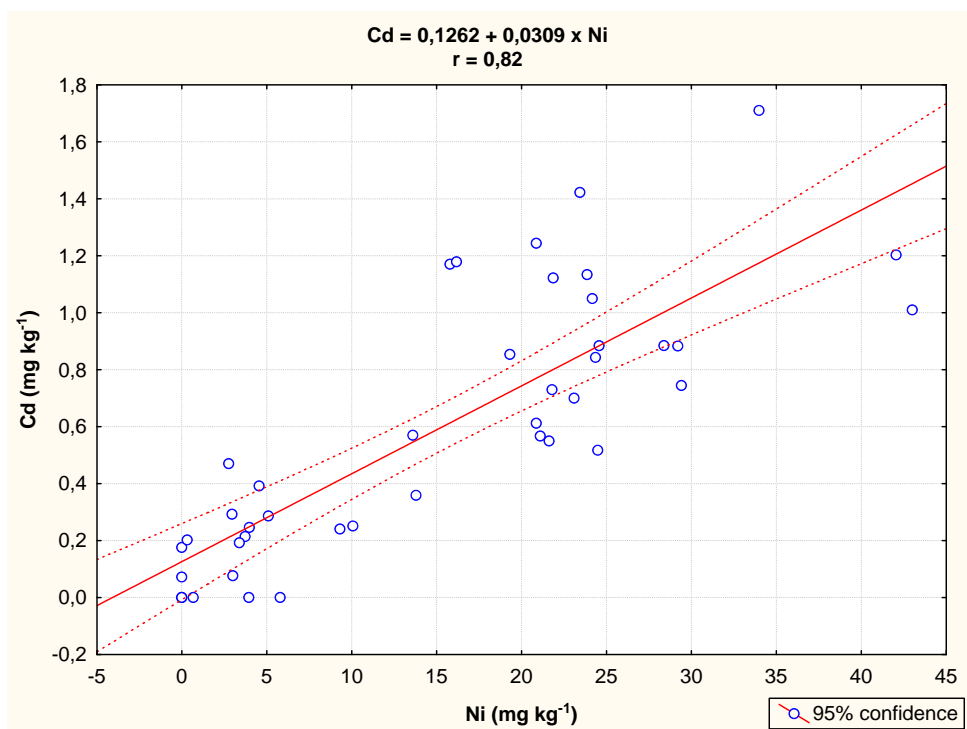
As melhores correlações foram encontradas entre Cd e Fe (Figura 3.5), entre Cd e Cr (Figura 3.6) e entre Cd e Ni (Figura 3.7).



**Figura 3.5. Correlação entre cádmio e ferro em Cambissolos do Estado de Minas Gerais.**



**Figura 3.6. Correlação entre cádmio e cromo em Cambissolos do Estado de Minas Gerais.**



**Figura 3.7. Correlação entre cádmio e níquel em Cambissolos do Estado de Minas Gerais.**

### 3.3.1.3. Latossolos.

O elemento Al apresentou correlação significativa com a fração argila e com P-Rem enquanto que os elementos Cu, Mn e Zn tiveram correlações significativas ( $p < 0,01$ ) com os principais atributos dos Latossolos (Quadro 3.7).

**Quadro 3.7. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realizados, de Al, Fe e metais pesados com alguns atributos de Latossolos representativos do Estado de Minas Gerais**

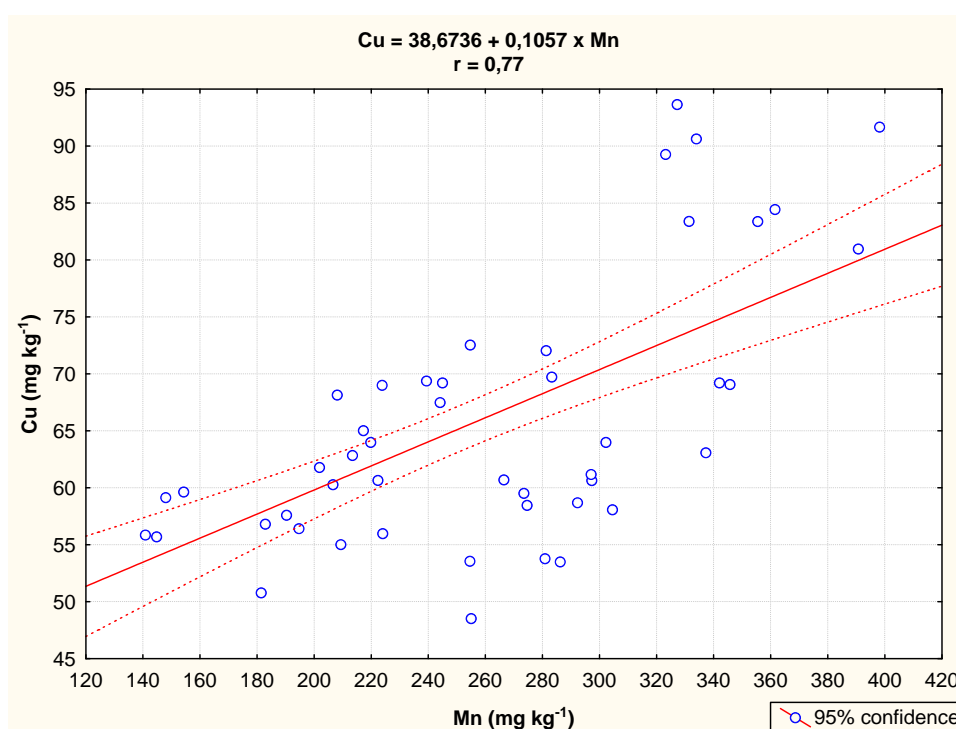
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Lito	-0,07	-0,14	0,12	-0,01	-0,28	-0,23	-0,23	-0,27	-0,29	-0,21	-0,13	-0,26
ADA	-0,04	-0,05	-0,12	0,01	-0,13	-0,15	-0,20	-0,08	-0,09	-0,12	0,05	-0,18
AG	-0,52	-0,28	-0,04	0,01	-0,04	0,11	-0,37	-0,21	-0,22	-0,24	-0,07	-0,24
AF	-0,53	-0,21	-0,03	0,13	0,17	-0,17	-0,11	-0,07	-0,04	-0,27	0,07	-0,06
SI	0,14	0,14	0,09	0,24	0,21	-0,21	0,41	0,27	0,36	0,13	0,21	0,46
ARG	0,61	0,23	-0,00	-0,22	-0,21	0,18	0,07	0,03	-0,03	0,26	-0,13	-0,06
pH (H <sub>2</sub> O)	0,11	0,03	-0,04	0,26	0,12	0,06	0,44	0,17	0,39	0,16	0,15	0,31
pH (KCl)	0,34	0,14	-0,04	0,26	0,09	0,21	0,41	0,19	0,34	0,09	0,09	0,29
Al <sup>3+</sup>	-0,12	0,08	0,30	-0,17	-0,12	-0,12	-0,23	-0,12	-0,27	0,13	-0,02	-0,14
H + AL	0,06	0,12	0,13	-0,21	-0,04	0,05	-0,11	-0,01	-0,03	0,11	-0,06	-0,08
SB	-0,02	0,03	0,13	0,09	0,10	-0,13	0,33	0,13	0,50	0,12	0,11	0,29
CTC t	-0,04	0,05	0,19	0,07	0,09	-0,16	0,29	0,11	0,46	0,15	0,11	0,28
CTC T	0,02	0,11	0,18	-0,08	0,05	-0,06	0,16	0,09	0,34	0,16	0,04	0,16
V	0,04	0,12	0,03	0,19	0,18	-0,13	0,37	0,20	0,44	0,03	0,23	0,37
m	-0,24	0,01	0,29	-0,20	-0,12	-0,06	-0,28	-0,16	-0,32	0,07	-0,09	-0,13
ISNa	-0,03	-0,11	-0,04	-0,08	-0,03	-0,14	0,24	0,01	0,16	0,20	-0,04	0,08
MO	-0,07	0,03	0,06	-0,07	-0,04	0,01	0,02	-0,07	0,03	0,00	-0,06	0,02
P-Rem	-0,62	-0,28	-0,00	-0,04	0,01	-0,24	-0,22	-0,20	-0,07	-0,29	0,01	-0,06

Lito: Litologia; ADA: argila dispersa em água; AG: areia grossa; AF: areia fina; SI: silte; ARG: argila; Al<sup>3+</sup>: alumínio trocável; H + AL: acidez potencial; CTCt: complexo de troca catiônica efetiva; CTC T: complexo de troca catiônica a pH 7,0; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio; ISNa: índice de saturação de sódio; MO: matéria orgânica do solo; P-Rem: fósforo remanescente.

Nos Latossolos, ocorreram consideráveis correlações entre Cu e Mn (Figura 3.8), Cd e Co, Cd e Fe, Co e Mn, Co e Zn, Fe e Mn, Fe e Zn e Mn e Ni (Quadro 3.8), sugerindo que Os metais pesados menos móveis nos solos são de fato Cd, Co, Cu, Ni e Zn e que estes estão associados aos elementos Fe e Mn.

**Quadro 3.8. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, entre Al, Fe e metais pesados em Latossolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Al	1,00											
As	0,55	1,00										
Ba	-0,09	0,15	1,00									
Cd	0,20	0,34	-0,33	1,00								
Co	0,31	0,50	-0,23	<b>0,70</b>	1,00							
Cr	0,19	-0,02	0,26	-0,22	-0,24	1,00						
Cu	0,40	0,29	-0,00	0,42	0,57	0,03	1,00					
Fe	0,51	0,59	-0,19	<b>0,73</b>	0,11	-0,09	<b>0,68</b>	1,00				
Mn	0,34	0,22	-0,11	0,42	<b>0,64</b>	-0,06	<b>0,77</b>	<b>0,73</b>	1,00			
Ni	0,17	-0,02	0,45	-0,21	-0,06	0,48	0,54	0,11	0,45	1,00		
Pb	0,21	0,46	-0,11	0,45	0,56	-0,33	0,32	0,53	0,26	-0,26	1,00	
Zn	0,33	0,43	-0,08	0,59	<b>0,73</b>	-0,18	<b>0,75</b>	<b>0,77</b>	<b>0,71</b>	0,24	0,44	1,00



**Figura 3.8. Relação entre cobre e manganês em Latossolos do Estado de Minas Gerais.**

### 3.3.2. Teores naturais de alumínio, ferro e metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais.

Em geral, os teores médios de metais pesados encontrados para os solos de Minas Gerais ficaram próximos àqueles reportados em literatura para outros países (Quadro 3.9). Para os cálculos das médias obtidas não se consideraram os diferentes tipos de classes, obtendo-se desta forma, uma média generalizada para os solos de Minas Gerais. No entanto os resultados se mostraram bem abaixo dos teores máximos considerados aceitáveis para os solos de modo geral, conforme Alloway (1990).

**Quadro 3.9. Teores médios (mg kg<sup>-1</sup>) de metais pesados em solos, obtidos por diferentes métodos, segundo diversos autores de outros países e, de acordo com os resultados obtidos por este estudo, para os solos do Estado de Minas Gerais**

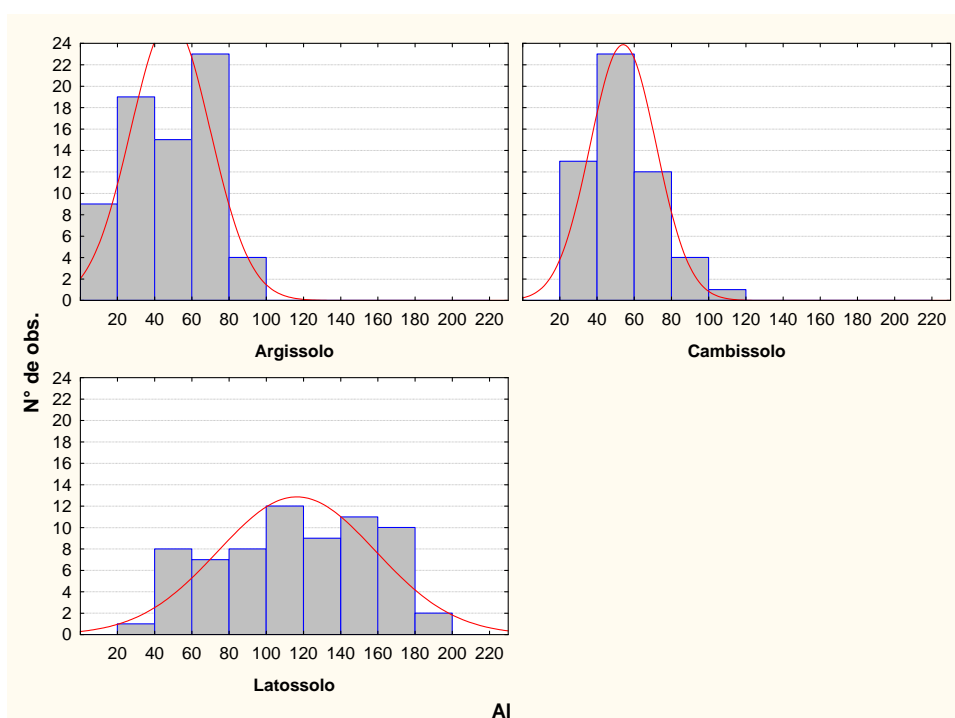
	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
La Réunion <sup>1</sup>	-	-	0,15		166,0	53,0	92,0		146,0
Piemonte <sup>2</sup> (A)	-	-	-	19,0	46,0	58,0	83,0	16,0	62,0
Piemonte <sup>2</sup> (B)	-	-	-	17,6	46,5	43,8	93,6	2,2	60,0
USA <sup>3</sup>	-	-	0,26	-	-	29,6	23,9	12,3	56,5
Luxem. (MS) <sup>4</sup>	136,0	199,0	0,30	35,0	155,0	9,0	73,0	52,0	261,0
Luxem. (SS) <sup>4</sup>	23,0	247,0	1,00	19,0	111,0	42,0	69,0	40,0	207,0
Linares <sup>5</sup>	26,0	875,0	0,80	12,0	50,0	145,0	20,6	4077,0	124,0
Irlanda <sup>6</sup>	-	-	0,52	-	49,5	16,9	13,5	30,4	70,3
C. México <sup>7</sup>	-	-	-	-	116,0	54,0	39,0	82,0	219,0
Turku <sup>8</sup>	3,2	56,0	0,20	8,4	37,0	19,15	12,4	20,0	72,5
Wuxi <sup>9</sup>	14,3	-	0,14		58,6	40,4	-	46,7	112,9
Virginia <sup>10</sup>	12,0	213,0	0,28	11,6	22,3	12,9	17,6	20,4	78,3
Solos <sup>11</sup>	0,1 - 40	-	0,01 - 2,0	0,5 - 65	5 - 1.500	2 - 250	2 - 750	2 - 300	1 - 900
<b>Minas Gerais</b>	<b>17,78</b>	<b>190,96</b>	<b>0,55</b>	<b>16,50</b>	<b>100,16</b>	<b>30,94</b>	<b>30,17</b>	<b>3,94</b>	<b>13,11</b>
<b>n</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>186</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>

<sup>1</sup>Doelsch et al., 2006; <sup>2</sup>Facchinelli et al., 2001 (água régia); <sup>3</sup>Holmgren et al., 1993 (bloco digestor); <sup>4</sup>Horckmans et al., 2005 (bloco digestor); <sup>5</sup>Martínez et al., 2007 (ataque total); <sup>6</sup>McGrath, 1998 (ataque total micro-ondas); <sup>7</sup>Morton-Bermea et al., 2008 (ataque total); <sup>8</sup>Salonen & Korkka-Niemi, 2007 (micro-ondas); Zhao et al., 2007 (água régia); <sup>10</sup>Wilson et al., 2007; <sup>11</sup> (faixa de variação em solos de modo geral) Alloway (1990).

A seguir serão apresentadas as discussões pertinentes a cada elemento observado e seu comportamento nas diferentes classes de solos analisadas.

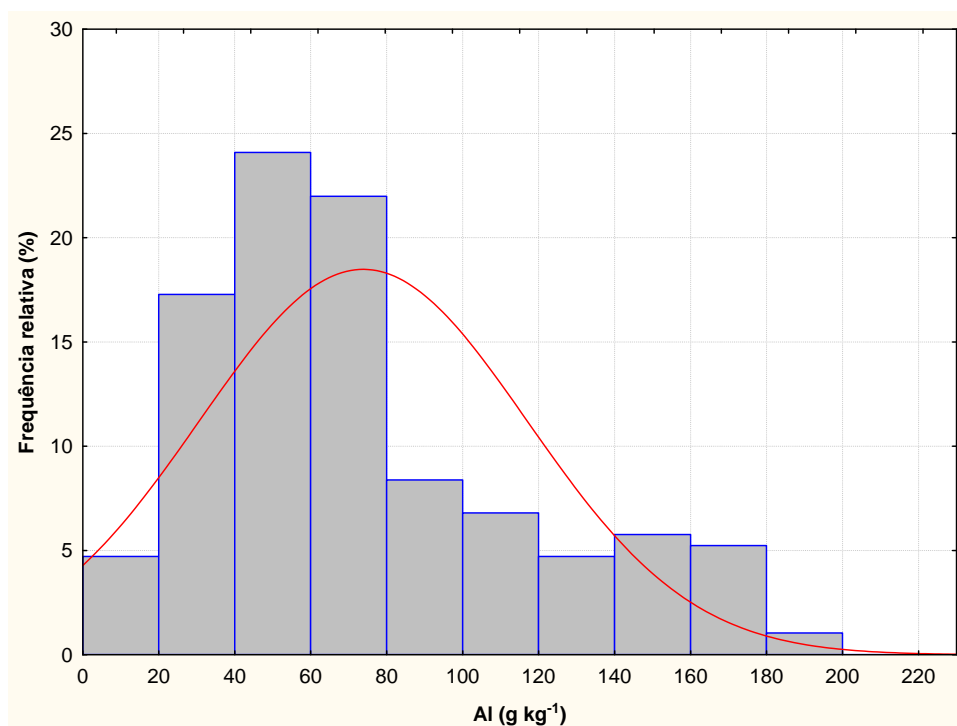
### 3.3.2.1 Alumínio.

A distribuição dos teores de Al encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 3. 9. Os Argissolos e Cambissolos apresentaram uma faixa menor de distribuição dos teores de Al quando comparados aos Latossolos. Em geral, nos Argissolos e Cambissolos os teores variaram de 20 a 100 g kg<sup>-1</sup>; enquanto que nos Latossolos, a faixa variou de 40 a 180 g kg<sup>-1</sup>(Figura 3.9).



**Figura 3.9. Número de observações dos teores de alumínio (g kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de alumínio, obtidos pelo método EPA 3051a, no conjunto de amostras analisadas, mostram que aproximadamente 70 % dos resultados situaram entre 20 a 80 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3.10).



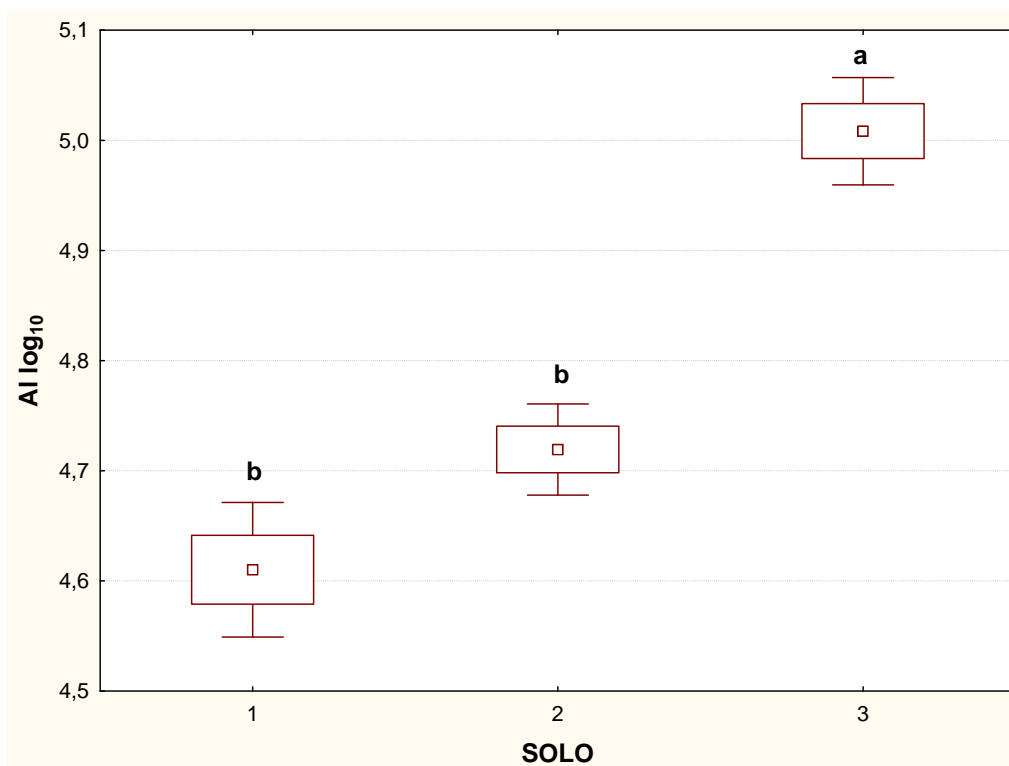
**Figura 3.10.** Frequência relativa dos teores de Al para solos do Estado de Minas Gerais.

Os Latossolos apresentaram ( $p < 0,01$ ) os teores mais elevados de alumínio e significativamente diferentes quando comparados aos Argissolos e Cambissolos (Quadro 3.10; Figura 3.11).

**Quadro 3.10.** Teores naturais de alumínio em solos do Estado de Minas Gerais

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	Var. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Argissolos	49,53 <sup>b</sup>	7,01	70	456,54	11,31	91,69	32,49	47,11	68,05
Al Cambissolos	53,76 <sup>b</sup>	6,50	53	313,32	27,51	103,53	40,22	51,52	66,56
Latossolos	113,01 <sup>a</sup>	13,95	68	1.776,74	23,43	187,52	82,01	119,32	149,15

<sup>/1</sup> Dados apresentados em  $g\ kg^{-1}$  <sup>/2</sup> I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup> Var.: variância. <sup>/4</sup> Q25: quartil inferior a 25 % <sup>/5</sup> Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup> As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student.



**Figura 3.11. Médias de AI (log<sub>10</sub>) em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão); - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de AI foi observado no horizonte A (amostra 58) de um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) eutrófico originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (Quadro 3.2). Um teor próximo ao quartil 25 foi observado no horizonte A (amostra 18) de um PVA distrófico, originado de Calcários, representativo do trecho que liga as cidades de Montes Claros a Francisco Sá (Quadro 3.2). Um teor próximo ao quartil 75 foi observado num horizonte A (amostra 68) de um PVA distrófico representativo do município de Pedra Azul e o teor máximo de AI foi observado no horizonte Bt de um PVA distrófico representativo do Pico do Ibituruna em Governador Valadares, ambos os solos são originados de Metamórfica / Ígneas (Quadro 3.2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de AI em Argissolos seguindo a sequência litológica Sedimento Inconsolidado de Argila < Calcários < Metamórfica / Ígnea.

Nos Cambissolos, o teor mínimo advém do horizonte A (amostra 116) de um Cambissolo Háplico (CX) originado de Arenito, representativo do trecho entre as cidade de Capelinha e Itamarandiba. O quartil 25 ficou representado por um horizonte

A (amostra 93) de um Cambissolo originado de Metamórfica / Ígnea, representativo do trecho entre as cidades Abadia dos Dourados a Monte Carmelo. O quartil 75 ficou representado por um horizonte A (amostra 89) de um CX originado de Calcários representativo do trecho entre Montes Claros a Bocaiuva. O teor máximo foi observado num horizonte Bi (amostra 87) de um Cambissolo originado de Argilito/Siltito. Estes resultados sugerem um aumento da concentração de Al em Cambissolos seguindo a sequência litológica Arenito < Metamórfica / Ígnea < Calcários < Argilito / Siltito.

Nos Latossolos, o teor mínimo de Al (Quadro 3.8) foi observado num horizonte A (amostra 127) de um Latossolo Vermelho originado de Arenito (Quadro 3.2). Um teor próximo do quartil 25 (Quadro 3.8) foi observado num horizonte A (amostra 161) de um Latossolo Vermelho distrófico representativo do município de Botelhos (Quadro 3.2). Um teor próximo ao quartil 75 (Quadro 3.8) foi observado num horizonte Bw de um Latossolo Vermelho distrófico representativo do município de Prados e o teor máximo (Quadro 3.8) foi observado no horizonte Bw de um Latossolo Vermelho distrófico representativo do município de Piumhi, todos de originado de Metamórfica / Ígnea, demonstrando uma escala de enriquecimento de Al nos Latossolos em função do material de origem. Neste sentido percebe-se que aqueles Latossolos originados de Arenitos tendem a serem mais pobres de Al quando comparados com os de Metamórfica / Ígneas. Não houve diferenças entre as médias de Al dos LV comparados aos LVA. Os resultados sugerem um aumento da concentração de Al em Latossolos seguindo a sequência litológica Arenito < Metamórficas / Ígneas.

### 3.3.2.2 Ferro.

A distribuição dos teores de Fe encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 12. Praticamente 60 % das observações das amostras Argissolos apresentaram teores até 50 mg kg<sup>-1</sup>; Este comportamento foi semelhante para os Cambissolos. Diferentemente, nos Latossolos, mais da metade das observações dos teores de Fe ficaram entre 50 a 100 g kg<sup>-1</sup> enquanto que para os Latossolos representantes de Basalto, a faixa variou de 250 a 300 g kg<sup>-1</sup>(Figura 3.12).

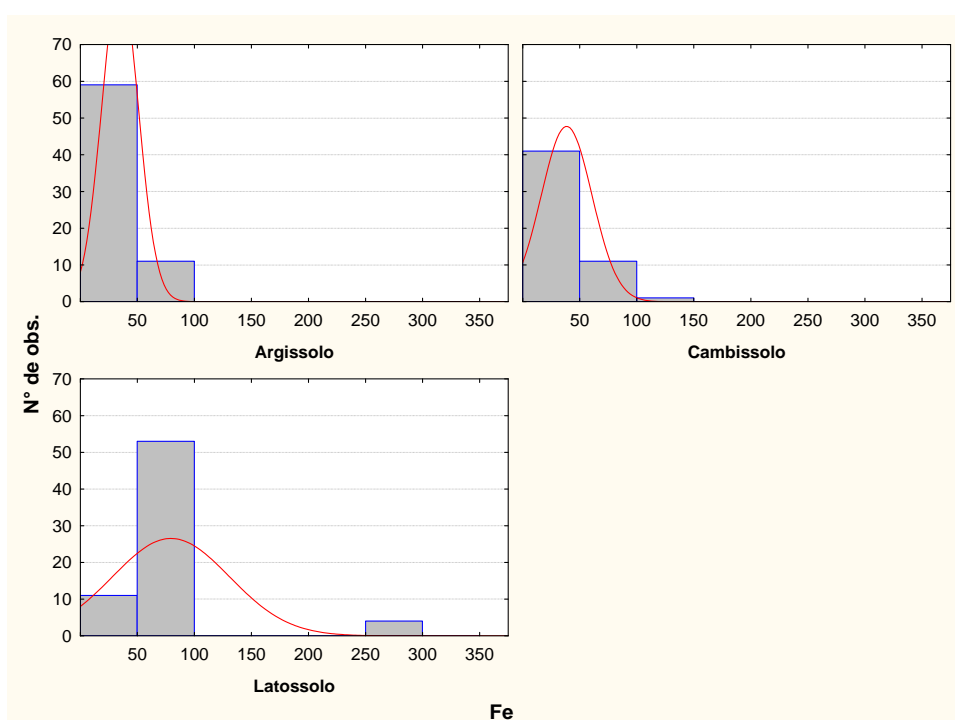
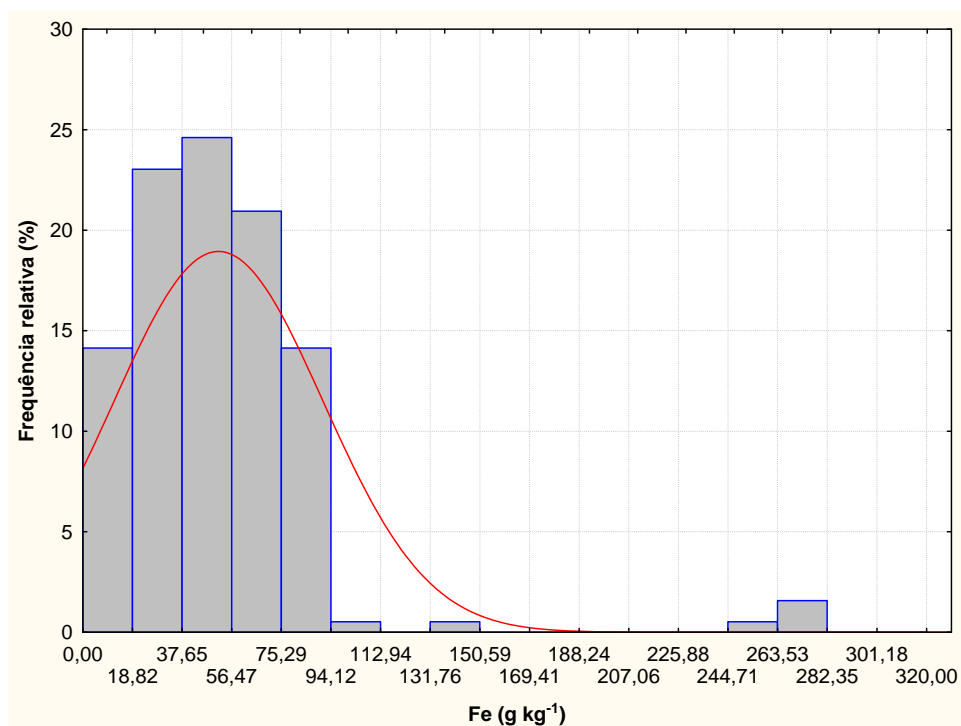


Figura 3.12. Número de observações dos teores de ferro (g kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.

A frequência de relativa dos teores de Fe nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 95 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 94 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 13). Alguns valores anômalos são observados entre 244 e 282 g kg<sup>-1</sup>. Estes valores foram observados em Latossolos originados de basalto.



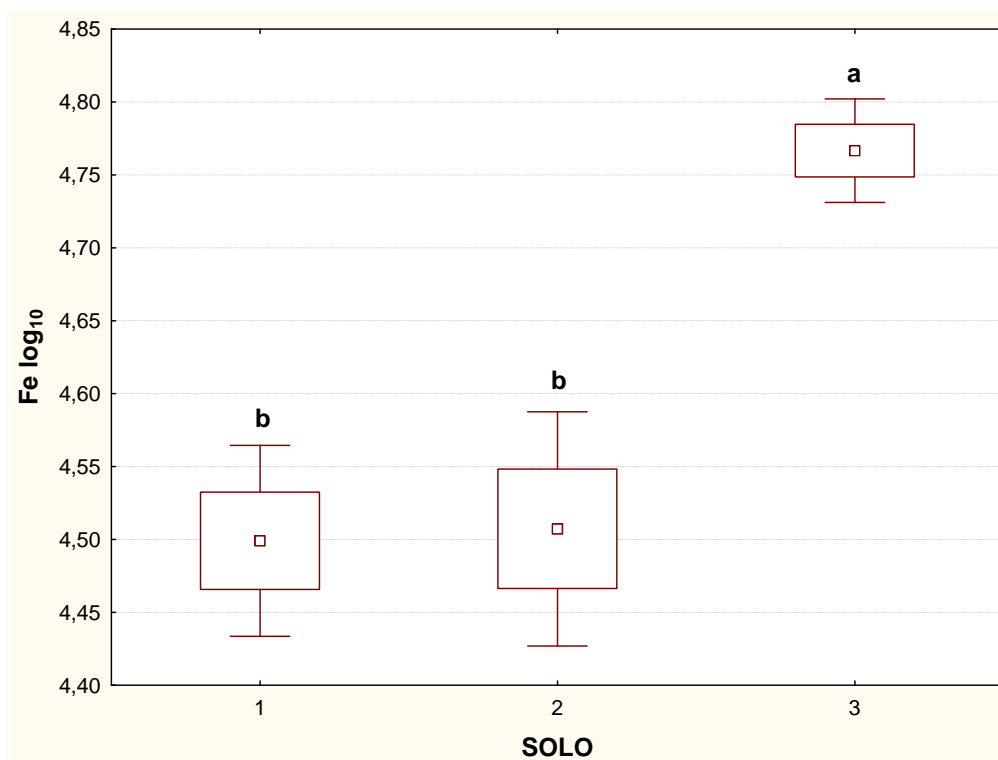
**Figura 3.13.** Frequência relativa dos teores de Fe para solos do Estado de Minas Gerais.

Os Latossolos apresentaram significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores de ferro nos solos estudados (Quadro 3. 11, Figura 3. 14).

**Quadro 3.11.** Teores naturais de ferro em solos do Estado de Minas Gerais

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Maximo <sup>1</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>1</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	34,63b	5,01	70	250,31	7,49	72,98	22,83	34,76	43,95
Fe Cambissolos	38,35b	8,13	53	490,27	8,98	134,92	19,18	38,96	48,39
Latossolos	79,07a	16,43	68	2.611,29	20,90	278,99	61,51	74,90	78,69

<sup>1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student.



**Figura 3. 14. Médias de Fe (log10) em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

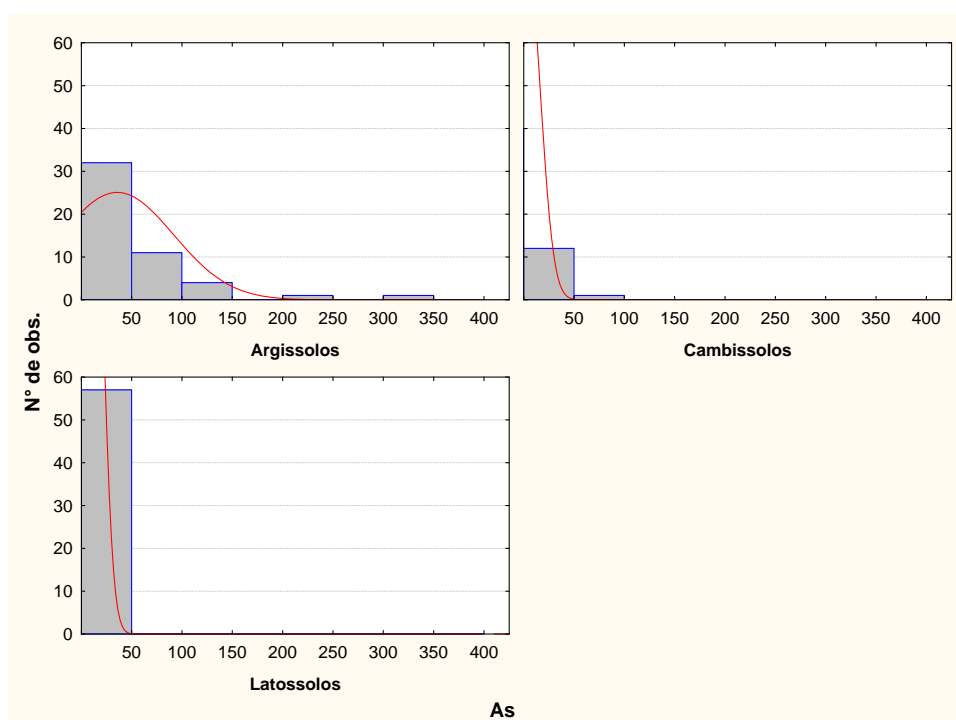
Nos Argissolos, o teor mínimo de Fe foi encontrado no horizonte A (amostra 13) de um PVA eutrófico, originado de Calcários, representativo do município de Montalvânia. Um teor próximo ao quartil 25 de Fe foi observado no horizonte A (amostra 40) de um PVA distrófico, originado de Metamórfica/Ígnea (M/I), representativo do trecho que liga Itaobim a Araçuaí (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 foi observado no horizonte Bt (amostra 21) de um PVA eutrófico, originado de Formação Ferríferas, coletado próximo a Araçuaí. O teor máximo de Fe foi encontrado no horizonte Bt (amostra 47) de um PVA distrófico, originado de M/I, representativo do trecho que liga Ponte Nova a Oratórios. Não houve diferença estatística entre as médias de Fe dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Fe em Argissolos seguindo a sequência litológica Calcários < Formação Ferríferas < Metamórfica/Ígnea.

Nos Cambissolos, o teor mínimo de Fe foi encontrado no horizonte A (amostra 99) de um CX, originado de Metamórfica/Ígnea (M/I), representativo do município de Porto dos Volantes. Um teor próximo ao quartil 25 de Fe foi observado no horizonte B<sub>i</sub> (amostra 112) de um CX, originado de M/I, representativo do trecho do município de Careacú (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 foi observado no horizonte A (amostra 89) de um CX, originado de Calcários, coletado no trecho entre Montes Claros a Bocaíuva. O teor máximo de Fe foi encontrado no horizonte A (amostra 96) de um CX, originado de M/I, representativo do município de Plumhi (Quadro 3.2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Fe em Cambissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica/Ígnea < Calcários.

Nos Latossolos, o teor mínimo de Fe foi encontrado no horizonte B<sub>w</sub> (amostra 127) de um LV, originado de Arenito. Um teor próximo ao quartil 25 de Fe foi observado no horizonte A (amostra 129) de um LV, originado de Argilito/Siltito, representativo do trecho do município de Guimarães (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 foi observado no horizonte A (amostra 154) de um LVA, originado de Metamórfica/Ígnea, representativo de Prados. O teor máximo de Fe foi encontrado no horizonte B<sub>w</sub> (amostra 191) de um LV, originado de Basalto, representativo do município de Uberaba (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Fe dos LVA e LV. Os maiores teores de ferro foram observados nos Latossolos Vermelhos oriundos de Basaltos (amostra 186; 187; 188; 189; 190; 191), Argilito /Siltitos (amostra 137; 136; 138), Máficas e Ultramáficas (amostra 142; 143) e Metamórfica/Ígneas (amostra 164; 165) (Quadro 3. 2), como também para a amostra 149 (Máfica/Ultramáfica), representativa de um Latossolo Vermelho Amarelo do município de Bom Sucesso. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Fe em Latossolos seguindo a sequência litológica Arenitos < Argilito/Siltitos < Metamórfica/Ígnea < Basalto.

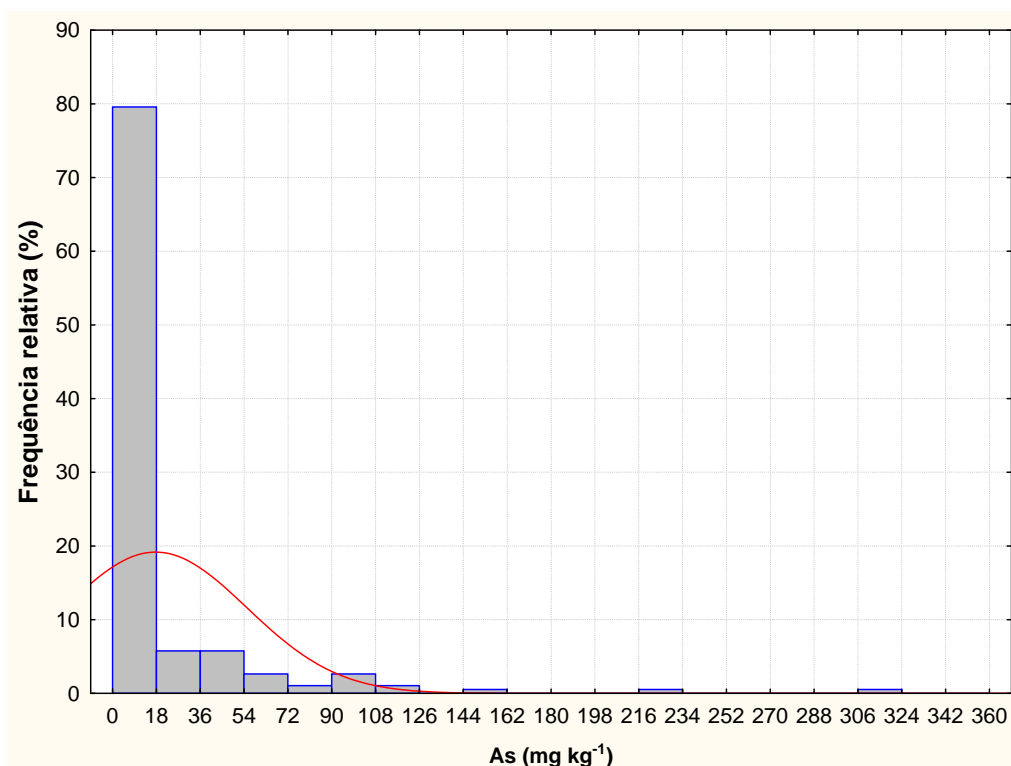
### 3.3.2.3. Arsênio.

A distribuição dos teores de As encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 15. Os Argissolos foram os solos que apresentaram teores acima de 50 mg kg<sup>-1</sup>. Este comportamento teve uma estreita relação com o material de origem de calcário, como será comentado adiante (Figura 3. 15).



**Figura 3. 15. Número de observações dos teores de arsênio (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de As obtidos no conjunto de amostras analisadas mostram que aproximadamente 80 % dos resultados situaram entre 0 a 18 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 16).



**Figura 3. 16. Frequência relativa dos teores de As para solos do Estado de Minas Gerais.**

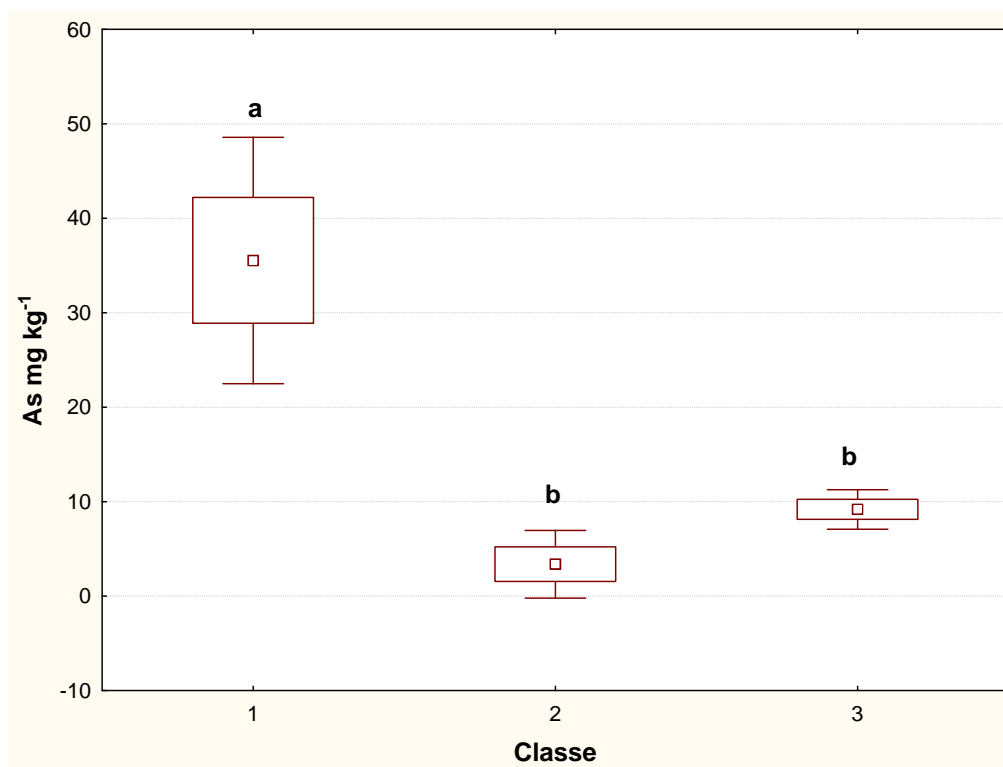
Os Argissolos apresentaram teores significativamente ( $p < 0,01$ ) maiores de As quando comparados aos Cambissolos e Latossolos (Quadro 3. 12).

**Quadro 3. 12. Teores naturais de arsênio em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Maximo <sup>1</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>1</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	35,53a <sup>6</sup>	17,63	70	3.099,12	< L.D. <sup>6</sup>	323,15	< L.D.	12,19	49,31
As Cambissolos	3,31b	4,79	53	170,75	< L.D.	88,06	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Latossolos	9,17b	2,84	68	104,25	< L.D.	44,86	< L.D.	8,81	13,19

<sup>1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup> <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student. <sup>6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

As maiores variâncias foram observadas para os Argissolos (Figura 3. 17).



**Figura 3. 17. Médias de As em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Em Argissolos, o teor mínimo (< LD.) de As foi observado em várias amostras representativas de Arenitos (amostra 1; 2; 7), Calcários (amostra 13; 15), Formações ferríferas (amostra 21), metamórfica / Ígneas (amostra 24; 26; 27; 29; 31; 34; 39; 41; 43; 46; 63; 66), Sedimentos Inconsolidados de Argila (amostra 58) e Xisto (amostra 61). O quartil 25 também ficou abaixo do limite de detecção (LD.). O quartil 75 ficou representado por um horizonte A (amostra 23) de um PVA eutrófico originado de Metamórfica/Ígnea, representativo do município de Riacho dos Machados (Quadro 3. 2). O teor máximo de As foi encontrado num horizonte Bt (amostra 57) de um PVA eutrófico, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo do

município de Arcos (Quadro 3. 2). O horizonte A (amostra 60) deste solo, embora tenha uma alta concentração ( $229 \text{ mg kg}^{-1}$ ), esta foi menor quando comparado ao horizonte Bt, sugerindo que os valores observados são de fato uma característica normal deste solo originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila. O As é um elemento calcófilo, podendo ser siderófilo dependendo das condições. Segundo O'Neill (1990), o As no solo pode apresentar um comportamento semelhante ao do fósforo, sendo altamente adsorvido pelos argilominerais, mas possui uma química muito mais diversa devido aos diferentes estados de oxidação que este elemento apresenta. Em condições normais o As pode formar ligações com S e C mais rápido do que com P. O mineral mais comum é a arsenopirita,  $\text{FeAsS}$ , e o As é encontrado associado a muitos tipos de depósitos minerais. Valores médios, na ordem de  $2 \text{ mg kg}^{-1}$ , é muito comum para rochas ígneas e rochas sedimentares, mas rochas de textura mais fina, como o caso dos xistos e sedimentos de argila, podem apresentar teores mais elevados, na ordem de  $10 - 15 \text{ mg kg}^{-1}$  fazendo com que os solos oriundos de rochas sedimentares argilosas, dependendo do tipo de sedimento que as originou, apresentem teores significativos de As ( $< 1 - 900 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (O'Neill, 1990). Outras amostras apresentaram teores próximos de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , como o caso do PVA eutrófico originado de Metamórfica/Ígneas, representativo do município de Quité Velho (amostra 51; 52) (Quadro 3. 2). As amostras 12 e 20 (Quadro 3. 2), representando a cidade de Curumataí e a amostra 11 (Quadro 3. 2), representando o trecho entre Francisco Sá e Montes Claros com solos influenciados por Calcários. As amostras (21 e 22; 42 e 43), com solos originados de Metamórfica/Ígneas, representativas dos municípios de Araçuaí e de Lavras, respectivamente, chamam a atenção devido o teor elevado de As observado somente no horizonte A (Quadro 3. 2), levantando a hipótese de uma possível contaminação antrópica.

De modo geral, não houve diferenças significativas dos teores de As quando comparados os PVA eutróficos com os PVA distróficos. Os resultados sugerem um aumento dos teores de As em Argissolos seguindo a sequência litológica Arenitos = Calcários = Sedimentos Inconsolidados de Argila < Metamórfica/Ígneas < Sedimentos Inconsolidado de Argila. Percebe-se que temos diferentes comportamentos daqueles solos originados de Sedimentos Inconsolidados de Argila, provavelmente em função do tipo de sedimento que deu origem a rocha, mostrando a variabilidade desta

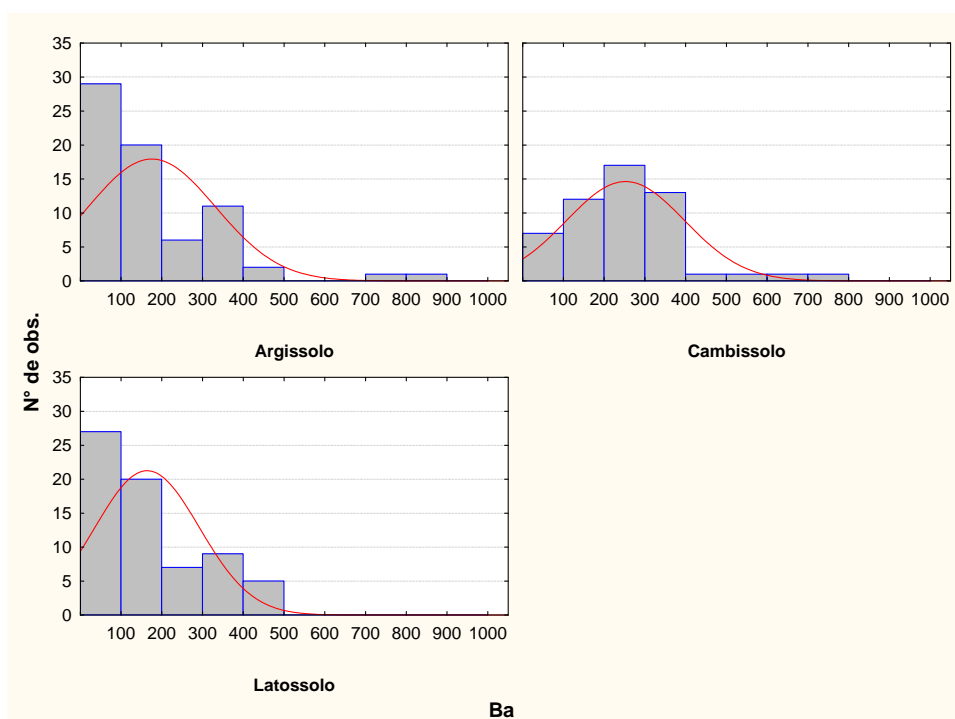
interpretação. O teor médio de As para os Argissolos ficou acima do máximo tolerado em solos agrícolas de vários países (Kabata-Pendias & Pendias, 2000), do valor orientador de intervenção de solos agrícolas do Estado de São Paulo (CETESB, 2001) e de teores naturais citados em literatura internacional (Bak et al., 1997; Chen et al., 1997; Ma et al., 1997; Steinnes et al., 1997; Chen et al., 1999; Martinez-Lladó et al., 2008; Su & Yang 2008). Porém, este teor se aproximou com aquele encontrado em solos “Yellow-Brown” derivados de calcário ( $34 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na China oriental (Chen et al., 1993) e dentro da faixa estimada para solos ( $0,1 - 40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) de modo geral (Alloway, 1990b). Segundo O’Neill (1990), as concentrações normais de solos oriundos de rochas ígneas fica por volta de  $< 1 - 15 \text{ mg kg}^{-1}$  enquanto que para arenitos e Calcários, concentrações normais estão por volta de  $< 1 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$ , dentro dos valores observados para os Cambissolos e Latossolos (Quadro 3. 2).

Para os Cambissolos, o teor mínimo e quartis ficaram abaixo do limite de detecção. O teor máximo de As foi encontrado no horizonte A (amostra 96) de um CX originado de Metamórfica/Ígnea, representativo do município de Piumhi. Esta amostra apresentou teores estranhos, pois quase todos os elementos apresentaram teores anômalos, sugerindo uma possível contaminação antrópica ou uma anomalia local (Quadro 3. 2).

Nos Latossolos, o teor mínimo e o quartil 25 ficaram abaixo do limite de detecção. O quartil 75 foi representado pelo horizonte Bw de um Latossolo Amarelo, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo do município de Uberlândia. O teor máximo foi observado no horizonte A (amostra 190) de um Latossolo Vermelho distroférico, originado de Basalto, representativo do município de Uberlândia (Quadro 3. 2). Observa-se que no horizonte Bw deste solo, o teor de As também foi elevado. No entanto, quando se observa o percentual de saturação de bases para estas amostras (Quadro 3. 1), observa-se que o horizonte A é considerado eutrófico em quanto o horizonte Bw, distrófico, sugerindo que possivelmente houve intervenção antropogênica, se tratando de um solo contaminado. Não houve diferença estatística entre as médias de As de LV e LVA. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de As em Latossolos seguindo a sequência litológica Sedimento Inconsolidados de Argila < Basalto.

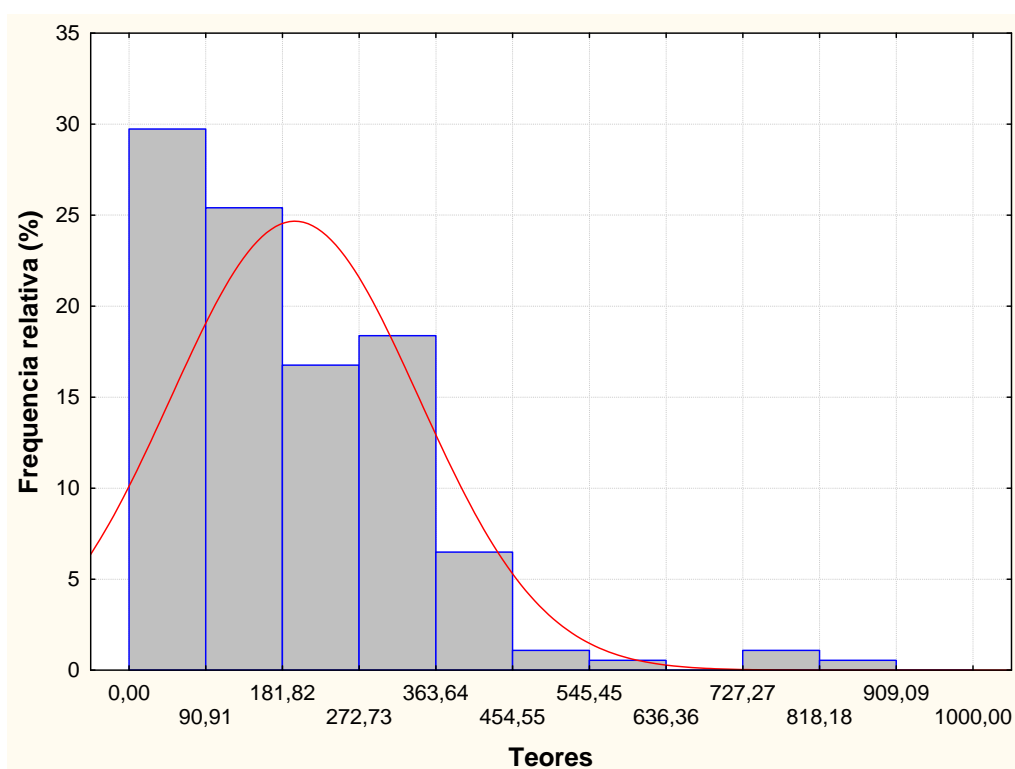
### 3.3.2.4. Bário.

A distribuição dos teores de Ba encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 18. O número de observações dos teores de Ba foram semelhantes para Argissolos e Latossolos, com estes apresentando, na maior parte das observações, teores abaixo de 200 mg kg<sup>-1</sup>. Os Cambissolos se destacaram por apresentarem teores mais elevados (100 a 400 mg kg<sup>-1</sup>) quando comparados aos outros solos (Figura 3. 18).



**Figura 3. 18. Número de observações dos teores de bário (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de Ba observados mostrou que aproximadamente 30 % dos resultados ficaram abaixo de 90 mg kg<sup>-1</sup>; 25 %; entre 90 a 180 mg kg<sup>-1</sup>; aproximadamente 15 %; entre 180 a 270 mg kg<sup>-1</sup>; aproximadamente 15 %; entre 270 a 360 mg kg<sup>-1</sup>; e aproximadamente 5 %; entre 360 a 450 mg kg<sup>-1</sup> totalizando 90 % das observações (Figura 3. 19).



**Figura 3. 19. Frequência relativa dos teores de Ba para solos do Estado de Minas Gerais.**

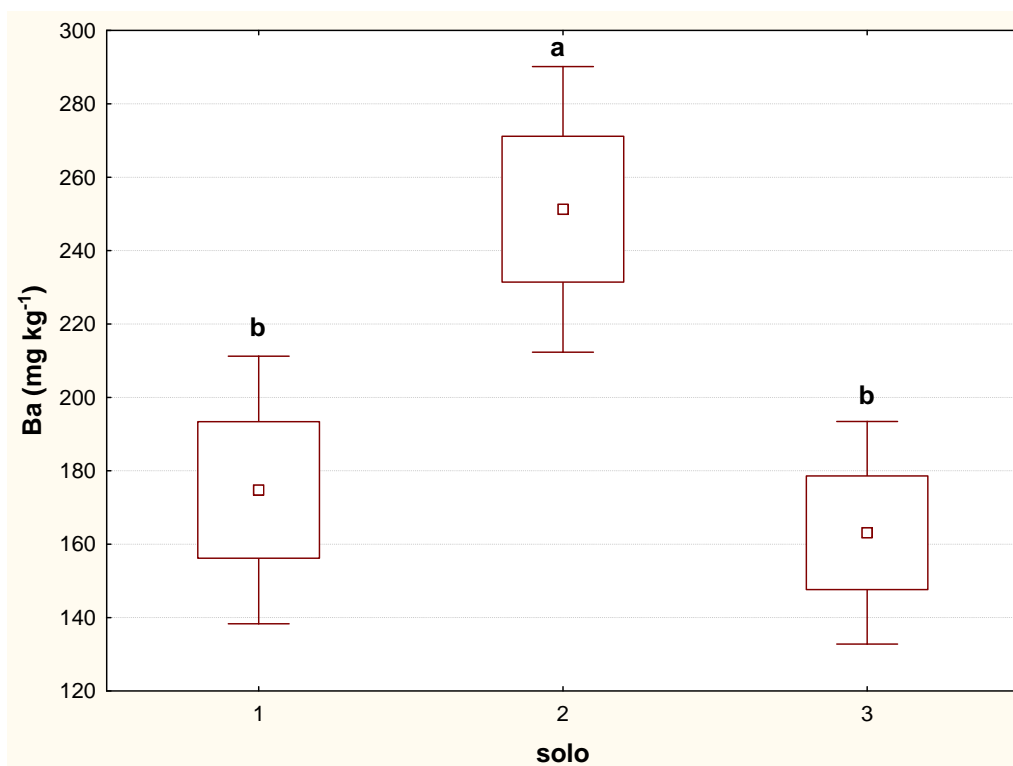
Os Cambissolos apresentaram significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores de Bário comparados aos Latossolos e Argissolos. Os teores de Ba observados para o grupo de solos (3 classes) foram semelhantes àqueles naturais encontrados por Su & Yang (2008) no Deserto de Gobi, nordeste da China (Quadro 3. 13, Figura 3. 20).

**Quadro 3. 13. Teores naturais de bário em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Maximo <sup>1</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>1</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	174,76b	49,29	70	24.228,38	21,65	847,15	57,01	126,30	265,50
<b>Ba</b> Cambissolos	251,25a	53,09	53	20.894,15	28,81	752,05	161,66	248,37	332,43
Latossolos	174,31b	43,16	68	16.292,89	9,03	453,89	59,68	137,30	267,64

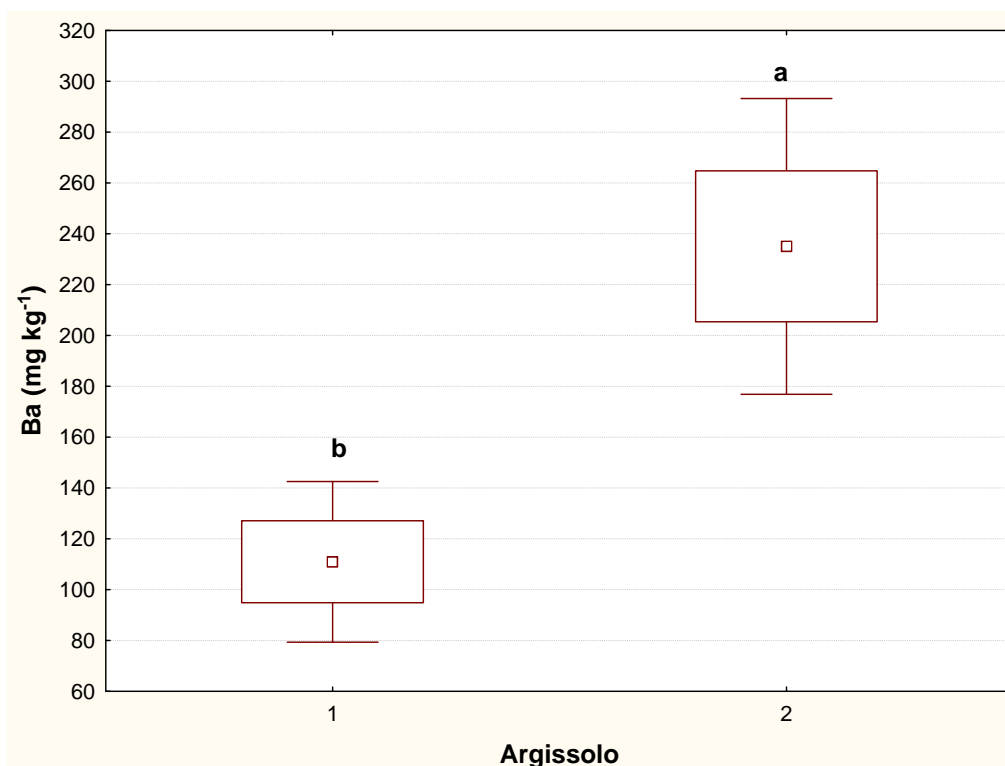
<sup>1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup> <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student

As menores variâncias em relação a média foi observada nos Latossolos (Figura 3. 20).



**Figura 3. 20. Médias de Ba em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de Ba foi observado num horizonte Bt (amostra 30) de um PVA distrófico, originado de Metamórfica/Ígnea (M/I), representativo do município de Tarumirim (Quadro 3. 2). O quartil 25 foi representado pelo horizonte A de um PVA distrófico, originado de M/I, representativo do município de São Sebastião da Estrela (Quadro 3. 2). O quartil 75 ficou representado pelo horizonte Bt (amostra 34) de um PVA eutrófico, originado de M/I, representativo do trecho entre Itaobim a Araçuaí (Quadro 3. 2). O maior teor deste elemento foi observado no horizonte Bt (amostra 60) de um PVA eutrófico, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, coletado no município de Arcos (Quadro 3. 2). Os teores de Ba apresentaram uma correlação altamente significativa ( $p < 0,01$ ) com o índice de saturação de bases (V), sendo um indicador de eutrofia dentro da classe dos Argissolos. Houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre as médias do elemento Ba para os PVA distrófico e PVA eutrófico (Figura 3. 21).



**Figura 3. 21. Médias de Ba em Argissolo distrófico (1) e eutrófico (2) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  = média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

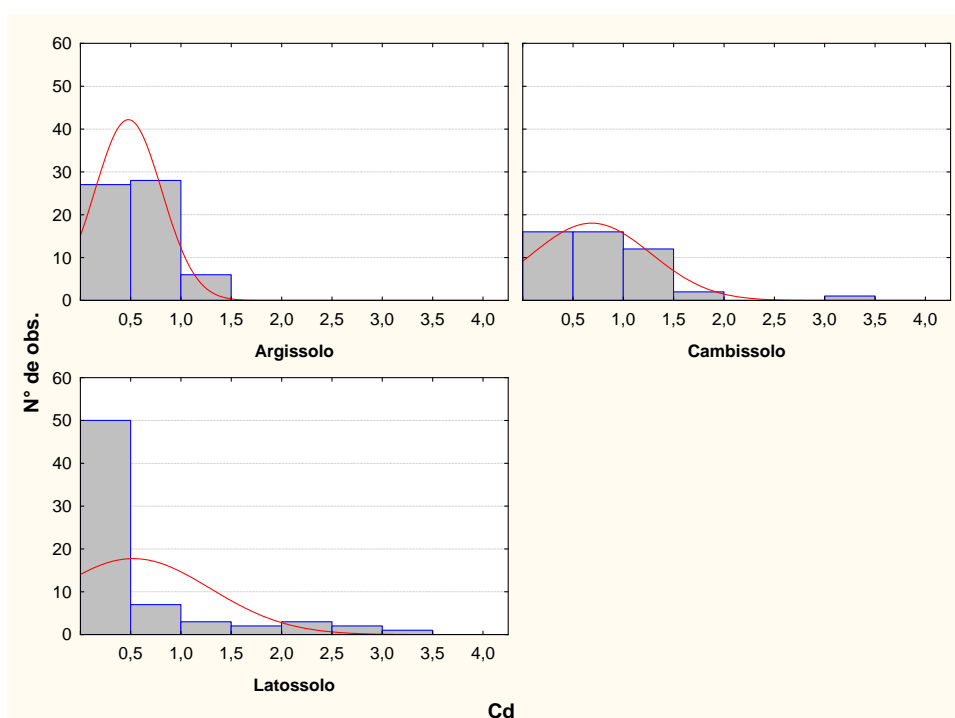
Para os Cambissolos, o teor mínimo de Ba foi observado no horizonte A (amostra 89) de um CX, originado de Metamórfica/Ígneas (M/I), representativo do trecho entre Montes Claros a Bocaíuva (Quadro 3. 2). O quartil 25 de Ba foi representado pelo horizonte A de CX, originado de M/I, representativo do município de Varginha (Quadro 3. 2). O quartil 75 de Ba foi representado pelo horizonte Bi (amostra 119) de um CX, originado de Arenito, representativo do município de Uberlândia (Quadro 3. 2). As amostras com maiores teores de Ba representativas dos Cambissolos foram originadas de Argilito/Siltito (amostra 78; 82 e 83) (Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Ba em Cambissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica/Ígnea < Arenitos < Argilito / Siltitos.

Para os Latossolos, os menores teores foram observados num LV distrófico (amostra 186; 187), originado de Basalto, representativo do trecho entre os municípios Conceição das Alagoas e Frutal (Quadro 3. 2). O quartil 25 de Ba foi representado pelo horizonte A (amostra 131) de um LV, originado de Argilito/Siltito, representativo de Ibitira (Quadro 3. 2). O quartil 75 foi representado pelo horizonte Bw (amostra 175) de

um LV, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo do trecho entre Guimarães a Cruzeiro da Fortaleza (Quadro 3. 2). O teor máximo de Ba foi representado por um horizonte Bw (amostra 153) de um Latossolo Amarelo, originado de Metamórfica/Ígnea, representativo do município de Lagoa da Prata (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Ba de LV e LVA. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Ba em Latossolos seguindo a sequência litológica Basalto < Argilito/Siltitos < Sedimentos Inconsolidados de Argila < Metamórfica/Ígnea.

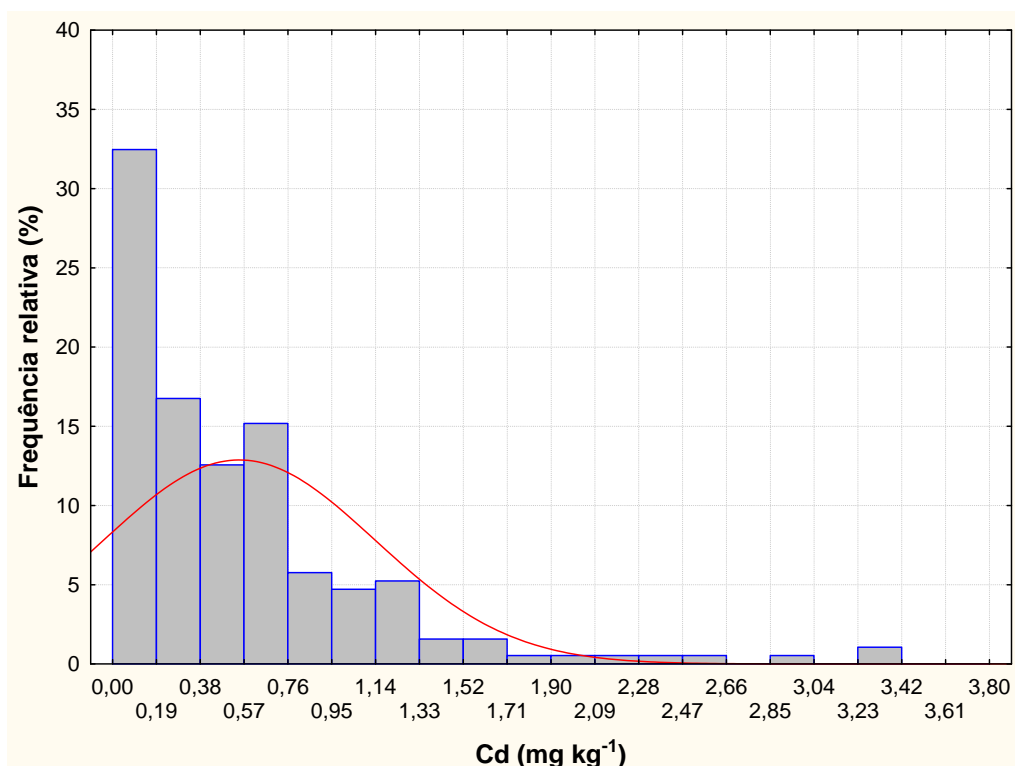
### 3.3.2.5. Cádmiu.

A distribuição dos teores de Cd encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 22. Os Argissolos e Cambissolos apresentaram um maior número de observações de teores de Cd entre 0,5 a 1,5 mg kg<sup>-1</sup> comparados aos Latossolos, que apresentaram em sua maioria teores abaixo de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 22).



**Figura 3. 22. Número de observações dos teores de cádmio (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de Cd mostrou que aproximadamente 30 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 0,2 mg kg<sup>-1</sup>; aproximadamente 45 % entre 0,2 a 0,8 mg kg<sup>-1</sup> totalizando 75 % dos dados (Figura 3. 23).



**Figura 3. 23. Frequência relativa dos teores de Cd para solos do Estado de Minas Gerais.**

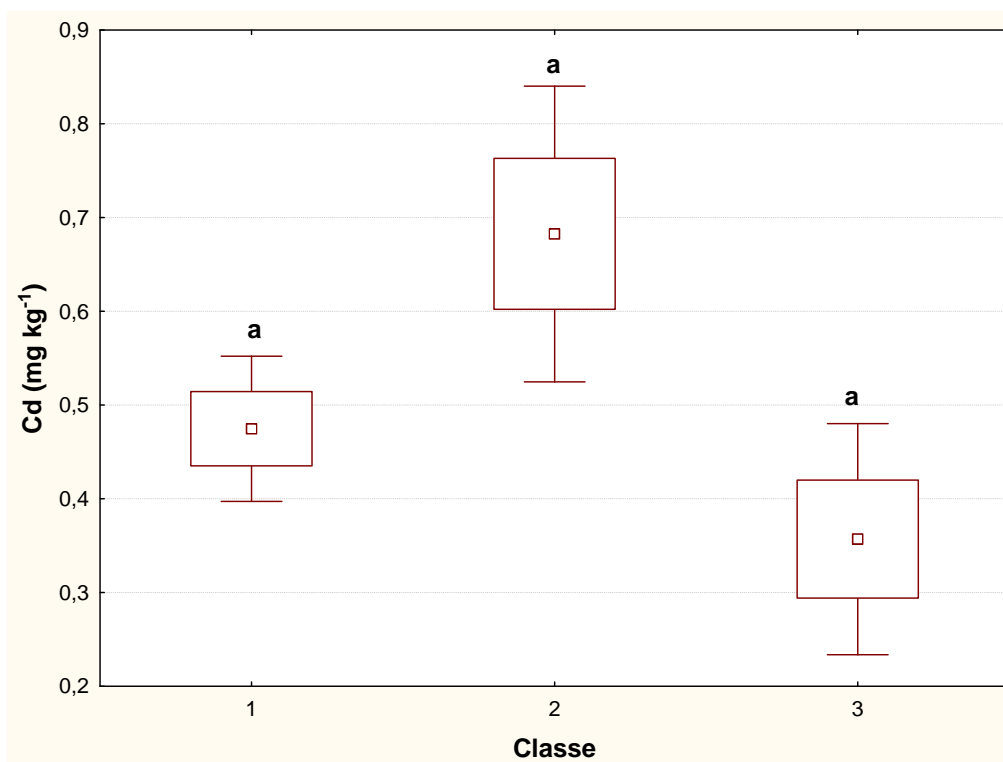
Não houve diferenças significativas nos teores médios de Cd encontrados nos solos mineiros (Quadro 3. 14).

**Quadro 3. 14. Teores naturais de cádmio em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	VAR. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Argissolos	0,47a	0,10	70	0,11	< L.D. <sup>/6</sup>	1,31	0,21	0,47	0,70
Cambissolos	0,68a	0,22	53	0,34	< L.D.	3,25	0,24	0,57	1,05
Latossolos	0,36a	0,17	68	0,58	0,03	3,32	0,07	0,12	0,40

<sup>/1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup>.<sup>/2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup>VAR.: variância. <sup>/4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>/5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student. <sup>/6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

Houve uma tendência de maiores teores nos Cambissolos que também apresentaram as maiores variâncias em relação à média (Figura 3. 24).



**Figura 3. 24. Médias de Cd em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Os teores de Cd ficaram dentro do tolerado em solos agrícolas de vários países (Kabata-Pendias & Pendias, 2000), da faixa estimada para solos (0,01 – 2,0 mg kg<sup>-1</sup>) de modo geral (Alloway, 1990) e dos teores naturais, obtidos por métodos analíticos semelhantes, observados na literatura científica (Bak et al., 1997; Chen et al., 1997; Chicharro Martín et al., 1998; Abollino et al., 2002; Fadigas et al., 2006; Zheng et al., 2008) (Quadro 3. 9). Matos et al., (1996) e Oliveira & Costa (2004) também observaram teores semelhantes em solos de Minas Gerais.

Para os Argissolos, os teores mínimos foram observados em solos originados de Arenitos (amostra 1), Calcários (CC) (amostra 13; 15; 16), Metamórfica/Ígneas (M/I) (amostra 36; 41; 68) e Sedimentos Inconsolidados de Argila (58; 59). O quartil 25 ficou representado pelo horizonte A (amostra 22) de um PVA eutrófico, originado de Formações Ferríferas, coletado próximo a Araçuaí (Quadro 3. 2). O quartil 75 foi representado por solos originados de CC (amostra 10; 18) e MI (amostra 64). O teor máximo foi observado no horizonte Bt (amostra 47) de um PVA eutrófico, originado de MI, representativo do trecho entre Itambacuri e Franciscopólis. Não houve diferença

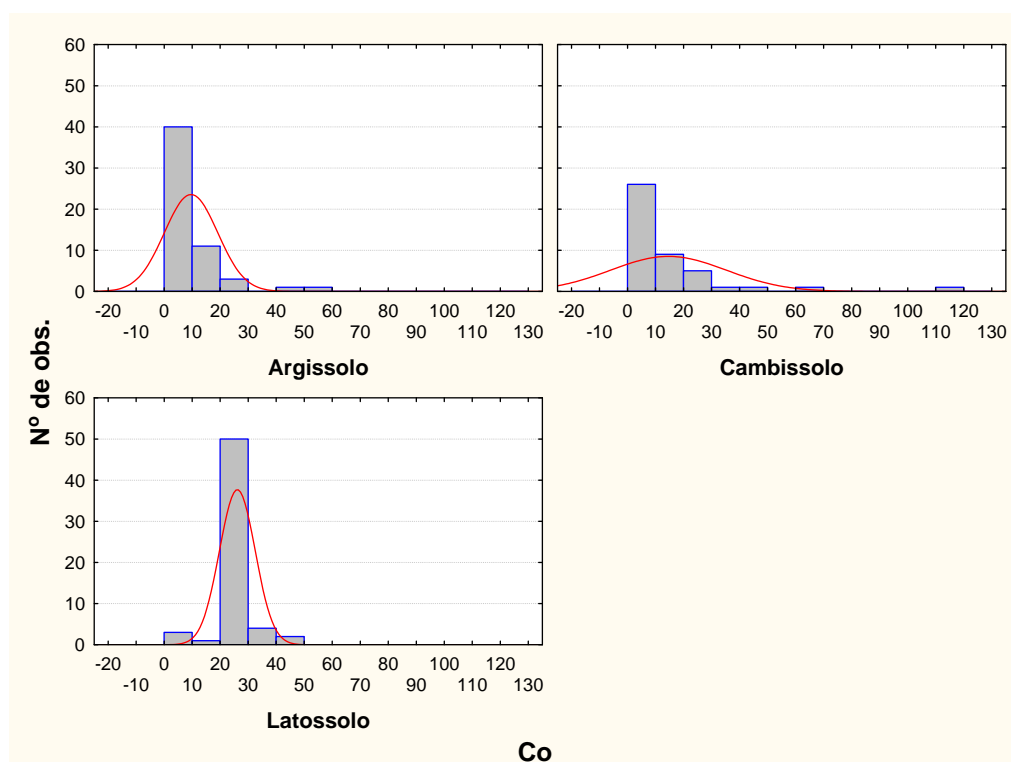
estatística entre as médias de PVA eutrófico e PVA distrófico para o elemento Cd. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cd em Argissolos seguindo a sequência litológica Arenitos = Sedimentos Inconsolidados de Argila < Formações Ferríferas < Calcários < Metamórfica / Ígnea.

Para os Cambissolos, os teores mínimos foram observados em solos originados de Metamórfica/Ígneas (M/I) (amostra 93; 94; 95; 105; 109; 121) ficaram abaixo do limite de detecção. O quartil 25 ficou representado pelo horizonte Bi de um CX, originado de M/I, representativo do município de Lagoa da Prata (Quadro 3. 2). O quartil 75 ficou representado pelo horizonte A de um Cambissolo originado de Argilito/Siltito (Quadro 3. 2). O teor máximo, considerado anômalo, foi observado no horizonte A (amostra 96) de um CX originado de Metamórfica/Ígnea, representativo do município de Piumhi. (Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cd em Cambissolos seguindo a sequência litológica Argilitos / Siltitos < Metamórfica/Ígnea.

Para os Latossolos, os teores mínimos foram observados em LV originados de Argilitos / Siltitos (amostra 135, horizonte A), Calcários (CC) (amostra 141, horizonte Ap) e Máficas e Ultramáficas (MU) (amostra 143, horizonte Bw) (Quadro 3. 2). O quartil 25 de Cd em Latossolos foi representado por solos originados de CC (amostra 139, horizonte Ap; 140, horizonte Ap), MU (amostra 145, horizonte A) e Metamórfica / Ígneas (amostra 153, horizonte Bw) (Quadro 3. 2). O quartil 75 de Cd foi representado por solos originados de Xisto (amostra 182, horizonte A) e MI (amostra 184, horizonte A). O teor máximo de Cd foi observado no horizonte Bw de um LV, originado de Basalto, representativo do município de Uberaba (Quadro 3. 2). Não houve diferença entre as médias de Cd entre LV e LVA. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cd em Latossolos seguindo a sequência litológica Argilitos / Siltitos < Calcários < Xisto < Basalto.

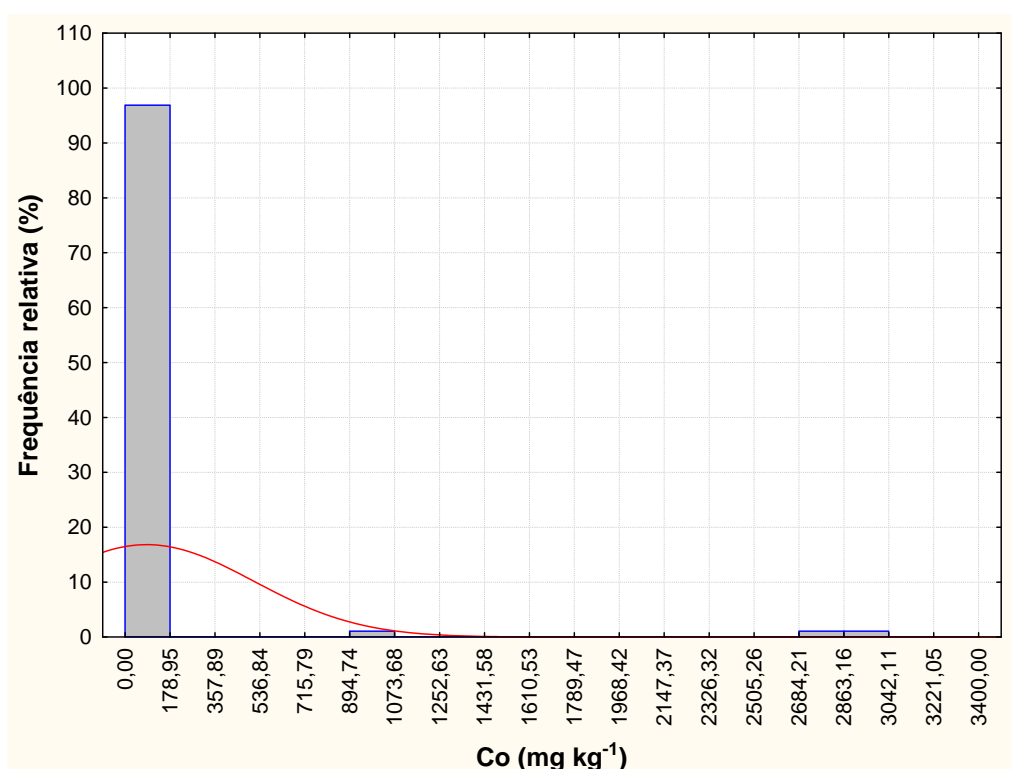
### 3.3.2.6. Cobalto.

A distribuição dos teores de Co encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 25. Os Argissolos e Cambissolos concentram teores menores comparados aos Latossolos. Praticamente 50 % das observações das amostras de Latossolos apresentaram teores de 20 a 30 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 25).



**Figura 3. 25. Numero de observações dos teores de cobalto (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de Co mostrou que aproximadamente 90 % dos resultados obtidos apresentaram valores menores que 180 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 26). Alguns teores anômalos são observados na faixa de 250 a 300 mg kg<sup>-1</sup> e estão relacionados aos Latossolos de basalto.



**Figura 3. 26. Frequência relativa dos teores de Co para solos do Estado de Minas Gerais.**

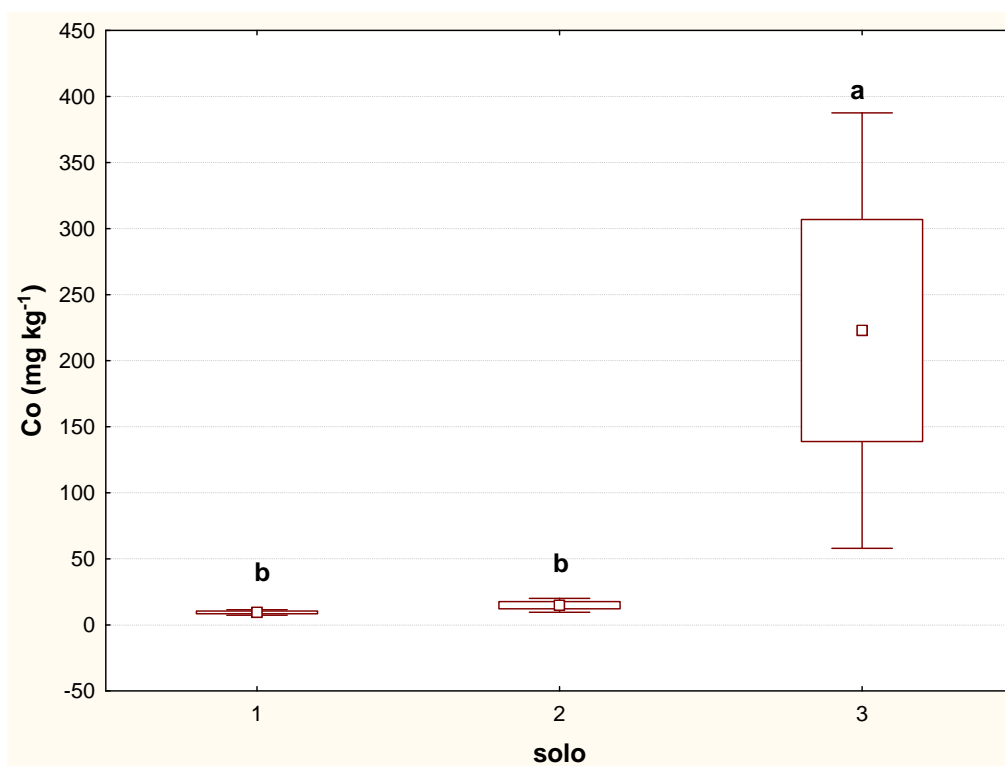
As amostras de Latossolos apresentaram teores significativamente ( $p < 0,01$ ) mais elevados de Co (Quadro 3. 15).

**Quadro 3. 15. Teores naturais de cobalto em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	VAR. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Argissolos	9,44b	2,83	70	79,9	1,09	51,34	4,12	7,25	10,99
<b>Co</b> Cambissolos	14,85b	7,19	53	383,2	0,09	117,16	3,83	8,02	18,28
Latossolos	222,82a	222,93	68	480.799,8	4,47	3.011,78	25,10	26,20	28,29

<sup>/1</sup>Dados apresentados em  $\text{mg kg}^{-1}$ . <sup>/2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup>VAR: variância. <sup>/4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>/5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste *t* de Student.

Os Latossolos apresentaram as maiores variâncias em relação a média (Figura 3. 27).



**Figura 3. 27. Médias de Co em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de Co foi observado no horizonte A (amostra 41) de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico originado de Metamórfica / Ígnea (MI) representativo do município de Araújo (Quadro 3. 2). o quartil 25 foi representado por solos originados de MI (amostra 36, HBt, amostra 41, HA, município de Araújo). O quartil 75 foi representado por solos originados de Arenitos (amostra 6) e MI (amostra 43) (Quadro 3. 2). O teor máximo foi observado no horizonte Bt (amostra 11) de um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico originado de Calcários representativo de trecho compreendido entre as cidades de Francisco Sá a Montes Claros. Não houve diferença estatística entre as médias de Co dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Co em Argissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Arenitos < Calcários.

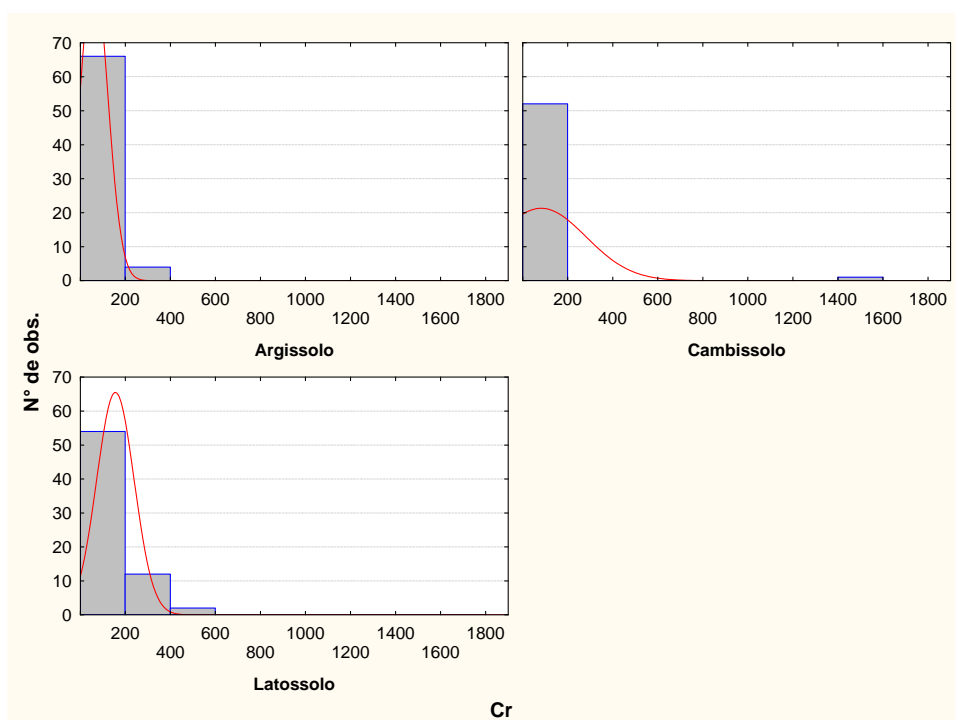
Nos Cambissolos, o teor mínimo de Co foi observado no horizonte A (amostra 99) de um Cambissolo Háplico originado de Metamórfica / Ígneas representativo do município de Porto dos Volantes. O quartil 25 foi representado pelo horizonte A (amostra 97) de um Cx, originado de MI, representativo do trecho entre Capelinha e

Itamarandiba. O quartil 75 foi representado pelo horizonte A(amostra 101) de um CX, originado de MI, representativo do trecho entre Barbacena a Barros (Quadro 3. 2). O teor máximo de Co foi observado no horizonte Bi (amostra 81) originado de Argilito/Siltito representativo do município de Doresópolis (Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Co em Cambissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Argilitos / Siltitos.

Nos Latossolos, aqueles originados de Basalto apresentaram teores mais elevados de Co (amostra 186 a 191, Quadro 3. 2). O menor teor de Co em Latossolos foi observado no horizonte Bw (amostra 158) de um Latossolo Vermelho Amarelo originado de Metamórfica/ Ígnea representativo do município de Iaphim (Quadro 3. 2). O quartil 25 foi representado por solos originados de Argilitos / Siltitos (amostra 134, HBw) e Xisto (amostra 180, HAp). O quartil 75 foi representado por solos originados de Máficas e Ultramáficas (amostra 142, HA) e Xisto (amostra 171, HA) (Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Co em Latossolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Argilitos / Siltitos = Xisto < Máficas e Ultramáficas < Basaltos.

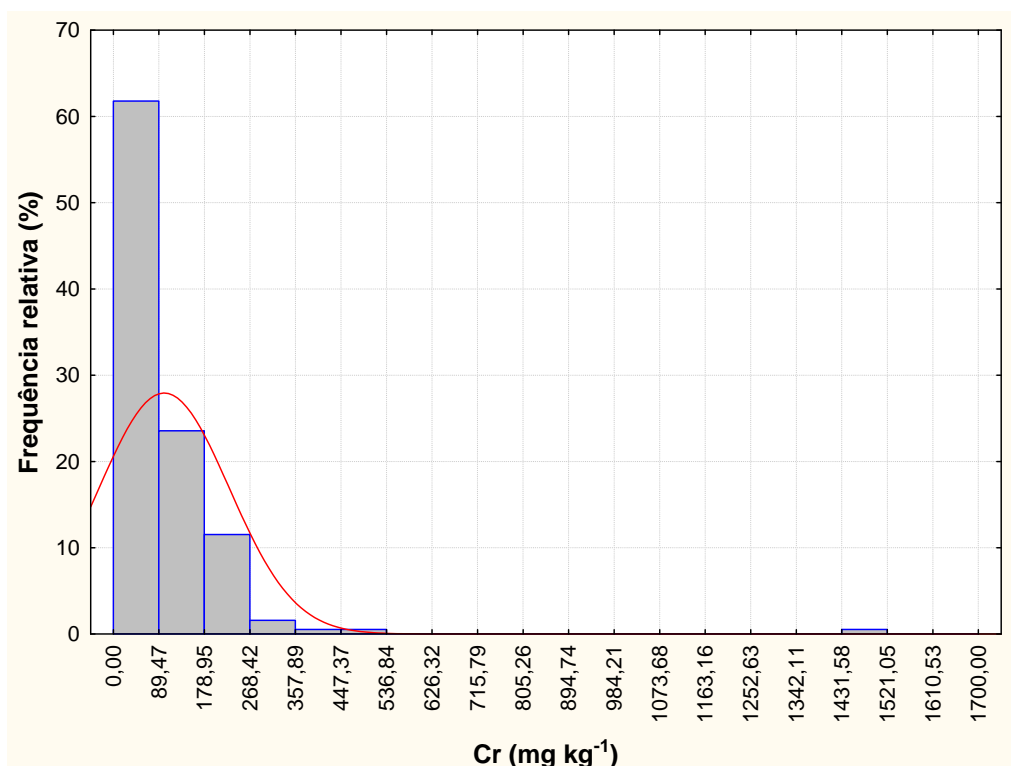
### 3.3.2.7. Cromo.

A distribuição dos teores de Cr encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 28. As respostas foram semelhantes para as classes de solos com mais da metade dos valores observados ficando abaixo de 200 mg kg<sup>-1</sup>. Alguns valores anômalos são observados nos Cambissolos e Latossolos (Figura 3. 28).



**Figura 3. 28. Numero de observações dos teores de cromo (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência relativa dos teores de Cr nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou que mais de 80 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 180 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 29).



**Figura 3. 29. Frequência relativa dos teores de Cr para solos do Estado de Minas Gerais.**

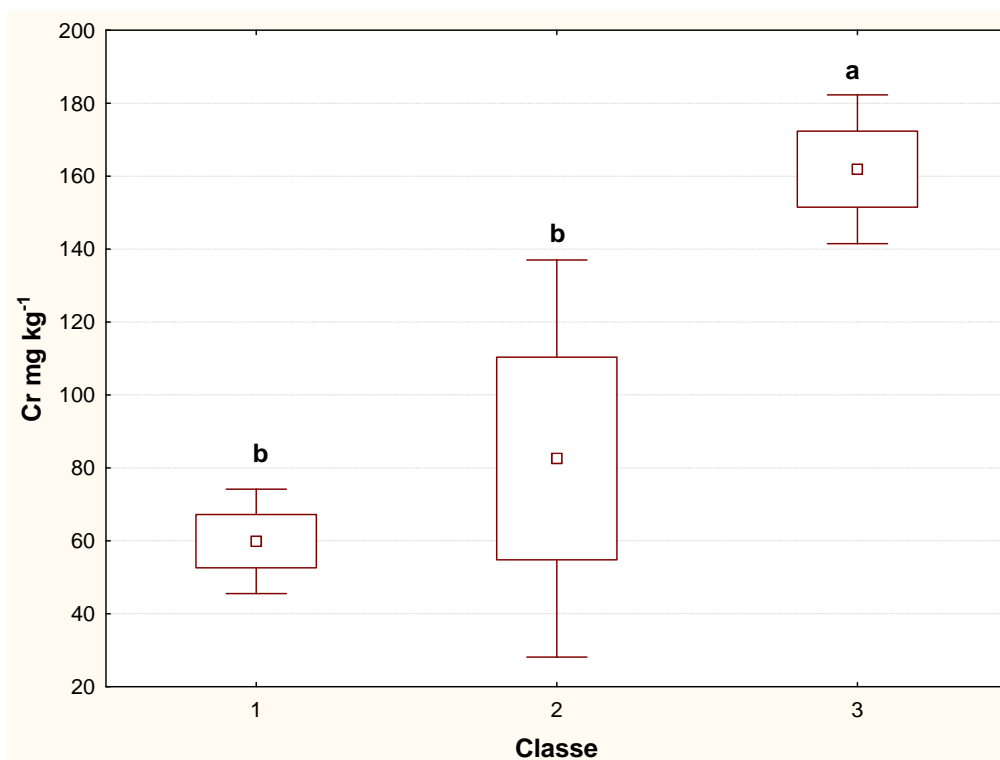
Os Latossolos apresentaram significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores de Cr entre as classes de solos estudadas (Quadro 3. 16).

**Quadro 3. 16. Teores naturais de cromo em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	VAR. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Cr Argissolos	59,87 <sup>b</sup>	19,33	70	3.728,79	3,13	285,73	17,29	44,23	67,14
Cr Cambissolos	81,51 <sup>b</sup>	72,90	53	39.398,81	3,83	1.468,76	16,72	54,25	77,81
Cr Latossolos	161,88 <sup>a</sup>	27,69	68	6.849,23	20,97	486,27	106,83	146,40	197,26

<sup>/1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup> <sup>/2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup>VAR: variância. <sup>/4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>/5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student.

As maiores variâncias relação a média foram observados nos Cambissolos (Figura 3. 30).



**Figura 3. 30. Médias de Cr em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Para os Argissolos, o teor mínimo de Cr foi observado no horizonte A (amostra 42) de um PVA distrófico, originado de Metamórfica / Ígneas, representativo do município de Lavras (Quadro 3. 2). O quartil 25 de Cr foi representado pelo horizonte Bt (amostra 15) de um PVA eutrófico, originado de Calcários, oriundo do município de Montalvânia (Quadro 3. 2). O quartil 75 de Cr foi representado pelo horizonte A do PVA distrófico, originado de Arenito (AR) oriundo de Comendador Gomes (Quadro 3. 2). O teor máximo de Cr foi encontrado no horizonte A de um PVA distrófico, oriundo de AR, representativo do município de Horonópolis (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Cr dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cr em Argissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Calcários < Arenitos.

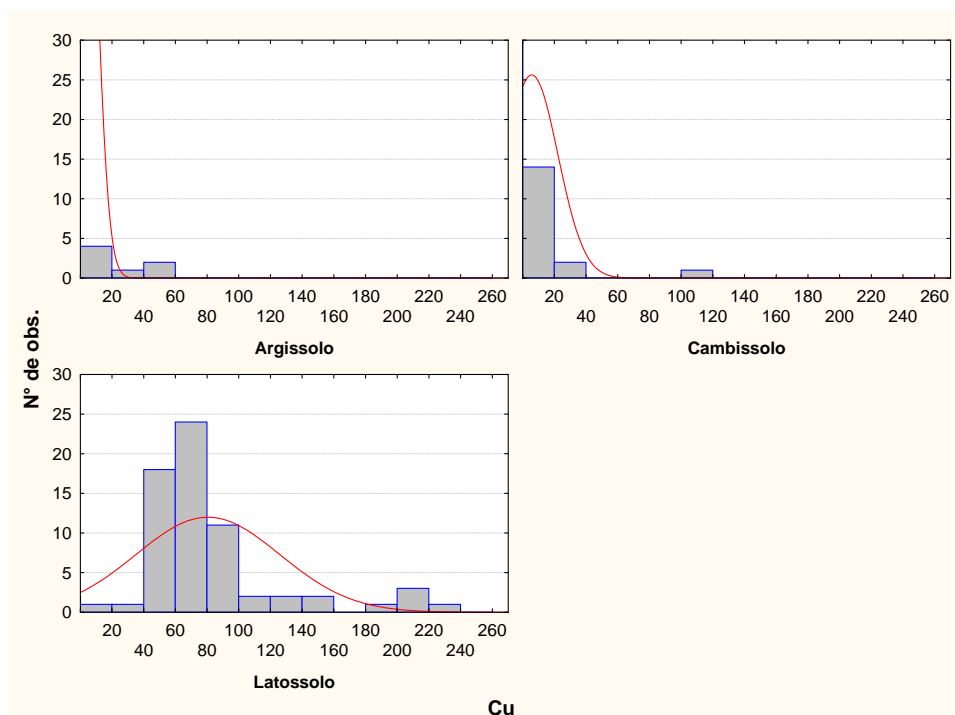
Para os Cambissolos, o teor mínimo de Cr foi observado no horizonte Bi (amostra 100) de um CX, originado de Metamórfica / Ígneas (MI), representativo do município de Porto dos Volantes. Um valor próximo ao quartil 25 foi observado no horizonte A (amostra 109) do CX, originado de MI, representativo de Varginha (Quadro

3. 2). Um valor próximo ao quartil 75 foi observado no horizonte A (amostra 80) de um CX, originado de Argilito/ Siltito, representativo do município de Doresópolis (Quadro 3. 2). O teor máximo de Cr foi encontrado no horizonte A de um CX, originado de MI, representativo do município de Piumhi (Quadro 3. 2). Numa checagem minuciosa, percebe-se, salvo para Ba e Pb, valores anômalos para todos os metais, levantando a hipótese de uma possível contaminação antropogênica deste local. Nos Cambissolos, altos valores ( $> 100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) também foram observados em outras amostras de solos originados de Metamórfica/Ígneas (74; 75; 101; 107; 108; Quadro 3. 2), como também em amostras dos Argissolos (1; 2; 3; 5 Quadro 3. 2) sobre influencia de Arenitos e Metamórficas/Ígneas (25; 26; 30; 39 e 47, Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cr em Cambissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Argilitos / Siltitos.

Para os Latossolos, o teor mínimo de Cr foi encontrado no horizonte Bw (amostra 191) de um LV, originado de Basalto, representativo do município de Uberaba (Quadro 3. 2). O valor próximo ao quartil 25 de Cr foi observado no horizonte A (amostra 171) de um LV, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo do trecho entre Flona a Paraopeba (Quadro 3. 2). O valor próximo ao quartil 75 de Cr foi observado no horizonte Bw de um LVA, originado de Máficas e Ultramáficas, representativo do município de Tiros. O teor máximo de Cr foi observado no horizonte Bw do LV, originado de Argilito / Siltito, representativo de Guimarães (Quadro 3. 2). No entanto teores  $> 100 \text{ mg kg}^{-1}$ , foram comumente observados nos Latossolos (Quadro 3. 2). Segundo Alloway (1990), estes teores são considerados normais (Quadro 3. 9). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cr em Latossolos seguindo a sequência litológica Basaltos < Sedimentos Inconsolidados de Argila < Máficas e Ultramáficas < Argilitos / Siltitos.

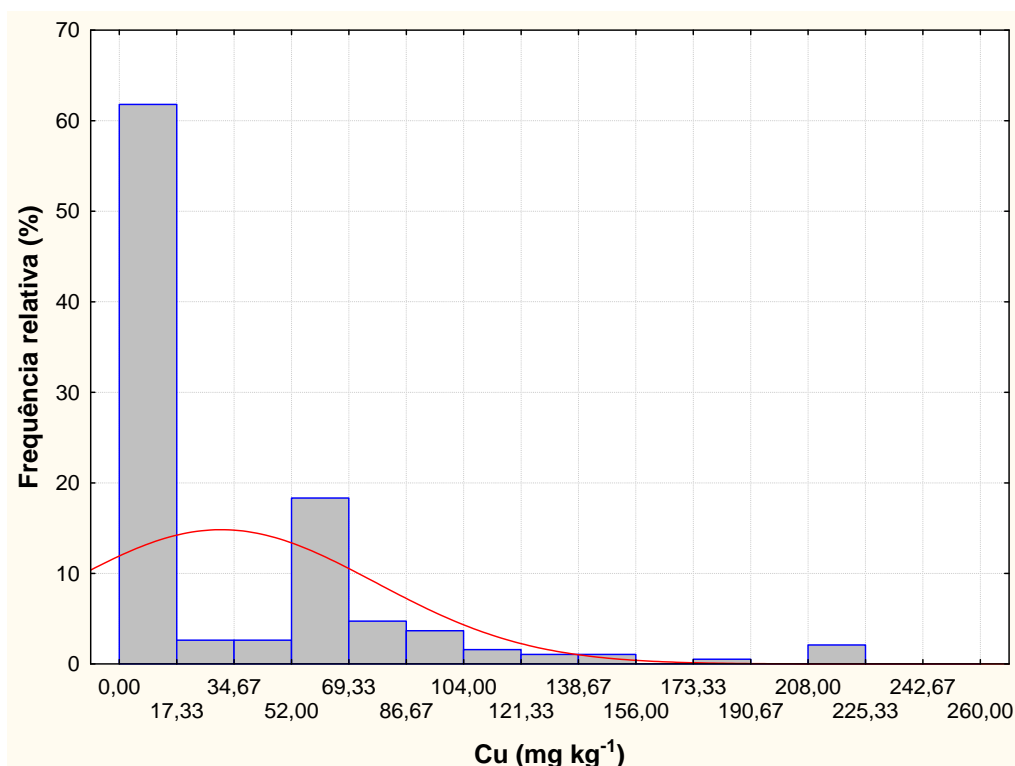
### 3.3.2.8. Cobre.

A distribuição dos teores de Cu encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 31. O elemento cobre se mostrou menos móvel no solo com teores mais concentrados nos Latossolos (Figura 3. 31).



**Figura 3. 31. Número de observações dos teores de cobre (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência de relativa dos teores de Cu nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 75 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 70 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 32).



**Figura 3. 32. Frequência relativa dos teores de Cu para solos do Estado de Minas Gerais.**

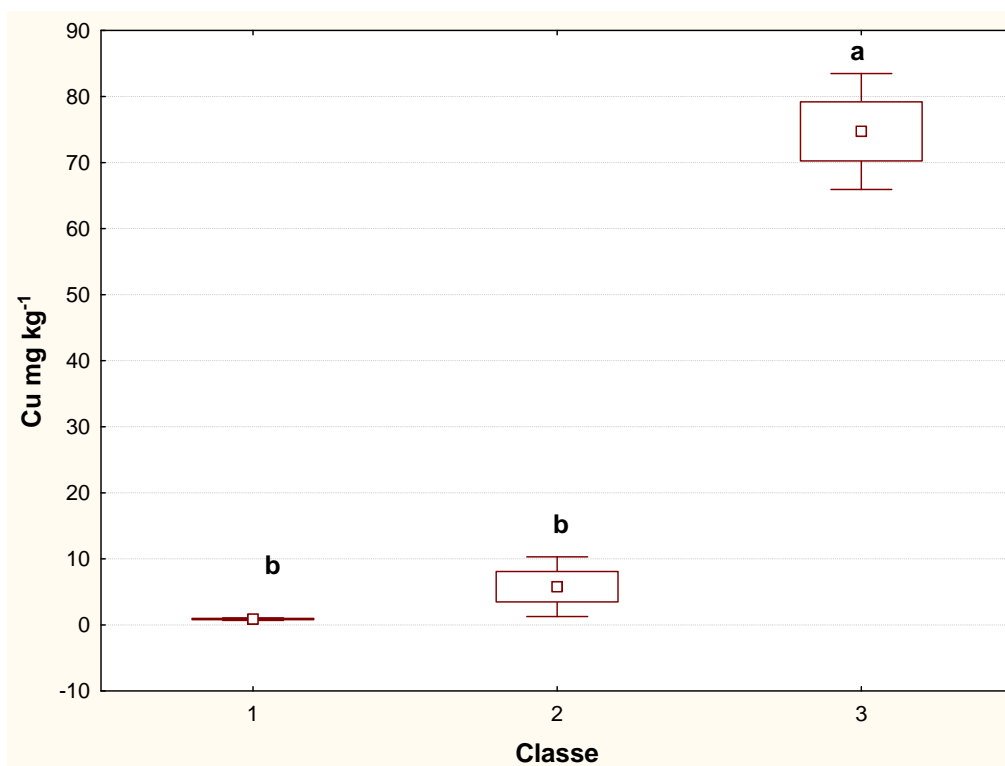
Os Latossolos apresentaram significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores de Cu (Quadro 3. 17).

**Quadro 3. 17. Teores naturais de cobre em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Maximo <sup>1</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>1</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	0,88b	0,26	70	62,17	< L.D. <sup>6</sup>	3,07	0,17	0,80	1,42
<b>Cu</b> Cambissolos	5,67b	6,06	53	272,03	< L.D.	108,90	< L.D.	< L.D.	4,17
Latossolos	74,70a	11,89	68	2.045,67	< L.D.	220,33	58,46	65,05	83,38

<sup>1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student. <sup>6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

As maiores variâncias em relação à média foram observadas nos Latossolos (Figura 3. 33).



**Figura 3. 33. Médias de Cu em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, várias observações apresentaram teores abaixo do limite de detecção (Quadro 3. 2). O valor próximo ao quartil 25 de Cu foi observado no horizonte Bt de um PVA eutrófico, originado de Metamórfica / Ígneas, representativo do trecho entre Itambacuri e Franciscópolis (Quadro 3. 2). O valor próximo ao quartil 75 de cobre foi observado no horizonte A (amostra 20) de um PVA eutrófico, originado de Calcários, representativo de Ourimataí. O teor máximo foi encontrado no horizonte Bt de um PVA distrófico, originado de Arenito, representativo do município de Uberaba (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Cu dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cu em Argissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Calcários < Arenitos.

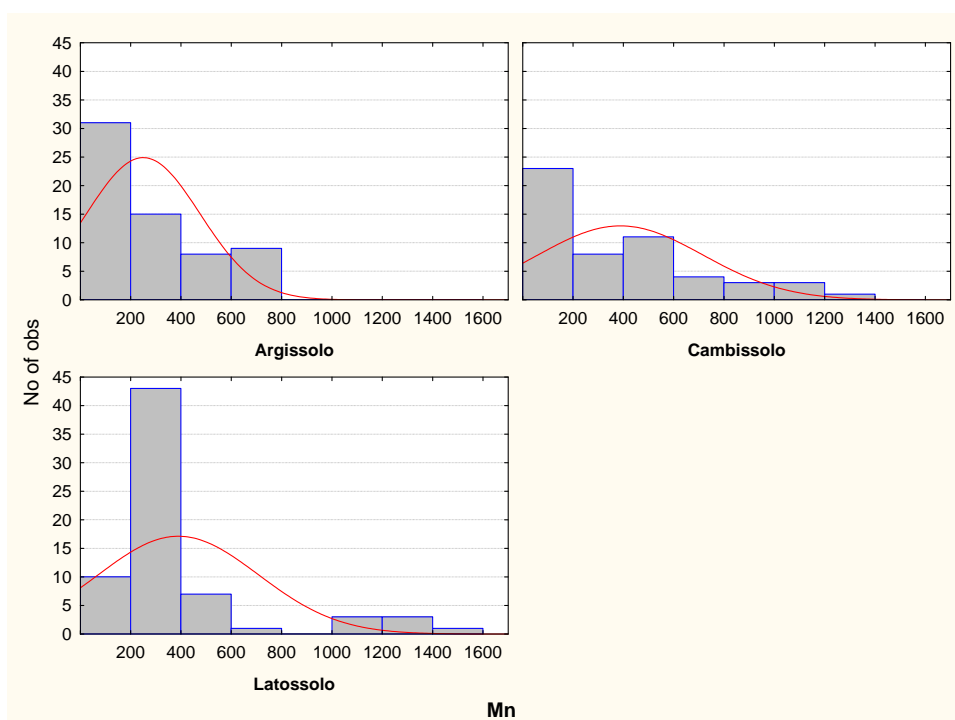
Nos Cambissolos, várias são os teores abaixo do limite de detecção para os teores mínimos e quartil 25 (Quadro 3. 2). O valor próximo do quartil 75 de Cu foi observado no horizonte Bi (amostra 102) de um CX, originado de Metamórfica / Ígneas (MI), representativo do trecho entre Barbacena a Barros. O teor máximo de Cu foi

encontrado no horizonte A de um CX, originado de MI, representativo do município de Piumhi (Quadro 3. 2).

Nos Latossolos, os teores de Cu observados ficaram próximos de algumas observações realizadas por Ker (1995) em Latossolos do Brasil, mas bem acima daqueles observado por Matos et al. (1996) para os Latossolos de Viçosa – MG. O teor máximo de Cu foi observado no horizonte Bw (amostra 189) de um Latossolo Vermelho eutroférico típico, originado de Basalto, representativo de Uberlândia – MG (Quadro 3. 2). Segundo Alloway (1990), este elemento possui uma afinidade com a matéria orgânica do solo e com óxidos de Fe e Mn. Quando observamos o Quadro 3. 7, notamos que não houve uma correlação significativa deste elemento com a matéria orgânica dos Latossolos, mas observando o Quadro 3. 5, vemos uma considerável correlação de cobre com Fe e Mn ( $r > 0,8$  e  $r > 0,7$  respectivamente), sugerindo que este elemento, em Latossolos do Estado de Minas Gerais, está intimamente ligado aos óxidos de Fe e Mn. Segundo Alloway (1990), as intrusões de rochas mais ricas em cobre podem garantir altos teores de Cu em solos originados de rochas aparentemente mais pobres deste elemento. Isto acontece porque o Cu em rochas silicatadas e máficas pode substituir isomorficamente o  $Fe^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$ . Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Cu em Latossolos seguindo a sequência litológica Máficas e Ultramáficas < Sedimentos Inconsolidados de Argila < Basaltos.

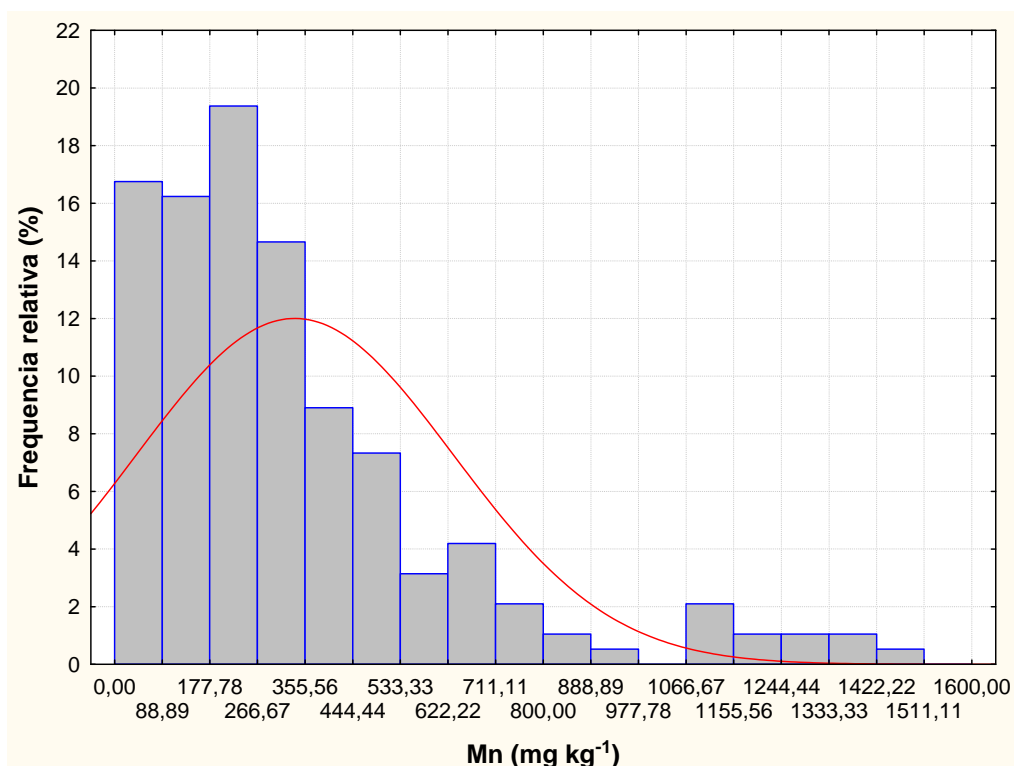
### 3.3.2.9. Manganês.

A distribuição dos teores de Mn encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 34. O Mn se mostrou como um metal menos móvel no solo com teores mais concentrados nos Latossolos. Quase a metade das observações em Latossolos ficaram entre 200 a 400 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 34).



**Figura 3. 34. Número de observações dos teores de manganês (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência de relativa dos teores de Mn nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 75 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 500 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 35).



**Figura 3. 35. Frequência relativa dos teores de Mn para solos do Estado de Minas Gerais.**

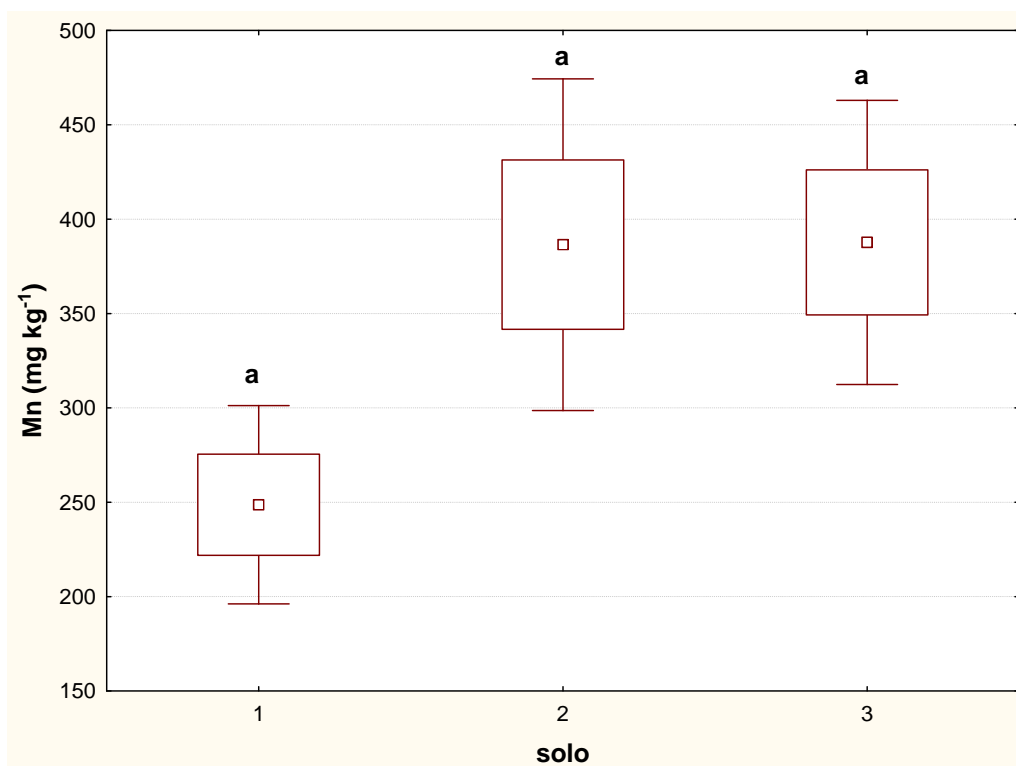
Não houve diferenças estatísticas entre as classes para o elemento Mn (Quadro 3. 18).

**Quadro 3. 18. Teores naturais de manganês em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	VAR. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Mn Argissolos	248,67a	71,01	70	50.305,9	< L.D. <sup>6</sup>	785,48	69,28	165,97	384,21
Mn Cambissolos	386,48a	119,91	53	106.610,9	17,84	1.286,57	124,82	336,42	528,02
Mn Latossolos	387,50a	83,33	68	100.241,4	88,80	1.444,55	217,25	282,30	345,76

<sup>/1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>/2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup>VAR: variância. <sup>/4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>/5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student. <sup>/6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

Percebe-se uma tendência do Argissolo apresentar as menores variâncias em relação a média e menores médias de Mn (Figura 3. 36).



**Figura 3. 36. Médias de Mn em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de Mn foi encontrado em solos derivados de Metamórfica / Ígneas (amostra 36; 41; 66; 68; 70) e Sedimentos Inconsolidados de Argila (amostra 58; 59) ficando estes abaixo do limite de detecção (Quaro 7). Um teor próximo ao quartil 25 de Mn foi observado no horizonte A (amostra 53) de um PVA distrófico, originado de Metamórfica / Ígnea (MI), representativo do Pico do Ibituruna, Governador Valadares (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Mn foi observado no horizonte Bt (amostra 10) de um PVA distrófico, originado Calcários, representativo do município de Santo Hipólito. O teor máximo de Mn foi encontrado no horizonte A (amostra 63) de um PVA eutrófico, originado de MI, representativo do trecho que liga Almenara a Bandeiras (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Mn dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Mn em Argissolos seguindo a sequência litológica Sedimentos Inconsolidados de Argila < Calcários < Metamórfica / Ígnea.

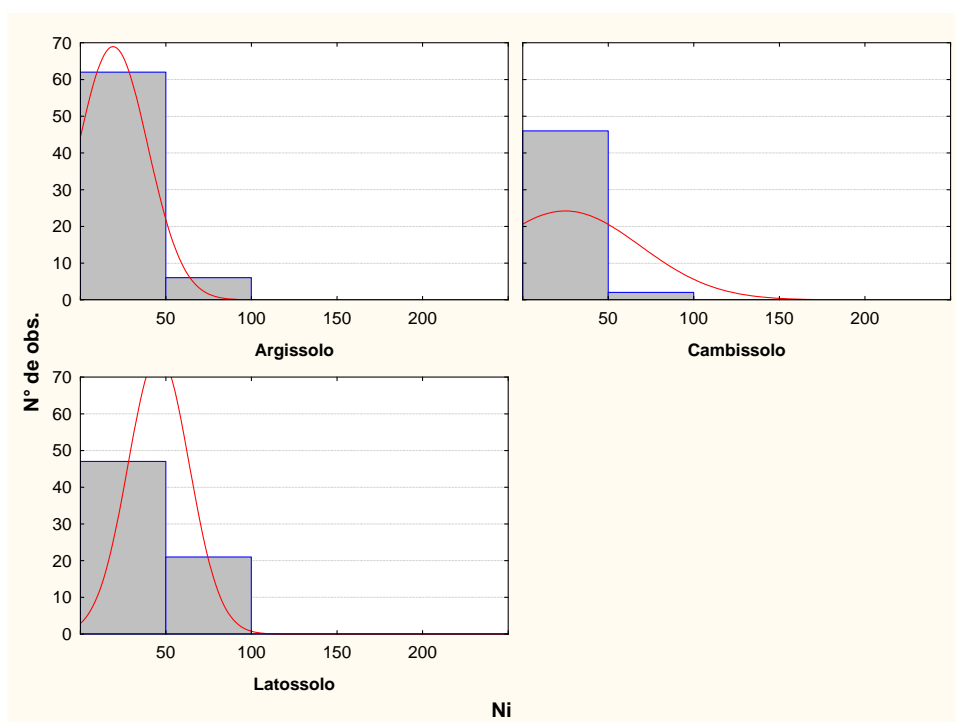
Nos Cambissolos, o teor mínimo de Mn foi encontrado no horizonte Bi (amostra 100) de um CX, originado de Metamórfica / Ígnea (MI), representativo do município de

Porto dos Volantes. Um teor próximo ao quartil 25 de Mn foi observado no horizonte Bi (amostra 75) de um CX, originado de Calcários (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Mn foi observado no horizonte A (amostra 80) de um CX, originado de Argilito / Siltito, representativo do município de Doresópolis. O teor máximo de Mn foi encontrado no horizonte A (amostra 96) de um CX, originado de MI, representativo do município de Piumhi (Quadro 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Mn em Cambissolos seguindo a sequência litológica < Calcários < Argilito / Siltito < Metamórfica / Ígnea.

Nos Latossolos, o teor mínimo de Mn foi encontrado no horizonte Bw (amostra 157) de um LVA, originado de Metamórfica / Ígnea. Um teor próximo ao quartil 25 de Mn foi observado no horizonte A (amostra 168) de um LV, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila (SIA), representativo do trecho que liga as cidades de Abaeté a Paineiras (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Mn foi observado no horizonte A (amostra 171) de um LV, originado de SIA, representativo do trecho entre Fona a Paraopeba (Quadro 3. 2). O teor máximo de Mn foi encontrado no horizonte A (amostra 137) de um LV, originado de Argilito / Siltito, representativo do município de Uberlândia (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Mn dos LVA e LV. Segundo Alloway (1990), os teores de Mn encontrados nos solos do Estado de Minas Gerais são considerados normais. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Mn em Latossolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Sedimentos Inconsolidados de Argila < Argilitos / Siltitos.

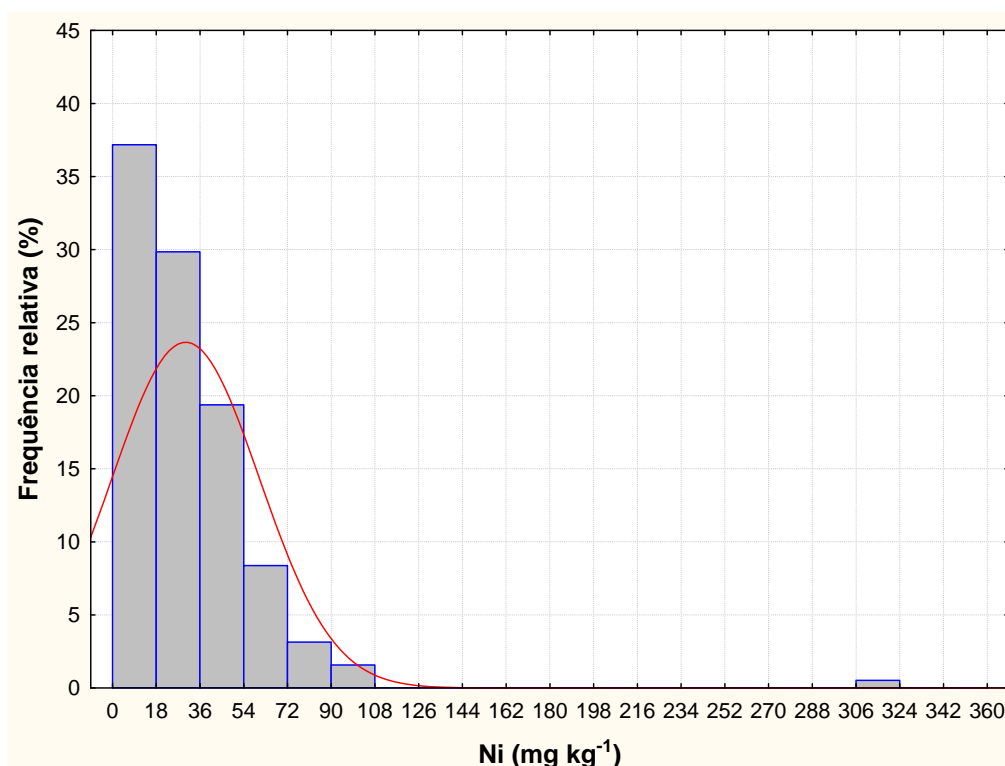
### 3.3.2.10. Níquel.

A distribuição dos teores de Ni encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 37. Foram observados valores até 100 mg kg<sup>-1</sup> para as três classes de solos, com um maior número de observações entre 50 a 100 mg kg<sup>-1</sup> para os Latossolos (Figura 3. 37).



**Figura 3. 37. Número de observações dos teores de níquel (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência de relativa dos teores de Ni nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 85 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 55 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 38).



**Figura 3. 38. Frequência relativa dos teores de Ni para solos do Estado de Minas Gerais.**

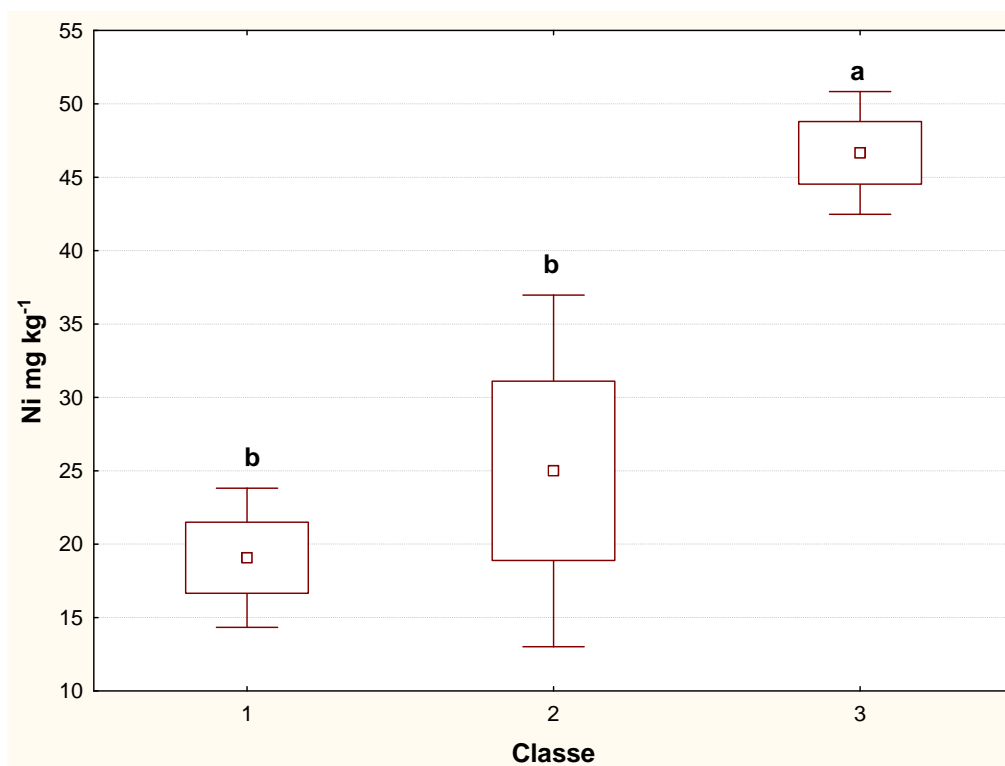
Os maiores teores de Níquel foram estatisticamente ( $p < 0,01$ ) observados nos Latossolos, não havendo diferenças deste elemento entre os Argissolos e Cambissolos (Quadro 3. 19).

**Quadro 3. 19. Teores naturais de níquel em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>4</sup>	Maximo <sup>4</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>4</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	19,07 <sup>b</sup>	6,41	70	409,79	< L.D. <sup>6</sup>	91,76	5,96	12,12	25,07
<b>Ni</b> Cambissolos	24,78 <sup>b</sup>	16,04	53	1.906,81	< L.D.	312,36	4,54	20,87	27,47
Latossolos	46,65 <sup>a</sup>	5,67	68	317,06	9,33	96,89	35,66	42,89	53,48

<sup>1</sup>Dados apresentados em  $\text{mg kg}^{-1}$ . <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student. <sup>6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

As maiores variâncias em relação à média foram observadas nos Cambissolos (Figura 3. 39).



**Figura 3. 39. Médias de Ni em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de Ni foi encontrado em solos derivados de Metamórfica / Ígneas (amostra 41; 68) ficando estes abaixo do limite de detecção (Quaro 7). Um teor próximo ao quartil 25 de Ni foi observado no horizonte Bt (amostra 55) de um PVA distrófico, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila, representativo do município de Açucena (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Ni foi observado no horizonte A (amostra 6) de um PVA eutrófico, originado de Arenito, representativo do município de Comendador Gomes. O teor máximo de Ni foi encontrado no horizonte Bt (amostra 47) de um PVA distrófico, originado de Metamórfica / Ígneas, representativo do trecho que liga Ponte Nova a Oratórios (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Ni dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Ni em Argissolos seguindo a sequência litológica Sedimentos Inconsolidados de Argila < Arenitos < Metamórfica / Ígnea.

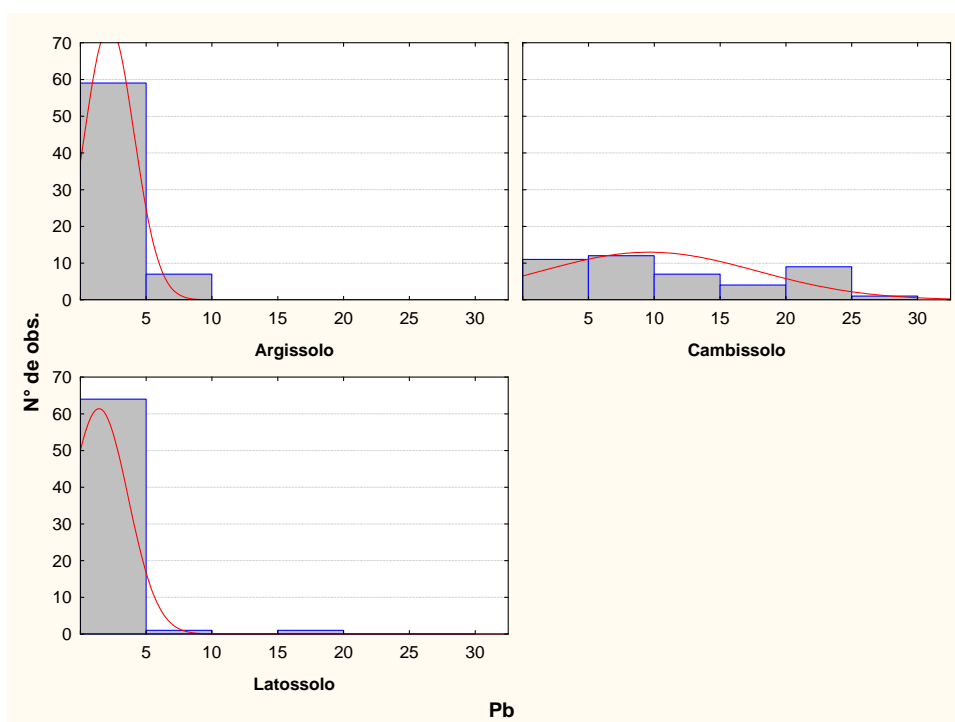
Nos Cambissolos, o teor mínimo de Ni foi encontrado em solos originados de Metamórfica / Ígneas (MI) (amostra 93; 95; 99; 100) (Quadro 3. 2). Um teor próximo

ao quartil 25 de Ni foi observado no horizonte A (amostra 97) de um CX, originado de MI, coletado no trecho que liga Capelinha a Itamarandiba (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Ni foi observado no horizonte Bi (amostra 121; 123) de um CX, originado MI, representativos dos municípios de Salinas e Vargem Bonita respectivamente (Quadro 3. 2). O teor máximo de Ni foi encontrado no horizonte A (amostra 96) de um CX, originado de MI, representativo do município de Plumhi (Quadro 3. 2).

Nos Latossolos, o teor mínimo de Ni foi encontrado no horizonte A (amostra 186) de um LV, originado de Basalto, representativo do município de Conceição das Alagoas (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 25 de Ni foi observado no horizonte Bw (amostra 163) de um LV, originado de Metamórfica / Ígneas representativo do município de Paraguaçu (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Ni foi observado no horizonte Ap (amostra 141) de um LVA, originado de Calcário (Quadro 3. 2). O teor máximo de Ni foi encontrado no horizonte Bw (amostra 138) de um LV, originado de Argilito / Siltito, representativo do município de Uberlândia (Quadro 3. 2). Não houve diferença estatística entre as médias de Ni dos LVA e LV. Os teores de Ni em Latossolos ficaram próximos daqueles obtidos por Ker (1995) para Latossolos do Brasil e dentro da faixa encontrada em solos de outras localidades por diversos autores (Quadro 3. 9). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Ni em Latossolos seguindo a sequência litológica Basalto < Metamórfica / Ígnea < Calcários < Argilitos / Siltitos.

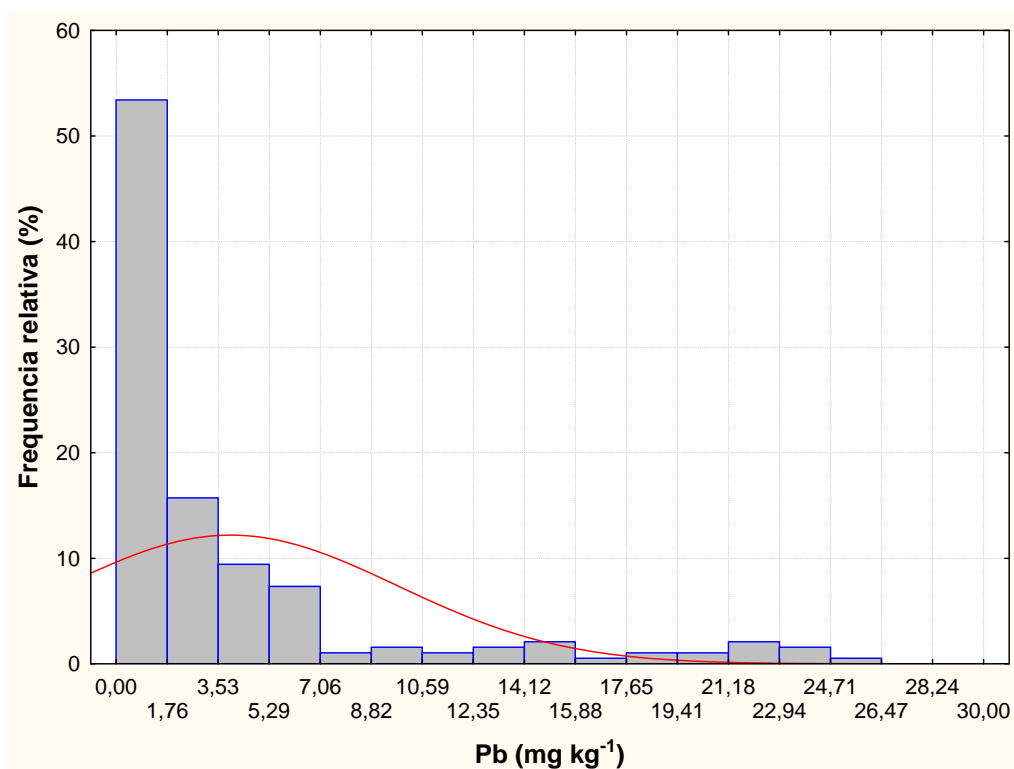
### 3.3.2.11. Chumbo.

A distribuição dos teores de Pb encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 40. Os Argissolos e Latossolos apresentaram maior abundância de teores até 5 mg kg<sup>-1</sup>. Os Cambissolos apresentaram uma maior variação de teores para este metal (Figura 3. 40).



**Figura 3. 40. Número de observações dos teores de chumbo (mg kg<sup>-1</sup>) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência de relativa dos teores de Pb nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 75 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 6 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 41).



**Figura 3.41.** Frequência relativa dos teores de Pb para solos do Estado de Minas Gerais.

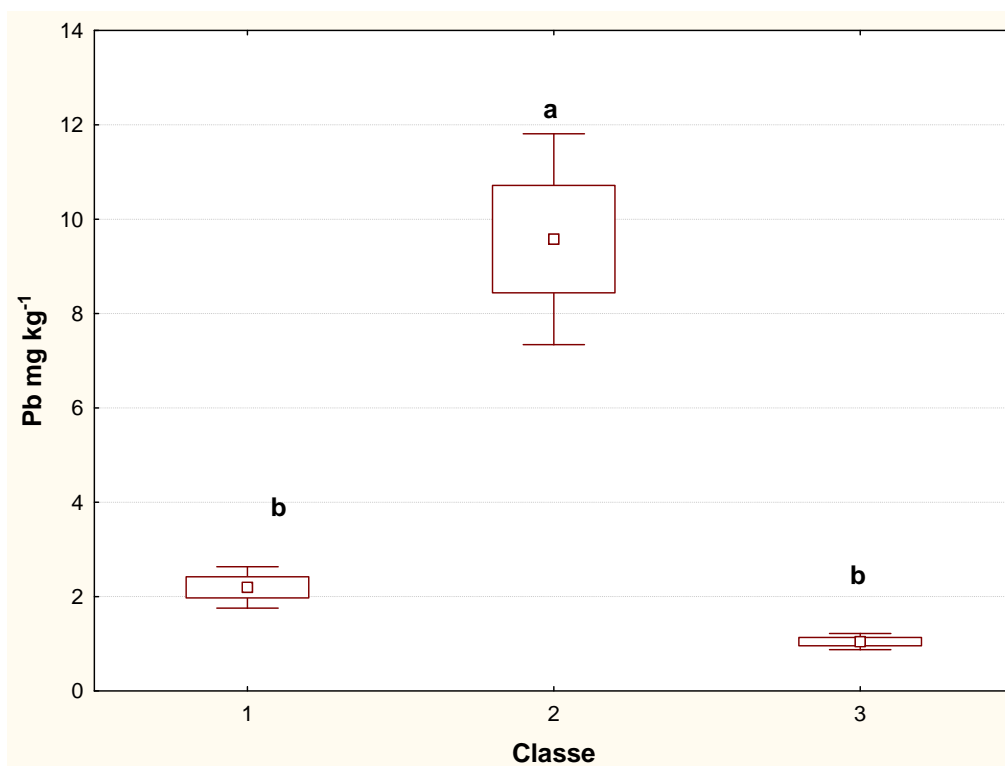
Os Cambissolos apresentaram significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores médios de Pb entre as classes (Quadro 3. 20)

**Quadro 3. 20.** Teores naturais de chumbo em solos do Estado de Minas Gerais

	Media <sup>/1</sup>	±I.C. <sup>/2</sup>	n	VAR. <sup>/3</sup>	Mínimo <sup>/1</sup>	Maximo <sup>/1</sup>	Q25 <sup>/4</sup>	Mediana <sup>/1</sup>	Q75 <sup>/5</sup>
Argissolos	2,19b	0,59	70	3,51	< L.D. <sup>/6</sup>	7,96	0,88	1,39	3,26
<b>Pb</b> Cambissolos	9,55a	2,99	53	66,28	< L.D.	25,95	2,55	6,60	15,38
Latossolos	1,04b	0,24	68	4,88	< L.D.	17,02	0,52	0,83	1,43

<sup>/1</sup>Dados apresentados em  $\text{mg kg}^{-1}$ . <sup>/2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>/3</sup>VAR: variância. <sup>/4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>/5</sup>Q75: quartil superior a 75 % <sup>/6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student. <sup>/6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

As maiores variâncias em relação à média foram observadas para o grupo dos Cambissolos (Figura 3. 42).



**Figura 3. 42. Médias de Pb em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, o teor mínimo de Pb foi encontrado em solos derivados de Arenitos (amostra 5; 6), Sedimentos Inconsolidados de Argila (amostra 57) e Xisto (amostra 62), ficando estes abaixo do limite de detecção (Quaro 7). Teores próximos ao quartil 25 de Pb foram observados em horizonte Bt (amostra 7; 21) de PVA eutrófico, originados de Arenitos e Formações Ferríferas, representativos dos municípios de Uberaba e Araçuaí, respectivamente (Quadro 3. 2). Teores próximos ao quartil 75 de Pb foram observados em um PVA distrófico (amostra 18; 19), originado de Calcários, representativo do município de Montes Claros. O teor máximo de Pb foi encontrado no horizonte A (amostra 35) de um PVA eutrófico, originado de Metamórfica / Ígneas, representativo do município de São Sebastião da Estrela (Quadro 3. 2), porém este resultado levanta a hipótese de haver alguma influência antropogênica, pois o horizonte Bt deste mesmo solo (amostra 45) possui um teor de Pb aproximadamente duas vezes menor daquele observado no horizonte A. Não houve diferença estatística entre as médias de Pb dos PVA distrófico e PVA eutrófico. Os

resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Pb em Argissolos seguindo a sequência litológica Calcários < Metamórfica / Ígnea.

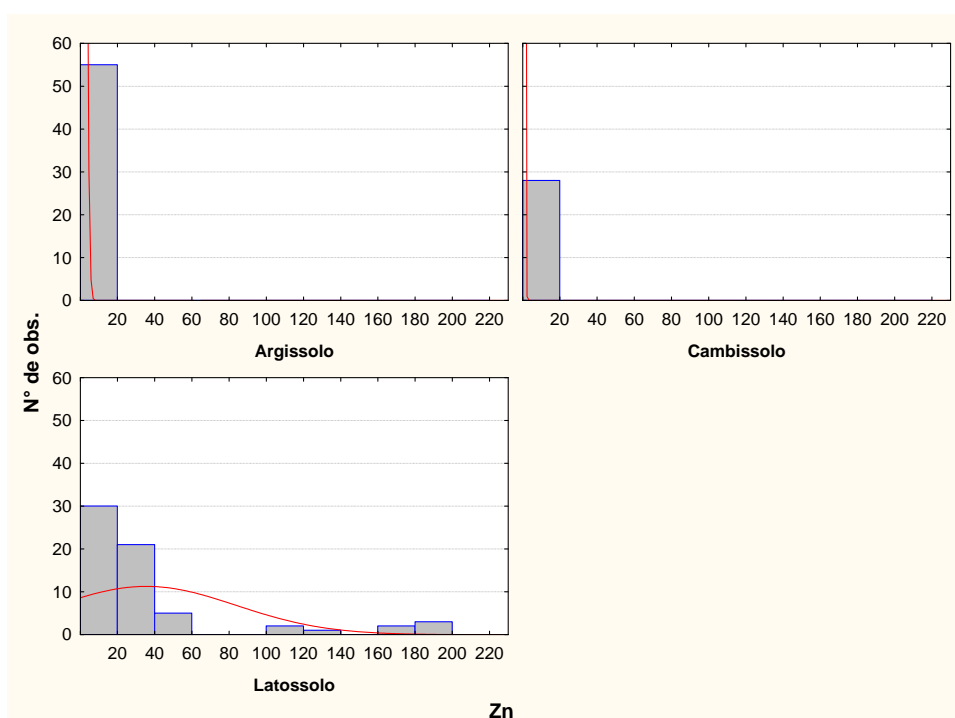
Nos Cambissolos, o teor mínimo de Pb foi encontrado em solos originados de Argilito / Siltito (amostra 74; 87), Calcário (amostra 75; 86; 88) e Metamórfica / Ígneas (MI) (amostra 94; 103; 104; 111) (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 25 de Pb foi observado no horizonte A (amostra 51) de um CX, originado de MI, coletado no município de Quité Velho (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Pb foi observado no horizonte A (amostra 99) de um CX, originado de MI, representativos do município de Porto dos Volantes (Quadro 3. 2). O teor máximo de Pb foi encontrado no horizonte A (amostra 76) de um CX, originado de Argilito / Siltito, representativo do município de Bambuí (Quadro 3. 2). O teor médio obtido para os Cambissolos foi considerado normal quando comparado com os resultados de outros autores (Quadro 3. 9). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Pb em Cambissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea = Calcários < Argilitos / Siltitos.

Nos Latossolos, o teor mínimo de Pb foi encontrado de um LV ((amostra 188; 189), originado de Basalto, representativo do município de Frutal (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 25 de Pb foi observado no horizonte A (amostra 137) de um LV, originado de Argilito / Siltito representativo do município de Uberlândia (Quadro 3. 2). Um teor próximo ao quartil 75 de Pb foi observado no horizonte Bw (amostra 175) de um LV, originado de Sedimentos Inconsolidados de Argila (Quadro 3. 2). O teor máximo de Pb foi encontrado no horizonte Bw (amostra 191) de um LV, originado de Basalto, representativo do município de Uberaba (Quadro 3. 2). Este teor ficou mais de duas vezes maior daquele observado no horizonte A (amostra 190, Quadro 3. 2) deste solo, sugerindo ser esta a característica normal do solo. Não houve diferença estatística entre as médias de Pb dos LVA e LV. Os teores de Pb observados neste estudo ficaram bem abaixo daqueles observados por Ker (1995) e Pierangeli et al. (2001) em Latossolos do Brasil, como também, por Matos et al. (1996) num Latossolo de Viçosa – MG. No entanto, este mesmo autor selecionou os solos estudados pela classe textural, optando por aqueles de textura mais fina. De acordo com Alloway (1990), o Pb possui um raio iônico semelhante ao do K e pode substituir este na estrutura cristalina de rochas silicatadas, mas é observado um decréscimo deste de

rochas ultra-básicas para rochas cristalinas, ou seja, seria de se esperar menores concentrações naturais de Pb em solos de rochas ácidas cristalinas. Isso é observado por Ker (1995) para o solo K11 (originado de Gnaiss; Abre Campo – MG) num teor obtido por emissão de plasma. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Pb em Latossolos seguindo a sequência litológica Argilitos / Siltitos < Sedimentos Inconsolidados de Argila < Basaltos.

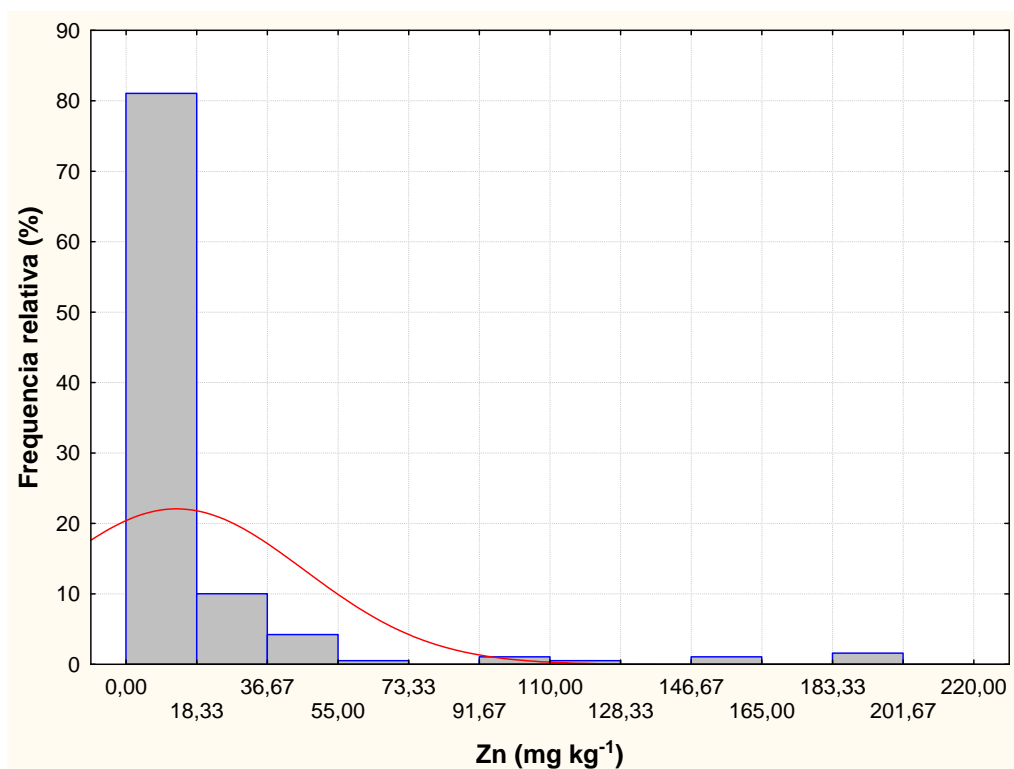
### 3.3.2.12. Zinco.

A distribuição dos teores de Fe encontrados nos solos de Minas Gerais é apresentada na Figura 3. 43. A maior parte das observações em Argissolos resultaram teores até 20 mg kg<sup>-1</sup>. Os Latossolos apresentaram teores acima destes, apresentando também teores anômalos relacionados aos Latossolos originados de basalto (Figura 3. 43).



**Figura 3. 43. Número de observações dos teores de zinco (mg kg<sup>-1</sup>, p < 0,01) em diferentes classes de solos do Estado de Minas Gerais.**

A frequência de relativa dos teores de Zn nos solos do Estado de Minas Gerais mostrou aproximadamente 80 % dos resultados obtidos ficaram abaixo de 19 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3. 44).



**Figura 3. 44. Frequência relativa dos teores de Zn para solos do Estado de Minas Gerais.**

Os Latossolos significativamente ( $p < 0,01$ ) os maiores teores de Zn entre as classes (Quadro 3. 3. 21)

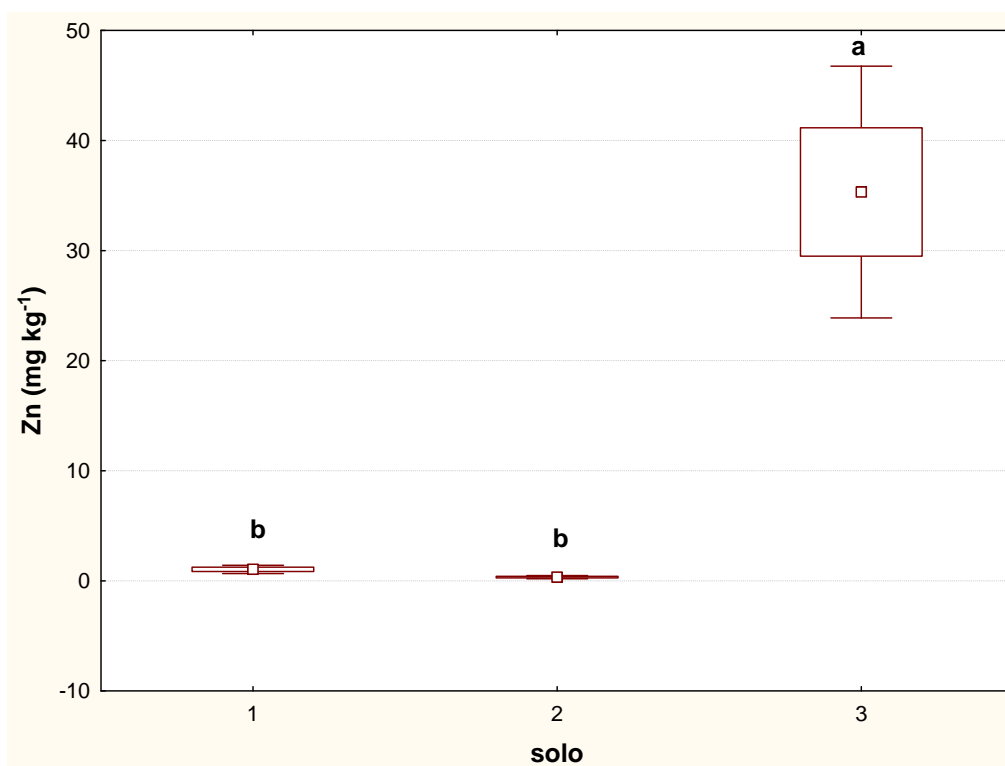
**Quadro 3. 21. Teores naturais de zinco em solos do Estado de Minas Gerais**

	Media <sup>1</sup>	±I.C. <sup>2</sup>	n	VAR. <sup>3</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Maximo <sup>1</sup>	Q25 <sup>4</sup>	Mediana <sup>1</sup>	Q75 <sup>5</sup>
Argissolos	1,03b	0,51	70	2,59	< L.D. <sup>6</sup>	9,12	0,14	0,42	1,35
Zn Cambissolos	0,33b	0,20	53	0,28	< L.D.	2,76	< L.D.	0,15	0,42
Latossolos	35,31a	15,47	68	2.314,66	< L.D.	198,08	10,44	19,96	37,42

<sup>1</sup>Dados apresentados em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>I.C.: intervalo de confiança com 99 % de probabilidade. <sup>3</sup>VAR: variância. <sup>4</sup>Q25: quartil inferior a 25 %. <sup>5</sup>Q75: quartil superior a 75 %. <sup>6</sup>As médias de cada elemento, obtidas pelo método EPA 3051a (1999), em função de cada classe de solo, quando acompanhadas com letras iguais, não diferem entre si, ao nível de 1 % de probabilidade, pelo teste t de Student.

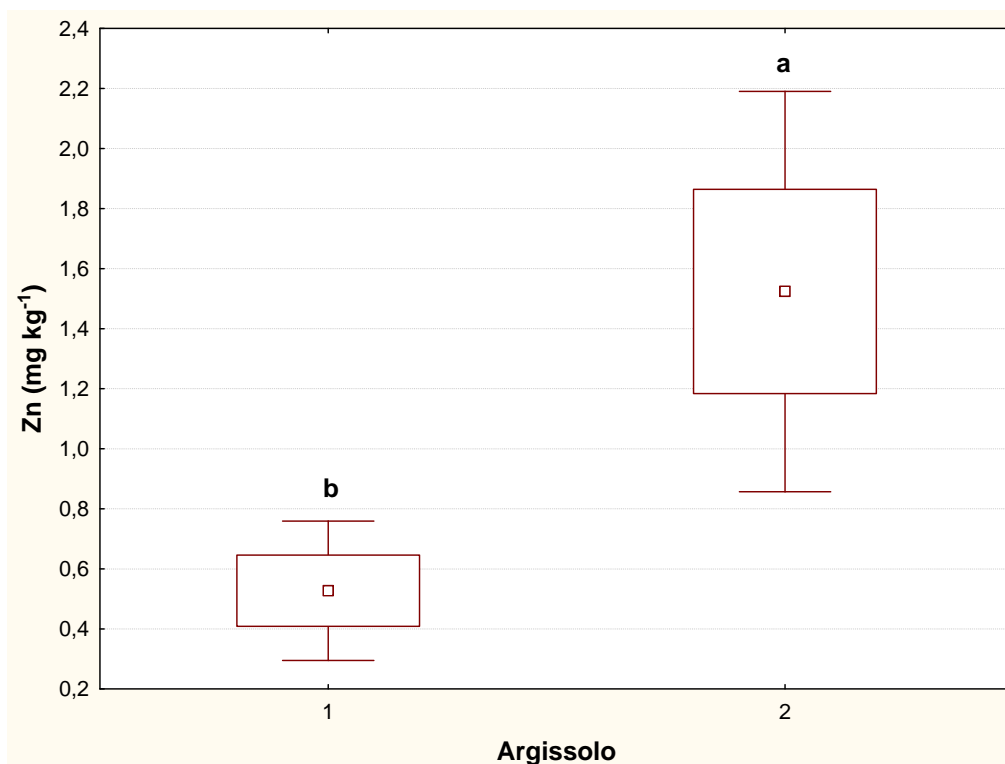
<sup>6</sup>L.D. representa o limite de detecção.

As maiores variâncias em relação à média foram observadas nos Latossolos (Figura 3. 45).



**Figura 3. 45. Médias de Zn em classes de solos (1: Argissolos; 2: Cambissolos; 3: Latossolos) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Nos Argissolos, várias foram as amostras que apresentaram o teor mínimo (< L.D.) (Quadro 3. 3. 2), dentre elas, àquelas de solos originados de Metamórfica / Ígneas (amostra 28; 29; 35; 36; 41; 42; 43; 45 e; 48 e 70), Arenitos (amostra 5; 6); Sedimentos Inconsolidados de Argila (amostra 57; 60) e Xisto (amostra 62). O teor máximo foi observado no horizonte Bt de um Argissolo Vermelho Amarelo originado de Calcários representativo do trecho entre os municípios de Francisco Sá a Montes Claros (Quadro 3. 3. 2). Houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre as médias de Zn dos PVA distrófico (  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e PVA eutrófico ( $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Figura 3. 46). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Zn em Argissolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea = Arenitos = Sedimentos Inconsolidados de Argila < Calcários.



**Figura 3. 46. Médias de Zn em Argissolo distrófico (1) e eutrófico (2) do Estado de Minas Gerais. Os gráficos box plots seguidos de uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste t de Student, ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ = média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Para os Cambissolos, os teores mínimos e o quartil 25 observados (< LD.) representaram solos originados de Argilitos / Siltitos (amostra 74; 75; 77 a 82; ), Calcários (amostra 84 a 90), Metamórfica / Ígneas (96; 101; 105; 106; 11; 112; 122; 123) e Sedimentos Inconsolidados de Argila ( amostra 115) (Quadro 3. 3. 2). O valor semelhante ao quartil 75 foi observado no horizonte A de um Cambissolo originado de Arenito (Quadro 3. 3. 2). O teor máximo foi encontrado no horizonte Bi de um CX, originado de Metamórfica Ígneas, representativo do trecho que liga Barbacena a Barros (Quadro 3. 3. 2). Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Zn em Cambissolos seguindo a sequência litológica Arenitos < Metamórfica / Ígneas.

O teor máximo de Zn encontrados nos Latossolos pertenceu às amostras originadas do Triângulo Mineiro de solos originados de rochas basálticas (amostras 188 a 191). O teor médio e máximo de Zn em Latossolos foi semelhante ao observado por Oliveira & Costa (2004), porém ficou abaixo daqueles observados por Matos et al. (1996) em Latossolos de Viçosa – MG. Segundo Kabata Pendias e Pendias (2000), o Zn

é encontrado principalmente em rochas graníticas e basálticas, em concentrações de 40 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, com teores em solos dos USA variando de 17 a 125 mg kg<sup>-1</sup>, mas os teores aqui observados ficaram bem abaixo daqueles observados por outros autores (Quadro 3. 3. 9). O teor mínimo de Zn encontrado em Latossolos foi de um horizonte Bw pertencente a um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico originado de Metamórfica/ Ígnea representativo do município de Iaphim. Os resultados são sugestivos a um aumento da concentração de Zn em Latossolos seguindo a sequência litológica Metamórfica / Ígnea < Basaltos.

De acordo com o exposto, de modo geral os teores naturais de alumínio, ferro e metais pesados, obtidos pelo método EPA 3051 a (USEPA, 1998), variaram em função da classe de solo e em função do material de origem. Neste sentido, a preposição de um valor único para representar o teor natural de determinado elemento numa classe de solo pode subestimar ou superestimar este valor em função dos diferentes grupos litológicos que originam estes solos. Para evitar tal condição, optou-se por apresentar os teores naturais representativos de cada classe de solo dentro das diferentes unidades litológicas que as compunham utilizando o quartil 75, como proposto pela CETESB (2001) e Martinz-Lladó (2008) (Quadro 3.s 3.22, 3.23, 3.24). O objetivo de utilizar o quartil 75 é para excluir aqueles valores anômalos que podem estar relacionados com contaminações antropogênicas. Acredita-se que os resultados apresentados possam servir de subsídio para o monitoramento e distinção da qualidade natural das principais classes de solo do Estado de Minas Gerais precavendo a sua sustentabilidade.

**Quadro 3. 22. Teores naturais de alumínio e ferro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (quartil 75) em Argissolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologia**

Litologia <sup>1</sup>	Solo	n	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	Argissolos	8	26,17	41,67	21,25	163,91	0,47	16,33	220,74	< L.D. <sup>2</sup>	421,25	40,09	0,77	0,94
4	Argissolos	12	45,54	41,67	80,32	318,86	0,66	8,05	64,33	< L.D.	470,45	32,06	3,26	2,44
5	Argissolos	2	50,97	43,94	93,80	345,46	0,66	24,27	63,10	< L.D.	779,98	34,84	0,95	1,40
7	Argissolos	40	69,29	48,63	43,07	231,19	0,73	12,00	48,56	< L.D.	252,71	15,11	4,08	0,85
8	Argissolos	6	69,53	47,69	229,55	742,40	0,67	9,54	71,93	1,43	502,93	25,26	6,13	1,36
9	Argissolos	2	43,06	45,25	< L.D.	164,74	0,60	12,66	66,64	< L.D.	240,97	24,58	0,35	0,65

<sup>1</sup>Litologia. 1: Arenitos; 2: Argilitos/Siltitos; 3: Basaltos; 4: Calcários; 5: Formações Ferríferas; 6: Máficas e Ultramáficas; 7: Metamórficas / Ígneas; 8: Sedimentos Inconsolidados de Argila 9: Xisto.

**Quadro 3. 23. Teores naturais de alumínio e ferro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (quartil 75) em Cambissolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologia**

Litologia <sup>1</sup>	Solo	n	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	Cambissolos	5	45,82	44,27	1,08	332,43	0,61	28,12	54,26	< L.D.	854,74	20,87	22,33	0,44
2	Cambissolos	10	75,59	61,70	2,03	507,96	1,24	18,35	90,41	15,42	689,88	29,41	18,89	< L.D.
4	Cambissolos	7	81,33	48,38	< L.D.	263,40	0,88	6,83	75,48	< L.D.	148,80	24,36	4,23	< L.D.
5	Cambissolos	2	34,81	39,04	< L.D.	228,55	0,72	20,66	53,47	< L.D.	548,23	34,26	6,60	1,78
7	Cambissolos	24	55,74	39,33	< L.D.	244,31	0,70	15,95	57,55	3,59	484,65	27,49	14,95	0,55
8	Cambissolos	4	54,59	39,14	17,42	300,79	0,73	20,26	59,14	1,27	479,04	26,06	22,85	0,57

<sup>1</sup>Litologia. 1: Arenitos; 2: Argilitos/Siltitos; 3: Basaltos; 4: Calcários; 5: Formações Ferríferas; 6: Máficas e Ultramáficas; 7: Metamórficas / Ígneas; 8: Sedimentos Inconsolidados de Argila 9: Xisto.

**Quadro 3. 24. Teores naturais de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) (quartil 75) em Latossolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologia**

Litologia <sup>1</sup>	Solo	n	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	Latossolos	5	167,87	76,16	12,21	133,12	0,10	27,49	229,09	60,62	297,14	44,43	0,82	12,10
2	Latossolos	10	148,83	83,58	12,24	182,37	0,12	27,37	240,32	93,64	361,53	79,47	2,02	105,57
3	Latossolos	6	171,14	278,48	39,19	78,21	2,93	2.974,68	146,00	211,23	1.247,43	65,09	6,81	196,51
4	Latossolos	3	111,78	72,12	42,57	432,00	0,07	31,05	145,36	67,48	244,21	62,16	2,24	37,42
6	Latossolos	10	140,14	81,29	17,72	313,15	0,13	28,47	197,65	91,65	398,19	69,09	0,61	45,28
7	Latossolos	16	155,87	78,68	13,41	120,15	0,50	27,12	167,98	69,27	411,82	40,11	1,60	22,57
8	Latossolos	13	148,58	75,87	10,14	259,95	0,42	28,30	133,41	72,53	331,40	49,16	1,91	27,51
9	Latossolos	5	131,37	73,24	12,89	344,58	0,70	24,97	250,50	98,23	334,50	51,60	0,85	37,52

<sup>1</sup>Litologia. 1: Arenitos; 2: Argilitos/Siltitos; 3: Basaltos; 4: Calcários; 5: Formações Ferríferas; 6: Máficas e Ultramáficas; 7: Metamórficas / Ígneas; 8: Sedimentos Inconsolidados de Argila 9: Xisto.

### **3.4. Conclusões**

1. Os teores de metais variaram em função dos diferentes materiais de onde dão origem.
2. Não houve diferenças entre as classes de solos para os teores de Cd e Mn.
3. Os Argissolos originados de Sedimentos Inconsolidados de Argila apresentaram os maiores teores do elemento As.
4. Os Cambissolos originados de Argilitos/Siltitos apresentaram os maiores teores dos elementos Ba e Pb.
5. Os Latossolos originados de Argilitos/Siltitos apresentaram os maiores teores dos elementos Cr e Ni.
6. Os Latossolos originados de Basaltos apresentaram os maiores teores dos elementos Co, Cu, Zn.
7. Os Latossolos originados de Metamórfica/Ígneas apresentaram os maiores teores do elemento Al.
8. Os Latossolos originados de Máficas e Ultramáficas apresentaram os maiores teores do elemento Fe.
9. Os teores observados foram considerados normais em comparação com a literatura científica.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Fapemig pelo apoio financeiro ao projeto.

### 3.5. Referências bibliográficas

- ABOLLINO, O.; ACETO, M.; MALANDRINO, M.; MENTASTI, E.; SARZANINI, C.; PETRELLA, F. Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. *Chemosphere*, 49: 545-557, 2002.
- ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P.; CAMARGO, O.A. Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L.R.F.; Cooper, M.; Silva, A.P.; Cardoso, E.J. Ed. *Tópicos de ciência do solo*. – Vol. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. pg. 1-42.
- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990.
- BAK, J.; JENSEN, J.; LARSEN, M.M.; PRITZL, G.; SCOTT-FORDSMAND. A heavy metal monitoring-programme in Denmark. *Sci. Total Environ.*, 207: 179-186, 1997.
- CARNEIRO, P.A.S.; FONTES, M.P.F. Aspectos geográficos e agrícolas do Estado de Minas Gerais. In: pg. Fontes, R.; Fontes, M.P.F. Ed. *Crescimento e desigualdade social em Minas Gerais*. Viçosa – MG, 2005. 151-218.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. DOROTHY C.P. CASARINI et al., São Paulo: CETESB, 2001. 73p. (Série Relatórios Ambientais).
- CHEN, J.S.; DENG, B.S.; PAN, M.; WANG, X.J.; ZENG, S.Q.; HE, QUN. Geographical tendencies of trace element contents in soils derived from Granite, Basalt and Limestone of eastern China. *Pedosphere*, 3: 45-55, 1993.
- CHEN, M.; MA, L.Q.; HARRIS, W.G. Baseline concentrations of 15 elements in Florida surface soils. *J. Environ. Qua.*, 28: 1173-1181, 1999.
- CHEN, T. B.; WONG, J. W. C.; ZHOU, H. Y.; WONG, M. H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environ. Pol.* 96, 61-68, 1997.
- CHICHARRO MARTÍN, A.; CALA RIVERO, V. LARREA MARÍN, M.T. Contamination by heavy metals in soils in the neighborhood of scrapyards of discarded vehicles. *Sci. Total Environ.*, 212: 145-152, 1998.

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In, Meurer, E.J. Ed. Fundamentos de química do solo, 2 ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. Pg239-266.

DOELSCH, E. MACARY, H.S.; Van de KERCHOVE, V. Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Réunion). J. Geoch. Explo., 88: 194-197, 2006.

EMBRPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MANZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. Rev. Bras. Eng. Agri. Amb., 10: n.3, 699–705, 2006.

FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLÉN, L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metals sources in soils. Environ. Pollut., 114: 131-324, 2001.

HORCKMANS, L.; SWENNEN, R.; DECKERS, J.; MAQUIL, R. Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg. Catena, 59: 279-304, 2005.

KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants – 3ª ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000. 315p.

KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa – UFV, 1995, 181p. (Tese de doutorado)

LIMA, C.E.P. Produção de mapas de vulnerabilidade de solos e aquíferos à contaminação por metais pesados para o Estado de Minas Gerais. Viçosa – MG, 2007. 93p. (Dissertação de mestrado)

MA, L.Q.; TAN, F.; HARRIS, W.G. Concentration and distributions of eleven metals in Florida soils. J. Environ. Qual., 26: 769-775, 1997.

MARTINEZ-LLADÓ, X.; VILÀ, M.; MARTÍ, V.; ROVIRA, M.; DOMÈNECH, J.A.; PABLO, J. trace element distribution in topsoils in Catalonia: Background and reference values and relationship with regional geology. Environ. Engineer. Sci., 25: 863-878, 2008.

MARTÍNEZ, J.; LLAMAS, J.; MIGUEL, E.; REY, J.; HIDALGO, M.C. Determination of the geochemical background in a metal mining site: example of the mining district of Linares (South Spain). J. Geochem. Explo., 94: 19-29, 2007.

- MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; JORDÃO, C.P.; COSTA, L.M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 20: 379-386, 1996.
- McGRATH, D. Use of microwave digestion for estimation of heavy metal content of soils in a geochemical survey. Talanta, 46: 439-448, 1998.
- McGRATH, S.P.; ZHAO, F.J. Ambient background metal concentrations for soils in England and Wales. Science Report SC050054, Environment Agency, 2006.
- MOREIRA-NODERMANN, L.M. A Geoquímica e o meio ambiente. Geochimica Brasiliensis, v.1, n.1, p.89-107, 1987.
- MORTON-BERMEA, O. ET AL, Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City, J. Geoch. Expl. (2008), doi:10.1016/j.gexplo.2008.07.002
- OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; HORN, A.H. Relationship between magnetization and trace elements content of Brazilian soils from different parent materials. Soil Sci., 165: 825 – 834, 2000.
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M. Metais pesados em solos de uma topolitossequência do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 28: 785-796, 2004.
- O'NEILL, P. Arsenic. In: ALLOWAY, B.J. ed., Heavy metals in soils. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990. P.83-89.
- PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.M. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. R. Bras. Ci. Solo, 25: 279-288, 2001.
- SALONEM, V-P; KORKKA-NIEMI, K. Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. Appli. Geochem., 22: 906-918, 2007.
- STEINNES, E.; ALLEN, R.O.; PETERSEN, H.M.; RAMBÆK, J.P.; VARSKOG, P. evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long-range atmospheric transport. Sci. Total Environ., 205: 255-266, 1997.
- SU, Y.-Z.; YANG, R. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, north-west China. J. Geoch. Expl., 98: 57-64, 2008.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

ZHAO, Y-F; SHI, X-Z; HUANG, B.; YU, D.S; WANG, H.J; SUN, W.X; ÖBOERN, I.; BLOMBÄCK, K. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based peri-urban area in Wuxi, China. *Pedosphere*, 17: 44-51, 2007.

ZHENG, Y.-M.; CHEN, T.-B.; HE, J.-Z. Multivariate Geostatistical analysis of heavy metals in topsoils from Beijing, China. *J. Soils Sed.*, 8: 51-58, 2008.

WILSON, M.A.; BURT, R.; INDORANTE, S.J.; JENKINS, A.B.; CHIARETTI, J.V.; ULMER, M.G.; SCHEYER, J.M. Geochemistry in the modern soil survey program. *Environ. Monit. Assess.* (2007), doi: 10.1007/s10661-007-9822-z

## **CAPÍTULO 4.**

**GEOQUÍMICA DOS METAIS PESADOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE DIFERENTES LITOLOGIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

#### **4.1. Introdução.**

Os solos variam de acordo com os fatores formação (clima, organismos, material de origem, relevo e tempo), numa escala continental ou local, adquirindo diferentes características (Rezende et al., 2002). Segundo Alloway (1990), a maioria dos metais pesados ocorre naturalmente nos solos, em baixas concentrações, em formas não prontamente disponíveis para as plantas, animais e relacionados à rocha que lhe deu origem. Rochas sedimentares abrangem aproximadamente 75 % da superfície terrestre, sendo mais importantes do que as rochas ígneas como materiais de origem para os solos (Tourtelot, 1971; Alloway, 1990). De acordo com Alloway (1990), elas são formadas pela diagênese de sedimentos compostos de fragmentos de rochas ou minerais primários resistentes, minerais secundários como argilas ou precipitados químicos como  $\text{CaCO}_3$ . A concentração de metais pesados em rochas sedimentares depende da mineralogia e das propriedades adsorptivas do material sedimentar, da matriz e da concentração de metais na água em que os sedimentos foram depositados. Em geral, argilas e xistos possuem altas concentrações de muitos elementos e habilidade de adsorver íons metálicos.

Neste contexto, a composição do solo possui uma estreita relação com a composição química e mineralógica da rocha. Ainda assim, diferentes materiais de origem podem originar solos uma mesma classe e/ou de classes distintas. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (2003), no Estado de Minas Gerais, na Bacia do Paraná e arredores e na bacia Sanfranciscana, durante o Neoproterozoico, no Cryogeniano (850 a 650 milhões de anos), ocorreu a constituição do Subgrupo Paraopeba Indiviso (Grupo Bambuí), marcado pela formação de rochas calcárias. Mais recentemente, durante o Mesozóico, no Cretáceo Superior (96 a 65 milhões de anos), ocorreu a constituição de diferentes Grupos (Bauru, Caiuá, Urucuia, Mata da Corda e

Areado) de rochas sedimentares representadas, em comum, por Arenitos. Em ambas as formações encontramos a classe Argissolos, que de acordo com Carneiro & Fontes (2005), a porção mais expressiva de domínio desta classe está localizada na parte leste do Estado de Minas Gerais, desde o norte (Vale do Jequitinhonha) até o sul (Serra da Mantiqueira), em áreas de relevo mais ondulado, geralmente relacionados com as rochas ígneas do Pré-Cambrianas que constituem o Embasamento Cristalino .

Segundo Amaral (1993), que fez um levantamento da aptidão agrícola do Estado de Minas Gerais (escala 1:1.000.000), a classe dos Argissolos se distribuía em aproximadamente 20 % de todo o território mineiro, mas em escala maior (1:600.000), esta cobertura descrese para aproximadamente 10 % do território (Marques et al., 2007). Pelo conceito e definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS) (EMBRAPA, 2006), a Ordem Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizontes B textural de argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos pelo SIBCS para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (Embrapa, 2006). No entanto, de acordo com Carvalho Júnior et al. (2008), apesar de sua importância e do considerável acervo de dados sobre esse solo, ainda não foram exauridas todas as possibilidades de sua interpretação.

Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que não satisfação os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Chernossolos, Plintossolos ou Gleissolos. O conceito central é o de solos em estágio intermediário de intemperismo, isto é, que não sofreram alterações físicas e químicas muito avançadas. É também uma característica desses solos a pequena diferença de argila ao longo do perfil, exceção feita aos Cambissolos desenvolvidos de sedimentos aluviais, os quais podem apresentar distribuição de argila bastante irregular ao longo do perfil (Oliveira, 2008). Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas

de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um lugar para outro (Embrapa, 2006).

A concepção central é, portanto, a de solos que em geral não são muito profundos, que apresentam teores relativamente elevados de minerais primários facilmente intemperizáveis, atividade da fração argila média a alta e *solum* com discreta variação de textura. Há, contudo, inúmeros casos de Cambissolos que fogem a esse padrão. Os Cambissolos Latossólicos, por exemplo, são solos morfologicamente bastante semelhantes aos Latossolos, podendo apresentar ainda baixa capacidade de troca de cátions, ou virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis, ou pequena relação silte/argila (Oliveira, 2008).

Os Cambissolos, diferentemente da maioria dos Argissolos, não apresentam acréscimo importante de argila no horizonte B, fato que os torna, em igualdade de condições de relevo e uso, menos susceptíveis à erosão. O caráter abruptico, planossólico e epiáquico, tão comum entre os Argissolos, é incompatível com o conceito de Cambissolo (Oliveira, 2008).

Os Latossolos compreendem solos constituídos de material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial. Os solos dessa ordem ocupam aproximadamente 50 % do território brasileiro, constituindo, portanto, nesse aspecto, a ordem mais importante do país (Oliveira, 2008). No Estado de Minas Gerais, de acordo com Marques et al 2007 (dados não publicados), os Latossolos ocupam mais de 50 % de todo território, refletindo a importância desse solos para o Estado. São solos que apresentam avançado estágio de intemperismo e, conseqüentemente, material coloidal de constituição predominantemente oxídica, praticamente sem filossilicatos 2:1 conferindo a estes solos uma estrutura granular fortemente desenvolvida com baixa capacidade de troca de cátions e permeabilidade excessiva (Ker, 1997). Sua reserva em nutrientes é, portanto, muito reduzida, fato que não impede que sejam solos bastante produtivos quando bem manejados.

Recentemente, muitos pesquisadores têm utilizado técnicas de estatística multivariada para melhor entendimento e estratificação do ambiente. A análise de componentes principais é uma técnica multivariada de ordenação que busca variáveis latentes que representam combinações lineares de um grupo de variáveis sob estudo que são, por sua vez, relacionadas (Ferreira, 2008). O objetivo é encontrar uma forma de condensar a informação contida em um determinado número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis (fatores) com perda mínima de informação. Neste sentido, a análise de componentes principais pode ser usada para identificar e quantificar a variação do solo associada a diferentes processos pedogenéticos (Carvalho Júnior et al., 2008).

Gomes et al. (2004) utilizaram análise de componentes principais (ACP) para avaliar diferenças de entre Latossolos e Neossolos relacionados com as superfícies geomórficas Sul-Americana e Velhas na região dos Cerrados, com o intuito de permitir a distinção mais detalhada das paisagens em condições naturais. Os autores concluíram que a análise realizada possibilitou melhor entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo.

Carvalho Júnior et al. (2008) utilizaram a ACP e a análise discriminante na avaliação de atributos físicos e químicos de perfis de Argissolos, descritos nas folhas do projeto RADAMBRASIL, para aprofundar o conhecimento pedogeomorfológico desse solos, com o intuito de permitir melhor separação das diferentes pedopaisagens. Os autores concluíram que a técnica possibilitou melhor entendimento das relações geomorfológicas dos Argissolos dos diferentes domínios estudados.

Loska & Wiechula (2003) utilizaram a ACP para estimar a origem da contaminação dos sedimentos do Reservatório de Rybnik, Polônia, por metais pesados. Os autores concluíram que a ACP ajudou a encontrar concentrações elevadas de Cd, Pb, Ni e Zn relacionadas com o influxo contaminado do Rio Ruda, que abastece o reservatório, devido a sua longa extensão de transporte e que a contaminação por Cu e Mn, resulta em primeiro lugar pela precipitação atmosférica.

Mandal et al., (2008) utilizaram a ACP para avaliar o impacto da qualidade da água de irrigação em solos calcários. Os autores concluíram que a ACP permitiu integrar dados da biologia, química e física do solo para a aplicação de um melhor manejo ecológico do solo.

Pretendeu-se com este trabalho testar a hipótese da existência de diferenças nos atributos físicos e químicos em uma mesma classe de solo, porém estratificada pela diferença do material de origem. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a geoquímica de metais pesados em solos de diferentes litologias no Estado de Minas Gerais com o uso de técnicas multivariadas de análise das componentes principais e função discriminante.

## 4.2. Material e métodos.

Todas as amostras foram coletadas em superfície e sub-superfície sob vegetação nativa com trado tipo caneco de aço inox, armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas. As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de plástico de malha de dois mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas e físicas de forma geral seguiram as recomendações EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados Argila dispersa em água, granulometria, P, K, Na, Ca, Mg e Al trocáveis, acidez potencial (H + Al), pH em água, pH em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e as saturações de bases (V) e por Al (m). As determinações dos metais pesados foram obtidas, em triplicatas, pelo método EPA 3051a (USEPA, 1998) em forno de micro-ondas Milestone Ethos Pró utilizando reagentes de pureza analítica. Para a calibração do método EPA 3051a (USEPA, 1998) utilizou amostras do padrão (SS-1 (EnviroMAT SCP Science®) com valores certificados. Os extratos analíticos foram dosados por espectrofotometria de emissão óptica em plasma (ICP – OES Otima 3.300 DV). Para a calibração do ICP – OES, foram preparadas soluções de referência multielementar utilizando água deionizada. Todos os materiais utilizados na análise foram descontaminados por imersão em solução HNO<sub>3</sub> 10 % v/v por 12 horas.

A matriz de correlação de Pearson, a análise de componentes principais (ACP), análise discriminante (FD), o teste de normalidade Komolgorov-Smirnov, a análise variância (ANOVA) e o teste *t* de *Student* foram utilizados para discutir os resultados encontrados em função das variáveis analisadas com o uso do programa Statistica versão 7.0.

### 4.3. Resultados e Discussão.

#### 4.3.1. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Argissolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem.

Foram separadas amostras de Argissolos representantes de três unidades geológicas distintas encontradas no Estado de em Minas Gerais (Quadro 4.1).

**Quadro 4.1. Número de amostras estudadas para cada unidade litológica dos Argissolos do Estado de Minas Gerais**

Unidade Geológica	Grupo	Classe de Solo	n
Arenitos (AT)	1	PVA	8
Calcários (CC)	2	PVA	12
Metamórfica/Igneas (M/I)	3	PVA	26

##### 4.3.1.1. Estatística descritiva.

No aspecto da fertilidade, os Argissolos variaram de distróficos a eutróficos, com presença de argila de atividade baixa (Ta) e alta (Tb) e variando de hipoférrico a mesoférrico (10 a 102 g/kg de  $Fe_2O_3$ ) (Quadro 4.2).

As variáveis que pela matriz de correlação ( $p < 0,01$ ) apresentaram coeficientes de correlação menores que 0,6 ( $r = 0,6$ ) foram retiradas da análise. Neste sentido, as variáveis: Horizonte, areia grossa (AG), silte, pH (KCl), K, Na, ISNa,  $Al^{3+}$ , H + Al, m, matéria orgânica, As, Ba, Cu e Pb, representando aproximadamente 47 % do total de variáveis ficaram de fora da análise (Quadro 4.2). Estas variáveis são aquelas que, dentro do contexto de variabilidade dos subconjuntos formados em função dos diferentes materiais de origem, não possuem diferenças estatísticas entre os grupos (Quadro 4.1) para representar os Argissolos.

**Quadro 4.2. Estatística descritiva dos Argissolos do Estado de Minas Gerais**

Variável	n	Média	Mínimo	Máximo	D. P.
ADA (%)	46	7,83	1,00	28,00	6,17
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	46	18,80	4,00	38,00	9,44
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	46	26,50	2,00	61,00	18,54
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	46	19,26	5,00	53,00	13,77
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	46	35,43	13,00	65,00	14,86
pH (H <sub>2</sub> O)	46	5,48	4,30	7,25	0,70
pH (KCl)	46	4,53	3,59	6,65	0,67
P (mg dm <sup>-3</sup> )	46	3,70	< L.D.	46,60	8,54
K (mg dm <sup>-3</sup> )	46	73,70	8,00	204,00	52,97
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	46	1,07	< L.D.	7,60	1,77
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	2,80	0,04	11,74	2,95
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	1,23	0,05	9,04	1,79
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	0,44	< L.D.	3,18	0,73
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	4,06	0,80	8,00	1,61
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	4,23	0,16	18,41	4,35
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	4,67	0,72	18,41	4,08
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	46	8,29	3,07	20,81	3,89
V (%)	46	43,20	2,40	88,50	26,37
m (%)	46	20,69	< L.D.	87,90	29,34
ISNa (%)	46	0,11	< L.D.	0,72	0,19
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	46	2,40	0,26	6,98	1,50
P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	46	33,36	3,90	56,30	13,52
B (mg dm <sup>-3</sup> )	46	0,23	0,04	0,74	0,15
S (mg dm <sup>-3</sup> )	46	10,37	< L.D.	35,80	6,74
Al (g kg <sup>-1</sup> )	46	43,98	12,52	81,37	19,35
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	46	34,70	7,49	72,97	15,76
As (mg kg <sup>-1</sup> )	46	38,26	< L.D.	144,54	32,45
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	46	133,12	< L.D.	418,94	112,42
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	46	0,47	< L.D.	1,31	0,35
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	46	9,55	< L.D.	51,34	10,26
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	46	72,97	< L.D.	285,74	70,13
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	46	1,04	< L.D.	3,08	0,87
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	46	240,99	27,75	640,70	181,82
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	46	22,55	2,52	91,76	22,90
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	46	2,08	< L.D.	7,96	1,74
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	46	0,97	< L.D.	9,13	1,70

ADA – Argila dissolvida em água; F - Na - K - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-Rem = Fósforo Remanescente; Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn – EPA 3051a (1998).

#### 4.3.1.2. Matriz de correlação de Pearson.

Interpretando a matriz de correlação (Quadro 4.3) percebemos que ocorreram melhores correlações significativas ( $p < 0,01$ ) entre litologia e Al extraído pelo método EPA 3051a, areia fina (AF) e argila (ARG). Porém, para as variáveis Al e ARG, as correlações foram positivas, indicando que houve incremento destas seguindo do grupo Arenito < Calcários < Metamórfica/Ígneas. Quanto a variável AF, a correlação foi inversa, com menores quantidades em Argissolos de Metamórfica/Ígneas e maiores quantidades naqueles de Arenitos.

O teor de argila (ARG) teve correlações significativas com Al, Fe e Cd. Isto sugere uma predominância maior de Al na fração argila, fato observado também no Quadro 4.2, onde os teores de Al foram superiores aos teores de Fe. De acordo com Faure (1991), pela classificação geoquímica dos elementos, o Fe é um elemento siderófilo, mas possui afinidade com elementos calcófilos e litófilos. A considerável correlação que ocorre entre Al e Fe se explica em função de que estes dois elementos são classificados geoquimicamente como siderófilos. Porém, afinidade secundária do elemento Fe explica a alta afinidade deste com Cd, visto ser este pertencente ao grupo calcófilo. Ademais, o método EPA 32051a é um extrator de formas pseudo totais, assim o Al e o Fe extraídos são aqueles presentes principalmente na fração argila, daí suas correlações entre si e também com a fração argila (ARG) (Quadro 4.3). A correlação significativa ( $p < 0,01$ ) de Cd com Al, possivelmente se deve em função do elemento Fe. Salvo para o elemento Zn, o elemento Fe teve correlações significativas com Cd, Co, Cr e Ni sugerindo uma interação maior deste elemento com os estes metais e corroborando com vários autores (Fontes, 1988; Fontes e Weed, 1991; Amaral Sobrinho, 1993; Alloway, 1990; Oliveira et. al, 2000; Meurer, 2004) que citam a importância dos óxidos de ferro, em solos de clima tropical, como controladores da mobilidade de metais pesados. O elemento Co teve correlações significativas com Ni, Mn e Zn. O elemento Ni teve correlações significativas com Cr, Fe e Mn.

**Quadro 4.3. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realizados, para as variáveis selecionadas dos Argissolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologias**

Variável	Lito	ADA	AF	ARG	pH(H <sub>2</sub> O)	P	Ca	Mg	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	P-Rem	Al	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn	
Lito	1,00																					
ADA	0,19	1,00																				
AF	-0,59	-0,60	1,00																			
ARG	0,57	0,32	-0,71	1,00																		
pH(H <sub>2</sub> O)	-0,27	0,33	0,22	-0,42	1,00																	
P	-0,47	-0,28	0,46	-0,37	0,30	1,00																
Ca	-0,35	0,00	0,28	-0,46	0,78	0,52	1,00															
Mg	-0,47	-0,10	0,33	-0,34	0,45	0,93	0,64	1,00														
SB	-0,43	-0,03	0,33	-0,46	0,73	0,74	0,95	0,85	1,00													
CTC (t)	-0,50	-0,05	0,33	-0,45	0,67	0,75	0,93	0,85	0,99	1,00												
CTC (T)	-0,47	-0,13	0,32	-0,42	0,52	0,74	0,87	0,81	0,93	0,95	1,00											
V	-0,32	0,23	0,29	-0,48	0,92	0,45	0,85	0,62	0,84	0,78	0,64	1,00										
P-Rem	-0,24	-0,02	0,41	-0,67	0,47	0,20	0,51	0,32	0,49	0,42	0,41	0,60	1,00									
Al	0,66	0,18	-0,66	0,75	-0,49	-0,35	-0,44	-0,34	-0,45	-0,44	-0,38	-0,50	-0,53	1,00								
Cd	0,23	0,24	-0,40	0,55	-0,10	0,06	-0,14	0,12	-0,05	-0,06	-0,01	-0,14	-0,30	0,43	1,00							
Co	-0,16	0,29	-0,16	-0,01	0,15	0,25	0,17	0,45	0,31	0,30	0,28	0,26	0,25	0,01	0,40	1,00						
Cr	-0,45	-0,31	0,28	-0,01	-0,01	0,65	0,21	0,61	0,39	0,44	0,44	0,08	-0,14	-0,11	0,46	0,34	1,00					
Fe	0,25	0,18	-0,53	0,69	-0,27	0,03	-0,21	0,08	-0,12	-0,10	-0,05	-0,27	-0,49	0,53	0,88	0,38	0,48	1,00				
Mn	-0,11	0,11	-0,14	-0,09	0,29	0,45	0,55	0,60	0,62	0,62	0,62	0,39	0,27	0,04	0,30	0,66	0,45	0,28	1,00			
Ni	-0,15	0,07	-0,14	0,23	-0,07	0,29	0,04	0,38	0,18	0,19	0,20	-0,00	-0,05	0,16	0,63	0,76	0,67	0,62	0,62	1,00		
Zn	-0,13	0,28	-0,15	-0,15	0,22	-0,02	0,18	0,13	0,19	0,17	0,21	0,24	0,44	-0,17	0,03	0,62	-0,08	0,00	0,42	0,32	1,00	

### 4.3.1.3. Análise das componentes principais.

Pela análise das componentes principais (ACP), nas variáveis que compunham a matriz de correlação, determinou que as três primeiras componentes principais explicassem 75 % das variações dos dados. A primeira componente (fator 1) explicou 40,7 %, a segunda componente (fator 2), 22,8 % e a terceira componente (fator 3), 12,3 % da variação (Quadro 4.4).

**Quadro 4.4. Autovalores dos fatores (componentes principais) e das estatísticas correlatadas**

fator	autovalor	%	Autovalor cumulativo	% cumulativo
1	8,153210	40,76605	8,15321	40,7660
2	4,562003	22,81002	12,71521	63,5761
3	2,459435	12,29717	15,17465	75,8732
4	1,580076	7,90038	16,75472	83,7736
5	0,831518	4,15759	17,58624	87,9312
6	0,523474	2,61737	18,10972	90,5486
7	0,419004	2,09502	18,52872	92,6436
8	0,361260	1,80630	18,88998	94,4499
9	0,260737	1,30368	19,15072	95,7536
10	0,194149	0,97074	19,34486	96,7243
11	0,180638	0,90319	19,52550	97,6275
12	0,150908	0,75454	19,67641	98,3821
13	0,110396	0,55198	19,78681	98,9340
14	0,083791	0,41896	19,87060	99,3530
15	0,045735	0,22868	19,91633	99,5817
16	0,034345	0,17173	19,95068	99,7534
17	0,028488	0,14244	19,97917	99,8958
18	0,016441	0,08221	19,99561	99,9780
19	0,004183	0,02092	19,99979	99,9989
20	0,000210	0,00105	20,00000	100,0000

Analisando o fator 1, as variáveis SB, CTC(t), CTC(T), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e V, nesta ordem, contribuíram com 0,59 de um total de uma unidade para a definição deste fator (Quadro 4.5). Possivelmente isto seja reflexo da variação dessas variáveis entre os Argissolos, visto que em sua maior parte, estes são eutróficos, independente do material de origem. A composição do fator 2 teve uma maior contribuição das variáveis, em ordem decrescente, Fe, Cd, Ni, Co, ARG, Mn, AF e Al, contribuindo com o total de 0,83 de uma unidade. O teor de argila chama a atenção, pois o mesmo teve

uma relação estreita com os metais no solo, constituindo um atributo de elevada participação do mesmo fator (fator 2). De acordo com Pierangeli et al. (2005), o teor de argila juntamente com a CTC são atributos que podem ser utilizados para a predição da adsorção de Cd nos solos enquanto Barros et al. (2008) concluíram que os solos estudados apresentaram grande potencial de tamponamento de metais pesados, com altos valores de CTC e atividade da fração argila. A composição do fator 3 teve a participação das variáveis ADA, Cr, Zn, P, pH(H<sub>2</sub>O) e P-Rem com um peso de 0,74 (Quadro 4.5).

**Quadro 4.5. Contribuição de cada variável, baseada na correlação, para cada um dos três primeiros componentes principais (fator)**

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3
ADA	0,000799	0,016233	0,249686
AF	0,027208	0,060773	0,110026
ARG	0,046699	0,078409	0,002481
pH(H <sub>2</sub> O)	0,063479	0,005687	0,073409
P	0,070615	0,007193	0,089227
Ca	0,097184	0,000861	0,009881
Mg	0,089807	0,017796	0,022227
SB	0,114469	0,001138	0,000101
CTC(t)	0,110739	0,001886	0,000558
CTC(T)	0,098858	0,003263	0,004330
V	0,086109	0,003439	0,049546
P-Rem	0,044809	0,026370	0,045012
Al	0,042491	0,057986	0,001463
Cd	0,001388	0,155671	0,000762
Co	0,017621	0,088689	0,035740
Cr	0,021104	0,067591	0,152076
Fe	0,005480	0,177471	0,004973
Mn	0,045207	0,073010	0,008931
Ni	0,005839	0,147393	0,003644
Zn	0,010094	0,009143	0,135928

Pela Figura 4.1a, podemos observar as variáveis que mais contribuíram para o fator 1 acompanhando o primeiro eixo num sentido negativo e explicando 40,77 % da variação total dos grupos (Quadro 4.1). É possível observar uma grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis SB, CTC(t), CTC(T), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e V. No eixo 2, explicando 22,8 % da variação dos dados, observa-se os metais Fe, Cd e Ni formando um grupo (Figura 4.1a). Este comportamento é percebível para ARG e Al e Mn junto com Co (Figura 4.1a). Somente a AF mostrou um comportamento diferenciado das outras

variáveis pertencentes ao fator 2, correlacionando-se negativamente ao eixo sugerindo um comportamento independente das componentes químicas do mesmo fator (Figura 4.2a). Entre os grupos litológicos, correlacionando os primeiro e segundo fatores, observa-se uma sobreposição entre os grupos 2 e 3 com uma tendência de isolamento do grupo 1 sugerindo um leve contraste deste grupo (Arenito) entre os outros (Figura 4.1b).

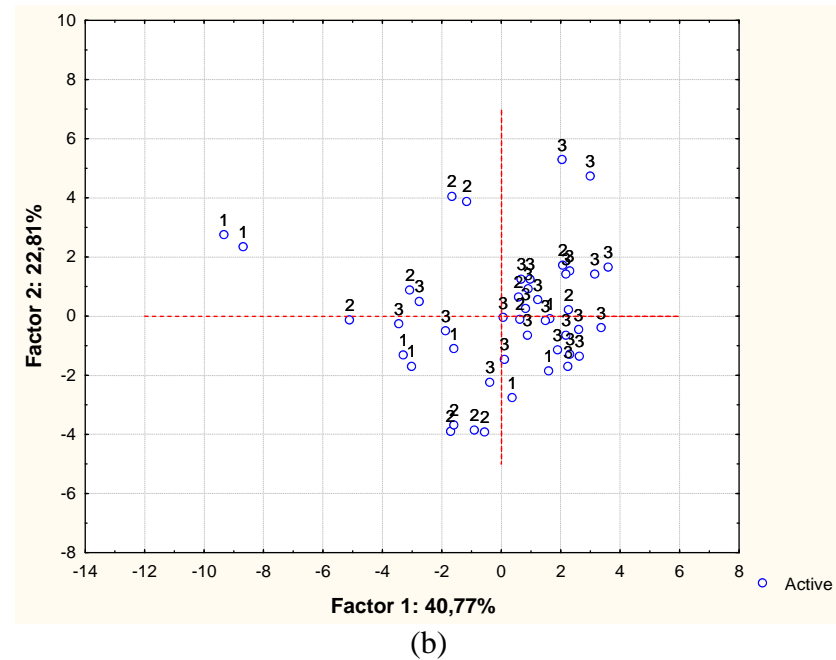
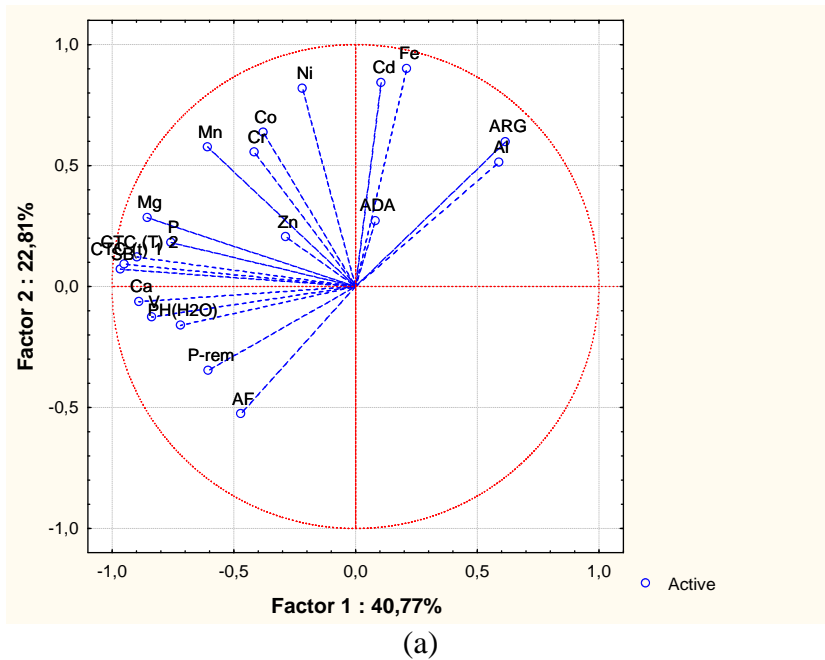


Figura 4.1. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com as características químicas e físicas para as 46 amostras de horizontes superficiais e sub-superficiais dos Argissolos analisadas. (a) Gráficos de autovetores das variáveis argila dispersa em água (ADA), areia fina (AF), argila (ARG), pH em água (pH(H<sub>2</sub>O)), fósforo (P), Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, saturação de bases (SB), CTC efetiva (CTQ(t)), CTC total (CTQ(T)), percentual de saturação de bases (V), fósforo remanescente (P-Rem), teores de metais pesados (Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Zn), Al e Fe obtidos pelo método EPA 3051a. (b) escores atribuídos às amostras dos grupos litológicos (1, Arenitos; 2, Calcários; 3, Metamórfica/Igneas).

#### 4.3.1.4. Matriz de Classificação.

A matriz de classificação, obtida pela análise da função discriminante, mostrou, que de um modo geral, os agrupamentos ficaram corretos em 95,6%. Neste sentido, o agrupamento dos Argissolos originados de Arenitos foi 100 % correto, enquanto que aqueles de Calcários e Metamórficas/Ígneas foram 91,6 e 96,1 % corretos respectivamente (Quadro 4.6).

**Quadro 4.6. Matriz de classificação, com as linhas representando a classificação estatística observada e as colunas representando as classes preditas**

	%	Arenitos	Calcários	Metamórficas/Ígneas
<b>Arenitos</b>	100,00	8	0	0
<b>Calcários</b>	91,66	0	11	1
<b>Metamórficas/Ígneas</b>	96,15	0	1	25
<b>Total predito</b>	95,65	8	12	26

#### 4.3.1.5. Teste de normalidade.

O teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, utilizado para checar as variáveis da ACP passíveis de análise de variância (ANOVA), desclassificou apenas as variáveis pH(H<sub>2</sub>O) e Fe. Neste sentido, aplicou-se a ANOVA para as outras variáveis, sendo Ca<sup>2+</sup>, SB, V, Cd, Co, Mn, Ni e Zn não significativos ( $p < 0,01$ ) por esta análise estatística.

#### 4.3.1.6. Componentes principais

A seguir são apresentadas as variáveis estudadas que tiveram maior participação nas componentes principais.

##### 4.3.1.6.1. Argila dispersa em água.

O percentual de ADA foi significativamente ( $p < 0,01$ ) maior para os Argissolos de Calcários (CC) (12 %) enquanto que aqueles oriundos de Arenitos (AT) (2,1 %) e de Metamórfica/Ígneas (MI) (7,6 %) não tiveram diferença estatística (Figura 4.2).

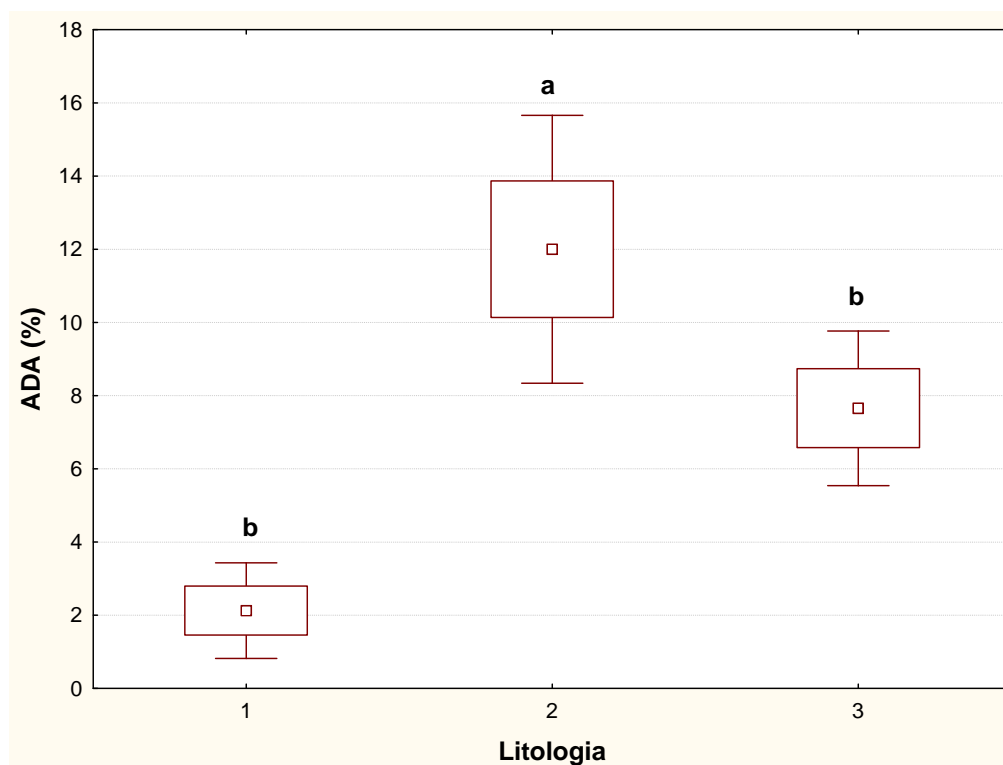


Figura 4.2. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de argila dispersa em água entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.6.2. Areia fina.

Para a variável AF, os Argissolos de Arenitos ( $51,2 \text{ dag kg}^{-1}$ ) tiveram frações significativamente ( $p < 0,01$ ) maiores daqueles de CC ( $25,1 \text{ dag kg}^{-1}$ ) e MI ( $19,5 \text{ dag kg}^{-1}$ ) (Figura 4.3).

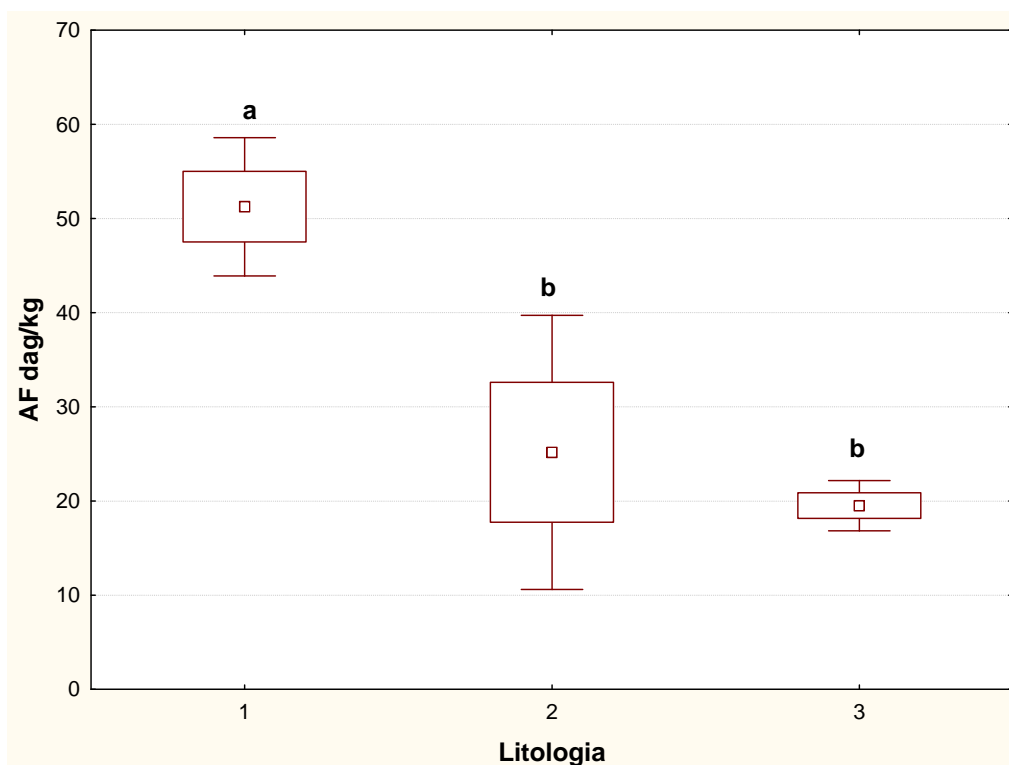


Figura 4.3. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de areia fina entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Igneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* de *Student* ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.6.3. Argila.

A fração ARG foi estatisticamente ( $p < 0,01$ ) maior em Argissolos de MM (42,1 dag kg<sup>-1</sup>), não havendo diferença entre Argissolos de AT (20,6 dag kg<sup>-1</sup>) e CC (30,7 dag kg<sup>-1</sup>) (Figura 4.4).

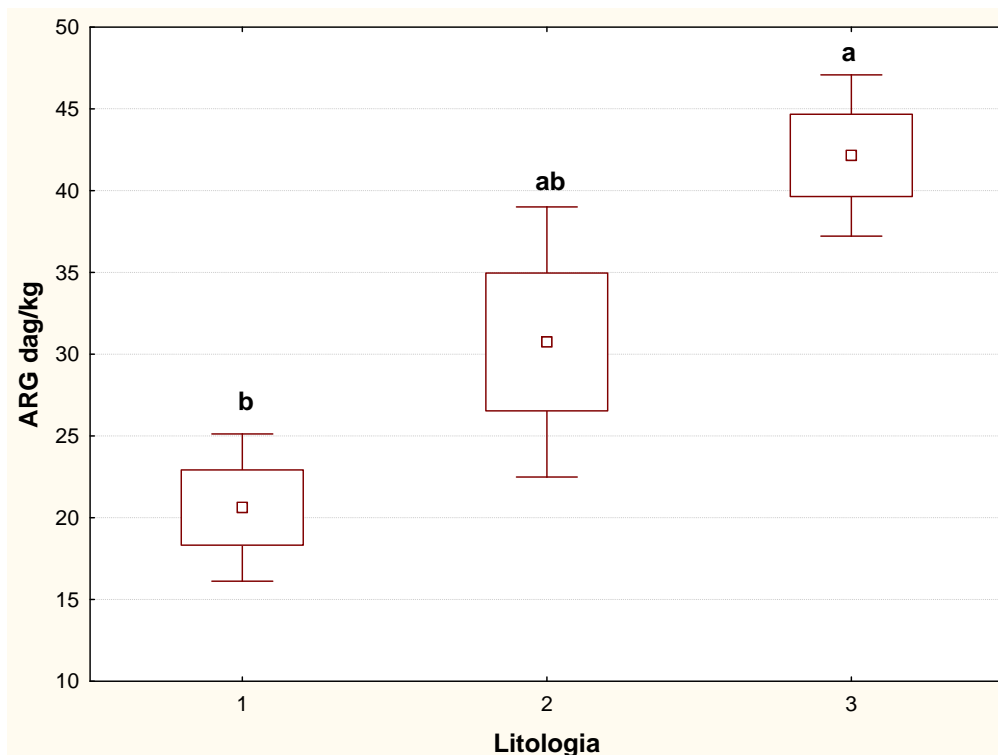
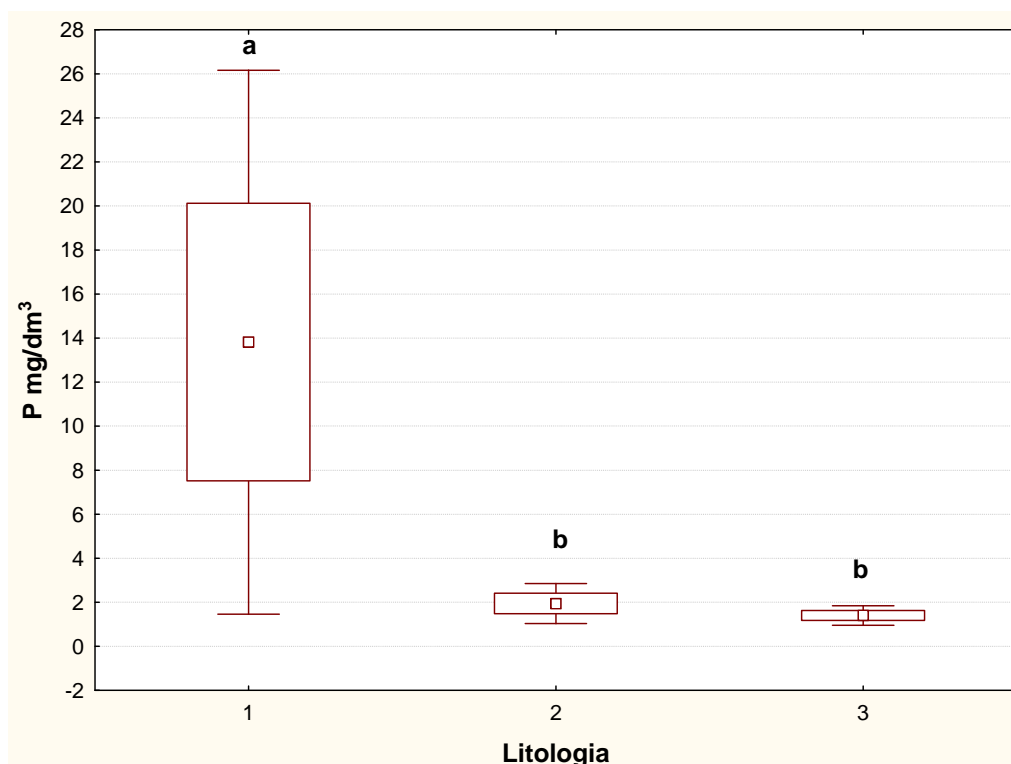


Figura 4.4. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de argila entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Igneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.6.4. Fósforo.

Encontrou-se teores de fósforo significativamente ( $p < 0,01$ ) maiores em Argissolos oriundos de AT ( $13,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e estatisticamente semelhantes naqueles Argissolos de CC ( $1,9 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e MI ( $1,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ) sugerindo uma maior labilidade deste elemento em Argissolos de Arenito (Figura 4.5).



**Figura 4.5. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de fósforo entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Igneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

Esta informação se correlaciona negativamente com aquela encontrada para a variável ARG, onde se observa menores frações desta variável nos Argissolos de Arenitos. De acordo com Fontes (1988), solos oriundos de arenitos apresentaram uma menor capacidade de adsorção de P. O autor atribuiu este fato a uma menor superfície específica das hematitas dos arenitos.

#### 4.3.1.6.5. Magnésio.

Os solos de AT e CC são significativamente ( $p < 0,01$ ) mais ricos em  $Mg^{2+}$  (3,0 e 1,2  $cmol_c dm^{-3}$  respectivamente) quando comparados com aqueles de M/I (0,7  $cmol_c dm^{-3}$ ), porém não possuem diferenças estatísticas entre si (Figura 4.6).

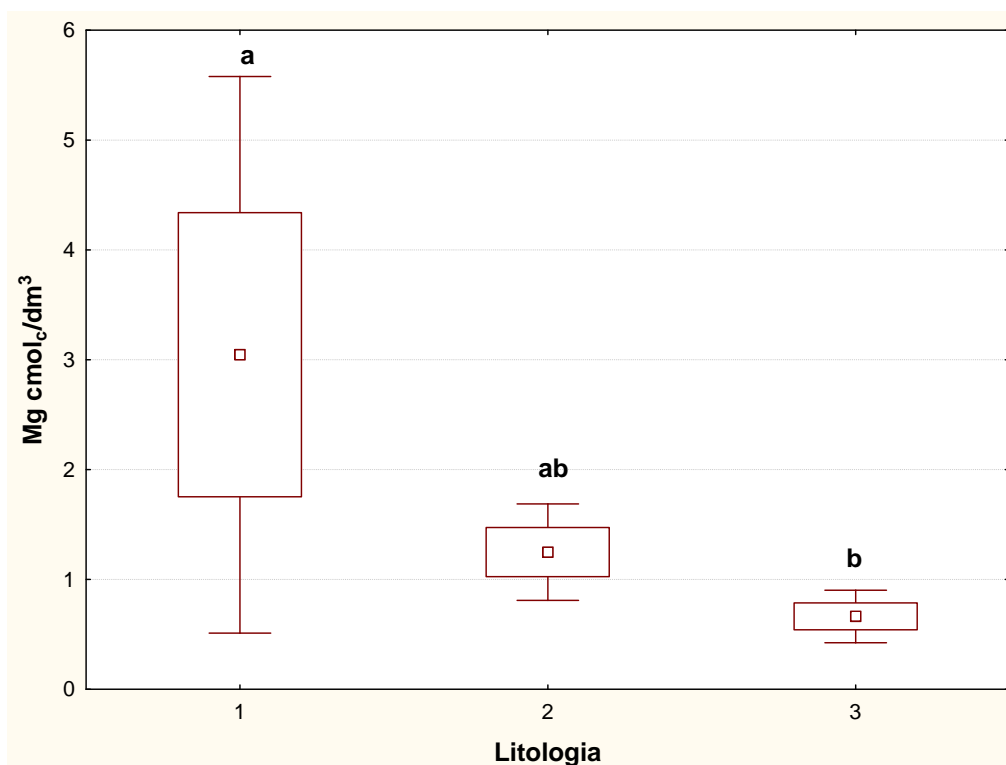


Figura 4.6. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de magnésio entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Igneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.6.6. Complexo de troca catiônica efetiva e a pH 7,0.

A CTC efetiva (t) e a pH 7,0 (T) tiveram resultados estatisticamente ( $p < 0,01$ ) semelhantes, sendo maiores em solos de AT e CC (CTC(t) 8,5 e 5,5 e CTC(T) 12,0 e 8,6  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente) comparados aos solos de MI (CTC(t) 3,1 e CTC(T) 6,9  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente) (Figura 4.7 e 8).

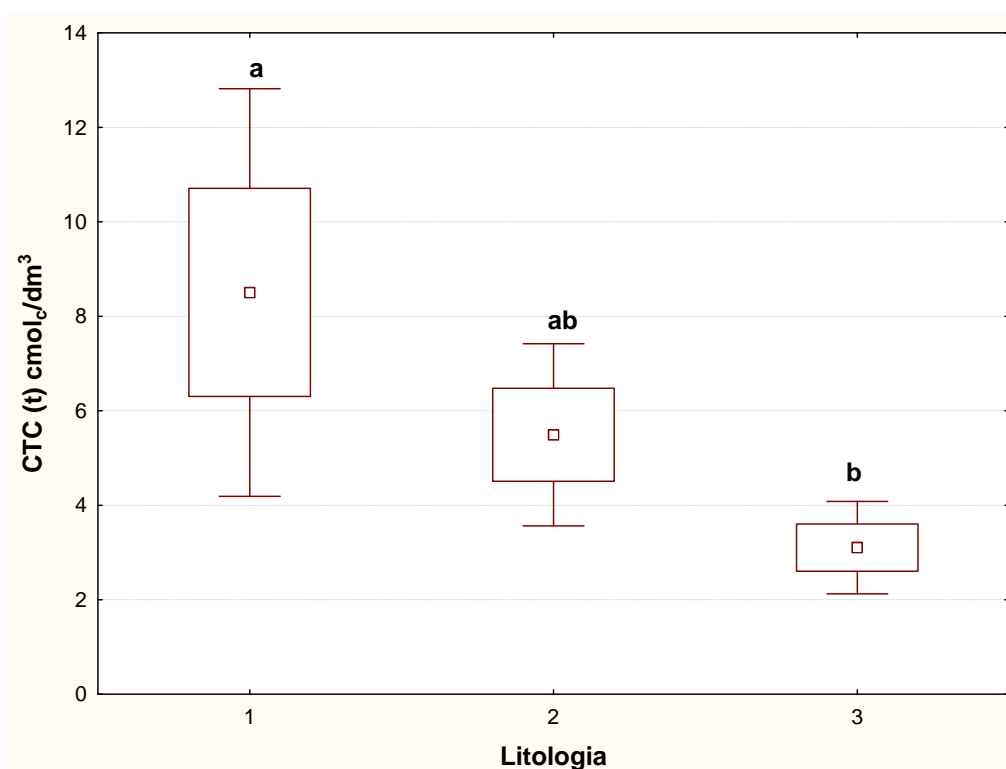
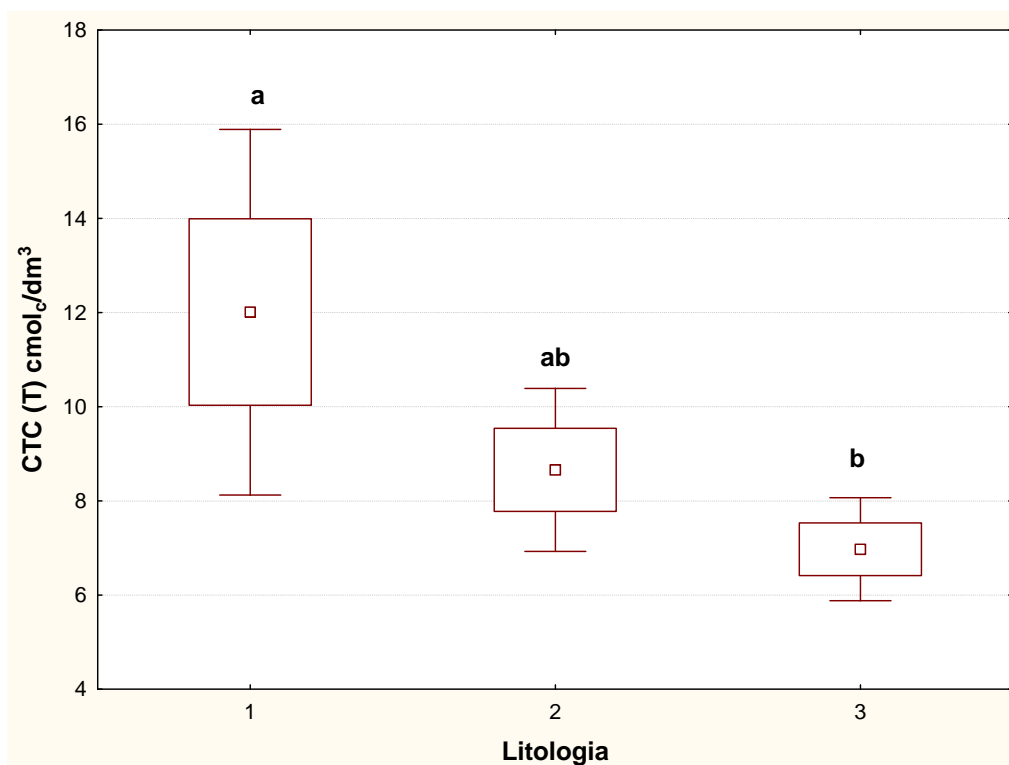


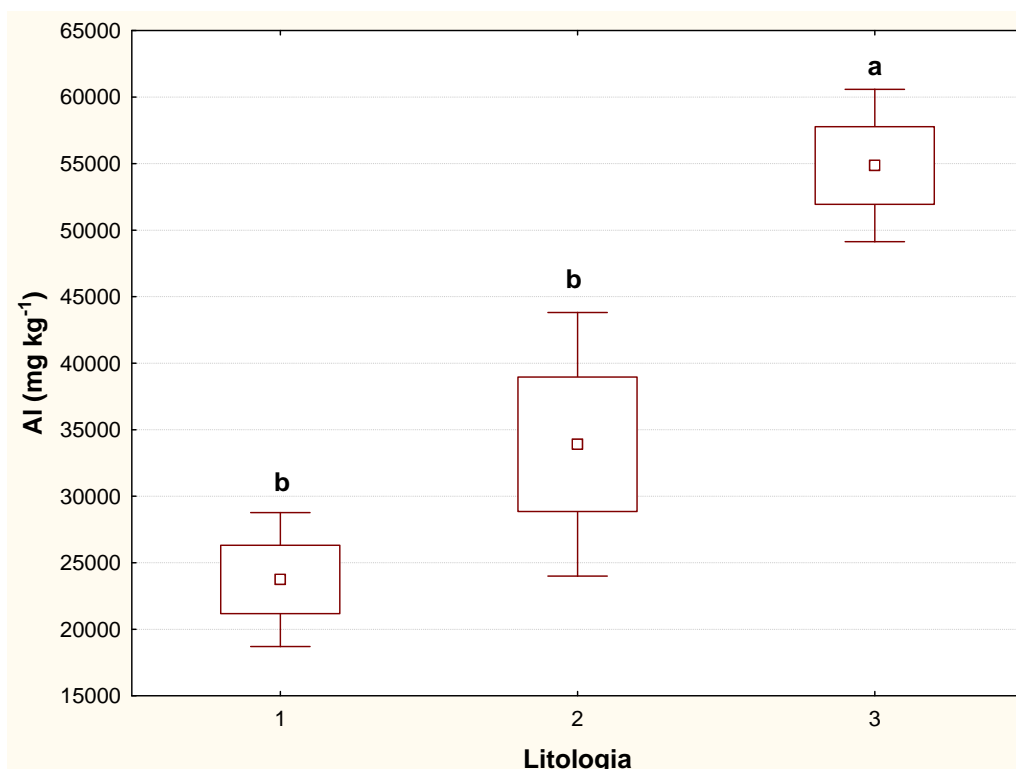
Figura 4.7. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da CTC efetiva entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).



**Figura 4.8.** Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da CTC a pH 7,0 entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.6.7. Alumínio.

Os teores de Al, recuperados pelo método EPA 3051a, foram significativamente ( $p < 0,01$ ) maiores nos solos de MI ( $54,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) e sem diferenças estatísticas para os solos de AT ( $23,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) e CC ( $33,9 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Figura 4.9).



**Figura 4.9.** Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do de alumínio trocável entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7. Metais pesados.

##### 4.3.1.7.1. Cromo.

Os solos de AT foram mostraram-se mais ricos ( $p < 0,01$ ) em Cr ( $160,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), não havendo diferenças entre os solos de CC ( $47,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e MI ( $57,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Figura 4.10).

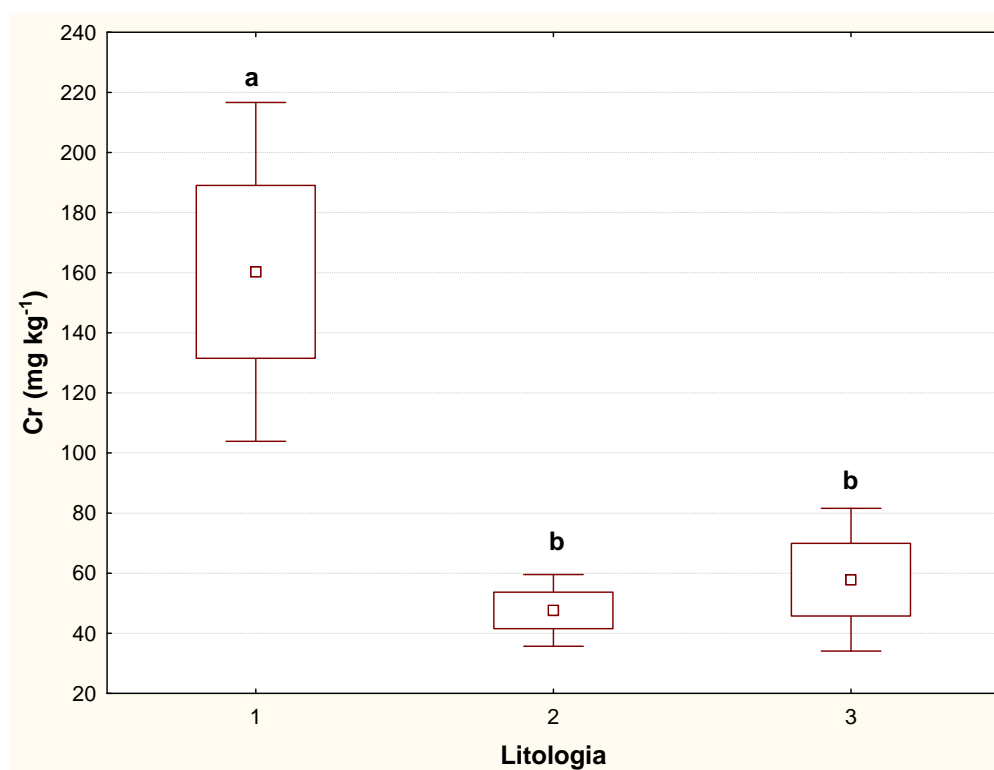


Figura 4.10. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cromo entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (□ = média; □ média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.2. Arsênio.

Os Argissolos de Calcários (CC) apresentaram maiores teores de As seguidos daqueles oriundos de Metamórfica/Ígneas e Arenitos (AT). Os solos formados de Arenitos (AT) apresentaram os menores teores de As, mas estatisticamente, pelo teste *t* de Student, suas médias não diferiram daqueles oriundos de Metamórfica/Ígneas (MI) (Figura 4.11).

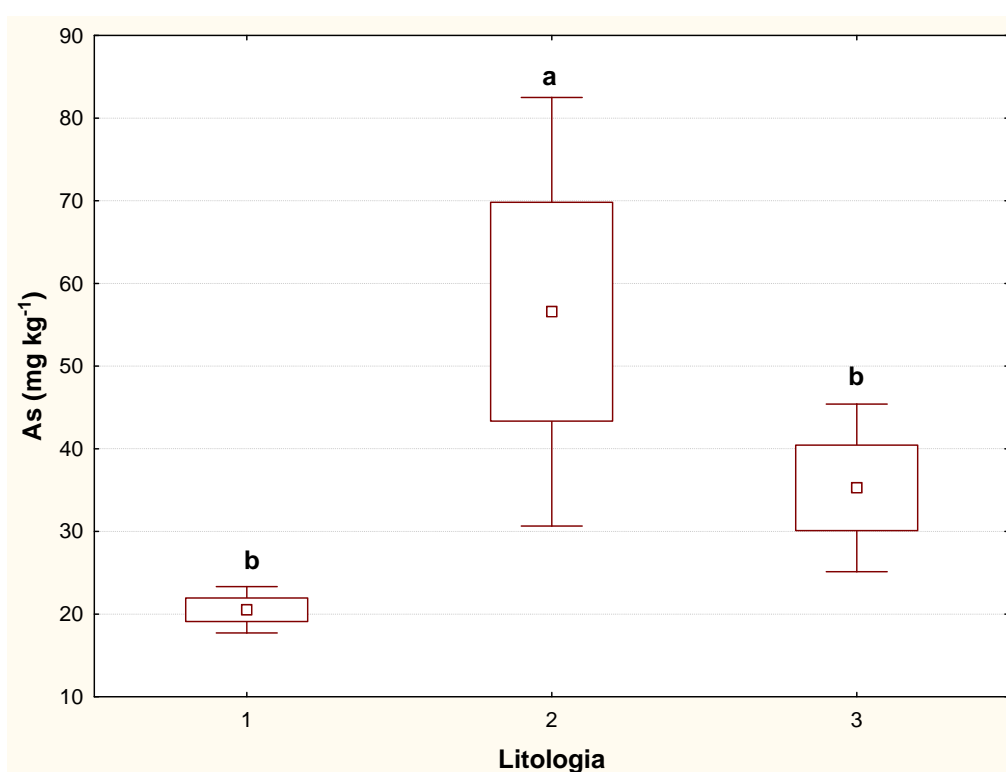


Figura 4.11. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de arsênio entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (□ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.3. Bário.

Não houve diferenças entre os teores de Ba dos solos estudados em função dos grupos litológicos, mas foram observados menores desvios em solos de Metamórfica/Ígneas e tendência de maiores teores naqueles de Calcários (Figura 4.12).

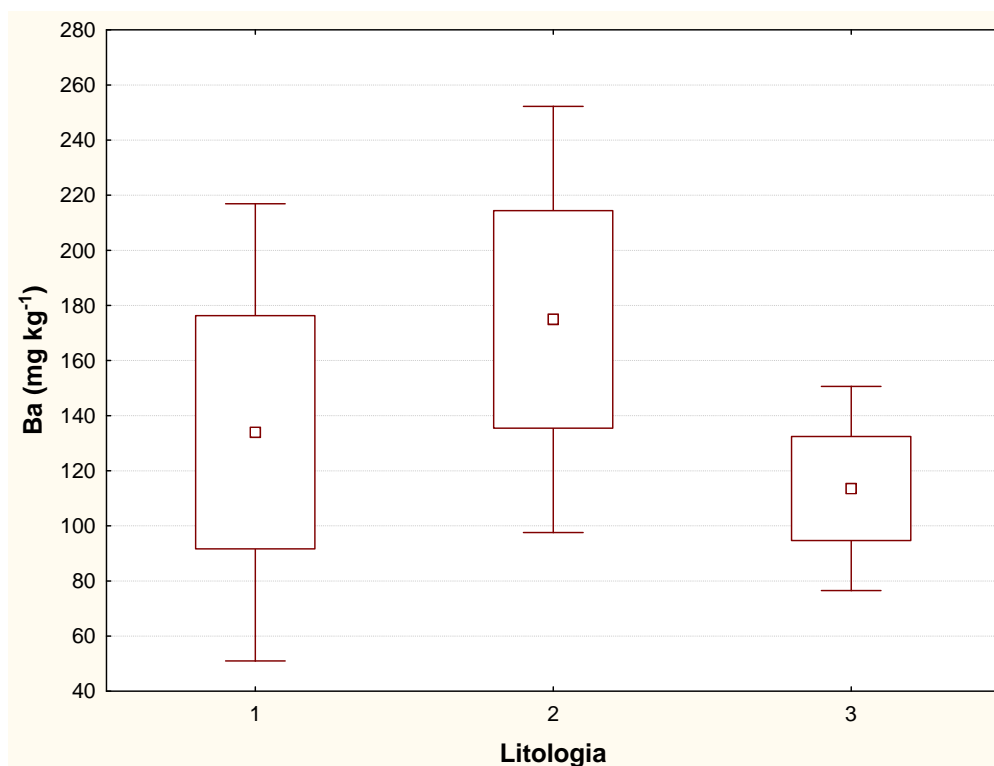


Figura 4.12. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de bário entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia (□ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.4. Cádmio.

Estatisticamente os teores de Cd não diferem entre si entre os grupos (Figura 4.13).

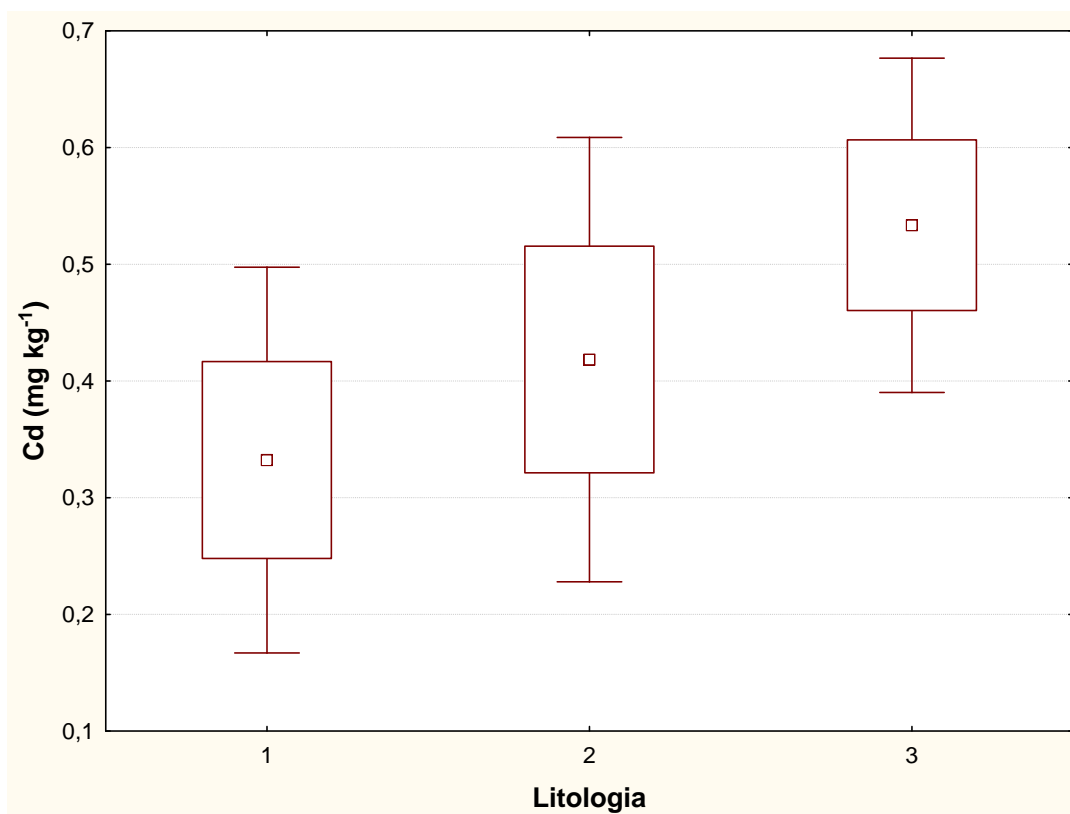


Figura 4.13. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cádmio entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.5. Cobalto.

Maiores teores e maior variação dos teores deste elemento foram observados no grupo do CC (Figura 4.14).

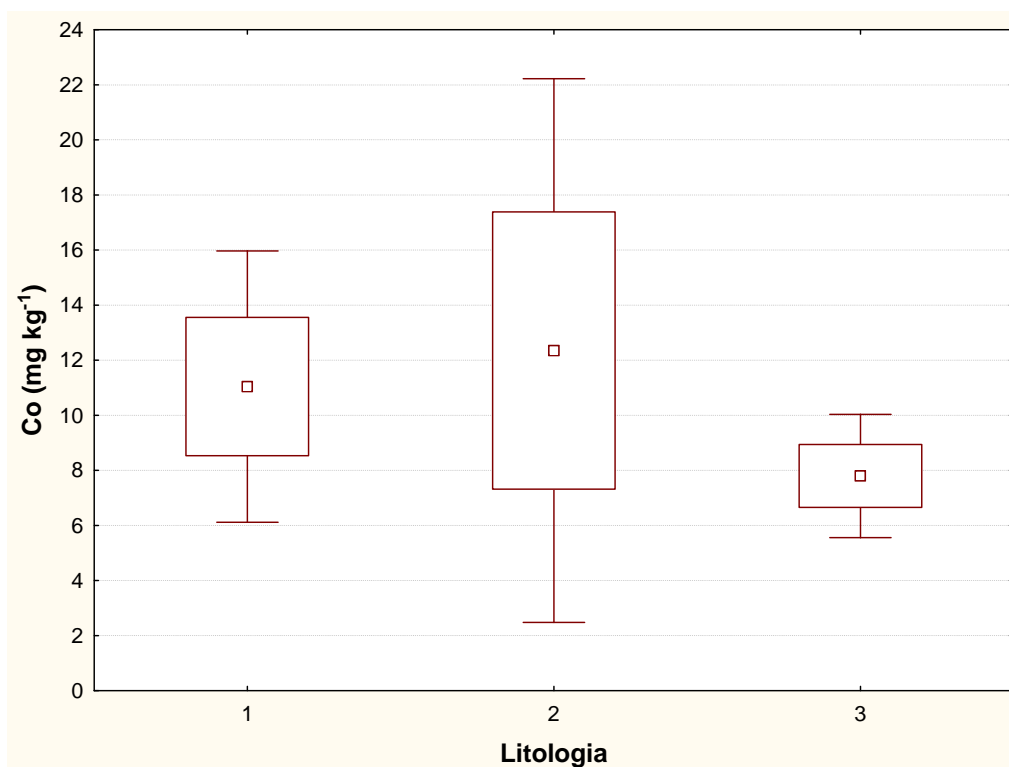


Figura 4.14. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cobalto entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.6. Cobre.

Um comportamento contrário ao Co pode ser visualizado pelo elemento Cu com menores desvios no grupo CC (Figura 4.15).

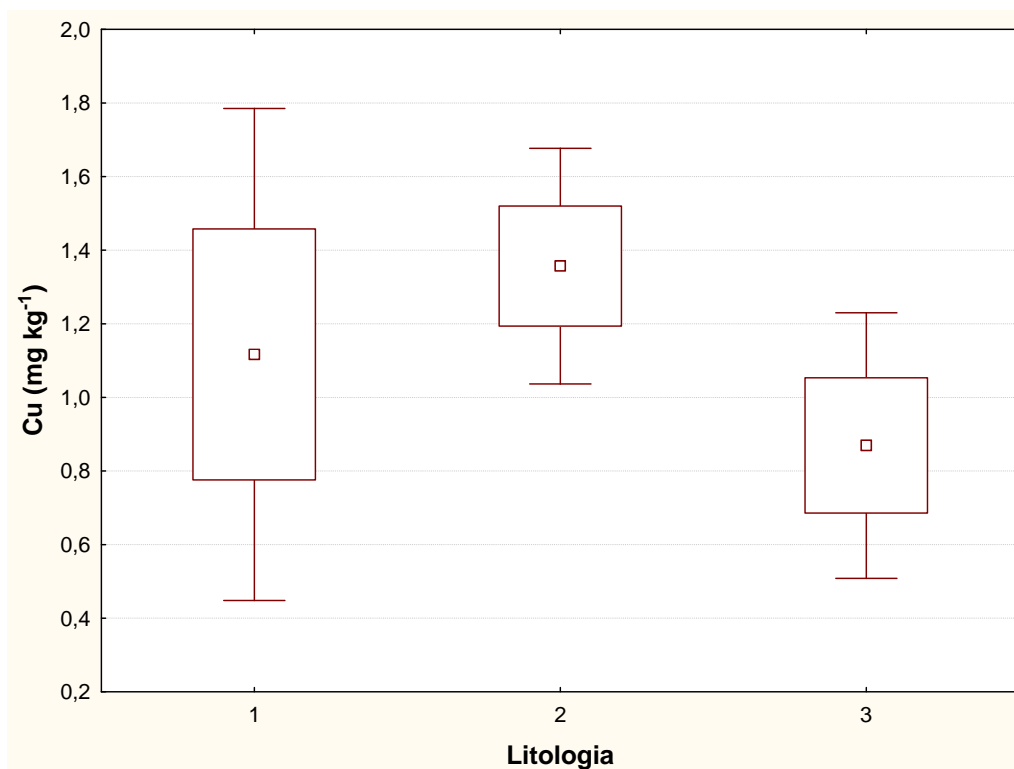


Figura 4.15. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cobre entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas. Simbologia (□ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.7. Manganês.

Este elemento apresentou menores desvios em solos do grupo das MI (Figura 4.16).

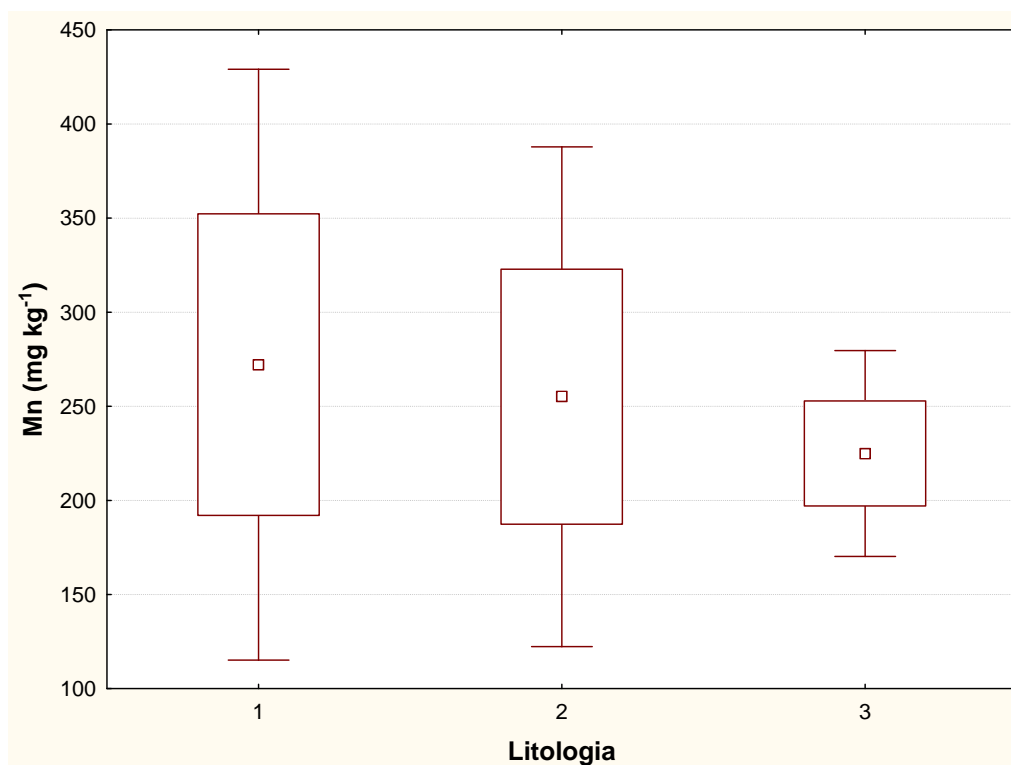


Figura 4.16. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de manganês entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.8. Níquel.

Um comportamento semelhante ao Mn pode ser observado para Ni (Figura 4.17).

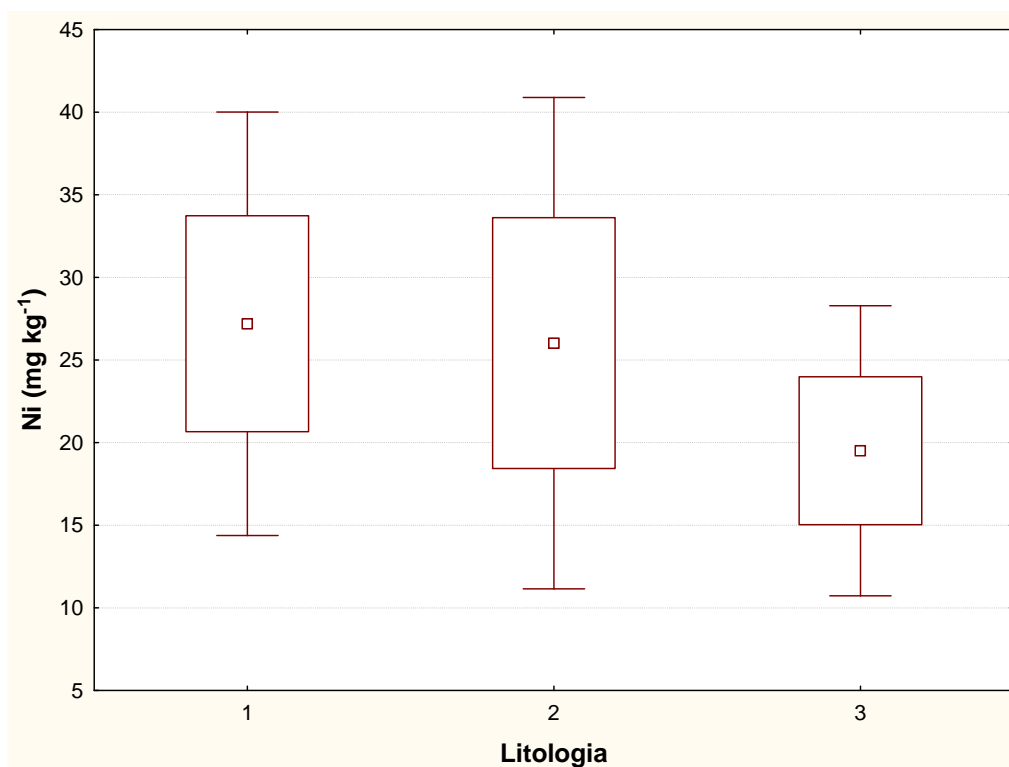


Figura 4.17. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de níquel entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.9. Chumbo.

Observa-se que, estatisticamente ( $p < 0,05$ ), os menores teores e desvios de Pb são encontrados no grupo dos Arenitos comparados aos Calcários e Metamórfica/Ígneas (Figura 4.18).

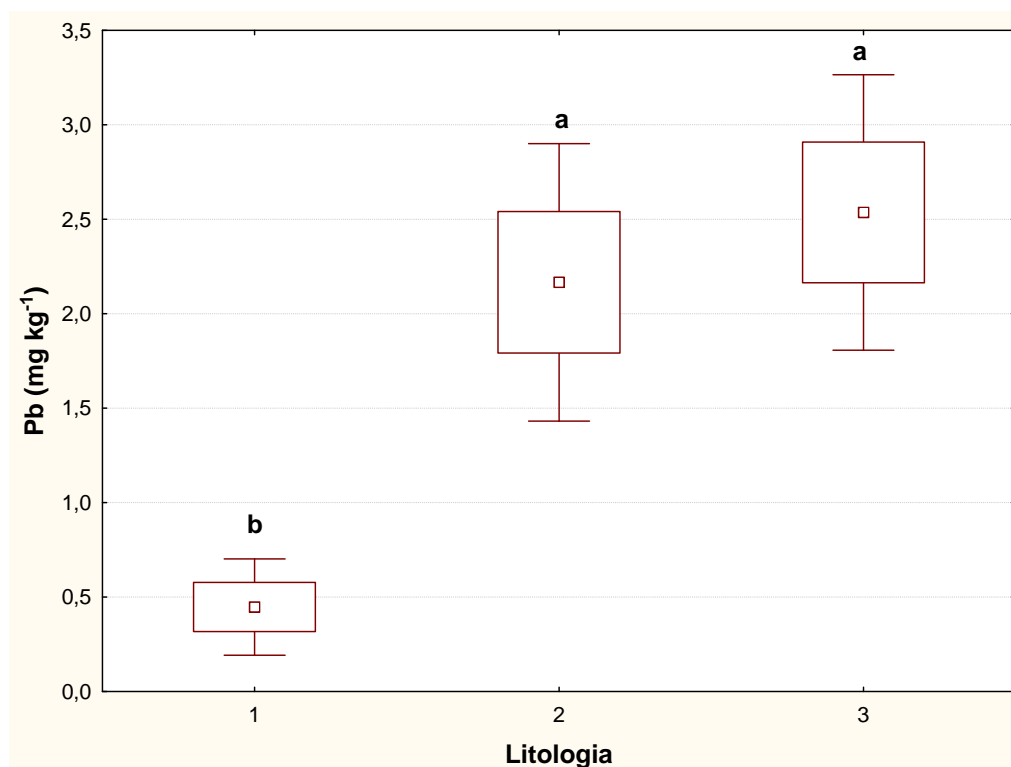


Figura 4.18. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de chumbo entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (□ = média; □ = média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.1.7.10. Zinco.

O elemento Zn foi mais abundante em Argissolos de Calcários em contraste com aqueles de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.19).

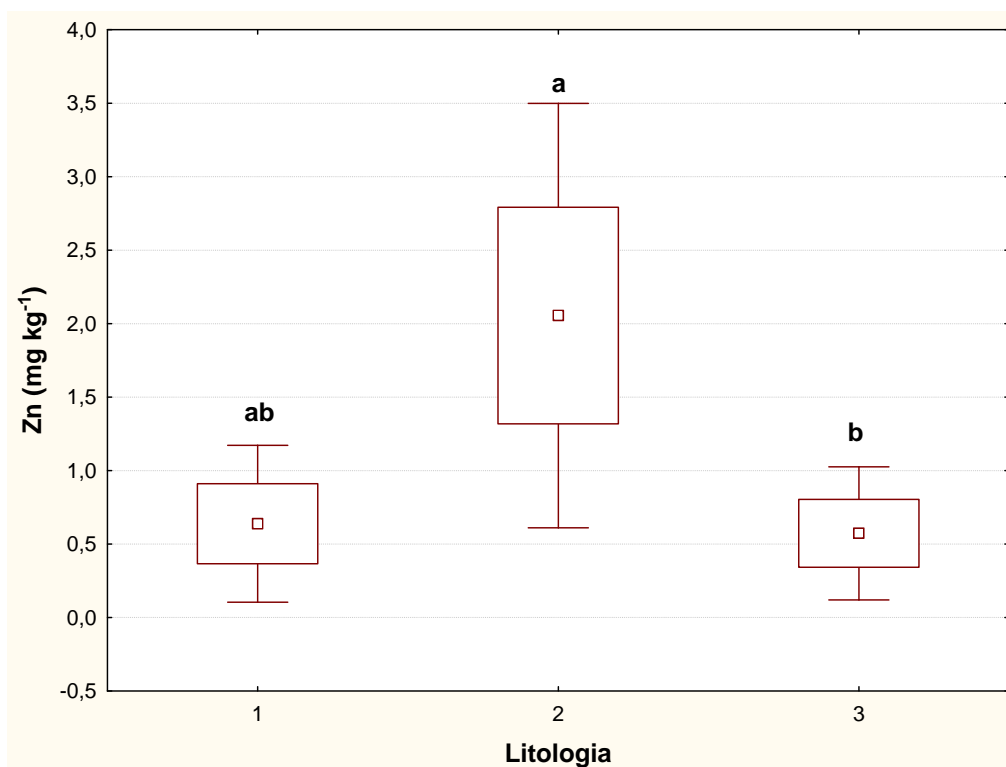


Figura 4.19. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de zinco entre os Argissolos oriundos de diferentes litologias (1: Arenitos; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 4.3.2. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Cambissolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem.

Foram selecionadas 36 amostras de Cambissolos representantes de três unidades litológicas distintas encontradas no Estado de em Minas Gerais (Quadro 4.7).

**Quadro 4.7. Número de amostras estudadas para cada unidade litológica dos Cambissolos do Estado de Minas Gerais**

Unidade Geológica	Grupo	Classe de Solo	n
Argilito Siltito (AS)	1	Cambissolo Háplico	10
Calcários (CC)	2	Cambissolo Háplico	7
Metamórfica/Ígnea (M/I)	3	Cambissolo Háplico	19

#### 4.3.2.1. Estatística descritiva.

As amostras foram analisadas química e fisicamente para verificar os desvios existentes dos atributos dos Cambissolos em função dos diferentes materiais de origem (Quadro 4.8). Pequenas variações (< 15 %) são observadas para as quase todas variáveis físicas e químicas. Quanto à fertilidade, os Cambissolos variaram de distróficos a eutróficos.

**Quadro 4.8. Estatística descritiva dos Cambissolos do Estado de Minas Gerais**

Variável	n	Média	Mínimo	Máximo	D. P.
ADA (%)	36	12,33	1,00	30,00	8,22
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	36	14,78	2,00	51,00	13,04
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	36	13,14	2,00	33,00	10,92
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	36	32,97	8,00	56,00	14,78
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	36	39,11	3,00	65,00	13,78
pH (H <sub>2</sub> O)	36	5,24	4,51	7,39	0,53
pH (KCl)	36	4,16	3,78	6,86	0,53
P (mg dm <sup>-3</sup> )	36	4,50	0,20	97,10	16,08
K (mg dm <sup>-3</sup> )	36	61,94	7,00	212,00	48,66
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	36	1,29	< L.D.	8,60	2,51
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	1,44	< L.D.	10,66	2,56
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	0,39	< L.D.	3,47	0,77
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	1,30	< L.D.	3,28	1,04
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	5,39	2,40	8,90	1,65
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	1,99	0,02	14,06	3,26
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	3,29	0,17	14,06	2,99
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	36	7,38	2,57	18,56	3,50
V (%)	36	19,53	0,40	79,00	20,89
m (%)	36	52,67	< L.D.	99,10	36,18
ISNa (%)	36	0,14	< L.D.	1,01	0,26
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	36	2,53	0,13	6,20	1,41
F-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	36	23,84	4,80	44,30	11,00
B (mg dm <sup>-3</sup> )	36	0,26	< L.D.	0,54	0,11
S (mg dm <sup>-3</sup> )	36	15,06	1,30	26,20	6,68
Al (g kg <sup>-1</sup> )	36	5,92	32,53	87,88	16,30
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	36	38,96	8,98	134,92	24,47
As (mg kg <sup>-1</sup> )	36	3,05	< L.D.	88,07	14,70
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	36	231,67	28,82	752,06	161,02
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	36	0,72	< L.D.	3,25	0,65
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	36	14,76	0,09	117,16	22,17
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	36	97,37	3,83	1.468,76	239,57
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	36	3,67	< L.D.	39,72	8,51
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	36	337,12	17,84	1.286,58	331,99
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	36	26,47	< L.D.	312,36	52,55
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	36	10,49	< L.D.	25,95	7,70
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	36	0,70	< L.D.	3,76	0,92

ADA – Argila dissolvida em água (%); P - Na - K - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-Rem = Fósforo Remanescente; Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn – EPA 3051a (1998).

#### 4.3.2.2. Matriz de correlação de Pearson.

Entre as amostras de solos representativas dos Cambissolos do Estado de Minas Gerais, originados de diferentes litologias, ocorreram correlações significativas ( $p < 0,01$ ) entre as variáveis Litologia (Lito), areia grossa (AG), argila (ARG),  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ , Na, Ca, Mg, CTC efetiva (t), CTC a  $\text{pH } 7,0$  (T), índice de saturação de bases (V), índice de saturação de alumínio (m), Mn, S, Al, As, Cd, Cr, Fe e Ni (Quadro 4.9). As correlações formaram dois grupos distintos. Somente AL, Cd e Fe tiveram correlações com as variáveis físicas e os outros metais com destaque significativo correlacionaram entre si. Aparentemente todos os elementos de uma forma ou outra acompanham o Fe. Isto ocorre pela versatilidade deste elemento que ocorre primeiramente como siderófilo, mas também como calcófilo e litófilo dentro da sua classificação geoquímica (Faure 1991). Neste caso, o As ocorre primeiramente como calcófilo e em segundo como siderófilo. O Cr ocorre primeiramente como litófilo e em segundo como calcófilo. Então As e Cr estão juntos em função de seu comportamento calcófilo e acompanhando o Fe, que traz consigo também o Cd calcófilo e o Ni siderófilo.

**Quadro 4.9. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, para as variáveis selecionadas dos Cambissolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologias**

	Lito	AG	ARG	pH(H <sub>2</sub> O)	Na	Ca	Mg	t	T	V	m	Mn	S	Al	As	Cd	Cr	Fe	Ni	
Lito	1,00																			
AG	0,67	1,00																		
ARG	-0,59	-0,62	1,00																	
pH(H <sub>2</sub> O)	-0,16	0,10	-0,23	1,00																
Na	-0,43	0,00	-0,08	0,71	1,00															
Ca	-0,42	-0,23	0,01	0,73	0,70	1,00														
Mg	-0,21	-0,04	-0,05	0,36	0,52	0,77	1,00													
t	-0,47	-0,29	0,07	0,58	0,68	0,93	0,83	1,00												
T	-0,42	-0,28	0,11	0,35	0,52	0,84	0,84	0,90	1,00											
V	-0,31	-0,12	-0,09	0,74	0,64	0,94	0,73	0,83	0,77	1,00										
m	-0,01	-0,11	0,28	-0,57	-0,35	-0,61	-0,53	-0,41	-0,46	-0,80	1,00									
Mn	-0,37	-0,22	-0,06	0,51	0,46	0,68	0,34	0,54	0,63	0,69	-0,55	1,00								
S	0,26	0,08	0,22	-0,64	-0,53	-0,73	-0,60	-0,62	-0,58	-0,85	0,83	-0,64	1,00							
Al	-0,33	-0,39	0,80	-0,28	-0,21	-0,27	-0,38	-0,25	-0,25	-0,36	0,47	-0,29	0,49	1,00						
As	0,08	0,03	-0,22	0,24	-0,04	-0,04	-0,10	-0,14	-0,21	-0,05	-0,27	-0,01	-0,14	-0,24	1,00					
Cd	-0,43	-0,49	0,25	0,24	0,17	0,32	0,23	0,31	0,29	0,20	-0,24	0,29	-0,27	-0,06	0,68	1,00				
Cr	0,06	-0,06	-0,15	0,16	-0,07	-0,04	-0,03	-0,11	-0,14	-0,08	-0,23	-0,04	-0,10	-0,23	0,98	0,76	1,00			
Fe	-0,39	-0,52	0,32	0,07	0,01	0,10	0,02	0,10	0,12	-0,00	-0,08	0,16	-0,07	0,06	0,69	0,94	0,78	1,00		
Ni	0,02	-0,16	-0,09	0,18	-0,04	0,07	0,10	0,03	0,00	0,02	-0,28	0,04	-0,19	-0,23	0,93	0,83	0,97	0,83	1,00	

#### 4.3.2.3. Análise das componentes principais.

A análise das componentes principais (ACP) mostrou que os três primeiros componentes principais respondem por aproximadamente 80 % da variação dos dados, sendo 40,52 % para o fator 1; 24,32 % para o fator 2 e 15,3 % para o fator 3 (Quadro 4.10).

**Quadro 4.10. Autovalores dos fatores (componentes principais) e das estatísticas correlatadas**

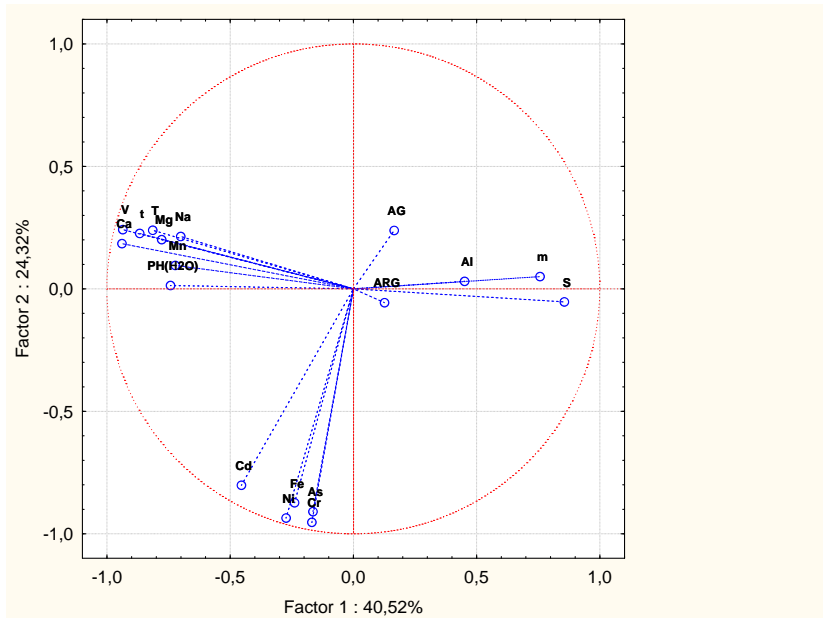
Fator	Autovalor	% Variância	Autovalor acumulado	Variância acumulada
1	7,29	40,52	7,29	40,52
2	4,38	24,32	11,67	64,84
3	2,76	15,31	14,43	80,15
4	0,99	5,52	15,42	85,68
5	0,85	4,72	16,27	90,40
6	0,62	3,46	16,90	93,86
7	0,36	2,00	17,26	95,86
8	0,27	1,52	17,53	97,38
9	0,13	0,74	17,66	98,12
10	0,12	0,65	17,78	98,77
11	0,07	0,38	17,85	99,15
12	0,06	0,33	17,91	99,48
13	0,04	0,23	17,95	99,71
14	0,02	0,13	17,97	99,85
15	0,01	0,07	17,99	99,92
16	0,01	0,05	17,99	99,97
17	0,00	0,02	18,00	99,99
18	0,00	0,01	18,00	100,00

Ao analisar a primeira componente principal (fator 1) em termos de contribuição das variáveis, pode-se verificar que as variáveis  $\text{Ca}^{2+}$ , V, t, S, T,  $\text{Mg}^{2+}$ , m, pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Mn e Na são, nesta ordem, as que mais contribuíram para a composição deste fator, somando em conjunto de 0,81 do total de uma unidade para a definição deste fator. A composição do fator 2 esteve ligada aos metais As, Cd, Cr, Fe, Ni, totalizando o conjunto 0,91 do total de uma unidade. A composição do fator 3 ficou por conta das variáveis areia grossa (AG), argila (ARG) e o Al, totalizando o conjunto 0,72 do total de uma unidade (Quadro 4.11).

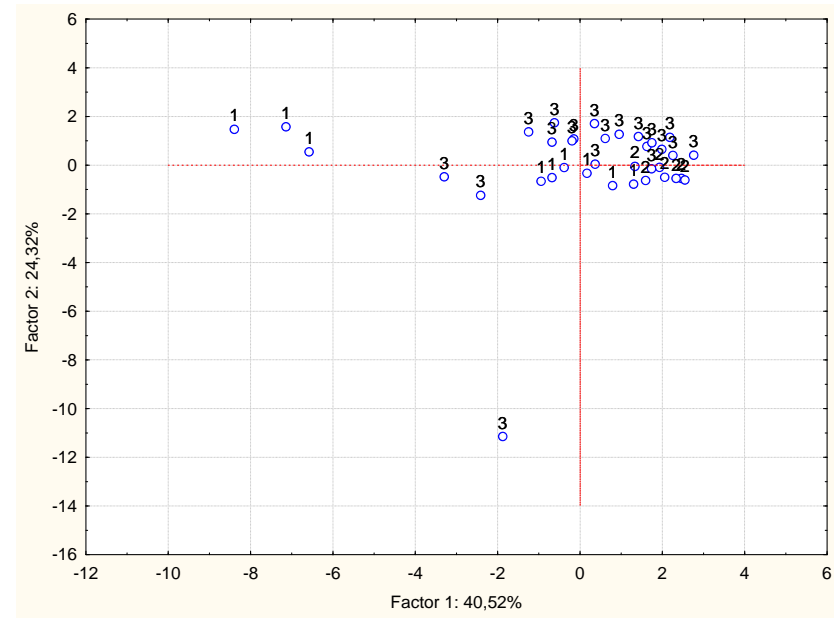
**Quadro 4.11. Contribuição de cada variável, baseada na correlação, para cada um dos cinco primeiros componentes principais (fator)**

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3
AG	0,0038	0,0130	0,2373
ARG	0,0022	0,0007	0,3026
pH(H <sub>2</sub> O)	0,0756	0,0000	0,0160
Na	0,0674	0,0105	0,0001
Ca	0,1211	0,0078	0,0097
Mg	0,0831	0,0093	0,0012
t	0,1030	0,0117	0,0267
T	0,0910	0,0130	0,0336
V	0,1202	0,0133	0,0000
m	0,0786	0,0006	0,0386
Mn	0,0717	0,0021	0,0024
S	0,1006	0,0007	0,0109
Al	0,0279	0,0002	0,1877
As	0,0037	0,1889	0,0334
Cd	0,0283	0,1467	0,0338
Cr	0,0039	0,2075	0,0160
Fe	0,0078	0,1742	0,0453
Ni	0,0102	0,1999	0,0048

Pela Figura 4.20a, podemos observar quase todas as variáveis do componente 1 correlacionaram-se negativamente com o primeiro eixo, enquanto as variáveis *Se* e *m* correlacionaram-se positivamente, explicando 40,5 % da variação total dos grupos (Quadro 4.7). É possível observar uma grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis CTC(t), CTC(T), Na, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, V, Mn e pH (H<sub>2</sub>O). No eixo 2, explicando 24,3 % da variação dos dados, observa-se os metais As, Cd, Cr, Fe e Ni formando um conjunto mais íntimo (Figura 4.20a). Entre os grupos litológicos, correlacionando os primeiro e segundo fatores, observa-se uma sobreposição entre os grupos 2 e 3 com uma tendência de isolamento do grupo 1 sugerindo um leve contraste deste grupo (Argilito/Siltito) entre os outros (Figura 4.20b).



(a)



(b)

**Figura 4.20. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com as características químicas e físicas para as 36 amostras de horizontes superficiais e sub-superficiais dos Cambissolos analisadas. (a) Gráfico de autovetores das variáveis areia fina (AF), argila (ARG), pH em água (pH(H<sub>2</sub>O)), Na, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, CTC efetiva (CTQ(t)), CTC total (CTQ(T)), percentual de saturação de bases (V), índice de saturação de alumínio (m), manganês trocável (Mn), enxofre (S), teores de metais pesados (As, Cd, Cr, Ni), Al e Fe obtidos pelo método EPA 3051a. (b) Escores atribuídos às amostras dos grupos litológicos (1, Argilito/Siltito; 2, Calcários; 3, Metamórfica/Ígneas).**

#### 4.3.2.4. Matriz de classificação.

A matriz de classificação, obtida pela análise da função discriminante, mostrou, que de um modo geral, os agrupamentos ficaram corretos em 97,2 %. Neste sentido, o agrupamento dos Cambissolos originados de Argilitos / Siltitos foi 88,9 % correto, enquanto que aqueles de Calcários e Metamórfica/Ígneas foram 100 % corretos respectivamente (Quadro 4.12).

**Quadro 4.12. Matriz de classificação, com as linhas representando a classificação estatística observada e as colunas representando as classes preditas**

Grupo	%	Argilito/Siltito	Calcário	Metamórficas/Ígneas
Argilito/Siltito (AS)	88,89	9	1	0
Calcários (CC)	100,00	0	7	0
Metamórfica/Ígneas (M/I)	100,00	0	0	19
Total predito	97,22	9	8	19

#### 4.3.2.5. Componentes principais

A seguir são apresentadas as variáveis estudadas que tiveram maior participação nas componentes principais.

##### 4.3.2.5.1. Areia grossa (AG).

O grupo de Cambissolos representantes das metamórfica/ ígneas foram àqueles que apresentaram um maior conteúdo de areia grossa (Figura 4.21).

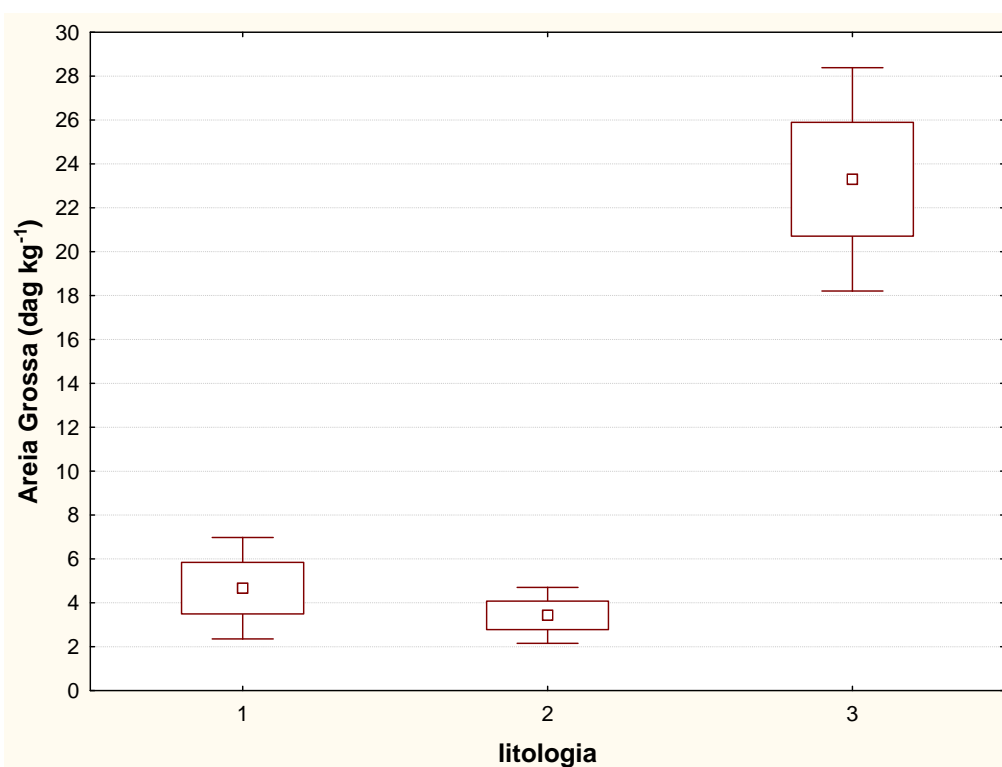


Figura 4.21. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de areia grossa entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  = média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.2. Argila.

Os Cambissolos representantes de Argilito/Siltito e Calcários foram os que tiveram o maior percentual de argila (Figura 4.22).

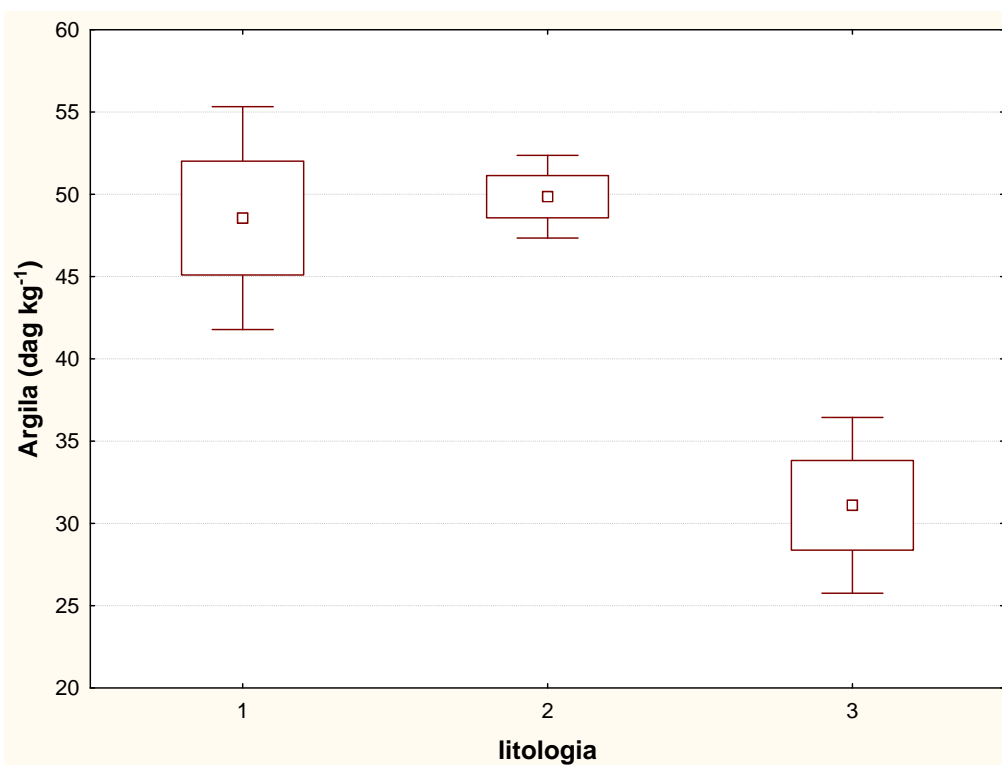


Figura 4.22. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de argila entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  = média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.3. pH (H<sub>2</sub>O).

Os solos de Argilito/Siltito foram os menos ácidos quando comparado aos outros grupos, mas apresentaram os maiores desvios em relação a média. Os solos de Metamórfica/Ígneas apresentaram os menores desvios de pH, ficando este intermediário ao pH observado nos solos de Calcários que foram os mais ácidos (Figura 4.23).

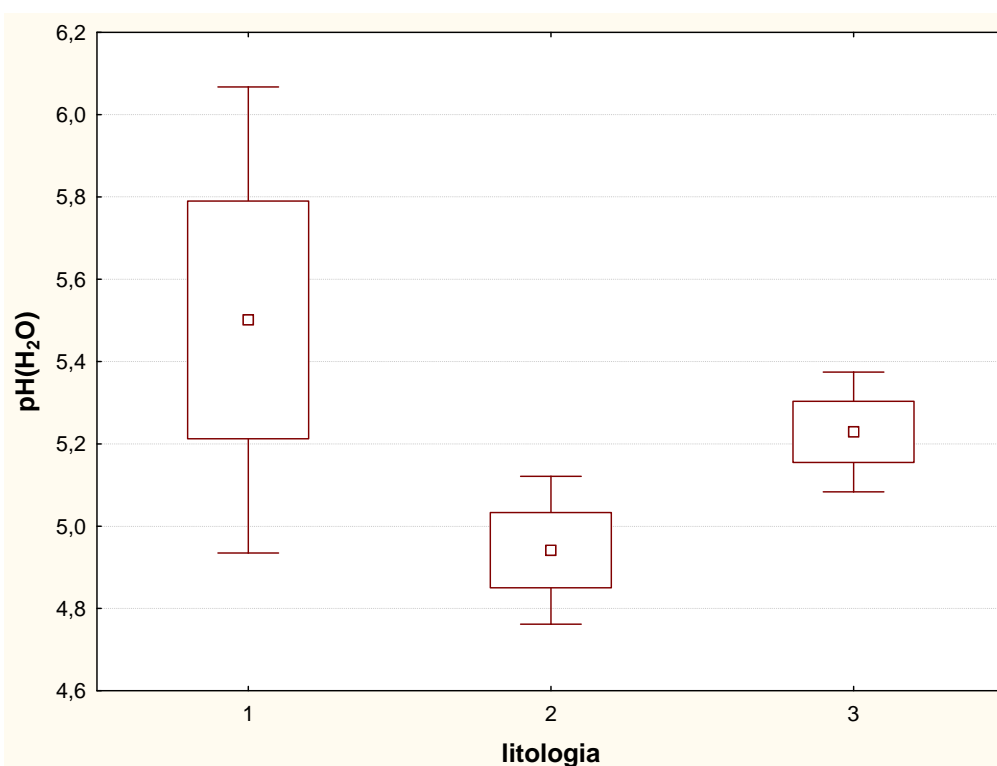


Figura 4.23. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do pH (H<sub>2</sub>O) entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Simbologia ( □ = média; ± = média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.4. Sódio.

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais rico em Na. No entanto, não houve diferenças entre os grupos de Calcários e Metamórfica/Ígneas (Figura 4.24).

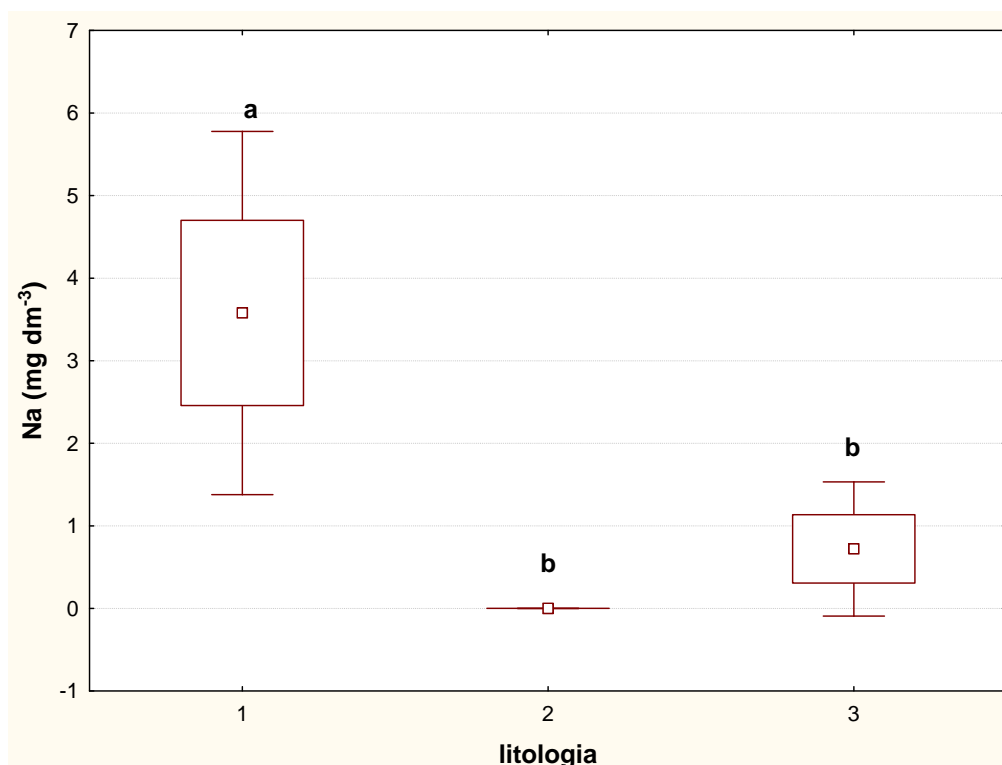


Figura 4.24. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do sódio trocável entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.5. Cálcio.

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais rico em  $\text{Ca}^{2+}$ . No entanto, não houve diferenças entre os grupos de Calcários e Metamórfica/Ígneas (Figura 4.25).

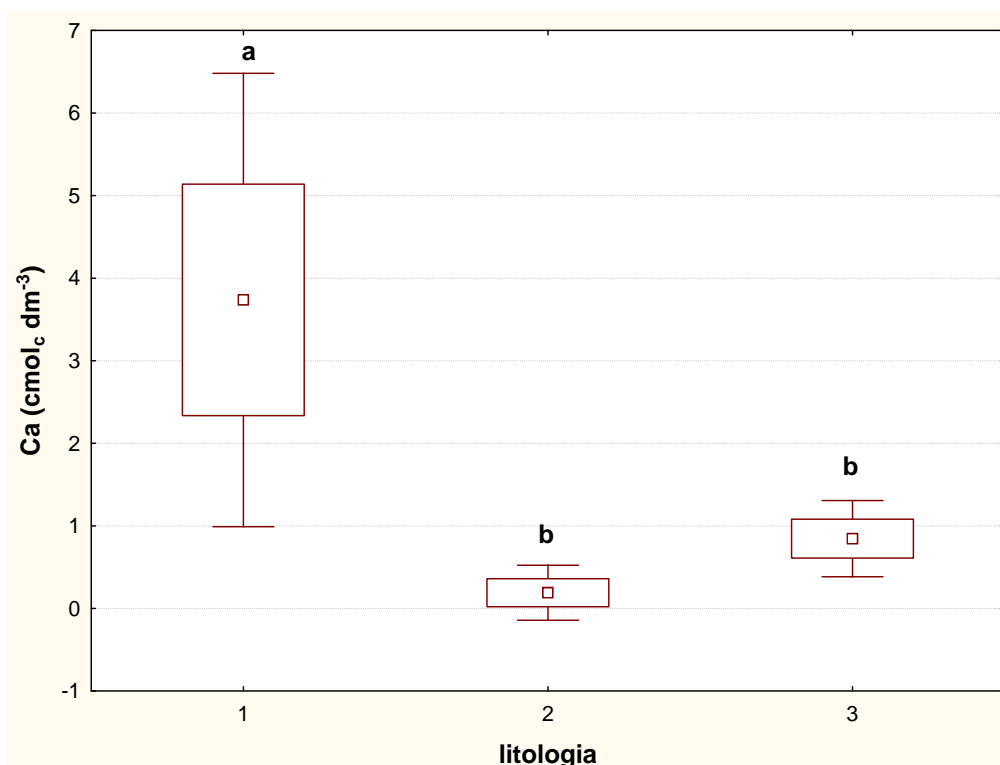


Figura 4.25. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do cálcio trocável entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.6. Magnésio.

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais rico em  $Mg^{2+}$ . No entanto, não houve diferenças entre os grupos Calcários e Metamórfica/Ígneas (Figura 4.26).

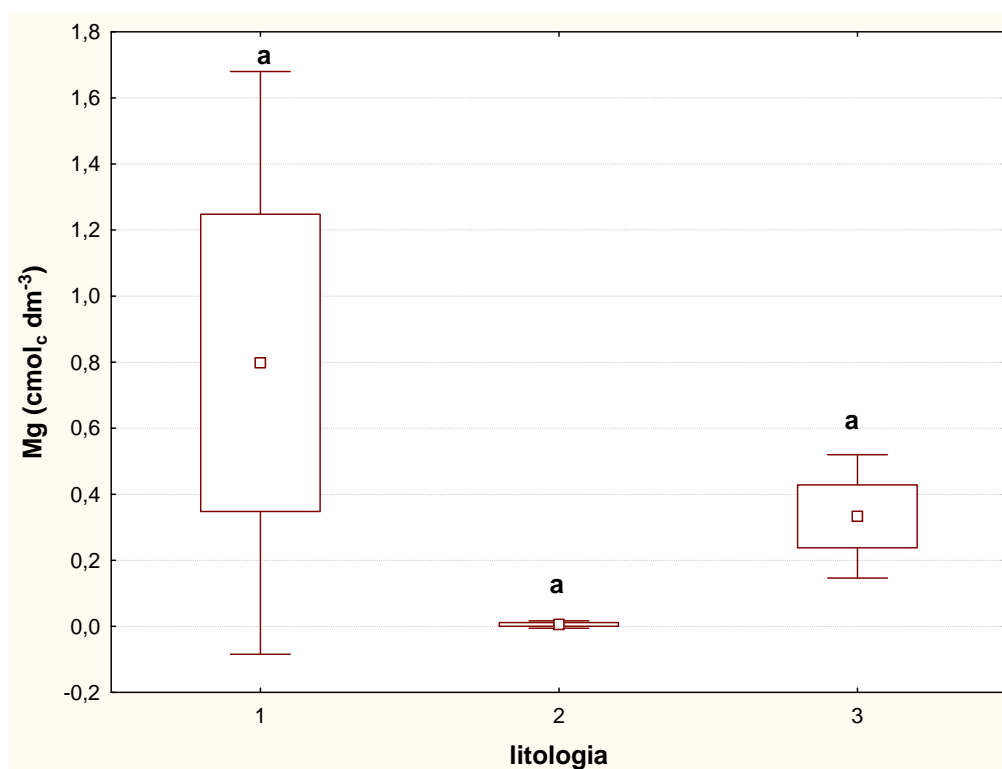


Figura 4.26. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do magnésio trocável entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia ( □ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.7. Capacidade de troca catiônica efetiva (t).

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito apresentou significativamente ( $p < 0,01$ ) uma maior variação de CTC (t), sendo esta maior neste grupo. Em função dos maiores desvios do grupo de solos de Argilito/Siltito e dos menores desvios do grupo de solos de Calcários, não houve diferença entre estes. No entanto, o grupo Argilito/Siltito se difere significativamente ( $p < 0,01$ ) do grupo Metamórfica/Ígneas (Figura 4.27).

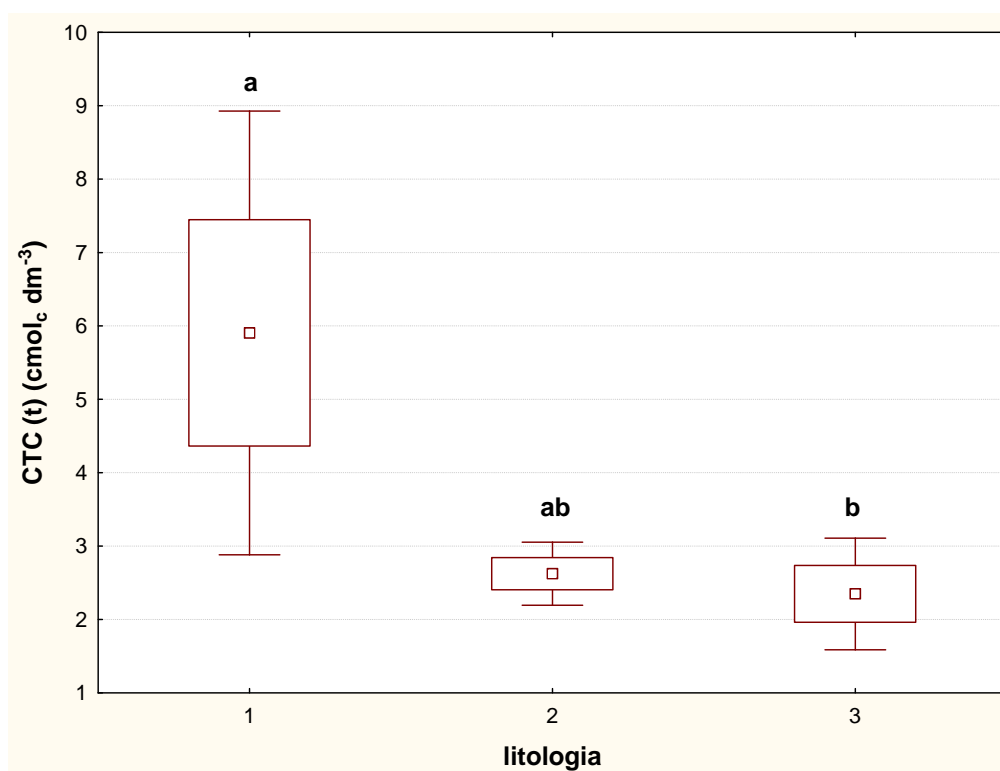


Figura 4.27. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da CTC efetiva entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.8. Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T).

Para esta variável não houve diferença estatísticas entre os grupos, mas se observa uma maior capacidade de troca no grupo de Argilito/Siltito sugerindo que estes solos possuem um maior potencial de manejo da fertilidade do solo (Figura 4.28).

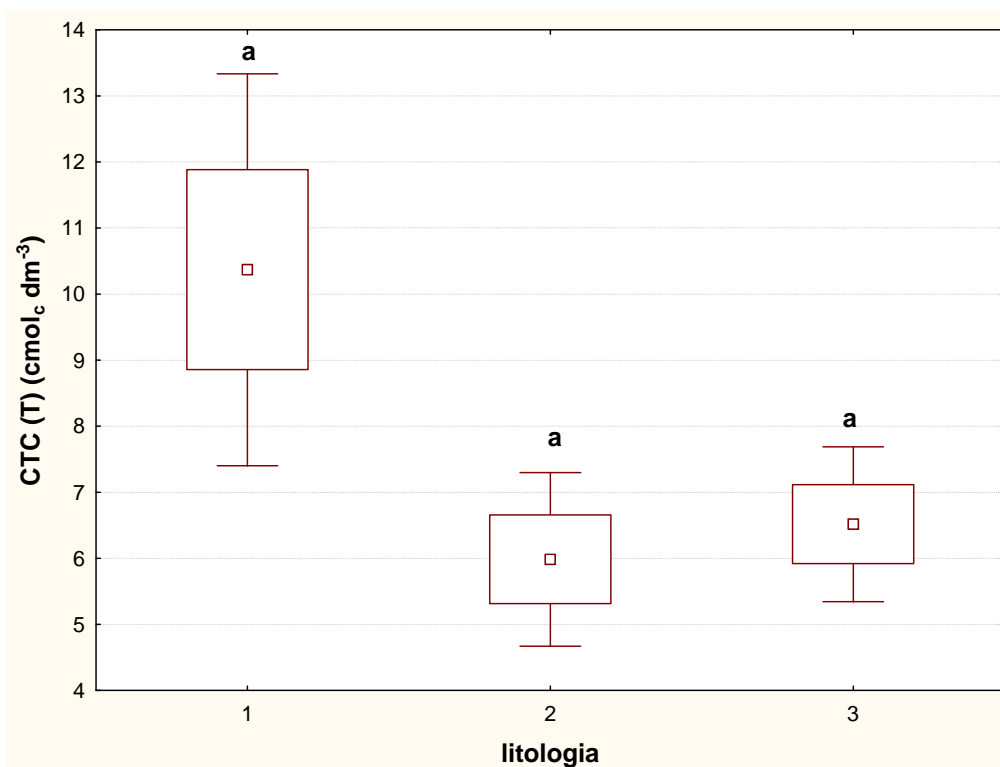


Figura 4.28. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da CTC a pH 7,0 entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.9. Índice de saturação de bases (V).

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito foram significativamente ( $p < 0,01$ ) mais eutrófico que o grupo de solos de Calcários. O grupo de solos de Metamórfica/Ígneas apresentou-se intermediário neste quesito (Figura 4.29).

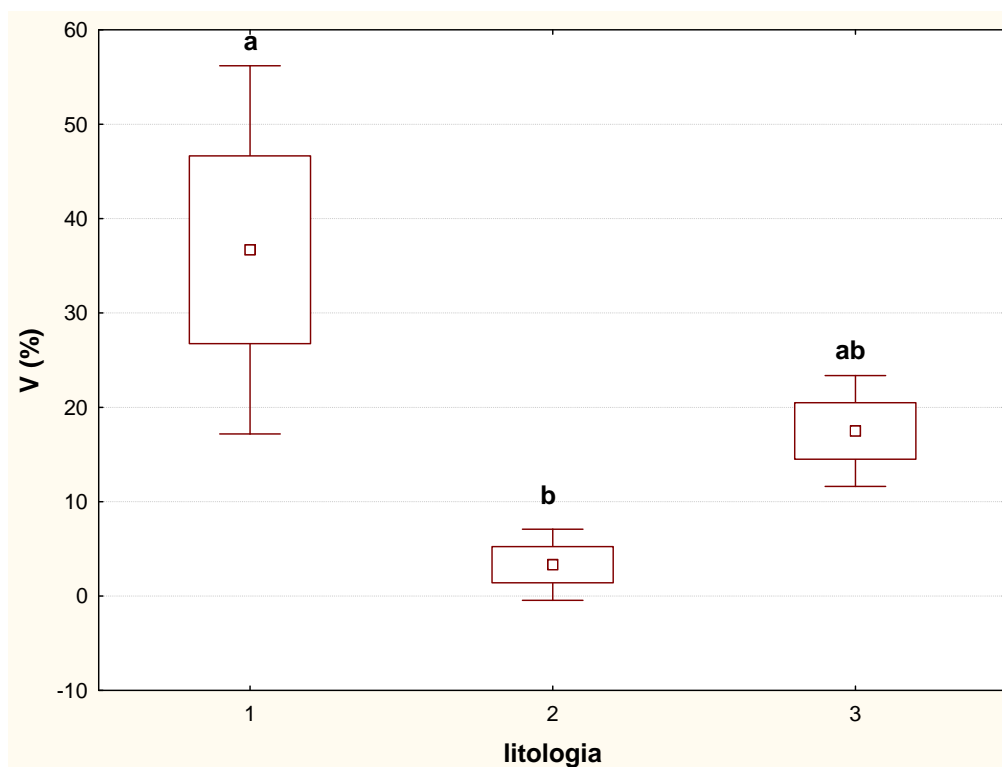


Figura 4.29. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do índice de saturação de bases entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (□ = média; □ média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.10. Índice de saturação por alumínio ( $m$ ).

O grupo de solos originados de Calcários foram significativamente ( $p < 0,01$ ) mais saturados de  $Al^{3+}$  que os outros grupos (Figura 4.30).

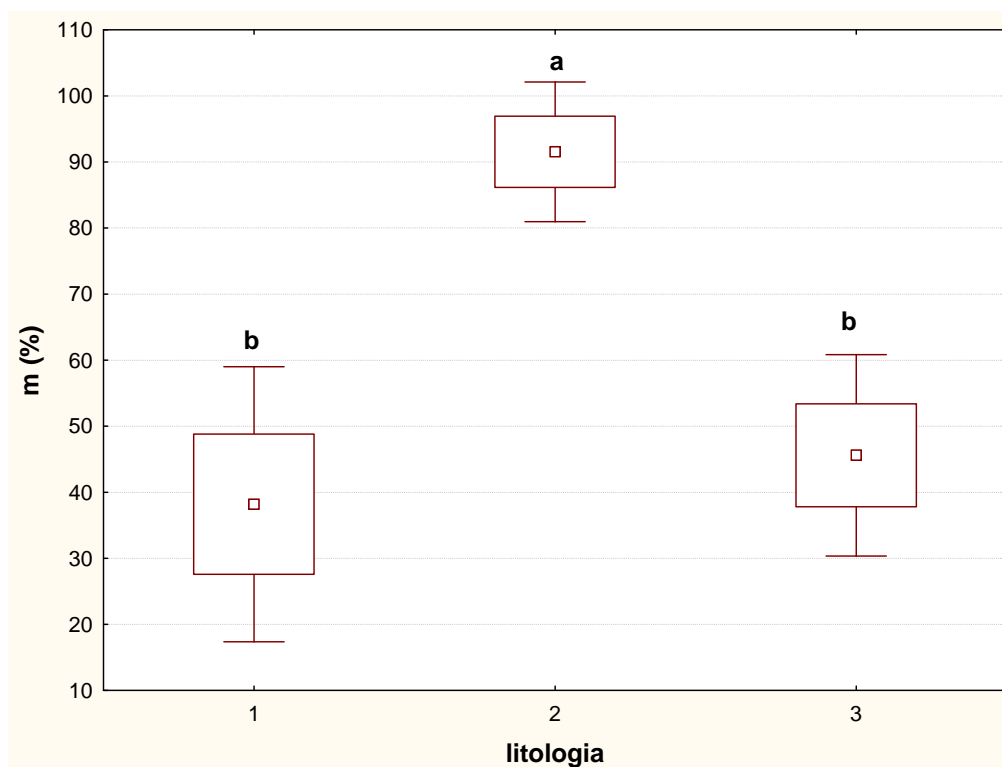


Figura 4.30. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do índice de saturação de alumínio entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.11. Manganês.

O grupo de solos originados de Argilito/Siltito foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais rico em Mn. No entanto, não houve diferenças entre os grupos Calcários e Metamórfica/Ígneas, mas é possível distinguir uma baixa disponibilidade deste elemento para o grupo de Calcários (Figura 4.31).

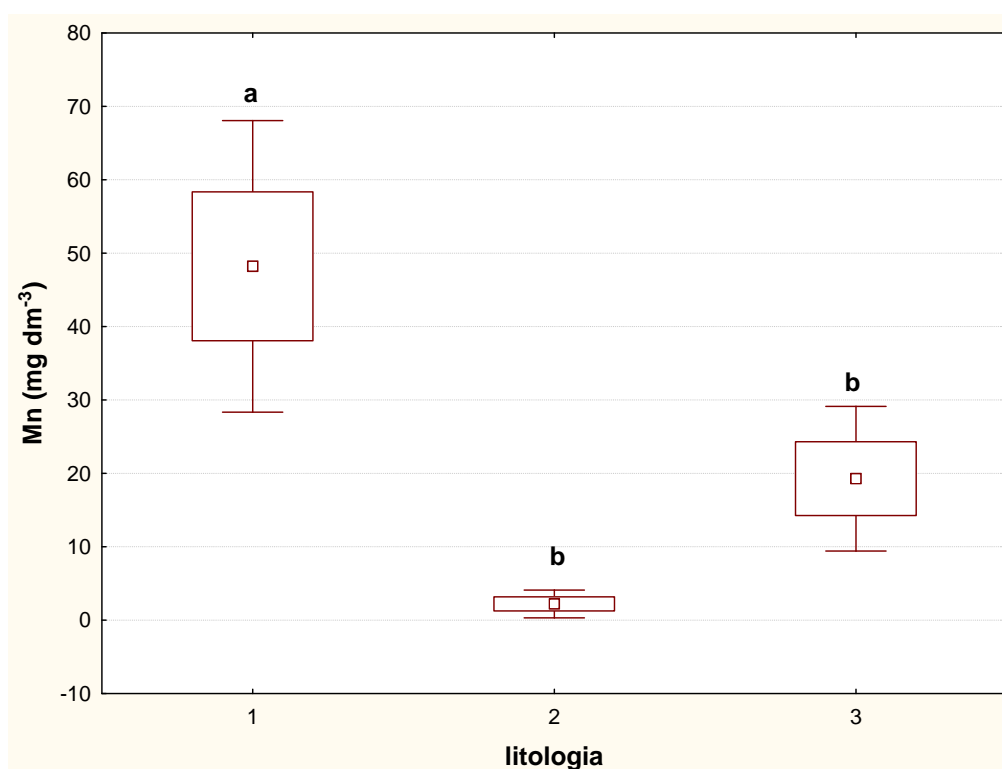


Figura 4.31. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de manganês trocável entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.12. Enxofre.

O grupo de solos originados de Calcários foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais rico em S comparado ao grupo de solos originados de Argilito/ Siltito, no entanto não houve diferença entre o grupo de solos de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.32).

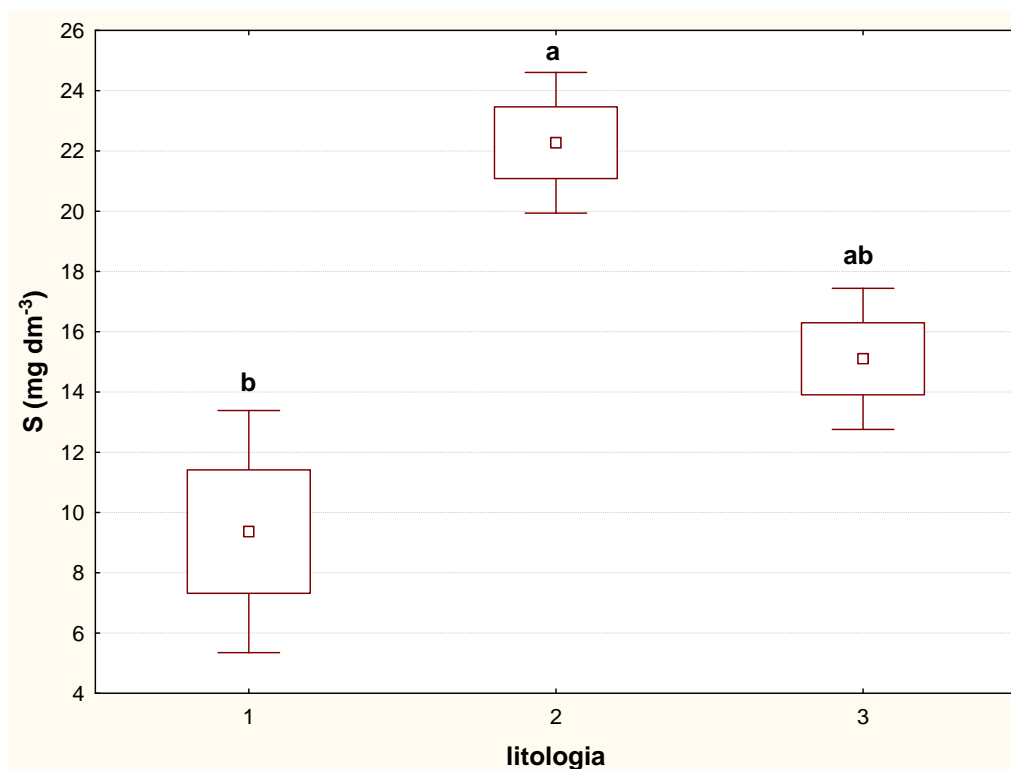


Figura 4.32. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de enxofre entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/ Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/ Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.13. Alumínio.

Os grupos de solos originados de Calcários e Argilito/Siltito foram significativamente ( $p < 0,01$ ) mais ricos em Al extraído pelo método EPA 3051a comparado ao grupo de solos originados de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.33).

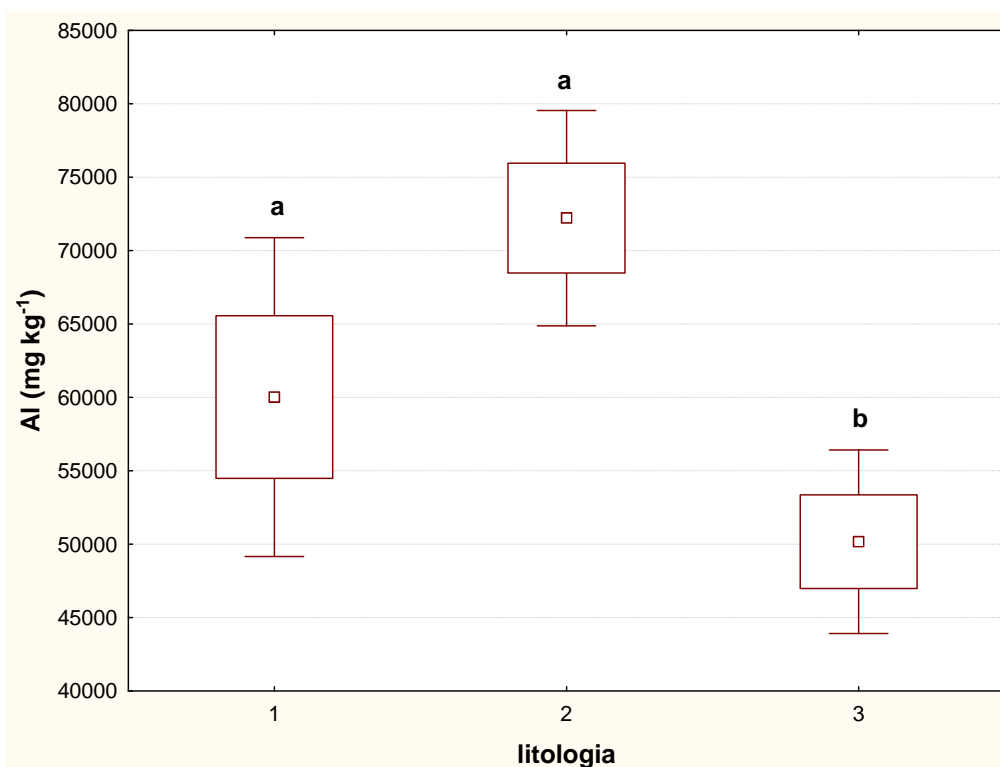


Figura 4.33. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de alumínio entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.5.14. Ferro.

Não existiram diferenças significativas entre os grupos quanto aos teores de Fe, porém se observa uma tendência de maiores teores deste elemento em solos originados de Argilito/Siltito, teores intermediários em solos de **Calcários** e menores teores em solos originados de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.34).

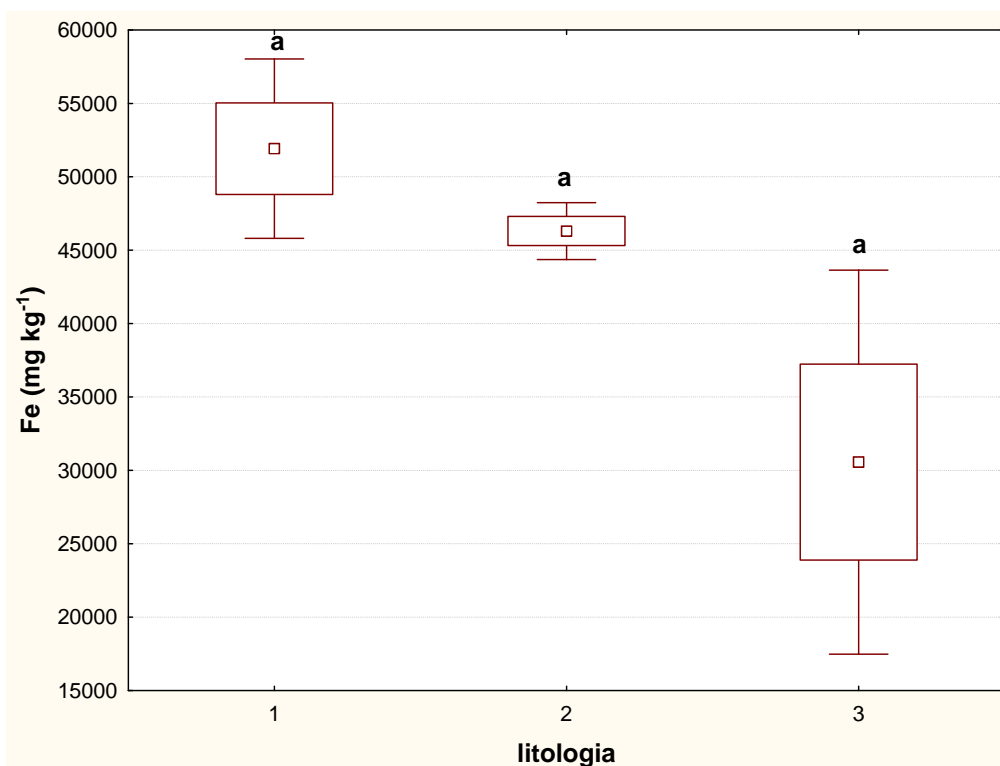


Figura 4.34. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de ferro entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.6. Metais pesados

##### 4.3.2.6.1. Arsênio.

Não existiram diferenças entre os grupos quanto aos teores de As, porém se observa um comportamento diferenciado para o grupo de solos originados de Metamórfica/Ígneas. Estes apresentaram maiores desvios em relação aos outros grupos (Figura 4.35).

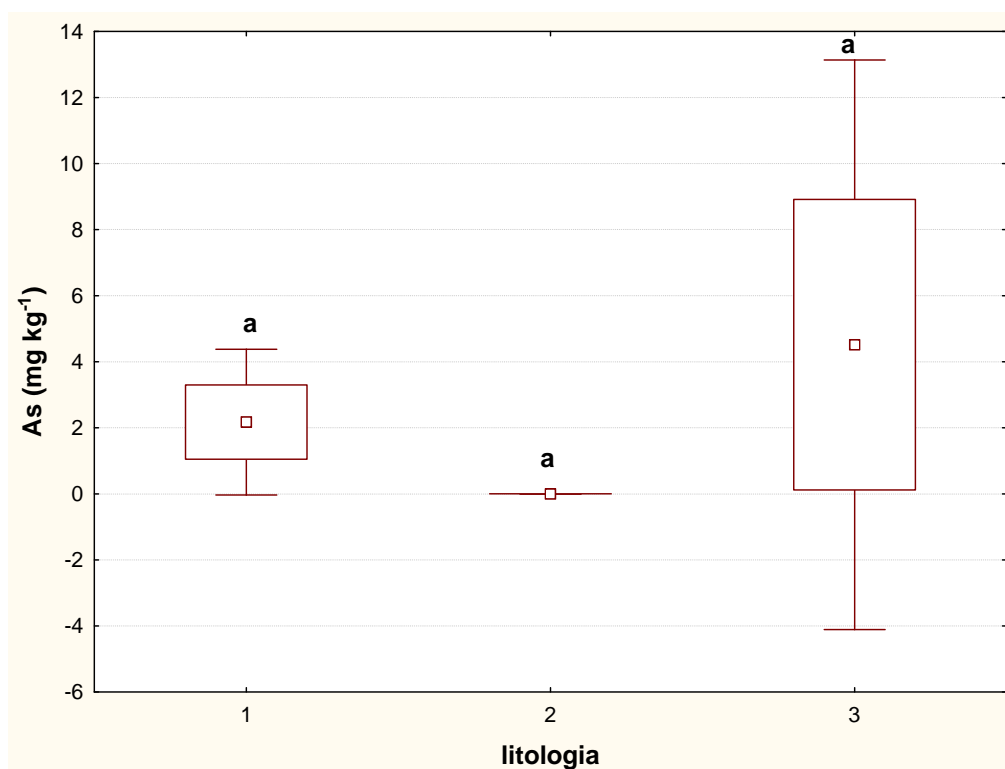


Figura 4.35. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de arsênio entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.6.2. Cádmio.

Não existiram diferenças entre os grupos quanto aos teores de Cd, porém se observa uma tendência de maiores teores em solos originados de Argilito/Siltito, teores intermediários em solos de **Calcários** e menores teores em solos originados de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.36).

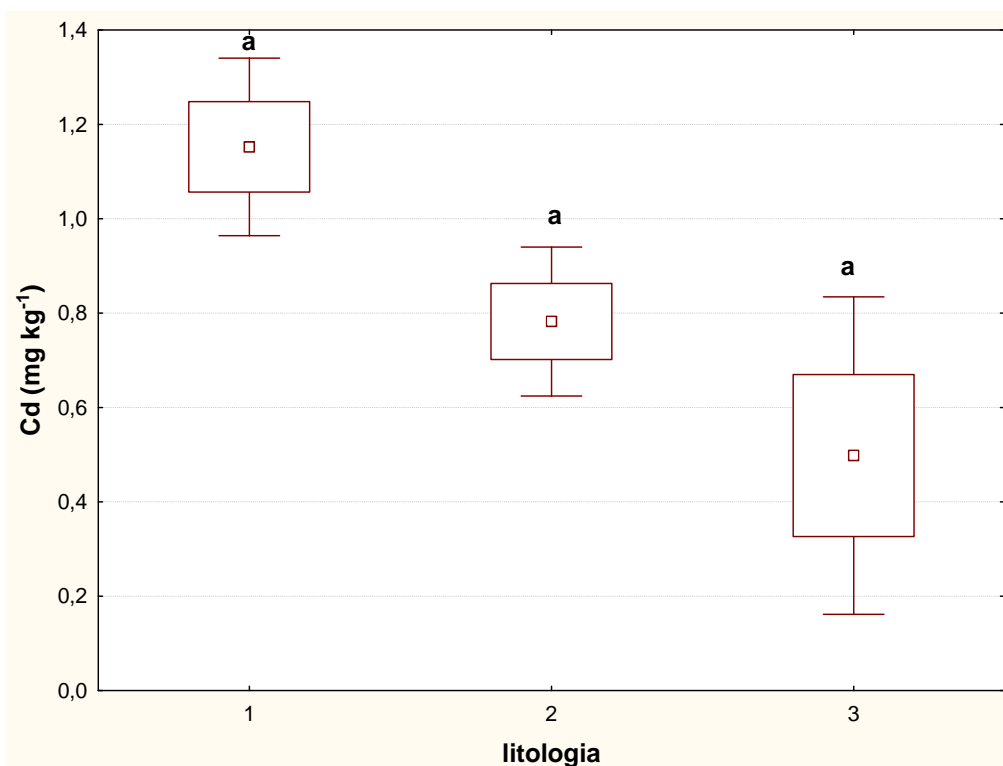


Figura 4.36. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cádmio entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.6.3. Cromo.

Não existiram diferenças entre os grupos quanto aos teores de Cr, porém se observa uma tendência de maiores teores e desvios em relação a média em solos originados de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.37).

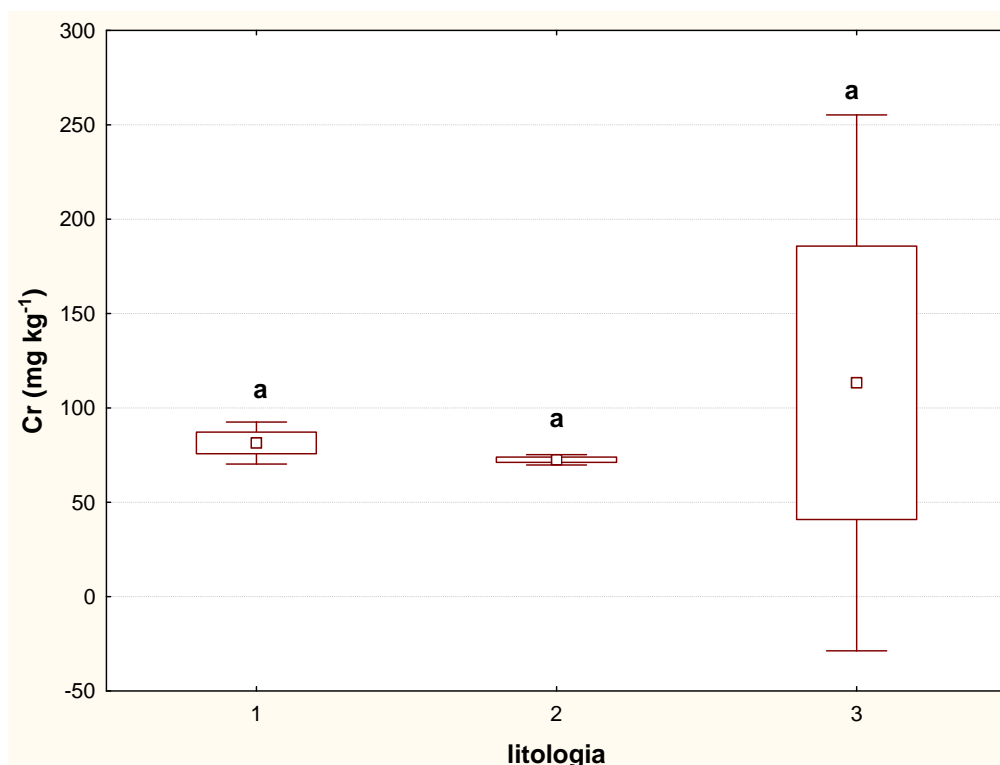


Figura 4.37. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cromo entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.2.6.4. Níquel.

Não existiram diferenças entre os grupos quanto aos teores de Ni, porém se observa uma tendência de maiores desvios em relação a média em solos originados de Metamórfica/Ígneas (Figura 4.38).

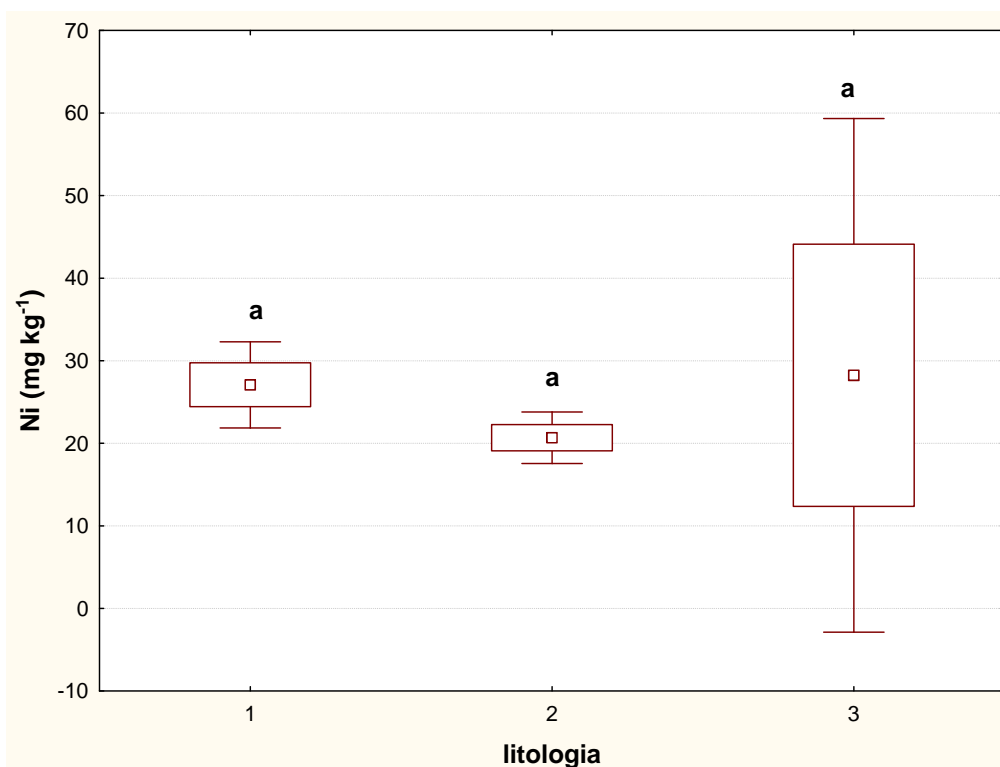


Figura 4.38. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de níquel entre os Cambissolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Calcários; 3: Metamórfica/Ígneas). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 4.3.3. Geoquímica dos metais pesados e atributos químicos e físicos de Latossolos do Estado de Minas Gerais originados de diferentes materiais de origem.

Foram selecionadas 47 amostras de Latossolos representantes de quatro unidades litológicas distintas encontradas no Estado de em Minas Gerais (Quadro 4.13).

**Quadro 4.13. Número de amostras estudadas para cada unidade litológica dos Latossolos do Estado de Minas Gerais**

Unidade Geológica	Grupo	Classe de Solo	n
Argilito/Siltito (AS)	1	LV	10
Máficas e Ultramáficas (MUF)	2	LV LVA	5 5
Metamórfica/Ígneas (M/I)	3	LV LVA	6 8
Sedimentos Inconsolidados (SI)	4	LV LVA	12 1

#### 4.3.3.1. Estatística descritiva.

As amostras foram analisadas química e fisicamente para verificar as variações existentes dos atributos dos Latossolos em função dos diferentes materiais de origem (Quadro 4.14). Pequenas variações são observados para as quase todas variáveis físicas e químicas, salvo para algumas variáveis como K, m, S e os metais Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn. Quanto à fertilidade, os Latossolos variaram de distróficos a eutróficos.

**Quadro 4.14. Estatística descritiva dos Latossolos do Estado de Minas Gerais**

Variável	n	Média	Mínimo	Máximo	D. P.
ADA (%)	47	13,09	1,00	32,00	8,16
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	47	9,06	1,00	42,00	9,37
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	47	6,09	1,00	20,00	4,82
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	47	16,55	5,00	35,00	8,61
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	47	68,30	38,00	88,00	11,33
pH (H <sub>2</sub> O)	47	5,05	4,19	6,15	0,47
pH (KCl)	47	4,35	3,81	5,36	0,44
P (mg dm <sup>-3</sup> )	47	1,99	0,20	37,10	5,36
K (mg dm <sup>-3</sup> )	47	52,23	4,00	260,00	56,42
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	47	0,31	< L.D.	6,30	1,12
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	0,65	< L.D.	7,35	1,49
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	0,26	< L.D.	2,22	0,50
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	0,72	< L.D.	2,31	0,74
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	7,60	1,70	19,60	4,26
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	1,47	0,01	27,88	4,31
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	2,19	0,01	27,88	4,22
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47	9,07	1,84	36,48	6,30
V (%)	47	10,10	0,20	76,40	16,08
m (%)	47	47,40	0,00	97,50	38,84
ISNa (%)	47	0,12	0,00	4,03	0,60
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	47	5,26	1,02	54,25	7,95
P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	47	13,97	1,30	51,60	10,34
B (mg dm <sup>-3</sup> )	47	0,49	0,06	5,17	0,75
S (mg dm <sup>-3</sup> )	47	30,38	1,40	89,30	19,23
Al (g kg <sup>-1</sup> )	47	112,04	43,86	178,29	37,74
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	47	64,35	26,41	83,64	14,45
As (mg kg <sup>-1</sup> )	47	8,82	0,31	21,57	5,36
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	47	156,56	11,49	453,90	125,94
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	47	0,34	0,02	2,24	0,52
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	47	25,77	4,47	49,51	7,13
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	47	158,42	60,79	486,27	85,99
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	47	78,33	48,51	219,32	35,24
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	47	360,27	88,81	1.444,56	276,24
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	47	47,53	11,67	96,90	18,45
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	47	1,04	0,15	2,48	0,66
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	47	29,00	1,93	189,69	32,36

ADA – Argila dissolvida em água; P - Na - K - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-Rem = Fósforo Remanescente; Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn – EPA 3051a (1998).

#### 4.3.3.2. Matriz de correlação de Pearson.

Entre as amostras de solos representativas dos Latossolos do Estado de Minas Gerais, originados de diferentes litologias, ocorreram correlações significativas ( $p < 0,01$ ) entre as variáveis areia grossa (AG), areia fina (AF), argila (ARG), K, Ca, Mg, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T), índice de saturação de bases (V), Al e Mn extraídos pelo método EPA 3051a (Quadro 4.15).

**Quadro 4.15. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, para as variáveis selecionadas dos Latossolos do Estado de Minas Gerais em função de diferentes litologias**

	AG	AF	ARG	K	Ca	Mg	SB	t	V	Al	Mn
AG	1,00										
AF	<b>0,78</b>	1,00									
ARG	<b>-0,73</b>	<b>-0,73</b>	1,00								
K	-0,10	-0,04	-0,15	1,00							
Ca	-0,02	0,06	-0,22	<b>0,58</b>	1,00						
Mg	0,03	0,13	-0,25	<b>0,81</b>	<b>0,84</b>	1,00					
SB	0,00	0,20	-0,24	<b>0,53</b>	<b>0,77</b>	<b>0,83</b>	1,00				
T	-0,03	0,14	-0,19	<b>0,54</b>	<b>0,74</b>	<b>0,81</b>	<b>0,98</b>	1,00			
V	0,01	0,15	-0,28	0,63	<b>0,92</b>	<b>0,89</b>	<b>0,86</b>	<b>0,82</b>	1,00		
Al	<b>-0,56</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,64</b>	-0,26	-0,09	-0,30	-0,14	-0,14	-0,15	1,00	
Mn	-0,20	0,04	-0,08	<b>0,38</b>	<b>0,63</b>	<b>0,54</b>	<b>0,66</b>	<b>0,62</b>	<b>0,63</b>	0,11	1,00

#### 4.3.3.3. Análise das componentes principais.

A análise das componentes principais (ACP) mostrou que os dois primeiros componentes principais respondem por aproximadamente 76 % da variação total dos dados, sendo 46,9 % para o componente 1 e 29,2 % para o componente 2 (Quadro 4.16).

**Quadro 4.16. Autovalores dos fatores (componentes principais) e das estatísticas correlatadas**

Fator	%		Autovalor	
	Autovalor	variância	Acumulado	Variância Acumulada
1	4,69	46,90	46,90	46,90
2	2,92	29,24	7,61	76,14
3	0,86	8,56	8,47	84,69
4	0,42	4,19	8,89	88,88
5	0,34	3,45	9,23	92,33
6	0,29	2,91	9,52	95,24
7	0,20	2,00	9,72	97,24
8	0,17	1,68	9,89	98,92
9	0,06	0,64	9,96	99,56
10	0,04	0,44	10,00	100,00

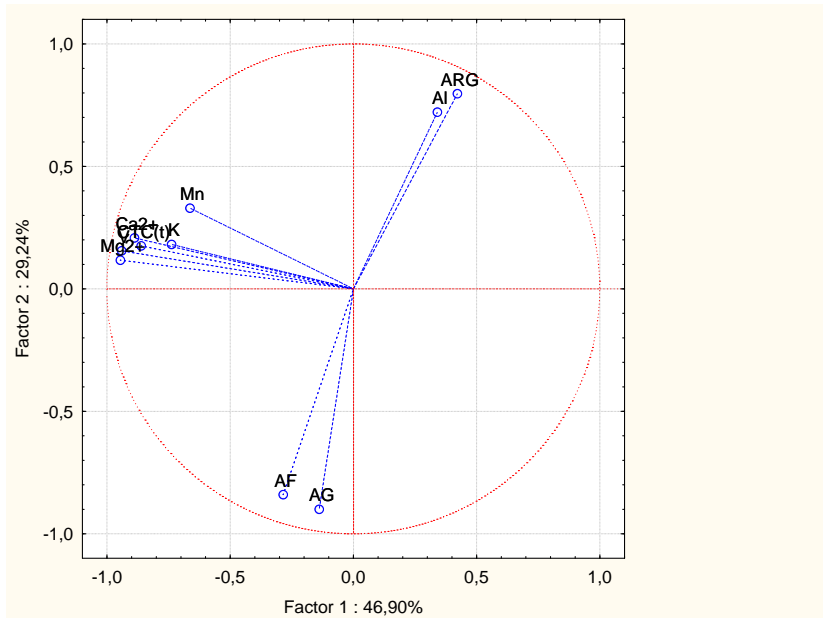
Ao analisar a primeira componente principal (fator 1) em termos de contribuição das variáveis, pode-se verificar que as variáveis V,  $Mg^{2+}$ , CTC (t),  $Ca^{2+}$ , SB, K e Mn são, nesta ordem, as que mais contribuíram para a definição deste fator, somando em conjunto de 0,94 do total de uma unidade para a definição deste fator. A definição do fator 2 esteve ligada as variáveis areia grossa (AG), areia fina (AF) argila (ARG) e o Al, totalizando o conjunto 0,93 do total de uma unidade (Quadro 4.17).

**Quadro 4.17. Contribuição de cada variável, baseada na correlação, para cada um dos cinco primeiros componentes principais (fator)**

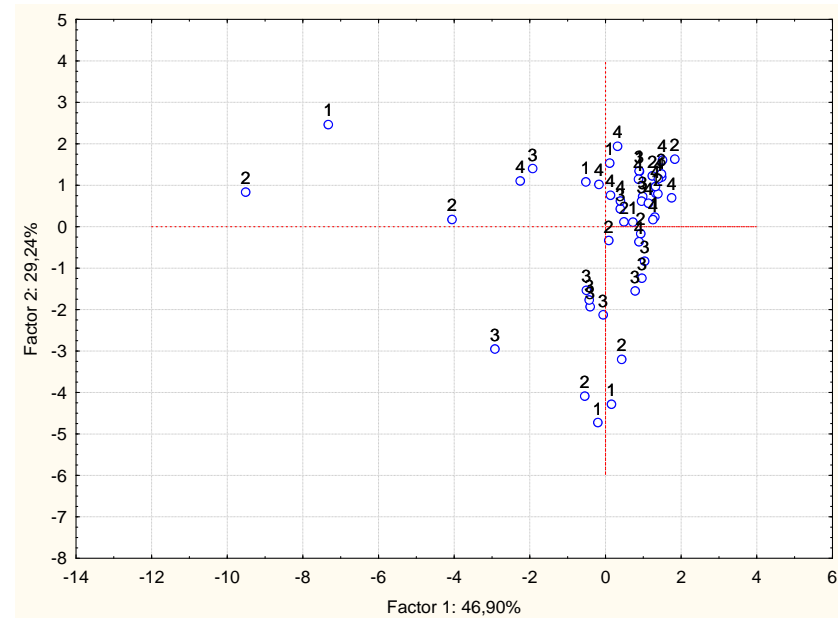
Variável	Fator 1	Fator 2
AG	0,0016	0,2788
AF	0,0118	0,2461
ARG	0,0257	0,2278
K	0,0926	0,0063
Ca	0,1428	0,0087
Mg	0,1611	0,0015
SB	0,1551	0,0036
t	0,1474	0,0065
V	0,1621	0,0039
Al	0,0153	0,1869
Mn	0,0846	0,0299

Pela Figura 4.39a, podemos observar todas as variáveis do componente 1 acompanhando o primeiro eixo num sentido negativo, explicando 46,9 % da variação total dos grupos (Quadro 4.13) com grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis. No eixo 2, explicando 29,3 % da variação dos dados, observa-se as variáveis AR e AF juntas acompanhando o eixo num sentido negativo enquanto as variáveis ARG e Al juntas acompanhando o eixo num sentido positivo (Figura 4.39a). Entre os grupos litológicos, correlacionando o primeiro e segundo fator, observa-se uma sobreposição

entre os grupos. Ocorreu uma tendência do grupo 4 (Sedimentos Inconsolidados) permanecer no centro do gráfico. Os grupos 1 (Argilito/Siltito) e 2 (Máficas e Ultramáficas), apresentaram tendência de acompanhar o eixo 1 e o grupo 3 (Metamórfica/Ígneas) apresentou tendência de acompanhar o eixo 2 do gráfico (Figura 4.39b).



(a)



(b)

**Figura 4.39. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com as características químicas e físicas para as 36 amostras de horizontes superficiais e sub-superficiais dos Latossolos analisadas. (a) Gráfico de autovetores das variáveis areia grossa (AG), areia fina (AF), argila (ARG), K,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , soma de base (SB), CTC efetiva (CTQ(t)), percentual de saturação de bases (V), índice de saturação de alumínio (m), alumínio e manganês obtidos pelo método EPA 3051a. (b) Escores atribuídas às amostras dos grupos litológicos (1, Argilito/Siltito; 2, Máficas e Ultramáficas; 3, Metamórfica/Igneas; 4, Sedimentos Inconsolidados).**

#### 4.3.3.4. Matriz de classificação.

A matriz de classificação, obtida pela análise da função discriminante, mostrou, que de um modo geral, os agrupamentos ficaram corretos em 61,7 %. Neste sentido, o agrupamento dos Latossolos originados de Argilitos/Siltitos teve um acerto de 50 %, perdendo uma observação para o grupo das Metamórficas/Ígneas e quatro observações para o grupo dos Sedimentos Inconsolidados (Quadro 4.18). O agrupamento de Máficas e Ultramáficas teve um acerto de 40 %, perdendo quatro observações para o grupo Argilito/Siltito e três observações para o grupo de Sedimentos Inconsolidados (Quadro 4.18). O grupo de Metamórfica/Ígneas teve um acerto de 64 % perdendo duas observações para o grupo Argilito/Siltito, duas observações para o grupo Máficas e Ultramáficas e uma observação para o grupo Sedimentos Inconsolidados. O grupo Sedimentos Inconsolidados teve 84 % de acerto, perdendo apenas duas observações, uma para o grupo Argilito/Siltito e outra para o grupo Metamórfica/Ígneas (Quadro 4.18). Neste sentido, vale ressaltar que os Latossolos a classe de solos que teve a menor explicação pelo material de origem. O intenso e contínuo processo de perda de material químico e transformações referentes aos processos intempéricos faz com estes solos pouco se relacionam com o material de origem, salvo aqueles desenvolvidos sobre rochas máficas, como o basalto, que possivelmente podem possuir diferenças dos solos desenvolvidos sobre rochas félsicas.

**Quadro 4.18. Matriz de classificação, com as linhas representando a classificação estatística observada e as colunas representando as classes preditas**

<b>Grupo</b>	<b>%</b>	<b>Argilito Siltito</b>	<b>Máficas Ultramáficas</b>	<b>Metamórficas / Ígneas</b>	<b>Sedimentos Inconsolidados</b>
<b>Argilito Siltito</b>	50,00	5	0	1	4
<b>Máficas Ultramáficas</b>	40,00	3	4	0	3
<b>Metamórficas / Ígneas</b>	64,28	2	2	9	1
<b>Sedimentos Inconsolidados</b>	84,61	1	0	1	11
<b>Total predito</b>	61,70	11	6	11	19

#### 4.3.3.5. Componentes principais.

A seguir são apresentadas as variáveis estudadas que tiveram maior participação nas componentes principais.

##### 4.3.3.5.1. Areia grossa.

O grupo 3 apresentou a maior percentagem de areia grossa. O grupo 1 apresentou os maiores desvios em relação a média e o grupo 4 foi responsável pelo menor percentual e os menores desvios (Figura 4.40).

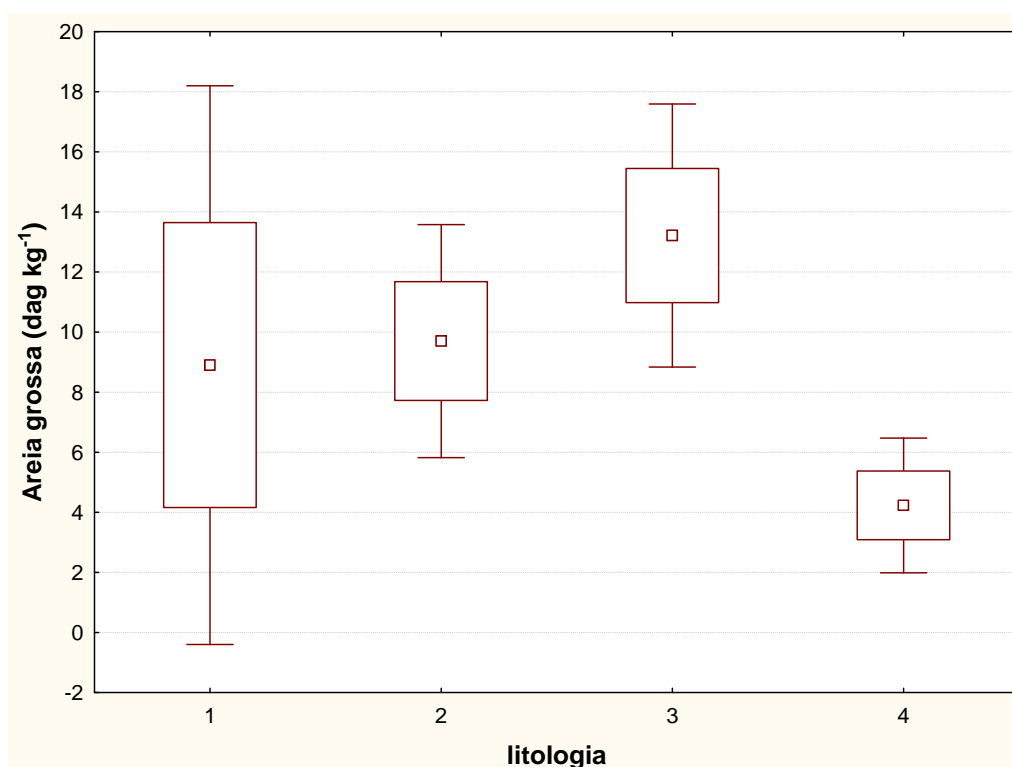


Figura 4.40. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de areia grossa entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.2. Areia Fina.

O grupo 2 apresentou o maior percentual de areia fina com maiores desvios em relação a média em contraste com o grupo 4 que apresentou o menor percentual com menores desvios (Figura 4.41).

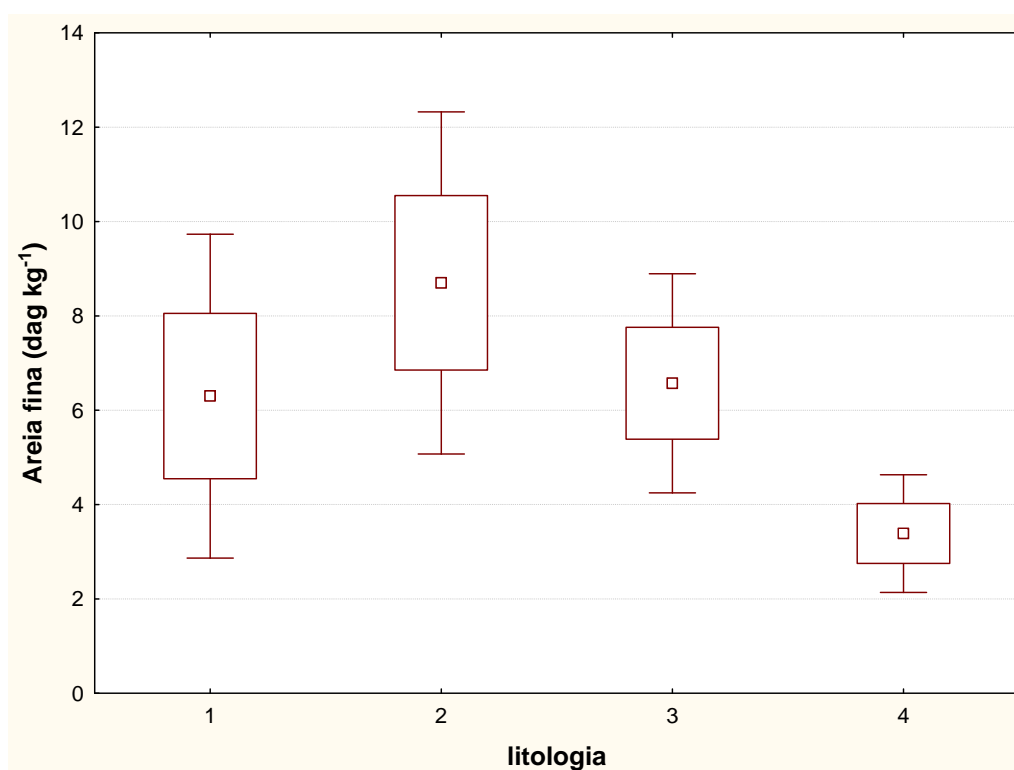


Figura 4.41. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de areia fina entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.3. Argila.

O maior percentual de argila com menores desvios em relação a média foi observado no grupo 4. O grupo 3 se destaca dos grupos 1 e 2 pelo menores desvios em relação a média (Figura 4.42).

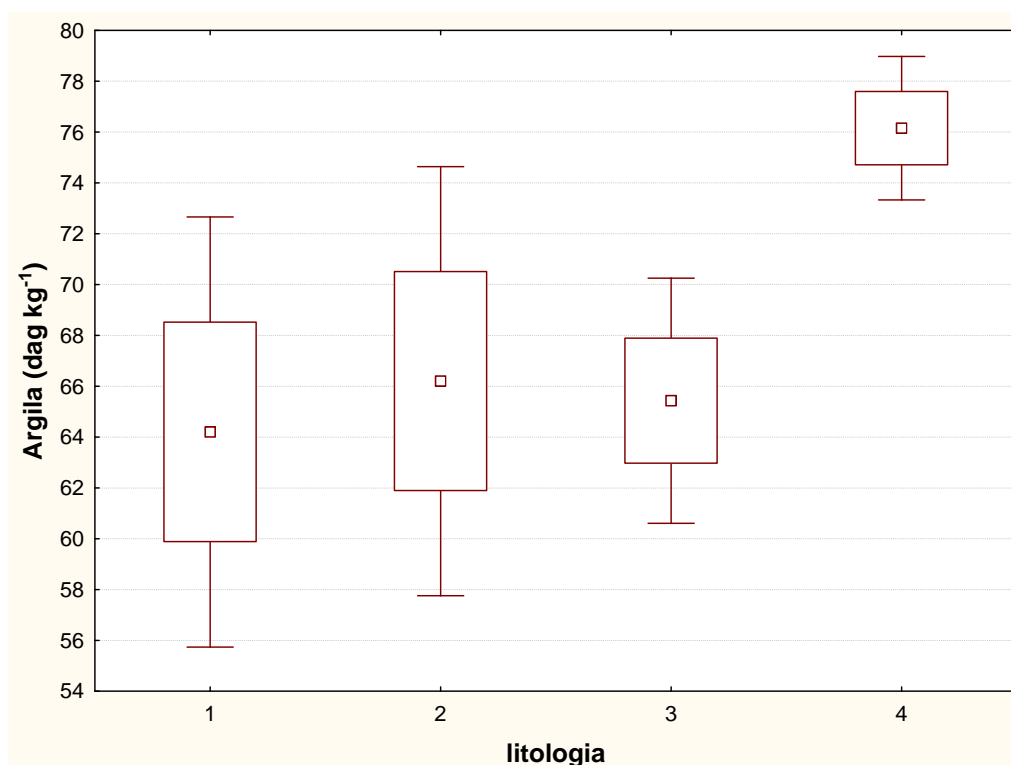


Figura 4.42. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do conteúdo de argila entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.4. Potássio.

O grupo 3 é destaque por apresentar os menores teores de K e menores desvios em relação a média. O grupo 2 se destaca por apresentar os maiores desvios (Figura 4.43).

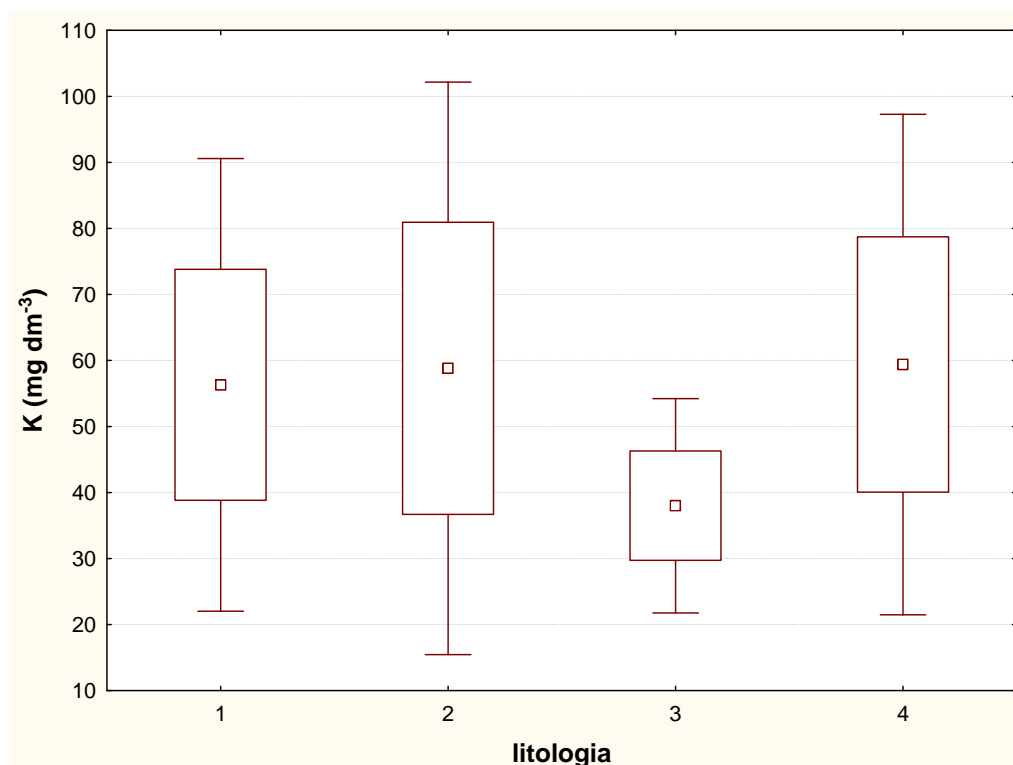


Figura 4.43. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de potássio entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilite/Siltite; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.5. Cálcio.

O grupo 4 se destaca pelos menores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e os menores desvios em relação a média. Destaca-se também o grupo 3 pelo menores desvios comparados aos grupos 1 e 2 respectivamente (Figura 4.45).

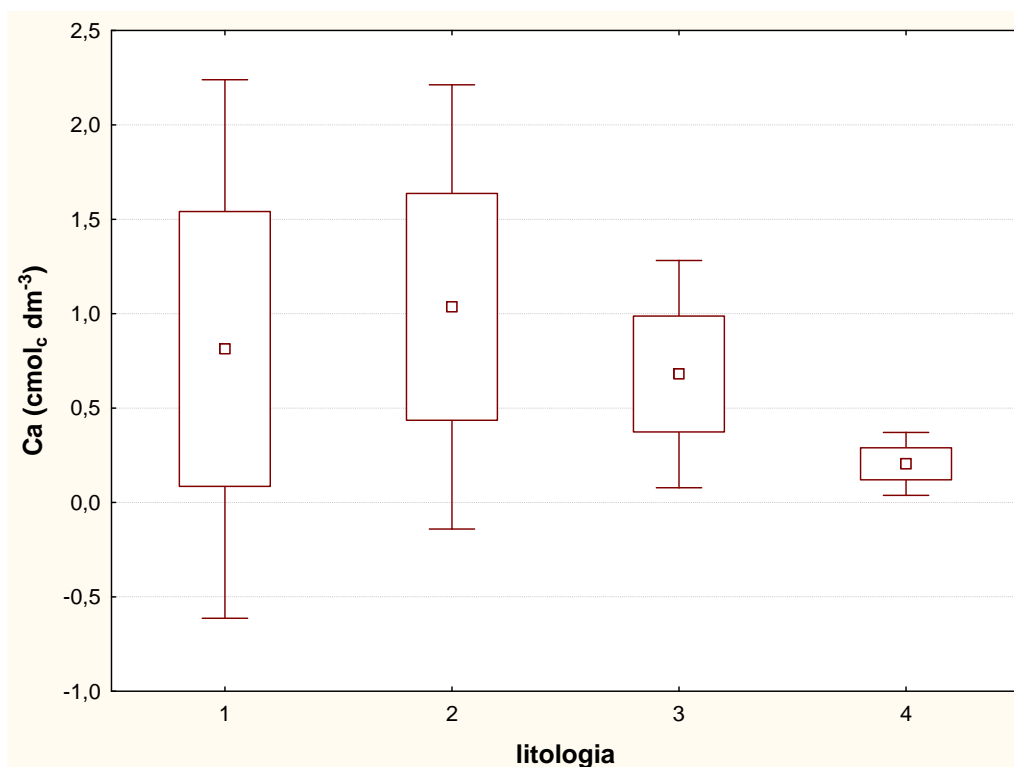


Figura 4.45. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cálcio entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.6. Magnésio.

O grupo 2 apresentou a maior concentração média de  $Mg^{2+}$  com os maiores desvios em relação a média. Os grupos 3 e 4 foram similares entre si em média e desvios (Figura 4.45).

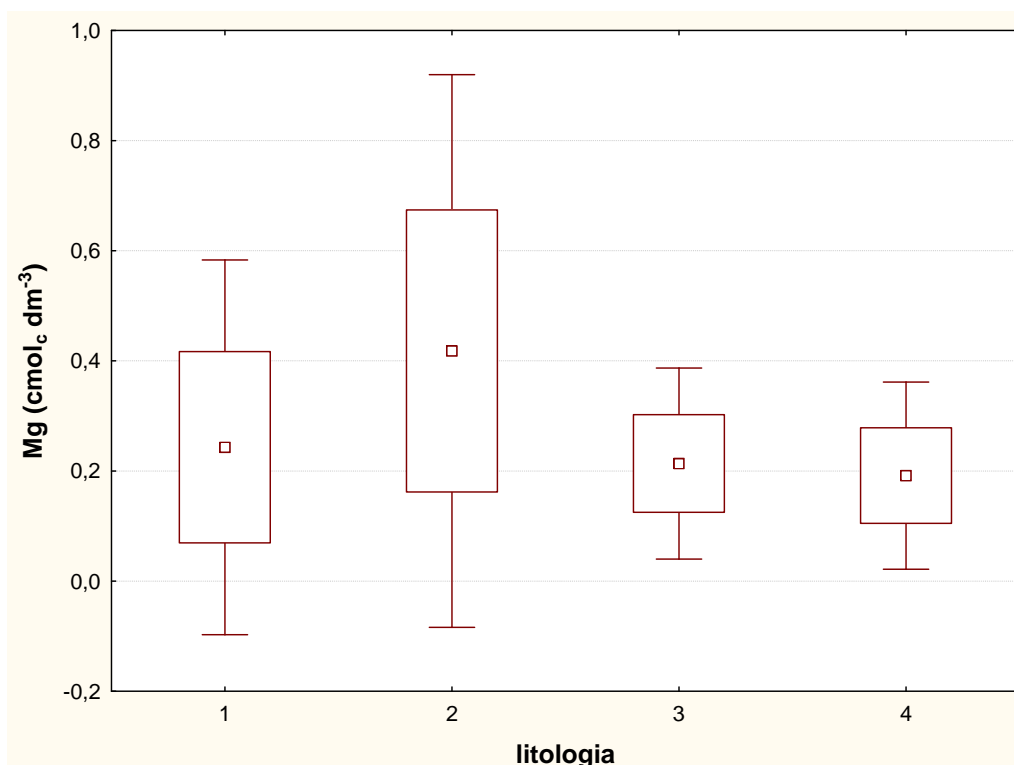


Figura 4.45. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de magnésio entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.7. Soma de bases.

O grupo 2 foi responsável pela maior média e desvio em relação a média. Os grupos 1; 3 e 4 foram similares entre si (Figura 4.46).

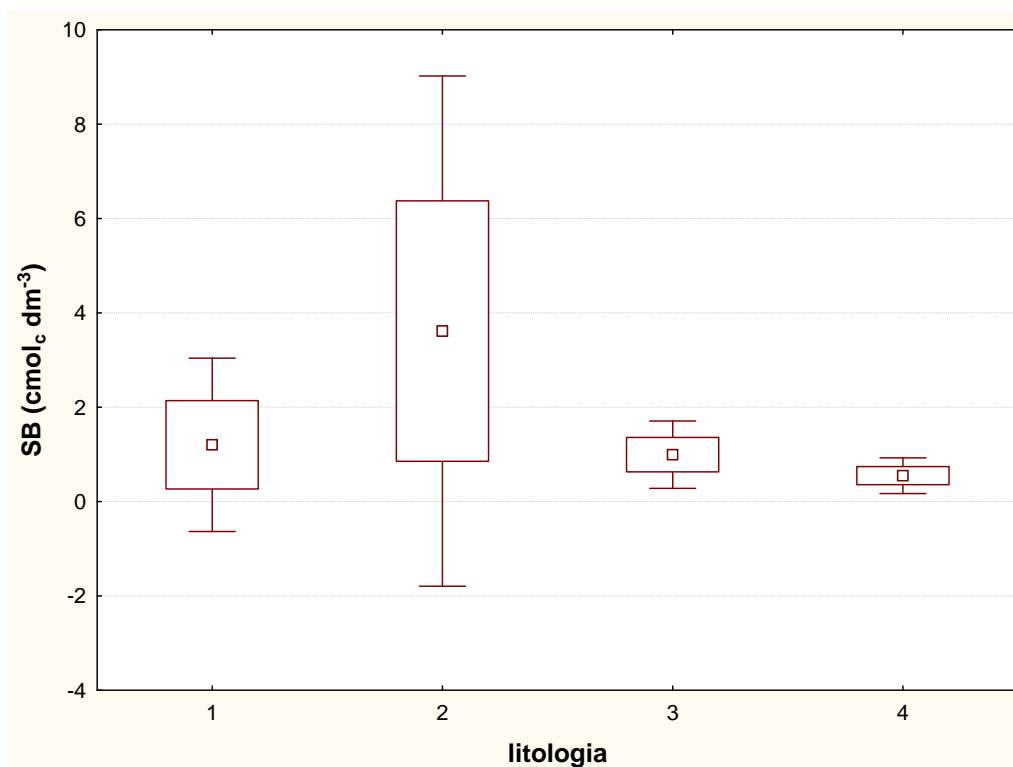


Figura 4.46. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da soma de bases entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.8. Complexo de troca catiônica efetiva (CTC t).

O grupo 2 foi responsável pela maior média e desvio em relação a média. Os grupos 1; 3 e 4 foram similares entre si (Figura 4.47).

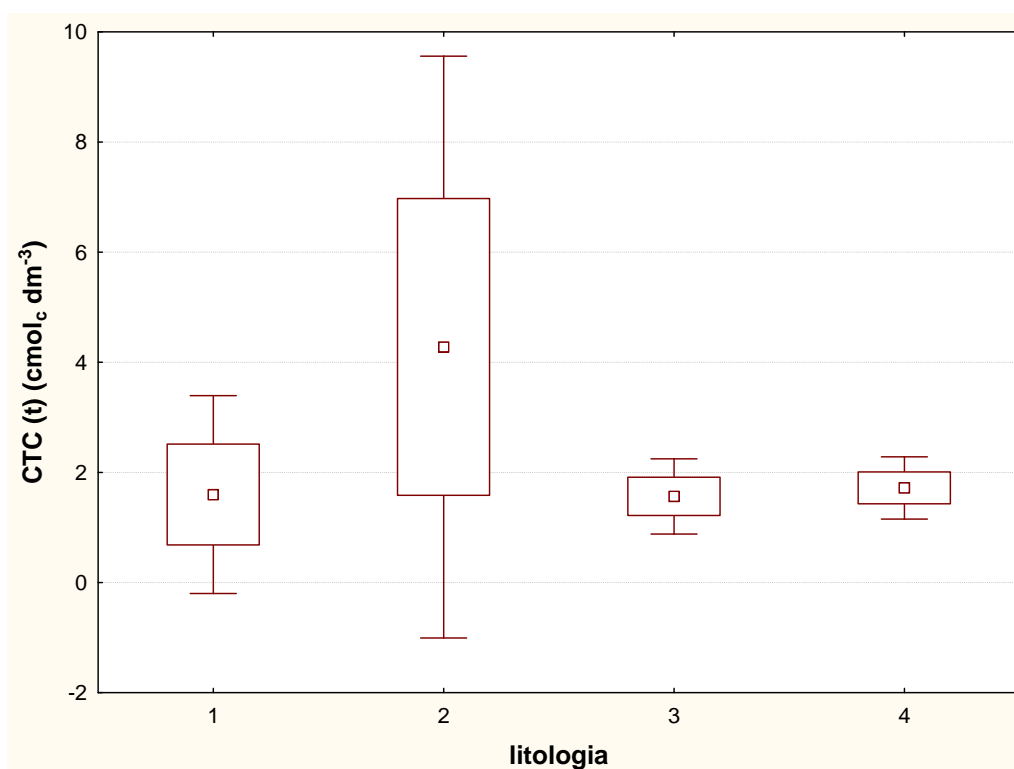


Figura 4.47. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da CTC efetiva entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.9. Índice de saturação de bases (V).

Destaca-se o grupo 4 pelo menor percentual de saturação de bases com os menores desvios em relação a média. O grupo 3 também possui pequenos desvios quando comparados aos grupos 1 e 2 (Figura 4.48).

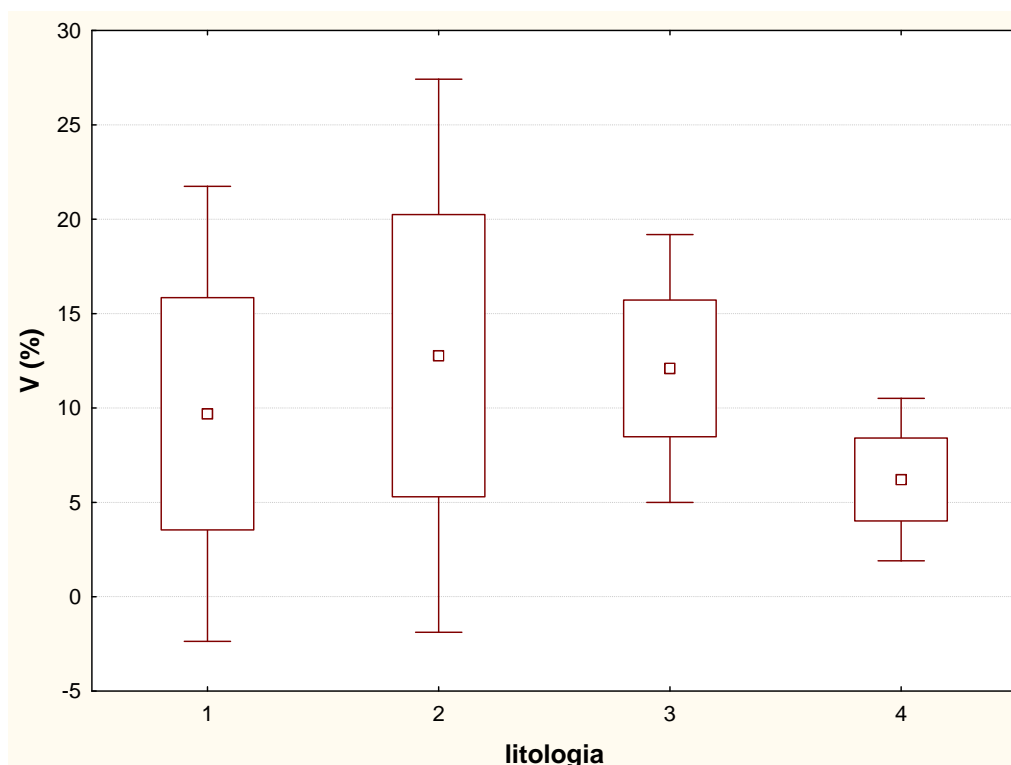


Figura 4.48. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do índice de saturação de bases entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (□ = média; □ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.5.10. Alumínio.

Os teores de Al extraídos pelo método EPA 3051a foram maiores no grupo 4 e 1 e menores nos grupos 2 e 3, com maiores desvios no grupo 2 (Figura 4.49).

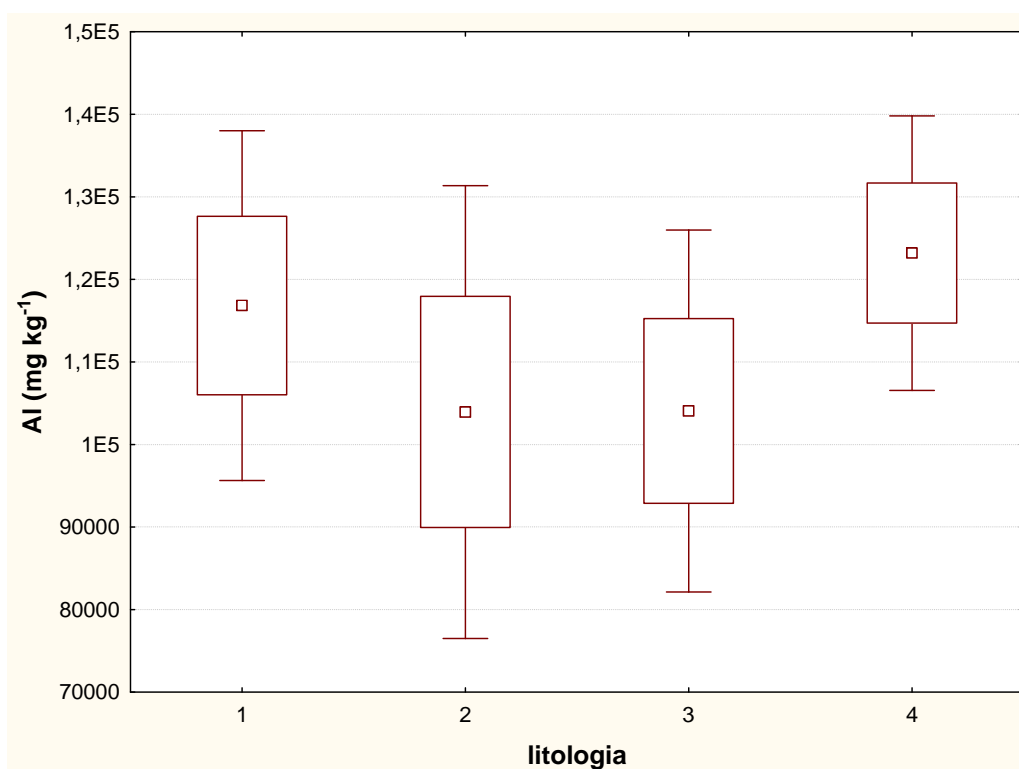
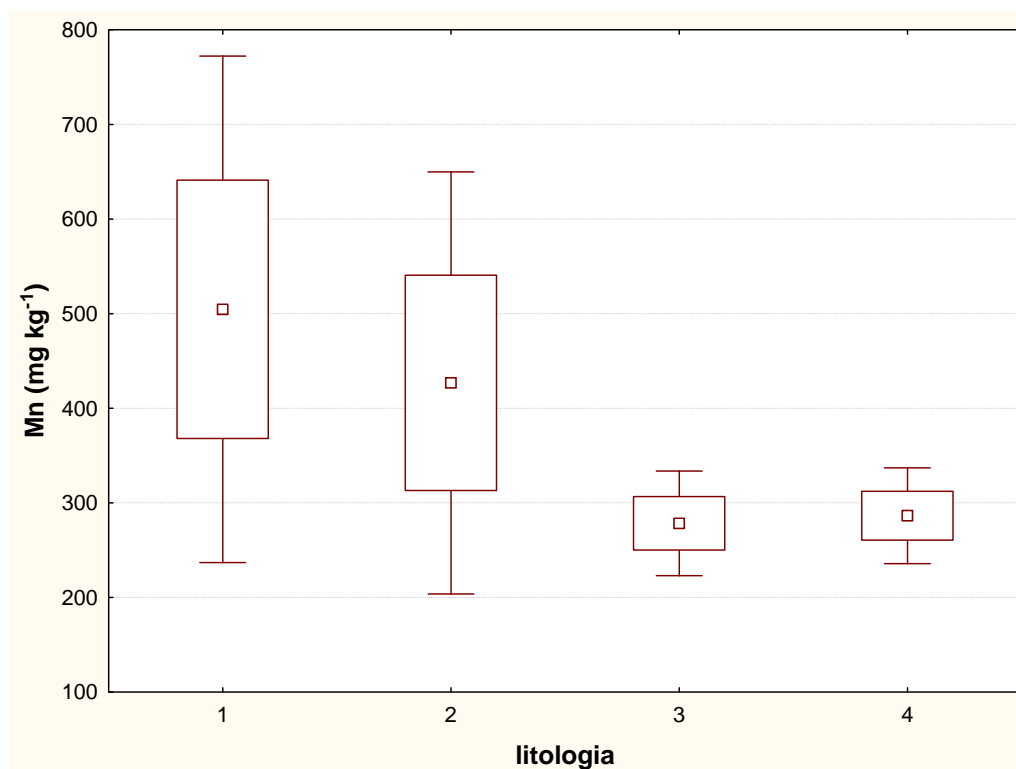


Figura 4.49. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de alumínio entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 4.3.3.6. Metais pesados.

##### 4.3.3.6.1. Manganês.

Os menores teores de Mn foram observados nos grupos 3 e 4 que também apresentaram os menores desvios em relação à média. O maior teor de Mn foi observado no grupo 1 que também apresentou o maior desvio em relação a média (Figura 4.50).



**Figura 4.50.** Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de manganês entre os Latossolos oriundos de diferentes litologias (1: Argilito/Siltito; 2: Máficas e Ultramáficas; 3: Metamórfica/Ígneas; 4: Sedimentos Inconsolidados). Simbologia ( ◻ = média; ◻ média ± desvio padrão; - e - , índice de confiança).

De modo geral, foi possível verificar alguns atributos físicos e químicos que se diferenciam dentro de uma mesma classe de solo em razão do material de origem a qual lhe deu origem. No contexto de diferenciação quanto aos teores de metais pesados, observou tal condição nos Argissolos e Cambissolos, porém sem diferenças

nos Latossolos. Mas é preciso ressaltar que em função do número de amostras, nem todas as litologias foram contempladas com amostragem o suficiente para que pudessem compor um banco de dados representativo. Neste sentido, pode haver mudança principalmente dentro da classe dos Latossolos.

#### **4.4. Conclusões**

1. A estatística multivariada, por meio de análise de componentes principais e análise discriminante, possibilitou melhor entendimento das relações pedológicas e da geoquímica de metais pesados em solos oriundos de diferentes materiais de origem no Estado de Minas Gerais;
2. Foi possível determinar que somente os Argissolos tiveram diferenças significativas entre teores de metais pesados, sendo estes, As, Co, Cr e Zn, em razão da diferenciação do material de origem.
3. Os Argissolos desenvolvidos sobre Arenitos foram os mais ricos em areia fina, teor de P,  $Mg^{2+}$ , CTC (t), e Cr;
4. Os desenvolvidos sobre Calcários foram os mais ricos em argila dispersa em água, possuem maiores teores de P-Rem, As, Zn e Co;
5. Aqueles desenvolvidos sobre Metamórfica/Ígneas foram os mais ricos em conteúdo de argila e teores pseudo total de Pb;
6. Para os Cambissolos, aqueles desenvolvidos sobre Metamórfica/Ígneas possuem os menores teores pseudo total de Al;
7. Aqueles desenvolvidos sobre Argilito/Siltito possuem valores mais elevados para as variáveis Na, Ca, CTC (t), V e Mn disponível;
8. Aqueles desenvolvidos sobre Calcários possuem maior saturação por  $Al^{3+}$  (m) e maior disponibilidade enxofre (S);
9. Os atributos avaliados para os Latossolos, representativos dos diferentes grupos litológicos, não permitiu inferir nenhuma diferença significativa entre eles, porém permitiu inferir algumas tendências de estratificação.

## 4.5 Referências Bibliográficas

- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: Alloway, B.J. ed. Heavy metals in soils. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990. pg. 29-39.
- AMARAL SOBRINHO, N.M. Interações de metais pesados de resíduos siderúrgicos com um Podzólico Vermelho Amarelo. UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993. (Tese de Doutorado)
- AMARAL, F.C.S. Aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais: Avaliação e adequação. Dissertação de mestrado (Solos e Nutrição de Plantas), ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- BARROS, Y.J.; MELO, V.F.; ZANELLO, S. ROMANÓ, E.N.L.; LUCIANO, P.R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). R. Bras. Ci. Solo, 32: 1763-1773, 2008.
- CARNEIRO, P.A.S.; FONTES, M.P.F. Aspectos geográficos e agrícolas do Estado de Minas Gerais. In: Fontes, R.; Fontes, M.P.F. ed. Crescimento e desigualdade regional em Minas Gerais. Viçosa, MG, 2005. p. 151-222.
- CARVALHO JUNIOR, W.C.; SCHAEFER, C.E.; CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. R. Bras. Ci. Solo, 32: 2081-2090, 2008.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 2003.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- FERREIRA, D.F. Componentes principais. In: Ferreira, D.F. Estatística multivariada – 1. Ed. – Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 365-472.
- FONTES, M.P.F. Iron oxides mineralogy in some Brazilian oxisols. Raleigh, North Carolina State University, 1988. 175p. (Tese Ph.D.)

FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian oxisols: I. Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., v 55: 1143-1150, 1991.

FOSTER, G. Ion substitutions in crystals. In: Principles and applications of geochemistry: a comprehensive textbook for geology students. 2.ed. Viacom Company Upper Saddle River – New Jersey, 1998. pg.99-108.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do Bioma Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28: 137-153, 2004.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. Geonomos, 5: 1-40, 1997.

LOSKA, K.; WIECHULA, D. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metals contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. Chemosphere 51: 723-733, 2001.

MANDAL, U.K.; WARRINGTON, D.N.; BHARDWAJ, A.K.; BAR-TAL, A.; KAUTSKY, L.; MINZ, D.; LEVY, G.J. Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. Geoderma, 144: 189-197, 2008.

MARQUES, A.F.S.M.; QUADROS, A.C.; FLORES, C.A.; CARDOSO, I.D.; LEMOS, R.C.; GOUVEIA, E.A.B.; SANTOS, M.M.; FERNADES FILHO, E.I.; MAROTTA, G.S.; PORTES, R.C.; FRANÇA, M.M.; VIANA, E.M.; MOREIRA, G.F.; SOUSA, D.V. Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, 2007.

MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.

OLIVEIRA, J.B. Pedologia Aplicada. 3°. Ed. – Piracicaba: FEALQ, 2008, 592p.

OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; HORN, A.H. Relationship between magnetization and trace elements content of Brazilian soils from different parent materials. Soil Sci., 165: 825 – 834, 2000.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; COSTA, E.T.S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. R. Bras. Ci. Solo, 29: 523-532, 2005.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 4.ed. – Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

TOURTELOT, H.A. Chemical compositions of rock types as factors in our environment. In: Cannon, H.L.; Hopps, H.C. Environmental geochemistry in health and disease. The Geological Society of America, 1971, p.13-29.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

## **CAPITULO 5.**

**GEOQUÍMICA DOS METAIS PESADOS e ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS ENTRE CLASSES DE SOLOS DERIVADOS DE METAMÓRFICA/ ÍGNEAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

## 5.1. Introdução.

De acordo com Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2003), as exposições de rochas aqui consideradas de Metamórfica / Ígneas, estão relacionadas ao Pré-Cambriano e são constituídas principalmente de granitos e gnaisses com intrusões e efusões magmáticas. Os solos originados destas rochas, em particular o horizonte Cr, tende a ser muito profundo. Além desse aspecto de grande profundidade e de espessura desproporcional entre solum e horizonte C, há um perfil de cor típica, da rocha fresca à superfície: o horizonte C profundo é tipicamente de coloração rósea (mais avermelhado quando úmido); próximo a rocha fresca ele se torna acinzentado. Em direção à superfície o horizonte C é substituído por um horizonte B amarelado ou avermelhado. Quando o horizonte C róseo é estreito ou a cor cinzenta vem até a base do horizonte B (ausência da cor rósea), o horizonte B tende a ser vermelho e eutrófico (Argissolo Vermelho Amarelo). Se o horizonte C róseo é profundo, o horizonte B é amarelado, pode ocorrer o Latossolo Vermelho Amarelo. Naqueles casos em que o processo erosivo é muito intenso e o solum é muito raso, ocorrem os Cambissolos (Resende & Resende, 1996). Naqueles casos onde o relevo é plano a suave ondulado o horizonte B pode ser muito profundo, dificilmente encontrando o horizonte C.

Segundo Alloway (1990) e Foster (1998) solos originados de rochas ácidas cristalinas possuem menores teores de metais pesados quando comparados àqueles originados de rochas máficas. Pinto & Kämpf (1987), analisando os teores totais de alguns metais em solos originados de rochas básicas e ultrabásicas no Estado do Rio grande do Sul, encontraram teores elevados de Cr, Ni, Co, Cu, Zn nos solos estudados, principalmente naqueles de composição peridotítica. Os teores de Cr, Ni, Co e Cu encontrados nos horizontes do Cambissolo (perfil 2) ficaram acima da faixa considerada normal em solos por Alloway (1990), enquanto que nos horizontes do Argissolo (perfil 3), somente Cr, Ni e Co apresentaram teores acima da faixa normal. Os

autores concluíram que os solos estudados foram química e mineralogicamente semelhantes aos desenvolvidos de rochas ultrabásicas de regiões temperadas.

De acordo com Fontes (1988) e Fontes e Weed (1991), as condições climáticas do Estado de Minas Gerais são típicas de formação de solos tropicais, fazendo com que os Latossolos e Argissolos apresentem elevado grau de intemperismo, com a mineralogia da fração argila dominada por caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Segundo Ker (1997), os Latossolos podem se desenvolver a partir de diferentes materiais de origem. Em razão disso, são de fertilidade e textura muito variadas, sendo encontrados solos distróficos, álicos e eutróficos e de textura que vai de franco arenosa a muito argilosa, constituindo-se, pois, em uma classe relativamente heterogênea nestes aspectos.

Neste contexto, o uso da estatística multivariada pode contribuir para melhor entendimento do pedoambiente. A análise de componentes principais e discriminante tem sido utilizada para análise de atributos do solo. Carvalho et al. (1990), utilizou a análise multivariada objetivando avaliar a ação conjunta de parâmetros na discriminação de unidades do solo numa bacia hidrográfica, em Botucatu – SP, conduziu que a mesma foi eficiente na discriminação. Gomes et al. (2004) utilizaram a análise das componentes principais para avaliar as diferenças de comportamento entre solos do bioma cerrado e concluíram que a mesma auxiliou o entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados a campo. Carvalho Júnior et al (2008) utilizaram a análise multivariada para avaliar as principais diferenças nos atributos químicos e físicos de Argissolos da faixa atlântica brasileira e concluíram que a mesma possibilitou melhor entendimento das relações geomorfopedológicas dos solos estudados.

Diante do exposto, se testou a hipótese de que classes de solos originados de um mesmo material de origem possuem semelhanças em atributos físicos, químicos e na concentração de metais pesados. O objetivo deste estudo foi utilizar a estatística multivariada, através da análise das componentes principais e função discriminante, para verificar a diferença geoquímica dos metais pesados em diferentes classes de solos (Argissolos, Cambissolos e Latossolos) originados de um mesmo material de origem (Metamórficas / Ígneas).

## 5.2. Materiais e métodos.

A amostragem foi realizada em solos representantes de três Classes de solos (Quadro 5.1) originadas de Metamórfica/Ígneas do Estado de em Minas Gerais. Todas as amostras foram coletadas em superfície e sub-superfície sob vegetação nativa com trado tipo caneco de aço inox, armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas e georreferenciadas.

**Quadro 5.1. Número de amostras estudadas por cada classe de solo em função da unidade geológica Metamórfica/Ígneas distribuídas no Estado de Minas Gerais**

Classe de solo	Grupo	n
Argissolos	1	26
Cambissolos	2	20
Latossolos	3	11

As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de plástico de malha de 2 mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas e físicas de forma geral seguiram as recomendações EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados Argila dispersa em água, granulometria, P, K, Na, Ca, Mg e Al trocáveis, acidez potencial (H + Al), pH em água, pH em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e as saturações de bases (V) e por Al (m). As determinações dos metais pesados foram obtidas pelo método EPA 3051a (USEPA, 1998.) em forno de micro-ondas Milestone Ethos Pró utilizando reagentes de pureza analítica. Para a calibração do método EPA 3051a (USEPA, 1998) utilizou amostras do padrão (SS-1 (EnviroMAT SCP Science®) com valores certificados. Os extratos analíticos foram dosados por espectrofotometria de emissão óptica em plasma (ICP – OES Otima 3.300 DV). Para a calibração do ICP – OES, foram preparadas soluções de referência multielementar utilizando água deionizada.

A matriz de correlação de Pearson, a análise de componentes principais (ACP), análise discriminante (FD), o teste de normalidade Komolgorov-Smirnov, a análise variância (ANOVA) e o teste *t* de Student foram utilizados para discutir os resultados

encontrados em função das variáveis analisadas com o uso do programa Statistica versão 7.0.

### **5.3. Resultados e discussão.**

#### **5.3.1. Estatística descritiva.**

De acordo com Alvarez V. et al., (1999), a estatística descritiva dos solos originados de Metamórficas Ígneas mostrou que os mesmos são solos de acidez média, variando de acidez muito elevada a alcalinidade fraca. São solos com teores de Ca trocável de classificação média, podendo variar de muito baixo a muito bom (Quadro 5.2).

**Quadro 5.2. Estatística descritiva indicando o número de amostras válidas, valores de média máximo e mínimo e desvio padrão**

Variável	n	Média	Mínimo	Máximo	D. P.
ADA (%)	57	10,63	1,00	32,00	7,78
Areia Grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	57	20,60	3,00	51,00	10,95
Areia Fina (dag kg <sup>-1</sup> )	57	16,55	1,00	35,0	9,28
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	57	18,95	5,00	56,00	11,50
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	57	43,90	3,00	86,00	17,41
pH (H <sub>2</sub> O)	57	5,20	4,30	7,30	0,53
pH (KCl)	57	4,31	3,59	6,70	0,51
P (mg dm <sup>-3</sup> )	57	1,32	< L.D.	4,90	1,06
K (mg dm <sup>-3</sup> )	57	56,55	6,00	183,00	47,82
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	57	0,63	< L.D.	7,80	1,41
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	1,28	< L.D.	8,40	1,78
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	0,45	< L.D.	2,60	0,53
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	0,61	< L.D.	3,30	0,77
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	5,06	0,80	14,30	2,30
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	1,88	0,03	10,30	2,24
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	2,49	0,14	10,30	2,11
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	57	6,94	1,84	14,80	2,94
V (%)	57	23,88	0,70	82,30	21,19
m (%)	57	35,20	< L.D.	98,20	34,31
ISNa (%)	57	0,11	< L.D.	1,00	0,23
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	57	2,58	0,13	7,00	1,55
P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	57	25,87	1,30	47,00	11,27
B (mg dm <sup>-3</sup> )	57	0,26	< L.D.	0,75	0,15
S (mg dm <sup>-3</sup> )	57	14,79	0,90	43,00	8,68
Al (g kg <sup>-1</sup> )	57	66,64	32,53	178,29	31,49
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	57	41,39	8,98	134,92	24,34
As (mg kg <sup>-1</sup> )	57	11,80	< L.D.	97,50	22,72
Ba (mg kg <sup>-1</sup> )	57	124,55	< L.D.	453,90	108,63
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	57	0,42	< L.D.	3,25	0,53
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	57	12,57	< L.D.	67,20	12,88
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	57	92,19	< L.D.	1.468,80	192,16
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	57	15,17	< L.D.	108,90	27,91
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	57	259,67	17,84	1.286,60	230,71
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	57	25,78	< L.D.	312,40	43,81
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	57	4,23	< L.D.	21,5	5,73
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	57	5,37	< L.D.	52,20	11,03

ADA – Argila dissolvida em água; P - Na - K - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al – Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-Rem = Fósforo Remanescente; Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn – EPA 3051a (1998).

Os teores de Mg trocável são, em média, baixos mas variam de muito baixo a muito bom (Quadro 5.2). Com média acidez trocável, podendo variar de muito baixa a muito alta (Quadro 5.2). Com media SB, variando de muito baixa a muito boa. De acordo com Embrapa (2006), os solos originados de metamórfica / Ígneas possuem são solos com argila de atividade baixa (Tb) ( $< 27 \text{ cmol}_d/\text{kg}$  de argila), de distróficos a eutróficos, podendo ser ácidos ( $\text{pH (KCl)} = 5,0$ ) e baseados pelos teores de Fe, convertidos para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , podem ser hipoférricos a férricos (12,7 a 192,9 g/kg de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Quadro 5.2). Os teores médios dos metais pesados ficaram dentro da faixa considerada normal em solos de maneira geral (Alloway, 1991), salvo para o elemento Cd, onde seu teor ficou acima da referida faixa. Os teores máximos encontrados para Cr, Cu, Ni e Zn tiveram semelhança com aqueles encontrados por Pinto & Kämpf (1997), sugerindo alguma influencia de intrusões e/ou efusões magmáticas de rochas máficas.

As variáveis S<sub>lte</sub>, pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), P, K, Mg, Al<sup>3+</sup>, SB, CTC (t), CTC(T) e m e os metais, Cr, Mn e Ni, representando 45 % de todas as variáveis estudadas (Quadro 5.2), não tiveram correlações estatísticas ( $p < 0,01$ ) acima de 0,6 pela matriz de correlação, para as diferentes classes de solos (Argissolos, Cambissolos e Latossolos) em estudo. Portanto, as mesmas foram retiradas da análise.

### **5.3.2. Matriz de correlação de Pearson.**

Pela matriz de correlação percebemos que as variáveis Ca, Mg, SB e CTC (t) tiveram correlação entre si, porém nenhuma correlação com os metais Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn e Ni (Quadro 5.3). O elemento Cd teve correlação com a variável grupo que representa as classes de solos em questão. O elemento Co também teve uma correlação com esta variável (Quadro 5.3). Foi observada uma correlação entre os elementos Cd com Co. De acordo com Foster (1998), o Co é um elemento siderófilo, enquanto Cd, um elemento calcófilo. Neste sentido, devido a menor afinidade entre estes elementos, acredita-se que o elemento Fe seja o elo entre eles. Apesar do elemento Fe mostrar uma correlação significativa com Cd, também houve correlação deste com elemento Co. O Fe é um elemento especial quanto a sua classificação geoquímica, pois, de acordo com Foster (1991), este elemento pertence em primeira

ordem ao grupo dos elementos siderófilos (aqueles que quando fundidos tem afinidade ao ferro líquido), porém ele pode apresentar uma afinidade secundária, pertencendo ao grupo dos elementos calcófilos (aqueles que quando fundidos tem afinidade grupos de enxofre) e litófilos (aqueles que quando fundidos tem afinidade com os silicatos). O elemento Co também teve correlação com Mn. Este elemento teve correlações significativas ( $p > 0,01$ ) com Cr, Cu, Fe e Ni, sugerindo que, além dos óxidos de Fe de Al (Fontes, 1988; Fontes e Weed, 1991; Amaral Sobrinho, 1993; Alloway, 1990; Meurer, 2004), os óxidos de Mn, em condições naturais, sem contaminação antropogênica, também sejam importantes na adsorção de metais pesados em solos tropicais.

**Quadro 5.3. Matriz de correlação de Pearson com valores significativos ( $p < 0,01$ ) realçados, para as variáveis selecionadas das diferentes classes de solos em função do material de origem**

	Grupo	Ca	Mg	SB	CTC (t)	V	S	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni
<b>Grupo</b>	1,00													
<b>Ca</b>	-0,31	1,00												
<b>Mg</b>	-0,35	0,69	1,00											
<b>SB</b>	-0,34	<b>0,98</b>	<b>0,82</b>	1,00										
<b>CTC (t)</b>	-0,29	<b>0,92</b>	<b>0,76</b>	<b>0,94</b>	1,00									
<b>V</b>	-0,46	<b>0,83</b>	<b>0,81</b>	<b>0,89</b>	<b>0,77</b>	1,00								
<b>S</b>	0,41	-0,59	-0,65	-0,65	-0,57	<b>-0,70</b>	1,00							
<b>Cd</b>	<b>0,76</b>	-0,20	-0,33	-0,25	-0,26	-0,35	0,49	1,00						
<b>Co</b>	0,46	0,05	-0,03	0,02	0,01	-0,14	0,20	0,58	1,00					
<b>Cr</b>	0,15	-0,11	-0,12	-0,13	-0,17	-0,18	0,05	0,16	<b>0,71</b>	1,00				
<b>Cu</b>	0,69	-0,21	-0,33	-0,26	-0,27	-0,36	0,43	<b>0,87</b>	<b>0,79</b>	0,59	1,00			
<b>Fe</b>	0,33	-0,10	-0,10	-0,13	-0,16	-0,20	0,23	0,51	<b>0,76</b>	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>	1,00		
<b>Mn</b>	0,11	0,21	0,11	0,19	0,17	0,03	-0,00	0,13	<b>0,79</b>	0,68	0,41	0,54	1,00	
<b>Ni</b>	0,15	-0,07	-0,06	-0,08	-0,09	-0,17	0,06	0,19	<b>0,79</b>	<b>0,95</b>	0,59	<b>0,76</b>	<b>0,72</b>	1,00

### 5.3.3. Análise das componentes principais.

Para o grupo de variáveis da matriz de correlação, foi então realizada a análise das componentes principais (ACP), que determinou que os dois primeiros componentes principais responderam por aproximadamente 76,4 % da variação dos dados, sendo 44,16 % para o primeiro fator e 9,93 % para o segundo fator (Quadro 5.4).

**Quadro 5.4. Autovalores dos fatores (componentes principais) das estatísticas correlatadas**

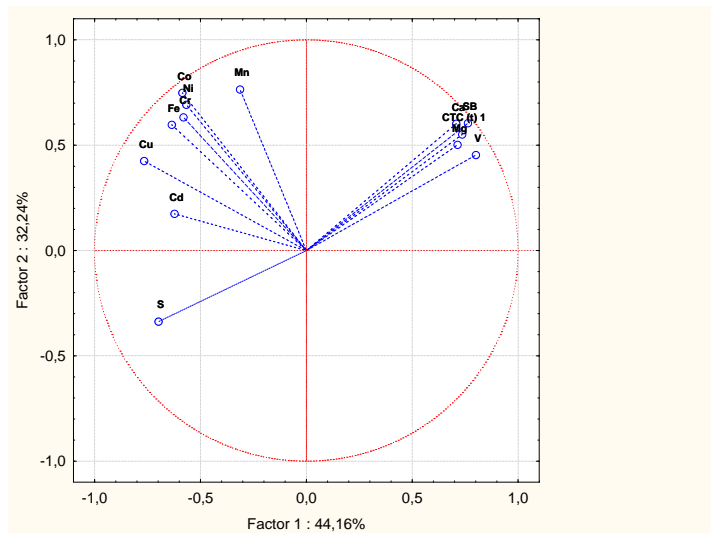
Fator	Autovalor	Variância (%)	Autovalor Acumulado	Variância Acumulada
1	5,74	44,16	5,74	44,16
2	4,19	32,24	9,93	76,40
3	1,32	10,13	11,25	86,53
4	0,55	4,27	11,80	90,80
5	0,34	2,65	12,15	93,44
6	0,30	2,29	12,45	95,73
7	0,20	1,57	12,65	97,30
8	0,19	1,48	12,84	98,79
9	0,07	0,53	12,91	99,32
10	0,05	0,37	12,96	99,68
11	0,03	0,22	12,99	99,91
12	0,01	0,09	13,00	99,99
13	0,00	0,01	13,00	100,00

Analisando a primeira componente (fator 1), em termos de contribuição das variáveis, pode-se verificar que as variáveis V, Cu, SB, CTC (t), Mg, Ca e S são, nesta ordem, as que mais contribuíram para a definição deste fator, somando 0,64 do total de uma unidade (Quadro 5.5). Para a segunda componente principal (fator 2), verificou-se que as variáveis Mn, Co, Ni, Cr e Fe são as que mais contribuem somando 0,56 do peso neste fator (Quadro 5.5).

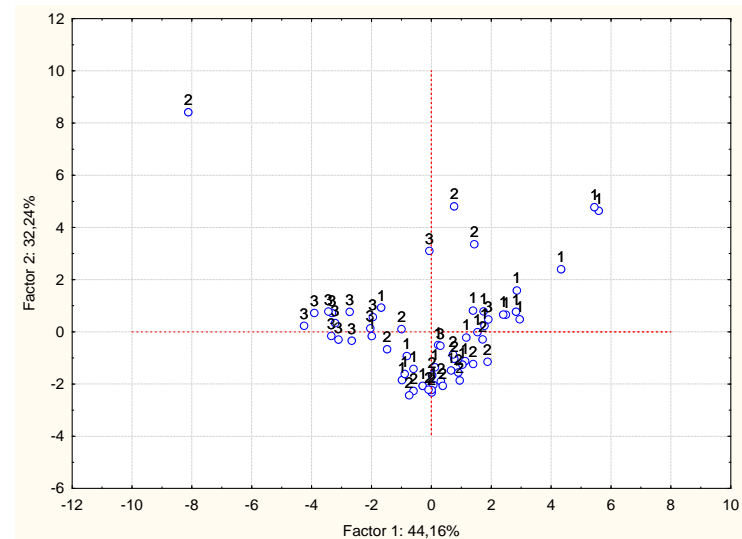
**Quadro 5.5. Contribuição de cada variável, baseada na correlação, para cada um dos dois primeiros componentes principais (fator)**

Variável	Fator 1	Fator 2
Ca	0,0873	0,0866
Mg	0,0888	0,0601
SB	0,1014	0,0870
CTC (t)	0,0944	0,0723
V	0,1116	0,0491
S	0,0849	0,0272
Cd	0,0676	0,0072
Co	0,0598	0,1337
Cr	0,0587	0,0953
Cu	0,1022	0,0430
Fe	0,0703	0,0850
Mn	0,0171	0,1394
Ni	0,0560	0,1140

Pela figura 5.2a, podemos observar que as componentes do fator 1, V, SB, CTC (t), Mg e Ca estão correlacionando-se positivamente ao longo do primeiro eixo, enquanto que as variáveis S e Cu, correlacionam-se com o primeiro eixo num sentido negativo. As componentes do fator 2 correlacionam-se positivamente no segundo eixo. Na figura 5.2b, observamos uma forte sobreposição entre os grupos, mas o grupo 1 posicionando mais a direita ao longo do fator 1, enquanto de que o grupo 3, se posiciona mais a esquerda no mesmo fator. Observa-se também uma tendência de posicionamento do grupo 2 num sentido positivo no eixo do fator 2.



(a)



(b)

**Figura 5.2. Análise de componentes principais de variáveis relacionadas com as características químicas e físicas para as 60 amostras de horizontes superficiais e sub-superficiais das classes de solos analisadas em função do material de origem. (a) Gráfico de autovetores das variáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Saturação de bases (SB), Enxofre (S), teores de metais pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Mn e Ni) e Fe obtidos pelo método EPA 3051a. (b) Escores atribuídos às amostras dos grupos de classes dos solos (1, Argissolos; 2, Cambissolos; 3, Latossolos).**

### 5.3.4. Matriz de classificação.

De acordo com os resultados apresentados na matriz de classificação da função discriminante, estatisticamente os agrupamentos estão corretos em 75 % (grupo dos Cambissolos), chegando a 88,46 % para o grupo dos Argissolos (Quadro 5.6).

**Quadro 5.6. Matriz de classificação, com as linhas representando a classificação estatística observada e as colunas representando as classes preditas**

Grupo	%	Argissolos	Cambissolos	Latosolos
Argissolos	88,46	23	3	0
Cambissolos	75,00	5	15	0
Latosolos	85,71	2	0	9
<b>Total predito</b>	<b>83,33</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>9</b>

### 5.3.5. Teste de normalidade.

Com base nesses resultados, selecionaram-se 13 variáveis (Ca, Mg, SB, CTC (t), V, S, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn e Ni) para identificar as peculiaridades de cada classe de solo, bem como suas principais diferenças em função do material de origem. Para ajudar nesta identificação, as variáveis foram submetidas ao teste de normalidade ( $p < 0,01$ ) de Kolmogorov-Smirnov para depois serem submetidas a ANOVA ( $p < 0,01$ ).

### 5.3.6. Análise de variância (ANOVA).

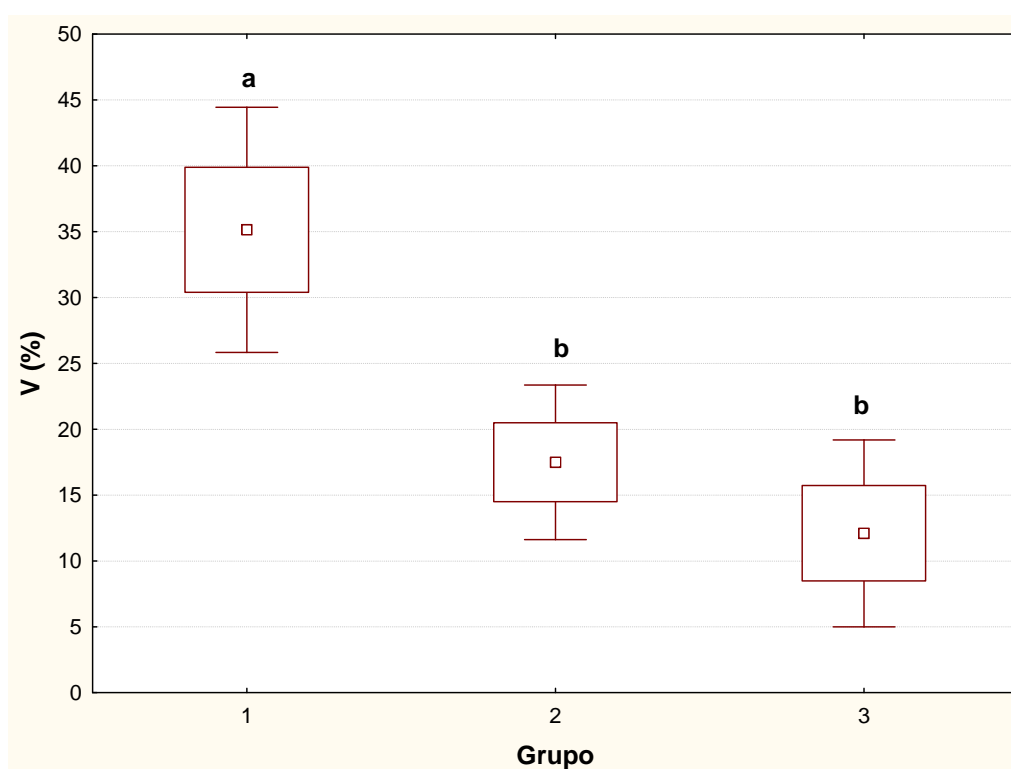
A ANOVA mostrou que não existe diferenças significativas ( $p < 0,01$ ), entre as classes de solos originadas de Metamórficas / Ígneas, para as variáveis Ca, Mg, SB, CTC(t), Cd, Cr, Mn e Ni. Para as variáveis significativas ( $p < 0,01$ ) (V, S, Co, Cu e Fe), utilizou-se o teste de médias *t* de Student ( $p < 0,01$ ) para diferir estas variáveis entre as classes de solos.

### 5.3.7. Componentes principais

A seguir são apresentadas as variáveis estudadas que tiveram maior participação nas componentes principais.

#### 5.3.7.1. Percentual de saturação de bases (V).

O percentual de saturação de bases (V) foi maior no grupo dos Argissolos (35,1 %) e não houve diferença entre Cambissolos (17,5 %) e Latossolos (12,0 %), sugerindo que os Argissolos são mais eutróficos que as outras classes (Figura 5.3).



**Figura 5.3. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do percentual de saturação de bases entre os solos oriundos de Metamórfica/Igneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).**

No entanto, pela média, não podemos considerá-los eutróficos conforme norma do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (2006), pois este quesito, utilizado para classificar o solo em terceira ordem (Grande Grupo), considera eutróficos aqueles solos que apresentarem  $V = 50 \%$ . É possível observar uma

tendência de se encontrar maiores valores para Ca (Figura 5.4), Mg (Figura .55), SB (5.6), CTC (t) (Figura 5.7) nos Argissolos, sugerindo ser estes solo naturalmente mais preservados dos processos intempéricos, quando comparados aos Cambissolos e Latossolos.

### 5.3.7.2. Cálcio.

Não houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) na concentração de cálcio entre as classes de solo. Percebe-se uma tendência de maior concentração nos Argissolos e menores desvios nos Cambissolos (Figura 5.4).

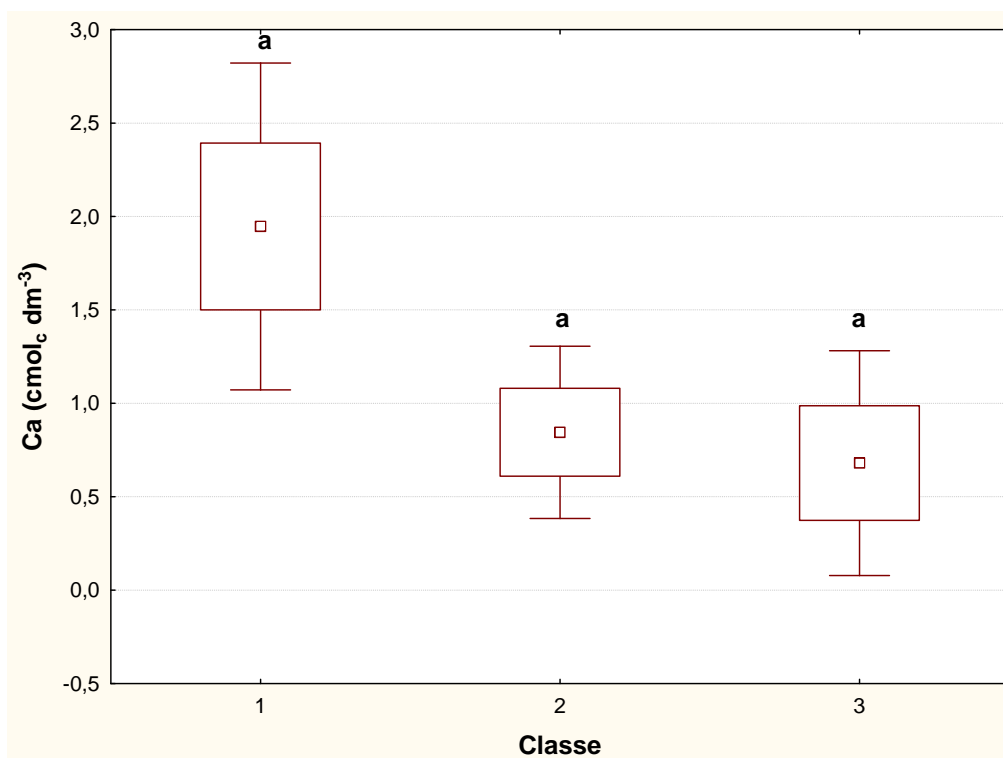


Figura 5.4. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da concentração de cálcio entre os solos oriundos de Metamórfica/Igneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.7.3. Magnésio

Não houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) na concentração de magnésio entre as classes de solo. Percebe-se uma tendência de maior concentração nos Argissolos (Figura 5.5).

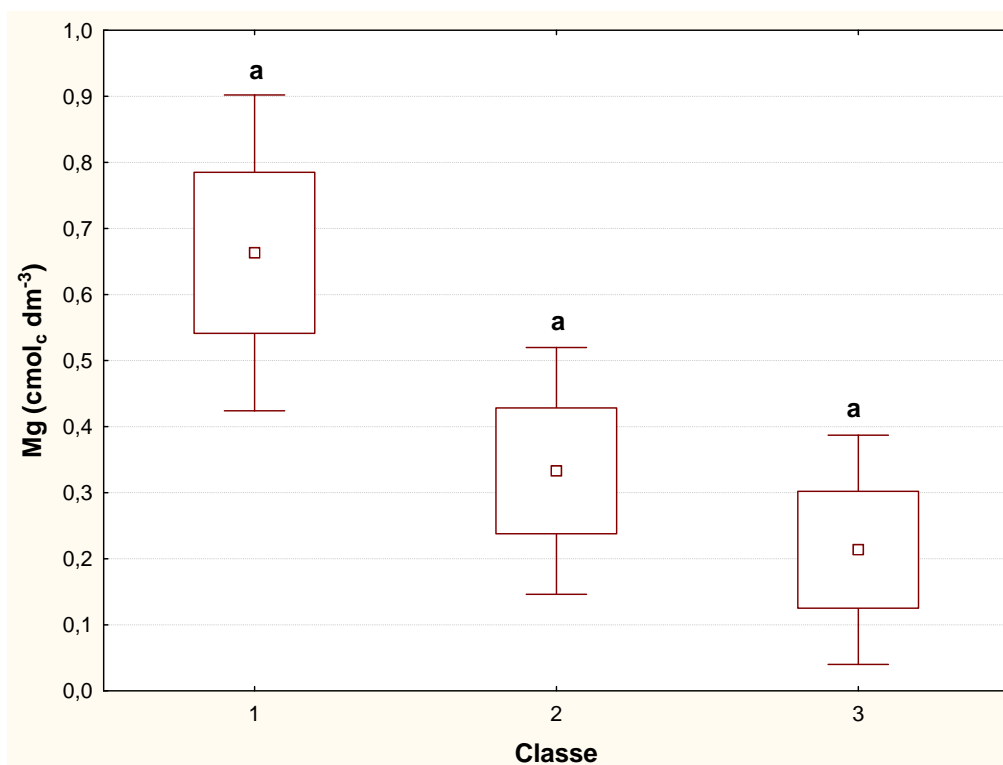


Figura 5.5. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da concentração de magnésio entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 5.3.7.4. Soma de bases

Não houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) na concentração da soma de bases entre as classes de solo. Percebe-se uma tendência de maior concentração nos Argissolos (Figura 5.6).

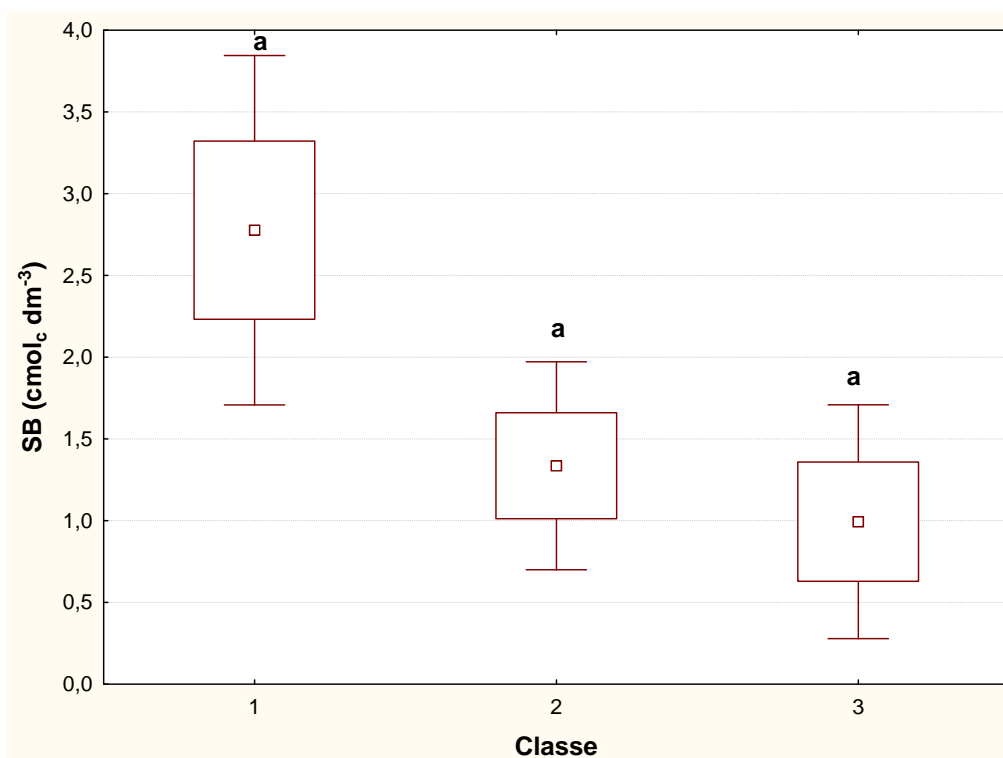


Figura 5.6. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da concentração de soma de bases entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.7.5. Capacidade de troca catiônica efetiva (t)

Não houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) na Capacidade de troca catiônica efetiva entre as classes de solo. Percebe-se uma tendência de maior concentração nos Argissolos (Figura 5.7).

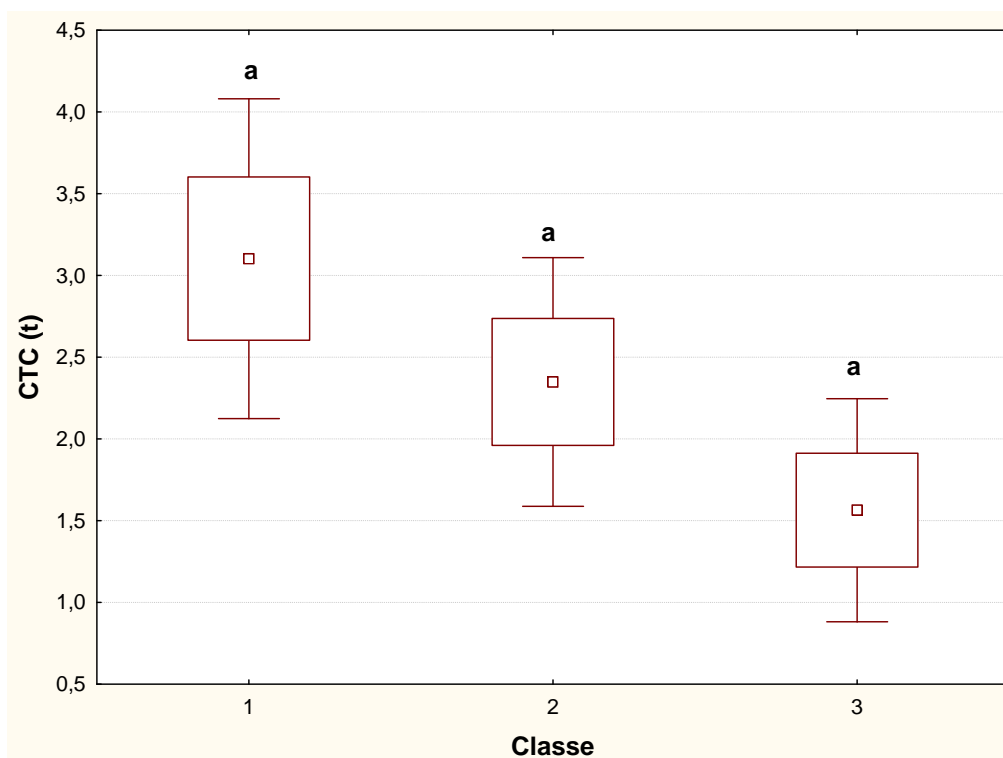
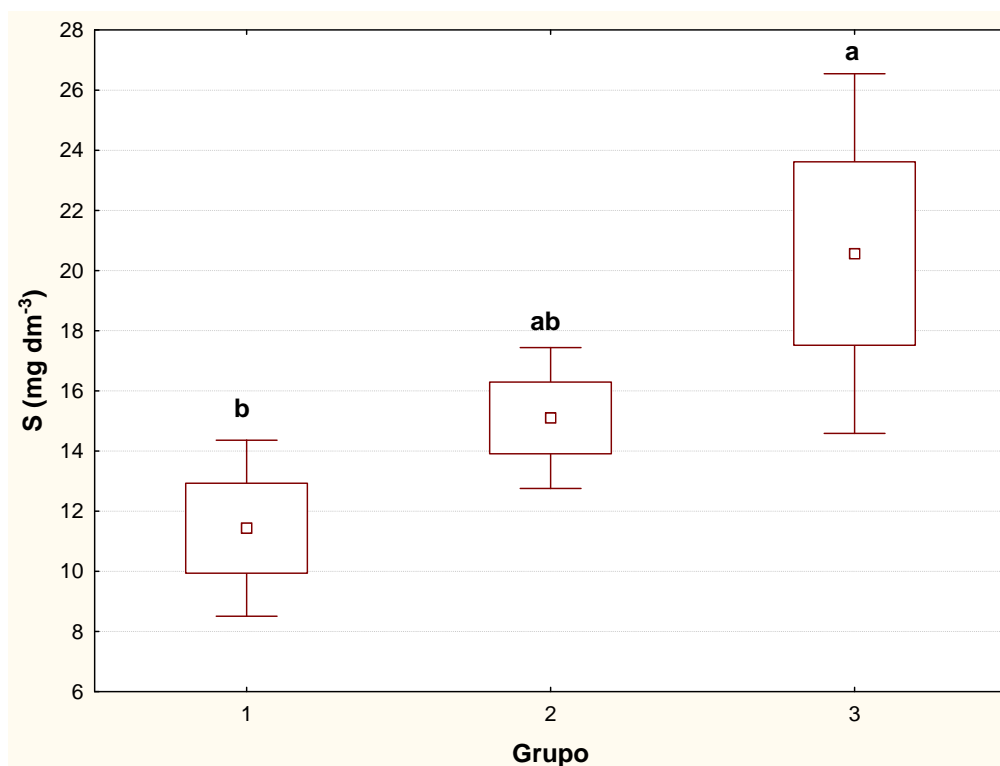


Figura 5.7. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da Capacidade de troca catiônica efetiva entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.7.6. Enxofre

Os Latossolos apresentaram teores mais elevados de enxofre ( $20,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) comparado aos Argissolos ( $11,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Os teores de S nos Cambissolos ( $15,1 \text{ mg dm}^{-3}$ ) não tiveram diferença estatística ( $P < 0,01$ ) entre os Latossolos e Argissolos (Figura 5.8).

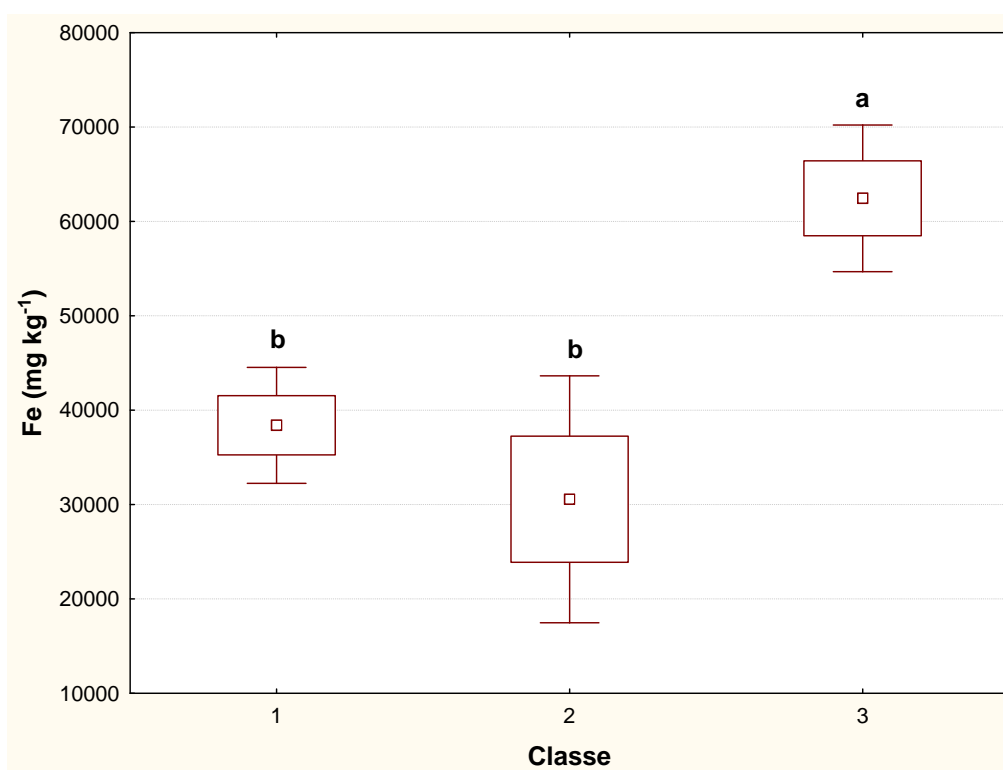


**Figura 5.8.** Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da concentração de enxofre entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

Esta resposta está relacionada com os maiores teores de argila encontrado nos Latossolos (dados não apresentados) seguidos de Cambissolos, corroborando Alvarez V. et al., (2001) que estudaram diferentes formas de S em 14 solos do cerrado de MG e verificaram que os solos de textura mais grossa apresentaram menores teores de S quando comparados com aqueles de textura fina, encontrando uma correlação direta e altamente significativa entre o S e os teores de argila dos solos.

### 5.3.7.7. Ferro

Os Latossolos apresentaram os maiores teores de Fe ( $62,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) e não houve diferença estatística entre Argissolos ( $38,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Cambissolos ( $30,5 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Figura 5.9).



**Figura 5.9.** Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança da concentração de ferro entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.8. Metais pesados

#### 5.3.8.1. Cobalto

Os teores de Co dos solos originados de Metamórfica / Ígneas variaram significativamente ( $p < 0,01$ ) seguindo a ordem: Latossolos ( $23,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Cambissolos ( $11,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Argissolos ( $7,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Figura 5.10).

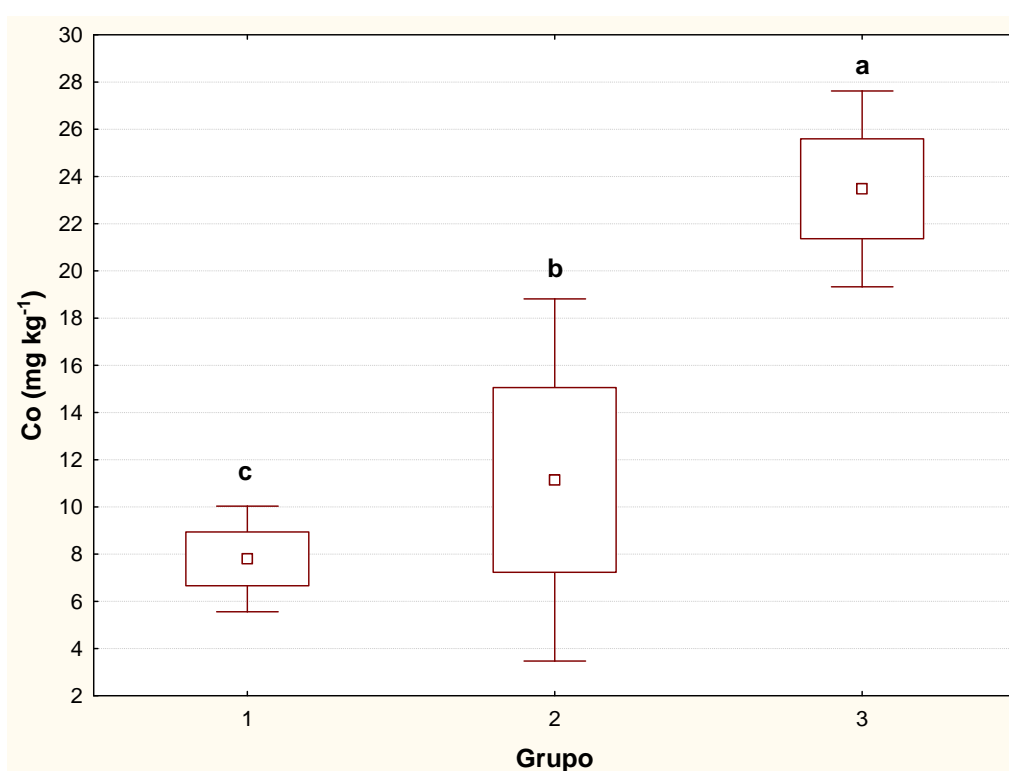


Figura 5.10. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cobalto entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

O Co pode ser adsorvido fortemente com os dióxidos de Mn (Alloway, 1991) e óxidos de Fe (Kabata Pendias & Pendias, 2000). Com o tempo eles são oxidados substituindo o Mn na estrutura cristalina (Alloway, 1991c) e no decorrer do intemperismo, sua distribuição nos sedimentos e nos solos são determinado pelos óxidos de Mn (Kabata Pendias & Pendias, 2000). Durante o Intemperismo o Co é

relativamente móvel em ambientes ácidos e oxidados, mas se adsorvidos a óxidos de Fe e Mn, bem como por minerais de argila, este metal dificilmente migra para a fase solúvel do solos (Kabata Pendias & Pendias, 2000).

### 5.3.8.2. Cádmio

Não houve diferença estatística no teor de cádmio entre as classes de solo (Figura 5.11). Existe uma tendência de se encontrar menores teores nos Latossolos quando comparado aos Argissolos e Cambissolos como também, para os Cambissolos, maiores desvios em relação a média.

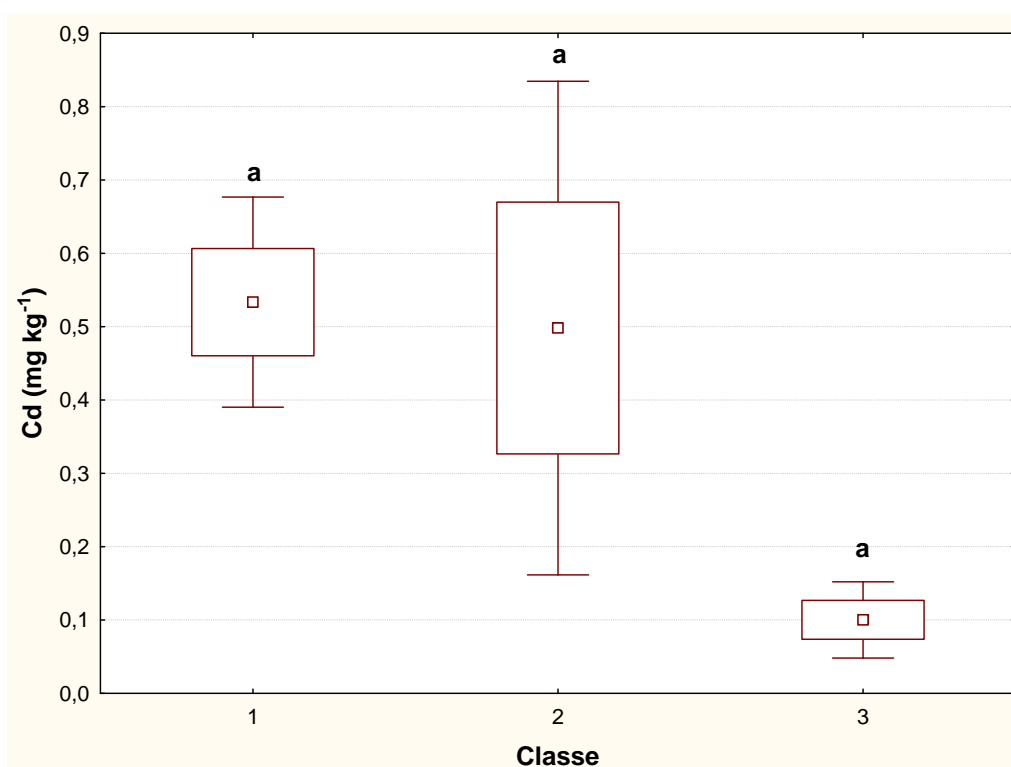


Figura 5.11. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cádmio entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.8.3. Cromo

Não houve diferença estatística no teor de cromo entre as classes de solo (Figura 5.12). Existe uma tendência de se encontrar maiores desvios em relação a média para os Cambissolos.

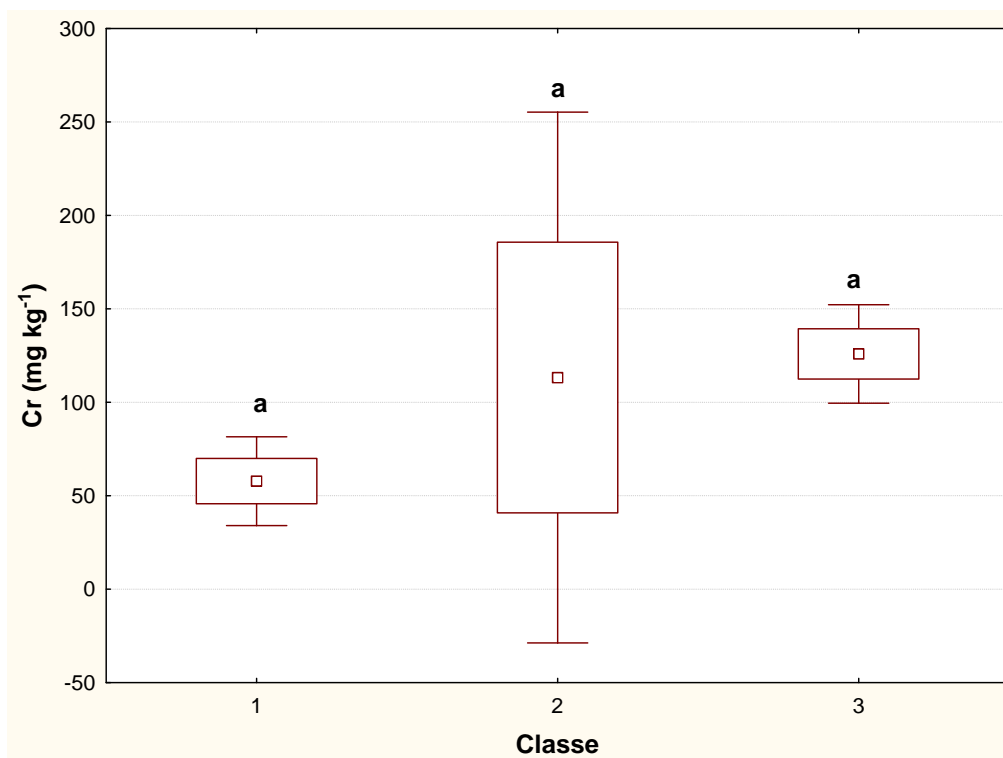


Figura 5.12. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cádmio entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

#### 5.3.8.4. Cobre

Os Latossolos apresentaram os maiores teores de cobre ( $53,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e não houve diferenças estatísticas ( $p < 0,01$ ) entre Cambissolos ( $7,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Argissolos ( $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (5. 13).

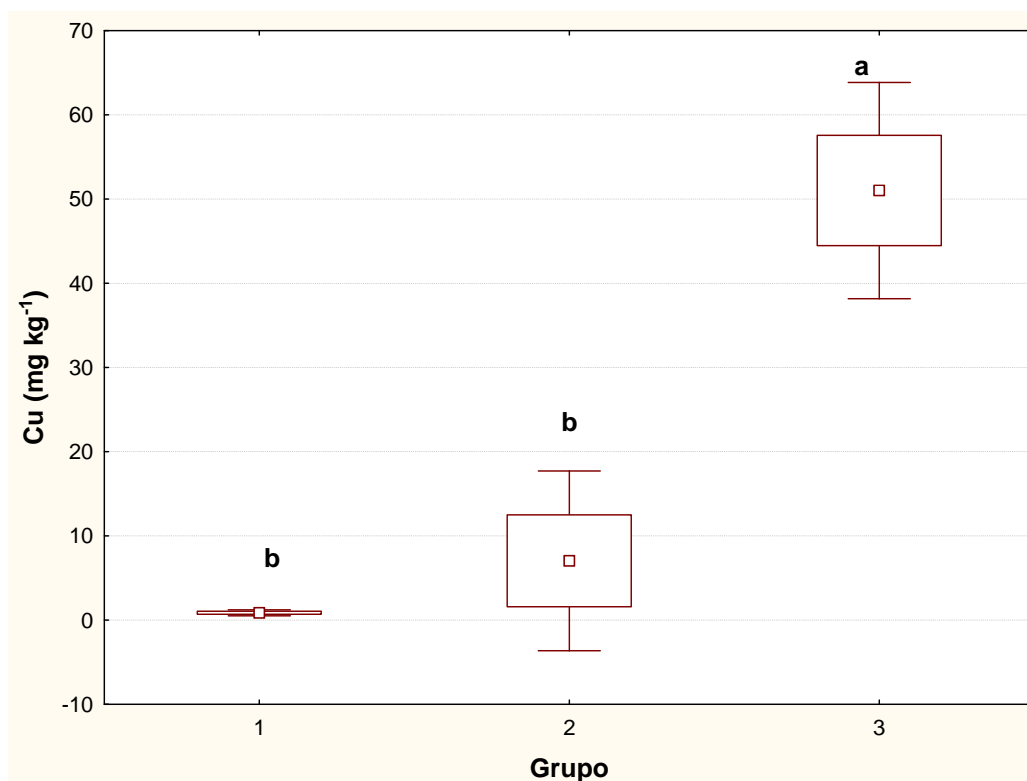


Figura 5.13. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de cobre entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

O total de Cu se relaciona com “pools” classificados de acordo com seu comportamento físico-químico. Estes “pools” são os íons solúveis, os complexos solúveis e insolúveis na solução do solo, o Cu trocável, o Cu complexado com complexos orgânicos no húmus; o Cu adsorvido com óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al, o Cu adsorvido em complexos argila-humus coloidal e o Cu da estrutura cristalina dos minerais (Alloway, 1990). De acordo com Kabata Pendias & Pendias (2000), as

maiores quantidade de Cu nos solos são encontradas adsorvidas em óxidos de Fe e Mn e/ou hidróxidos de Fe e Al amorfo. Os maiores teores de Cu em Latossolos possivelmente estão relacionados aos óxidos de Fe e Mn, visto a considerável correlação de Cu com estes elementos ( $r > 0,7$  e  $0,6$  respectivamente)(Quadro 5.3). Possíveis interações com a matéria orgânica do solo não são descartadas, porém, neste estudo esta correlação não foi significativa.

### 5.3.8.5. Manganês

Não houve diferença estatística no teor de manganês entre as classes de solo (Figura 5.14). Existe uma tendência de se encontrar maiores desvios em relação a média para os Cambissolos.

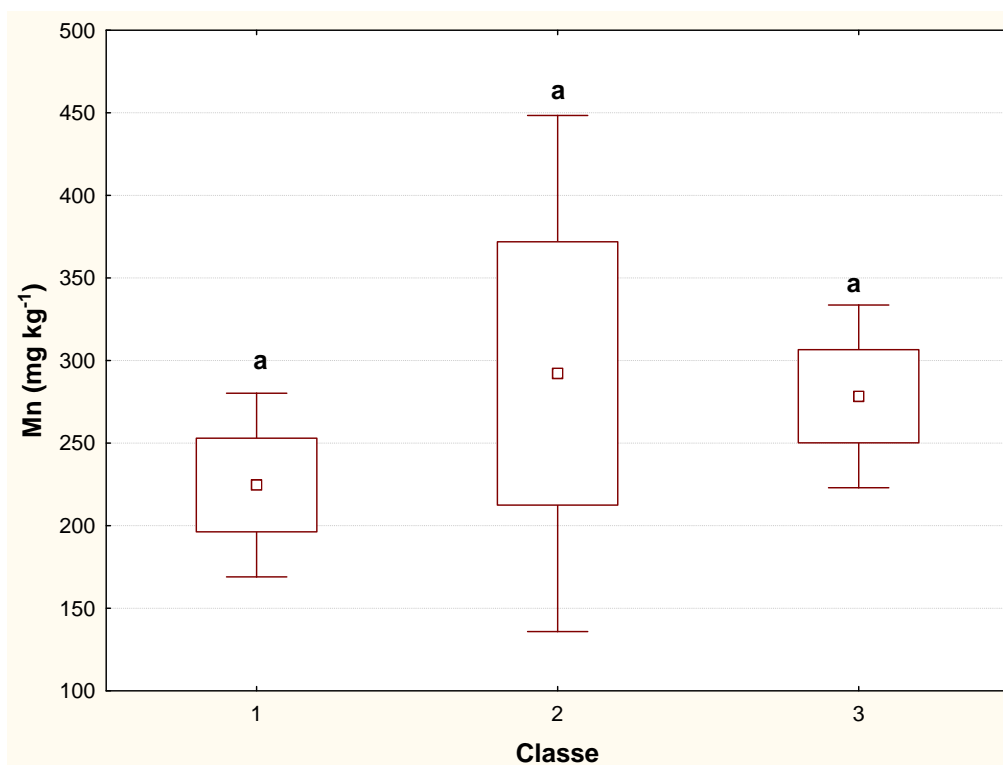


Figura 5.14. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de manganês entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

### 5.3.8.6. Níquel

Não houve diferença estatística no teor de níquel entre as classes de solo (Figura 5.15). Existe uma tendência de se encontrar maiores desvios em relação a média para os Cambissolos.

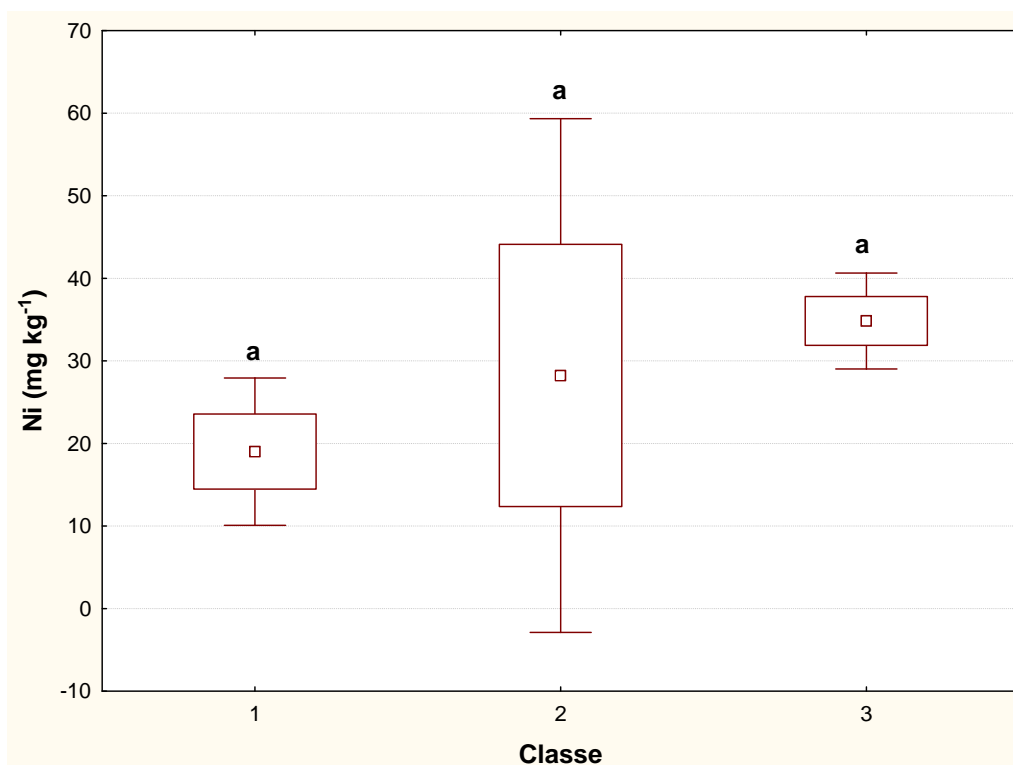


Figura 5.15. Representação gráfica da média, desvio-padrão e intervalo de confiança do teor de níquel entre os solos oriundos de Metamórfica/Ígneas (Grupo: 1. Argissolos; 2. Cambissolos; 3. Latossolos). Os gráficos Box plot seguidos de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 1 % de probabilidade. Simbologia (  $\square$  = média;  $\square$  média  $\pm$  desvio padrão; - e - , índice de confiança).

Em suma pode-se concluir que houve diferenças, principalmente entre os atributos químicos, para as classes de solos oriundas de Metamórficas / Ígneas. Os Argissolos se mostraram mais preservados apresentando maiores fertilidades enquanto os Latossolos se mostraram mais intemperizados com maiores teores de metais pesados e Fe. Esta propriedade está relacionada com a maior capacidade de adsorver metais em função dos maiores teores de Fe. Apesar dos teores de Mn não diferirem estatisticamente pela ANOVA, estes também se mostraram importantes na

adsorção e retenção dos metais nas diferentes classes de solos. Em se tratando de solos sem perturbações antrópicas, os Latossolos possuem um background mais elevado de metais pesados (Co, Cu) residuais do material de origem.

## **5.4. Conclusões**

1. A análise das componentes principais e discriminante possibilitou um melhor entendimento da diferença geoquímica de metais pesados e atributos físicos e químicos entre as classes de solos originados de Metamórficas/Ígneas do Estado de Minas Gerais.
2. Os resultados mostraram que os Argissolos apresentaram maiores percentuais de saturação de bases.
3. Não houve diferenças para teores dos metais Cr, Mn e Ni entre as classes de solos.
4. Os Latossolos apresentaram os maiores teores de Co, Cu e Fe.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## 5.5 Referências Bibliográficas

- ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.D.; RIBEIRO Jr., E.S.; SOUZA, R.B.; FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa: UFV, 2001.
- ALVAREZ V., 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 V., V.H. Ed. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999. Pg. 25-32.
- AMARAL SOBRINHO, N.M. Interações de metais pesados de resíduos siderúrgicos com um Podzólico Vermelho Amarelo. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas), UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.
- CARVALHO, W.A.; FRANÇA, G.V.; CURI, P.R. Aplicação de análise multivariada na discriminação de unidades de solo, mediante parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, em Botucatu, SP. R. Bras. Ci. Solo, 14: 195-203, 1990.
- CARVALHO JUNIOR, W.C.; SCHAEFFER, C.E.; CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. R. Bras. Ci. Solo, 32: 2081-2090, 2008.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FONTES, M.P.F. Iron oxides mineralogy in some Brazilian oxisols. Raleigh, North Carolina State University, 1988. 175p. (Tese Ph.D.)
- FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian oxisols: I. Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., v 55: 1143-1150, 1991.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do Bioma Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28: 137-153, 2004.
- KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants – 3ª ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. Geonomos, 5: 17-40, 1997.

MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Balanço geoquímico de solos derivados de rochas básico-ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 21: 651-658, 1997.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 4.ed. – Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

RESENDE, S.B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: Ocupação e uso. In: Alvarez V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. Ed. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 261-288.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.

## **CAPITULO 6.**

**FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS TEORES  
NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS PARA  
DIAGNÓSTICO DA CONTAMINAÇÃO  
ANTROPOGÊNICA EM SOLOS DO ESTADO DE MINAS  
GERAIS.**

## 6.1. Introdução

O estabelecimento de valores de referência de metais pesados torna-se uma ferramenta importante no monitoramento de compartimentos ambientais como forma de detecção da sua contaminação e conseqüente perda de suas propriedades de manutenção da vida (produção de alimentos, abastecimento do lençol freático, preservação de recursos genéticos, etc.). Para Martinez-Lladó et al. (2008), numa perspectiva ambiental a serviço da saúde dos seres vivos, o solo tem recebido muita atenção por ser um compartimento ambiental que interage intimamente com a rocha, o ar, a água e os organismos que dele depende. Segundo Rawlins et al (2002), em muitos países as concentrações de metais pesados no solo é monitorada, principalmente em áreas agrícolas onde se aplica resíduos oriundos de estações de tratamento de esgoto, utilizando valores de referência como medidas mitigadoras da sua poluição.

Oliveira et al. (2005) avaliando o uso de lodo de esgoto como fonte de nutrientes para arroz conduziu que elevadas doses de metais aplicadas ao solo não mostraram efeito na produção de matéria seca das plantas e que os metais concentraram-se nas raízes com baixa translocação para as folhas. Nascimento et al. (2004) , avaliando a aplicação de lodo de esgoto em solos utilizados no plantio de milho e feijoeiro, perceberam aumento no teor de metais no solo, mas concluíram que em uma única aplicação deste resíduo não haveria danos ao ambiente. Cravo et al.(1998), constataram que os teores de vários metais em compostos de lixo urbano estavam bem acima do tolerável pela legislação alemã, sugerindo um acurado controle quanto a disposição destes resíduos nos solos. Oliveira et al. (2002) conduziu que a aplicação consecutiva de composto de lixo urbano no solo aumentou os teores de metais sem causar efeito negativo em cana de açúcar. Amaral Sobrinho et al. (1997) concluíram que os riscos de contaminação de aquíferos pelos metais em função do uso de resíduos siderúrgicos diminuem com o tempo de disposição dos mesmos em função

de reações destes elementos com a matriz do solo. Porém, Borges & Coutinho (2004) observaram o mesmo efeito em solos argilosos, mas quando se tratou de solos arenosos, os autores encontraram maiores proporções de metais nas frações fitodisponíveis destes solos demonstrando a fragilidade da escolha de um solo para a disposição de resíduos com fins diversos.

A aplicação de resíduos e insumos indiscriminadamente nos solos pode acarretar problemas gerais de contaminação deste ambiente com metais pesados (Amaral Sobrinho et al., 1992) pelo aumento da disponibilidade destes elementos (Amaral Sobrinho et al., 1993). O valor de referência de qualidade indica a concentração natural de uma substância em solos ou águas subterrâneas que não foram alterados pelo homem. Para substâncias inorgânicas de interesse ambiental (metais pesados), que ocorrem naturalmente no solo, os valores de referência de qualidade podem ser estabelecidos em função das suas concentrações naturais, levando-se em consideração a variação das propriedades do solo (CETESB, 2001). Estes valores são utilizados para monitorar a contaminação dos compartimentos ambientais.

Segundo Rawlins et al. (2002), uma forma de estabelecer concentrações de base (background) de metais pesados em solos seria definir os limites superiores e inferiores usando valores de amostras analisadas de áreas sem abrangência de atividades humanas, mas que contemplem a diversidade geológica. Para Martinez-Lladó et al. (2008) e Matschullat et al. (2000), o valor de “background” é definido como a medida de tendência central da concentração dos elementos em questão, em solos sem intervenção antrópica, enquanto que valores de referência, é a concentração extrema de certo elemento naturalmente encontrado nos solos.

De acordo com Tobías, et al. (1997a), comparar os teores de metais pesados encontrados em literatura com os obtidos nas análises não é interessante devido as diferentes formas de apresentação, à diversidade de solos existentes, à variação dos fatores de formação, principalmente em função dos diferentes materiais de origem, bem como os diferentes métodos de extração. Para Matschullat et al. (2000), a definição do valor de “background” com a variação normal da amostra necessita assumir uma distribuição log-normal, que segundo Tobías et al., (1997b), são muito mais realísticos porque permitem estabelecer níveis de referência em locais onde valores anômalos podem estar presentes, visto que estes, geralmente constituem a população. Porém, Martinez-Lladó et al. (2008) rejeita a hipótese de distribuição

normal em função das diferentes unidades geológicas abrangidas pela coleta de amostras, dessa forma, preferindo trabalhar com os dados não transformados. Estes autores utilizaram o quartil superior (75 %) dos resultados analíticos para o estabelecimento dos valores de “background” e o percentil 95 para os valores de referência. Para o Estado de São Paulo também foi definido como base o quartil superior dos resultados analíticos (CETESB, 2001).

O objetivo deste estudo foi propor os valores de referência de qualidade (background) e os limites de tolerância dos teores naturais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, utilizando o percentil 75 e o percentil 95 respectivamente, para os solos representativos do Estado de Minas Gerais. Também foi objetivo produzir um modelo que permite o enquadramento de uma nova amostra de solo nos grupos de similaridade propostos para prever e/ou monitorar sua qualidade frente a contaminação de metais pesados, em função dos teores de argila, fósforo remanescente (P-Rem), Al, Fe e Mn.

## 6.2. Material e métodos

A amostragem foi realizada em solos representativos do Estado de Minas Gerais sob vegetação natural sem vestígios de atividade antrópica, com trado tipo caneco de aço inox, armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas. As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de plástico de malha de 2 mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas e físicas de forma geral seguiram as recomendações EMBRAPA (1997). Na TFSA, foram determinados Argila dispersa em água, granulometria, P, K, Na, Ca, Mg e Al trocáveis, acidez potencial (H + Al), pH em água, pH em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico. Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e as saturações de bases (V) e por Al (m). As determinações dos metais pesados foram obtidas pelo método EPA 3051a (USEPA, 1998.) em forno de micro-ondas Milestone Ethos Pró utilizando reagentes de pureza analítica. Para a calibração do método EPA 3051a (USEPA, 1998) utilizou amostras do padrão (SS-1 (EnviroMAT SCP Science®) com valores certificados. Os extratos analíticos foram dosados por espectrofotometria de emissão óptica em plasma (ICP– OES Otima 3.300 DV). Para a calibração do ICP– OES, foram preparadas soluções de referência multielementar utilizando água deionizada.

Como referência utilizou o método proposto por Fadigas et al. (2006), porém modificado. Através da matriz de correlação de Pearson entre os teores naturais de metais pesados e os atributos dos solos, utilizaram-se aqueles atributos de maior significância ( $r = 0,6$ ) para formar diferentes grupos de solos independente da litologia e da classe a qual os mesmos pertenciam. A análise de agrupamento (Ferreira, 2008a), adotando a distância Euclidiana, foi utilizada para compor os grupos distintos. A análise discriminante (Ferreira, 2008b) foi utilizada para checar o percentual de acerto na formação dos grupos. Para cada grupo, destacados pelas suas similaridades, se propôs os valores de referência (VR) de metais pesados (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) adotando o quartil superior (75 %) e os limites de tolerância, o percentil 95 dos resultados analíticos obtidos, conforme proposto por Martínéz-Lladó et al. (2008).

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Statistica versão 7.0.

### 6.3. Resultados e discussão.

#### 6.3.1. Matriz de correlação.

Pela matriz de correlação percebe-se que somente as variáveis: teor de argila (ARG), fósforo remanescente (P-Rem), teor de Al, Fe e Mn obtidos pelo método EPA 3031a (USEPA, 1998) tiveram significância ( $p < 0,01$ ) com os teores naturais de metais pesados encontrados nos solos (Quadro 1).

**Quadro 1. Correlação de Pearson de metais pesados e alguns atributos ( $p < 0,01$ ) de Argissolos, Cambissolos e Latossolos representativos do Estado de Minas Gerais**

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
ARG	0,01	0,02	0,68	0,32	0,18	0,61	0,28	-0,32	0,37
P-Rem	0,11	-0,01	-0,52	-0,21	-0,26	-0,47	-0,28	0,18	-0,25
Al	-0,09	-0,01	0,74	0,32	0,26	0,68	0,29	-0,24	0,43
Fe	0,02	0,10	0,56	0,54	0,64	0,51	0,68	-0,22	0,35
Mn	0,09	0,25	0,11	0,46	0,36	0,33	0,53	0,18	0,26

As mostras foram então agrupadas em função destes atributos para compor grupos homogêneos utilizando a análise de agrupamentos adotando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade (Figura 1).

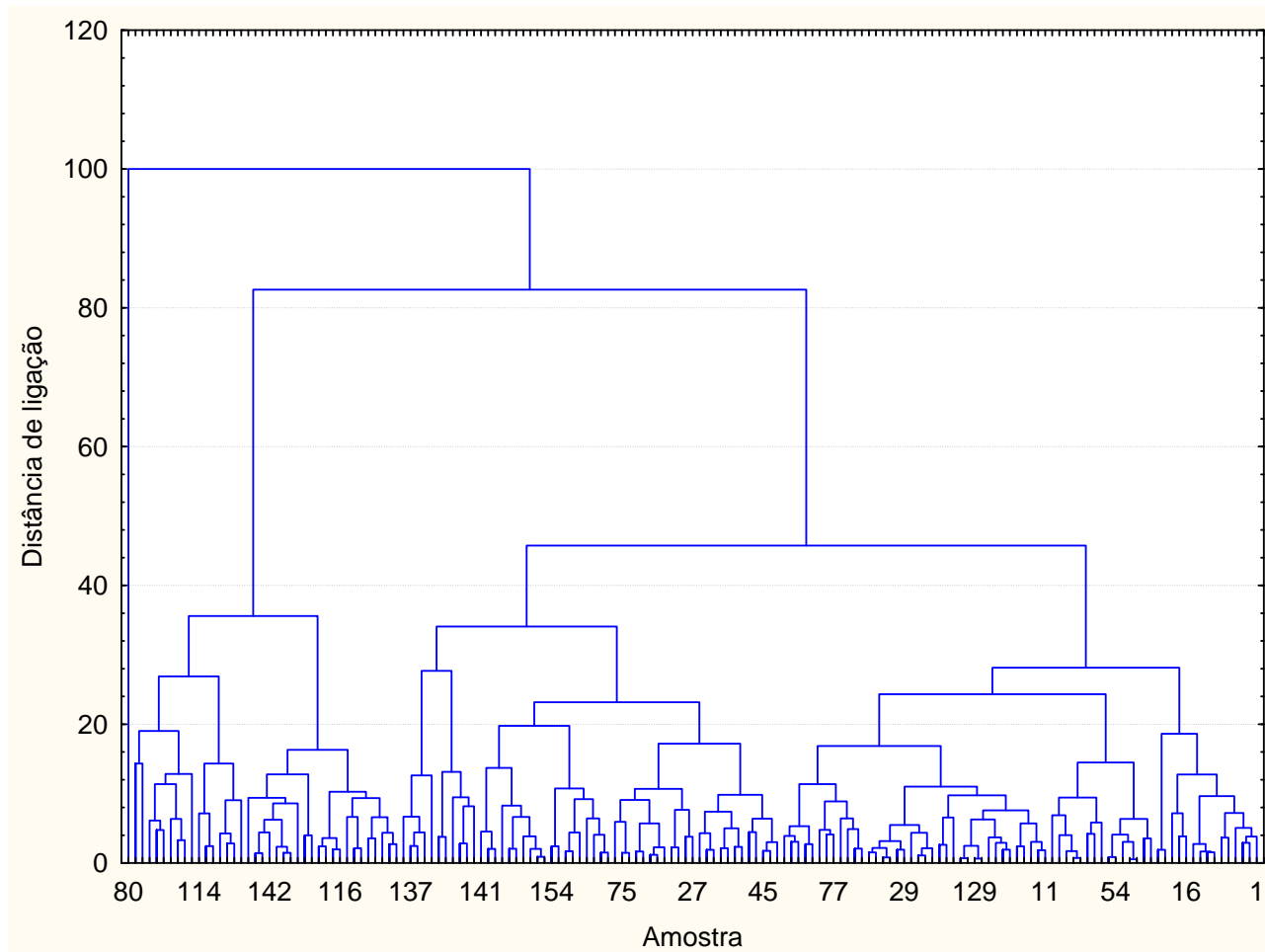


Figura 6.1. Dendrograma de classificação das amostras de solos em 10 grupos em função dos teores de argila, P-Rem, Al, Fe e Mn.

### 6.3.2. Análise de agrupamento.

Na interpretação do dendograma se adotou o coeficiente de distância de ligação 20, permitindo a identificação de 10 grupos homogêneos entre si (Figura 1). Os grupos obtidos por semelhança se compõem de solos de diferentes classes pedológicas (Argissolos, Cambissolos e Latossolos) representativos do Estado de Minas Gerais.

### 6.3.3. Variáveis do modelo.

As médias de cada variável utilizada na análise de agrupamento em função de cada grupo obtido são apresentadas nos Quadros 6.2 e 6.3.

**Quadro 6.2. Caracterização dos grupos formados pelas amostras de solos em função dos seus teores de Argila ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), P-Rem ( $\text{mg L}^{-1}$ )**

Grupo	n	Argila			P-Rem		
		média	$\pm$ I.C.	D.P.	média	$\pm$ I.C.	D.P.
1	24	44,67	5,70	9,95	23,53	5,18	9,04
2	4	49,00	60,47	20,70	20,33	30,97	10,60
3	25	40,08	5,92	10,58	29,92	7,47	13,36
4	7	13,43	3,51	2,51	50,61	11,68	8,34
5	11	21,09	4,28	4,48	40,32	8,74	9,15
6	17	28,41	8,80	12,43	36,52	6,47	9,13
7	7	43,43	12,35	8,81	27,31	4,87	3,47
8	24	57,33	6,61	11,54	17,58	4,83	8,43
9	23	76,43	4,87	8,28	8,73	2,78	4,73
10	19	64,37	11,43	17,31	13,81	6,46	9,79
<b>Grupo</b>	<b>161</b>	<b>48,07</b>	<b>4,30</b>	<b>20,92</b>	<b>24,15</b>	<b>2,95</b>	<b>14,34</b>

**Quadro 6.3. Caracterização dos grupos formados pelas amostras de solos em função dos seus teores de Al e Fe (g kg<sup>-1</sup>) e Mn (mg kg<sup>-1</sup>)**

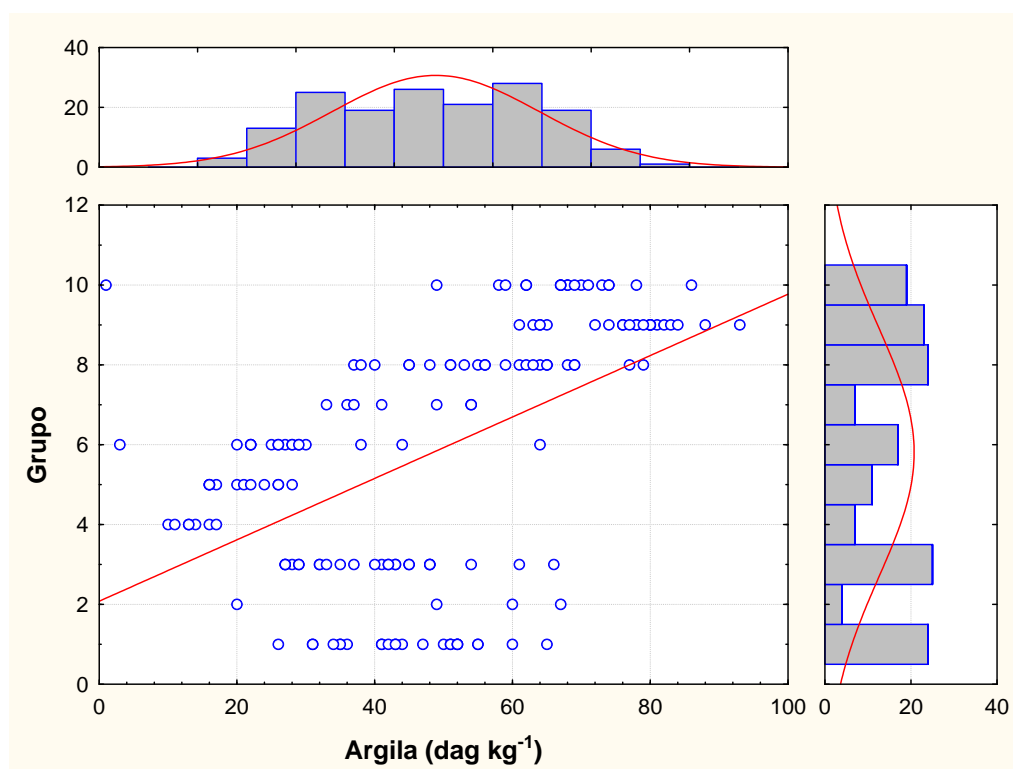
Grupo	n	Al			Fe			Mn		
		média	±I.C.	D.P.	média	±I.C.	D.P.	média	±I.C.	D.P.
1	24	61,13	4,49	7,83	40,70	3,40	5,94	297,01	134,99	235,56
2	4	46,83	28,08	9,61	88,79	90,04	30,83	514,85	1512,44	517,88
3	25	41,94	2,93	5,25	42,40	4,74	8,48	423,59	185,98	332,47
4	7	14,78	4,70	3,35	10,12	3,53	2,52	38,76	40,85	29,15
5	11	26,12	5,46	5,72	26,97	8,01	8,39	337,36	190,65	199,51
6	17	43,74	4,49	6,34	18,73	4,80	6,78	187,92	95,26	134,48
7	7	72,49	15,31	10,93	18,96	11,56	8,24	263,30	693,69	495,04
8	24	73,67	4,50	7,86	58,88	4,81	8,39	269,66	98,36	171,64
9	23	150,77	7,89	13,43	68,61	6,55	11,14	324,02	45,55	77,51
10	19	111,54	6,37	9,65	63,95	7,94	12,03	399,15	226,55	343,07
<b>Grupo</b>	161	72,67	8,45	41,17	46,07	4,45	21,67	312,46	54,61	265,81

A seguir são apresentados os valores mínimos e máximos de cada variável aceita pelo modelo de predição (Quadro 6. 4).

**Quadro 6.4. Valor mínimo e máximo de cada variável aceita pelo modelo proposto**

	Mínimo	Máximo
Argila ( $\text{dag kg}^{-1}$ )	1,00	93,00
P-Rem ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1,30	56,30
Al ( $\text{g kg}^{-1}$ )	11,30	178,30
Fe ( $\text{g kg}^{-1}$ )	7,50	135,00
Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0,10	1.444,50

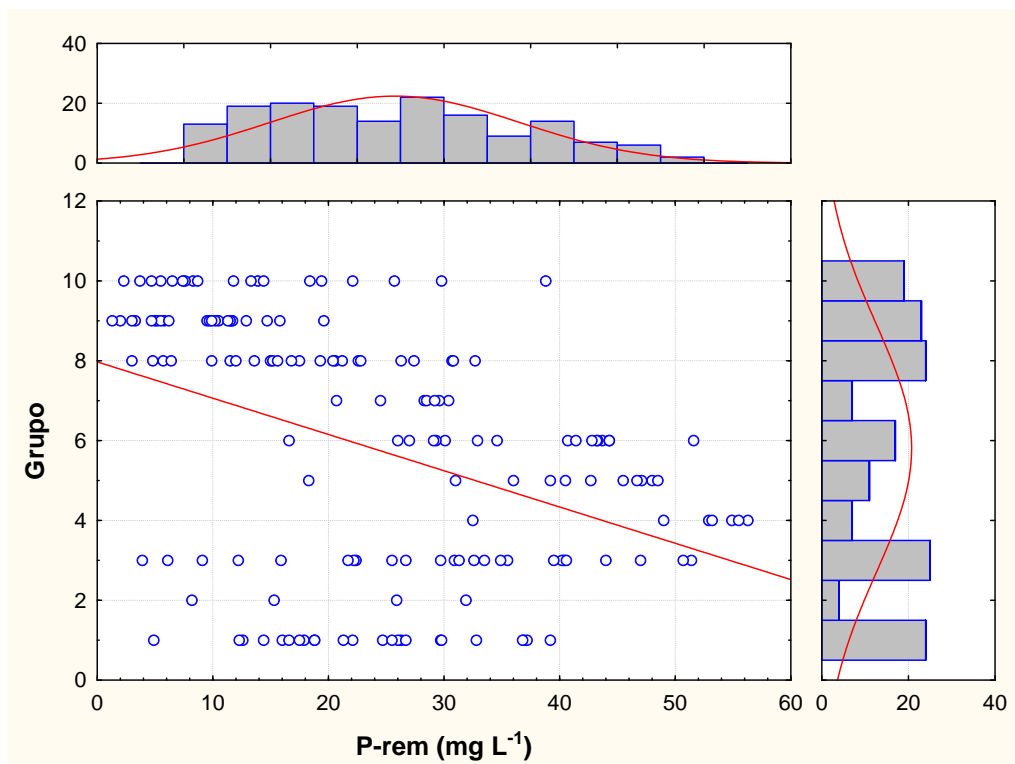
Os grupos 4; 5; e 6, são aqueles que apresentaram os menores teores de argila (Figura 6.2).



**Figura 6.2. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com o percentual de argila.**

Os grupos 1; 2; 3 e 7 apresentaram os teores intermediários de argila e os grupos 8; 9 e 10 apresentaram maiores teores de argila.

Para a variável fósforo remanescente (P-Rem), os grupos 1; 2; 3 e 7 se destacaram por possuírem os valores intermediários desta variável (Figura 6.3).



**Figura 6.3. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com o fósforo remanescente.**

Os maiores valores foram observados nos grupos 4; 5 e 6 enquanto que os menores valores foram observados nos grupos 8; 9; 10 (Quadro 6.2).

Para a variável Al, os grupos 4 e 5 apresentaram os menores teores e os grupos 9 e 10, os maiores teores, ficando o restante dos grupos com teores intermediários (Figura 6.4).

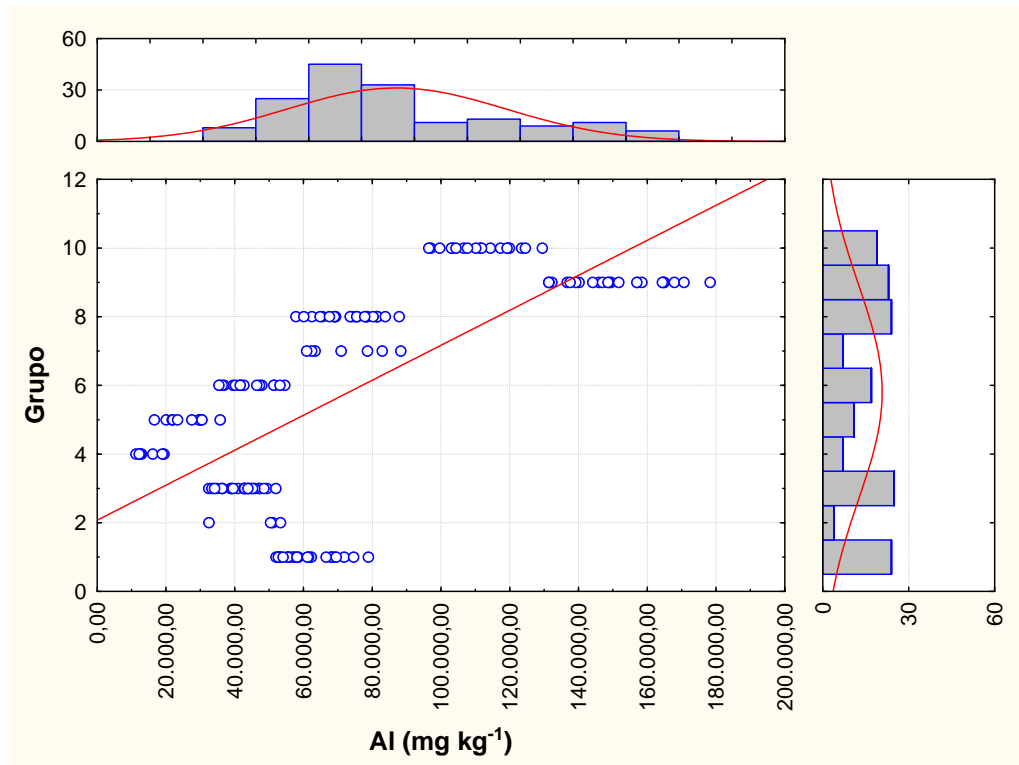


Figura 6.4. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de alumínio.

Para a variável Fe, o grupo 2 se destacou pelo maior teor de Fe, seguidos dos grupos 8; 9 e 10. Os grupos 1; 3; 5; 6 e 7 apresentaram teores intermediários e o grupo 4 apresentou o menor teor entre eles (Figura 6.5).

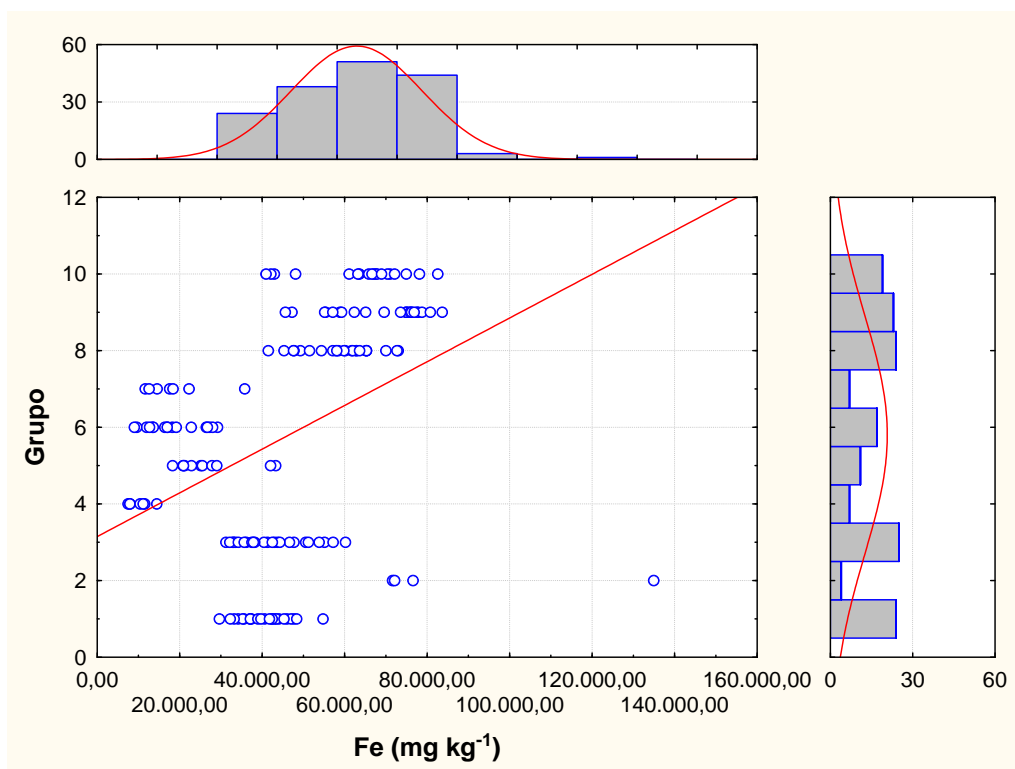
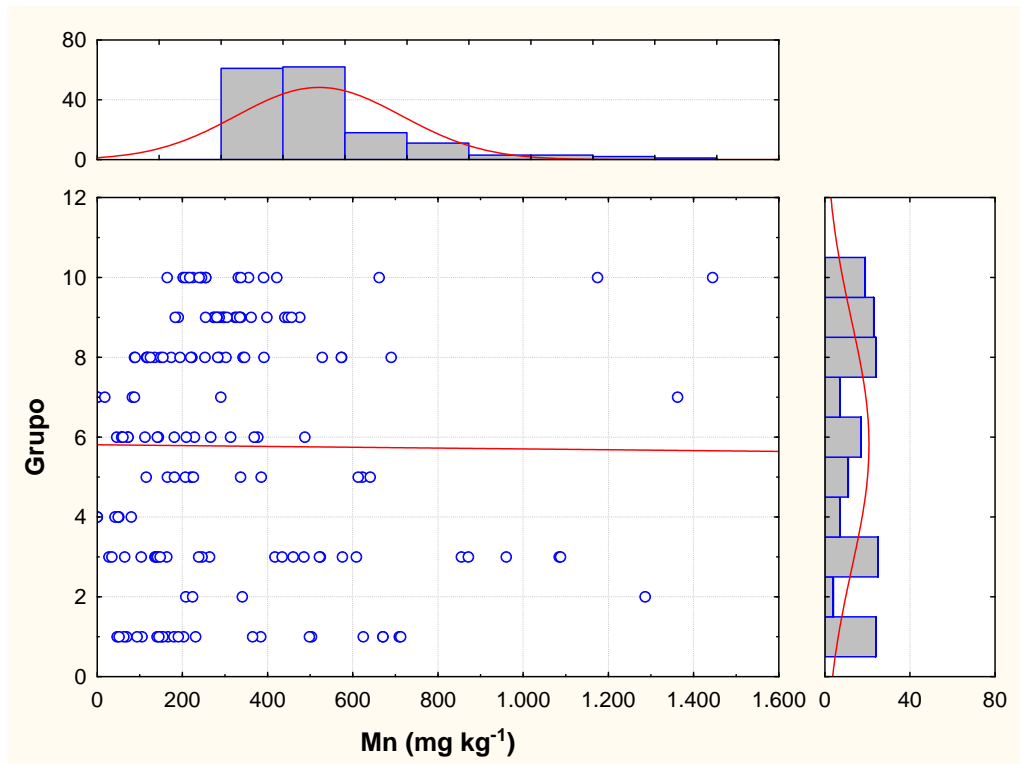


Figura 6.5. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de ferro.

Para a variável Mn se observou o menor teor no grupo 4 seguido do grupo 6 (Figura 6.6).



**Figura 6.6. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de manganês.**

Os grupos 1; 5; 7; 8; 9 e 10 apresentaram teores, em média, na faixa de 200 a 400 mg kg<sup>-1</sup>, sendo portanto intermediários. Enquanto os grupos 3 e 2 foram, nessa ordem, aqueles que apresentaram os maiores teores de Mn (Quadro 6.3).

Os teores naturais (Quartil 75) de cada elemento em função de cada grupo obtido são apresentados no Quadro 6.5.

**Quadro 6.5. Valores considerados normais para o teor de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos não poluídos, proposto como valores de referência (VR)<sup>1</sup>**

Grupo	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>1</b>	39,90	280,40	0,74	16,70	68,11	2,51	25,81	5,63	1,41
<b>2</b>	44,53	32,10	2,42	46,69	829,13	68,57	200,97	5,32	20,28
<b>3</b>	50,58	319,45	1,00	24,10	82,65	2,77	33,99	4,75	1,48
<b>4</b>	11,25	42,86	1,00	2,28	22,61	0,99	5,58	1,23	2,00
<b>5</b>	22,35	320,03	0,39	21,76	140,74	1,30	37,12	9,20	2,85
<b>6</b>	3,86	201,90	0,45	13,16	34,23	1,00	12,88	9,28	1,99
<b>7</b>	4,16	171,37	1,00	4,01	15,93	1,00	9,32	14,51	1,00
<b>8</b>	11,07	355,41	1,11	25,83	112,08	58,53	42,28	3,69	14,12
<b>9</b>	15,21	183,58	0,42	26,49	247,99	90,63	51,60	1,30	24,14
<b>10</b>	13,61	363,43	0,37	28,29	145,36	83,38	62,16	2,24	52,18
<b>QSm<sup>2</sup></b>	16,06	278,11	0,91	25,87	140,74	59,62	43,01	4,23	16,51

<sup>1</sup>Teor considerado normal para os solos pertencentes a cada grupo e que correspondem ao valor do quartil superior (75%) da distribuição de frequência dos dados amostrais, em cada grupo. <sup>2</sup>Quartil superior médio entre os grupos. Os teores estão apresentados em (mg kg<sup>-1</sup>).

### 6.3.4. Arsênio.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de As de aproximadamente 1.333 %, variando de 3,8 a 50,6 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.7).

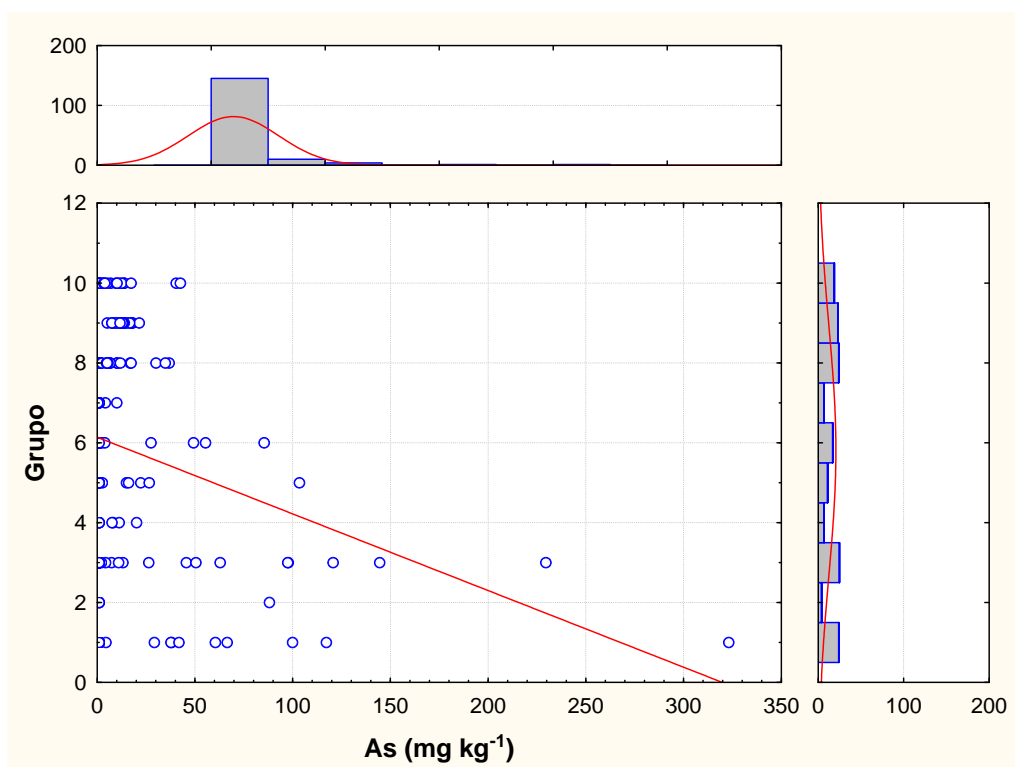


Figura 6.7. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de arsênio.

Os grupos 6 e 7 apresentaram teores < 4,5 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 4; 8; 9 e 10 apresentaram os teores < 15,3 mg kg<sup>-1</sup>. O grupo 5 se diferenciou por apresentar um teor próximo a 22 mg kg<sup>-1</sup> enquanto os grupos 1; 2 e 3 apresentaram teores = 40 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Os teores de As dos grupos 6 e 7 ficaram próximos àqueles citados pela CETESB (2001) para o Estado de São Paulo. Os valores de referência de qualidade apresentados pela CETESB (2001) foram obtidos pelo método da água régia enquanto estes foram obtidos pelo método EPA 3051a (USEPA 1998). Em comparação entre estes métodos (capítulo 2), se encontrou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) na obtenção dos teores de As, sendo aqueles obtidos pelo método EPA 3051a (USEPA, 1998), superiores aos obtidos pelo método da água régia. Os grupos 4; 8; 9 e 10 tiveram valores próximos daqueles encontrados por Rawlins et al. (2002) em solos ingleses. Os grupos

1; 2 e 3 tiveram valores próximos aos de referência proposto por Martinez-Lladó et al., (2008) para os solos da Catalonia – Espanha (Quadro 6.6).

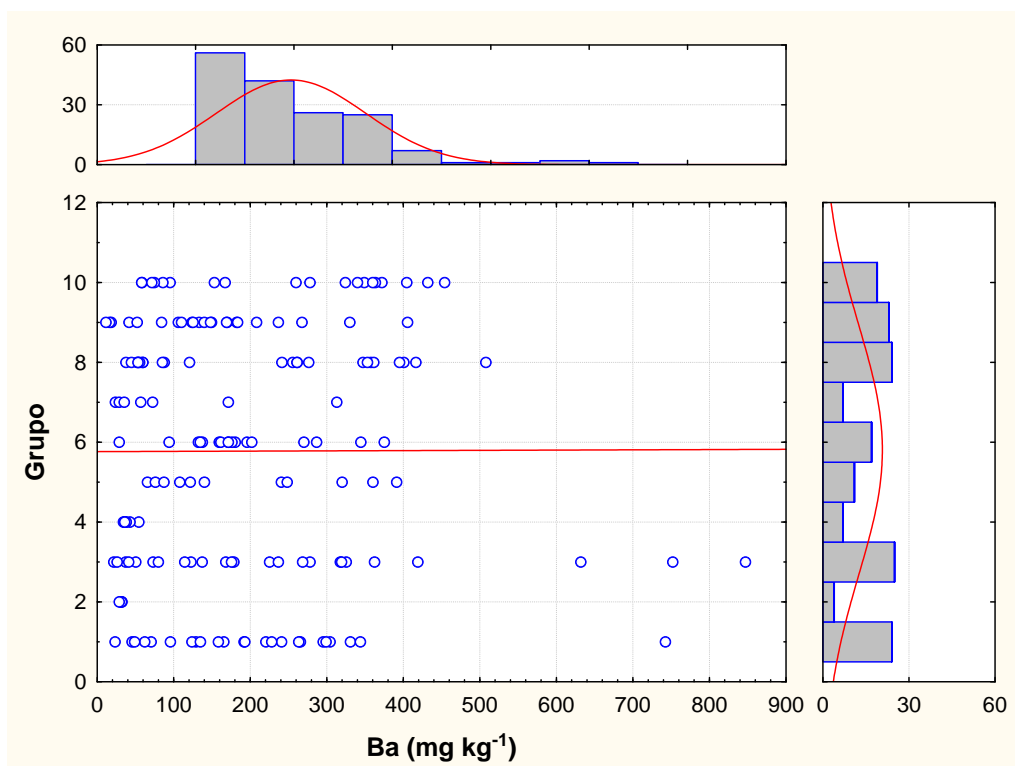
**Quadro 6.6. Valores de referência de metais pesados em solos (mg kg<sup>-1</sup>), obtidos por diferentes métodos, segundo diversos autores**

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
NE Espanha <sup>1</sup>	-	1.762	-	-	275	145	83	91	326
Catalonia <sup>2</sup>	-	669	2,0	-	103	206	94	92	239
N Inglaterra <sup>3</sup>	21	492	-	26,2	92,5	39,2	26,0	100	112,2
USA <sup>4</sup>	-	-	0,34	-	-	30,0	27,1	15,0	75,8
Nanjing <sup>5</sup>	-	-	-	-	59,0 ± 20	32,2 ± 13	-	24,8 ± 16,3	78,6 ± 29,5
China <sup>5</sup>	-	-	0,4	-	53,9	22	23,4	26,3	100
Catalonia <sup>6</sup>	10,4	-	0,261	11,4	21,6	15,4	20,7	21,7	56,1
Catalonia <sup>vr-6</sup>	49,5	-	0,570	19,4	71,0	43,3	49,6	55,5	95,3
E.M. <sup>7</sup>	-	-	0,3	7,0	27,0	23,0	21,0	23,0	53,0
E.M. <sup>8</sup>	-	-	0,7	11,0	36,0	28,0	31,0	28,0	83,0
Warsaw <sup>9</sup>	-	-	1,0	-	12,9	24,8	-	-	-
Ohio <sup>10</sup>	-	-	0,85	-	-	7,1	-	27,0	54,0
NW China <sup>11</sup>	11,2	469,0	-	12,7	61,0	22,6	26,9	26,0	74,2
Guangdog <sup>12</sup>	-	-	0,10 ± 0,29	-	57,8 ± 48,9	18 ± 17,1	18,0 ± 25,1	37 ± 30,2	51 ± 44,6
S China <sup>13</sup>	-	-	n.d. - 1,76	0,22 - 39,9	13,3 - 144	1,41 - 44,0	3,55 - 78,6	7,74 - 57,7	14,8 - 110
São Paulo <sup>14</sup>	15,0	150,0	3,0	25,0	75,0	60,0	30,0	100,0	300,0
Austria <sup>15</sup>	50,0	-	5,0	50,0	100,0	100,0	100,0	100,0	300,0
USA <sup>15</sup>	-	-	20,0	-	1.500	750,0	210,0	150,0	1.400
Polonia <sup>15</sup>	30,0	-	1-3	50,0	50-80	30-70	30-75	70-150	100-300
Solos <sup>16</sup>	0,1 - 40	-	0,01 - 2,0	0,5 - 65	5 - 1.500	2 - 250	2 - 750	2 - 300	1 - 900

<sup>1</sup>(FRX) Tobías et al., 1997a; <sup>2</sup>(água régia) Tobías et al., 1997b; <sup>3</sup>(FRX) Rawlins et al., 2002; <sup>4</sup>(percentil 75, HNO<sub>3</sub>) Holmgren et al., 1993; <sup>5</sup>(HNO<sub>3</sub> - HF - HClO<sub>3</sub>) Lu et al., 2003; <sup>6</sup>(EPA 3052) Martinez-Lladó et al., (2008); <sup>7</sup>Europa Mediterrânea, (EPA 3051a); Micó et al., (2006a); <sup>8</sup>Europa Mediterrânea, (EPA 3051a) Micó et al., (2007b); <sup>9</sup>Pitchel et al., (1997); <sup>10</sup> (mufla e bloco digestor) Ritter & Rinefierd (1983); <sup>11</sup> (FRX) Su & Yang (2008); <sup>12</sup>(bloco digestor) (média ± D.P.) Zhang et al., (2008). <sup>13</sup> Wong et al., (2002); <sup>14</sup>(água régia) (máximo permitido) CETESB, (2001); <sup>15</sup>(máximo permitido em solos agrícolas) Kabata Pendias & Pendias (2000); <sup>16</sup> (faixa de variação em solos de modo geral) Alloway (1990).

### 6.3.5. Bário.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Ba de aproximadamente 1.130 %, entre 32 a 364 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.8).

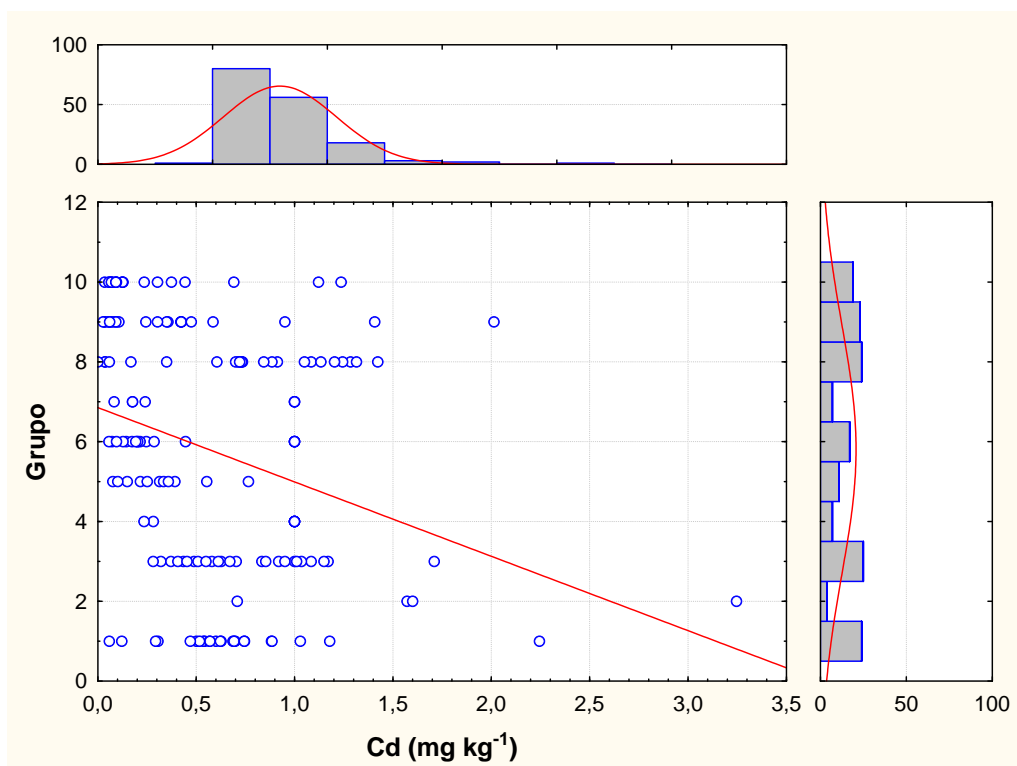


**Figura 6.8. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de bário.**

Os grupos 2 e 4 apresentaram teores < 43 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 6; 7 e 9 apresentaram teores entre 170 a 202 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 1; 3; 5; 8 e 10 apresentaram teores entre 280 a 364 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Somente os grupos 2 e 4 tiveram valores médios do quartil superior do elemento Ba próximos dos valores de referência de qualidade apresentados pela CETESB (2001). Na comparação de métodos realizada por Caires (2009b) não houve diferença estatística na obtenção dos teores de Ba entre os método água regia e EPA 3051a. Todos os outros grupos apresentaram teores abaixo da média obtida por Rawlins et al. (2002) e de Sun & Yang (2008) utilizando fluorescência de raios-X, mas próximo dos “background” estabelecido por Tobías et al. (1997a) com o uso deste método de análise. Tobías et al. (1997b), utilizando o método da água régia determinou um “background” do elemento Ba de 670 mg kg<sup>-1</sup> para os solos da Catalonia – Espanha (Quadro 6.6).

### 6.3.6. Cádmiu.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Cd aproximadamente de 6 %, entre 0,4 a 2,4 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.9).

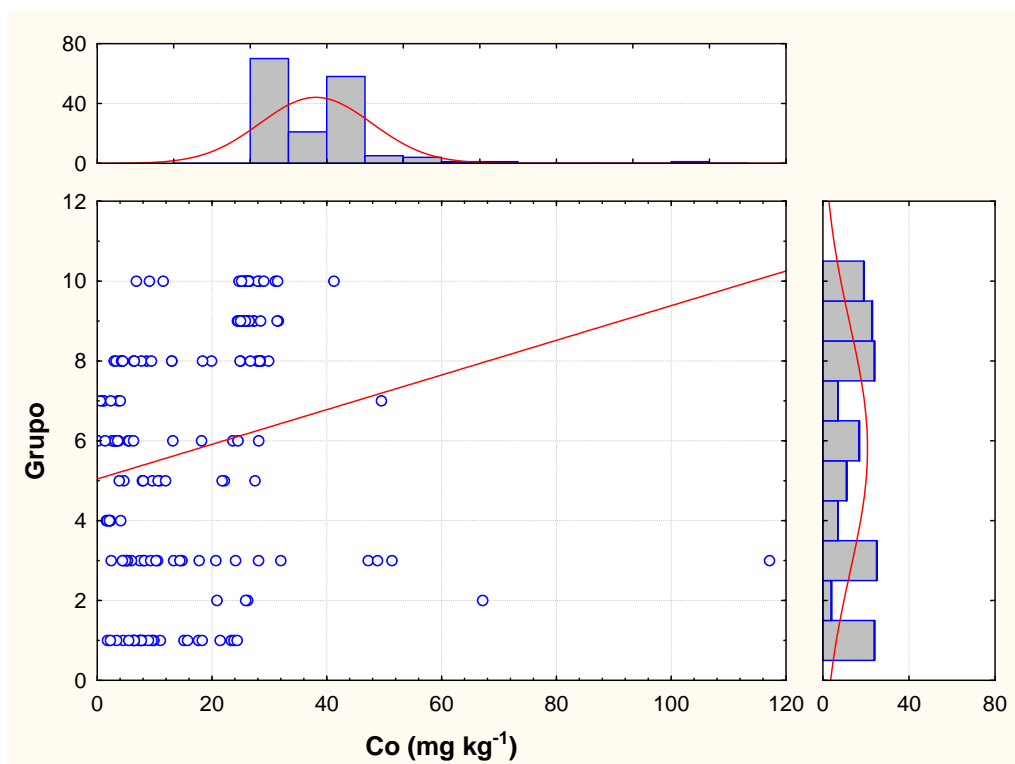


**Figura 6.9. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de cádmio.**

O grupo 2 se destacou por apresentar os maiores teores de Cd. Esta resposta tem uma relação com os maiores teores de Fe e Mn encontrados neste grupo (Quadro 6.3). Este valor ficou próximo do background encontrado por Tobías et al. (1997b). Os grupos 5; 6; 9 e 10 representaram os solos com teores < 0,5 mg kg<sup>-1</sup>. Tais teores tiveram uma semelhança com o teor de referência proposto pela CETESB (2001) para os solos do Estado de São Paulo, com Martinez-Lladó et al. (2008) para os solos da Catalonia – Espanha e com Holmgren et al., (1993), para os solos agrícolas dos Estado Unidos (Quadro 6.6). O grupos 1; 3; 4 e 8 representaram os teores entre 0,51 a 1,12 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 5). Estes valores foram semelhantes àqueles obtidos por Chen et al. (1997), num método de ataque total, para solos de Hong Kong.

### 6.3.7. Cobalto.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Co superior a 23 %, entre 2 a 47 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.10).



**Figura 6.10. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de cobalto.**

Os grupos 4 e 7 representaram os solos com teores = a 5 mg kg<sup>-1</sup> semelhantes aos apresentados como teores médios por Micó et al. (2006) para solos da Europa Mediterrânea utilizando o método EPA 3051a (USEPA, 1998) e dos valores de base para este metal proposto por Micó et al., (2007). Os grupos 1 e 6 representaram aqueles solos com teores entre 13 a 17 mg kg<sup>-1</sup>. Estes teores ficaram próximos àqueles apresentados por Martinez-Lladó et al., (2008). Os Grupos 3; 5; 8; 9 e 10 representaram os solos com teores entre 20 a 30 mg kg<sup>-1</sup>, próximos do valor médio deste elemento, apresentado por Rawlins et al., (2002), obtido por fluorescência de raios-X. O grupo 2 se destacou por representar solos com teores > de 40 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Um teor próximo a este é apresentado como percentil 97,5 por Rawlins et al. (2002) e denominado como valor orientador de intervenção para solos agrícolas pela CETESB (2001) (Quadro 6.6).

### 6.3.8. Cromo.

Os grupos formados tiveram uma variação de teores de Cr superior a 50 %, variando de 16 a 830 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.11).

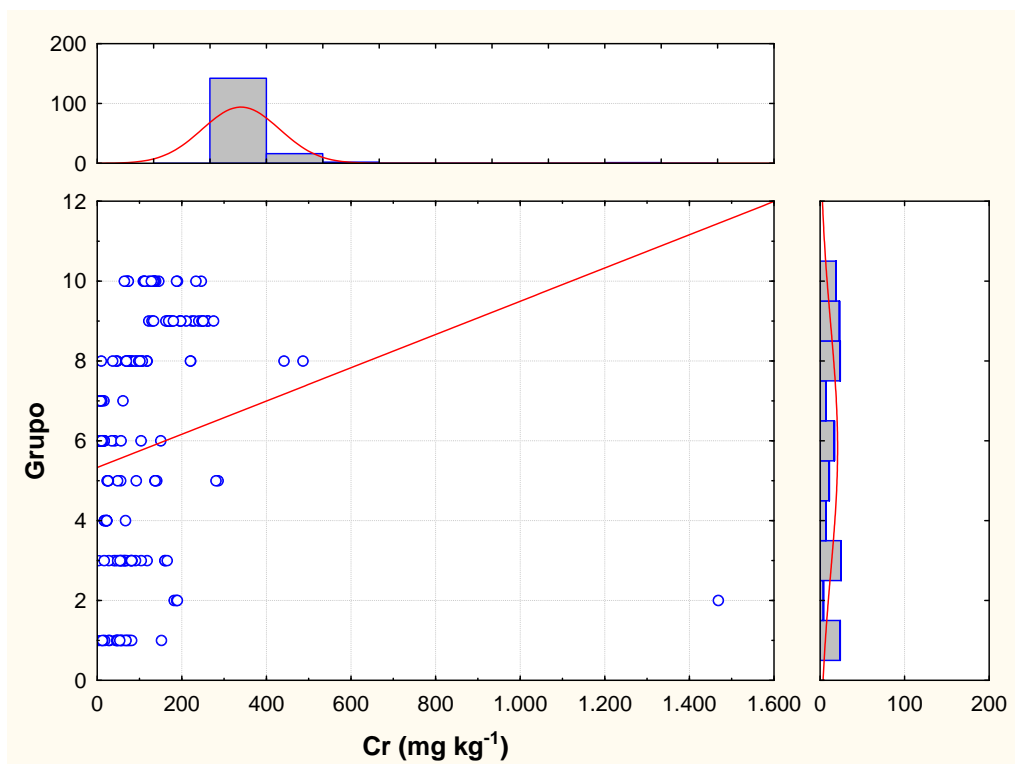


Figura 6.11. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de cromo.

Os grupos 4; 6 e 7 representaram aqueles solos com teores < 35 mg kg<sup>-1</sup> semelhantes a concentração de linha de base proposta por López-Mosquera et al., (2005) para o noroeste da Espanha, por Martinez-Llado et al.,(2008), para Catalonia, na Espanha, por Lu et al., (2003) para Nanjing, na China e por Micó et al (2006) para a Europa Mediterrânea (Quadro 6). Os grupos 1; 3; 5; 8 e 10 representaram aqueles solos com teores < 150 mg kg<sup>-1</sup>. O grupo 9 representou os solos de teores < 247 mg kg<sup>-1</sup> semelhantes ao background apresentado por Rawlins et al., (2002) para o nordeste da Espanha. O Grupo 2 representou os solos com teores acima de 800 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Os grupos 9 e 2 apresentaram teores acima dos valores orientadores de intervenção para solos agrícolas e industrial apresentados pela CETESB (2001), respectivamente.

### 6.3.9. Cobre.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de cobre superior a 100 % entre 0,9 a 91 mg kg<sup>-1</sup>, semelhantes aqueles apresentados por Fichtel et al. (1997) para os solos de Warsaw, Polônia e por Zhang et al. (2008) para solos da Província de Guangdong, China (Figura 6.12).

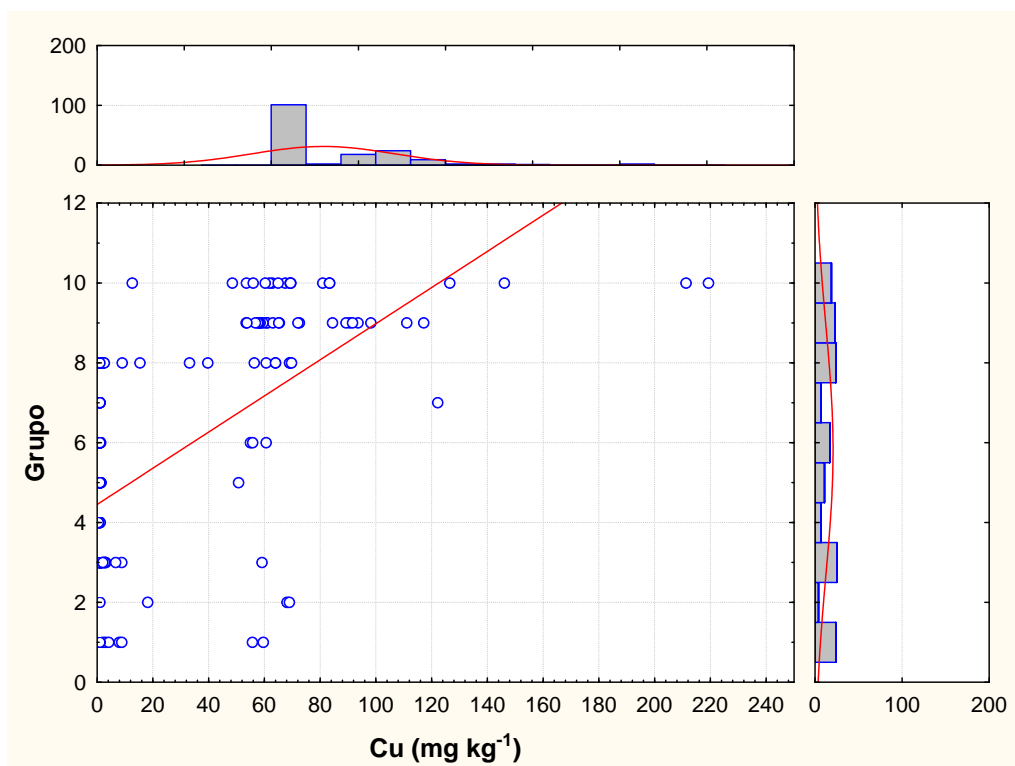


Figura 6.12. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de cobre.

Os grupos 1; 3; 4; 5; 6 e 7 ficaram entre os que apresentaram teores < 3,0 mg kg<sup>-1</sup> próximos aos background calculado para os solos de Dayton, Ohio (Ritter & Rinefierd, 1983) e média apresentada por Su & Yang (2008) para o noroeste da China. Os grupos 2 e 8 apresentaram teores > 55 < 70 mg kg<sup>-1</sup>. Valores próximos a estes são propostos como background para solos Chineses (Su & Yang, 2008) (Quadro 6.6). Os grupos 9 e 10 apresentaram teores > 80 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5).

### 6.3.10. Níquel.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Ni de aproximadamente 40 %, entre 5,0 a 201 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.13).

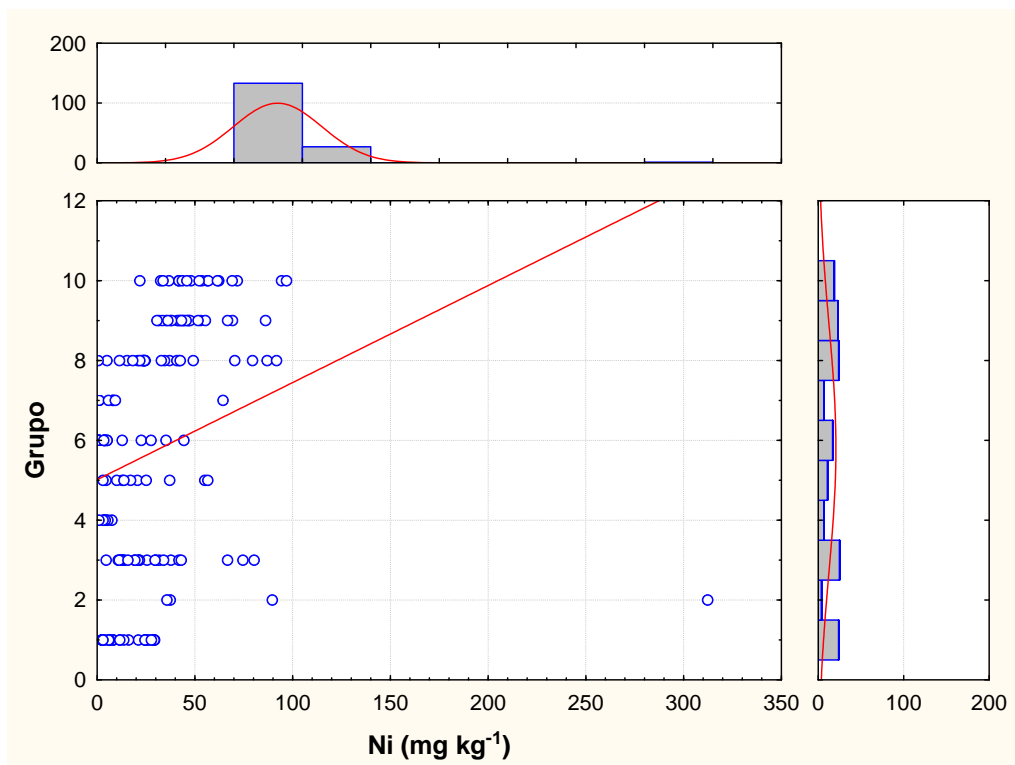


Figura 6.13. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de níquel.

Os grupos 4; 6 e 7 apresentaram os teores < 13 mg kg<sup>-1</sup> próximo à média natural de solos agrícolas no Delta do Rio Pearl, sul da China (Wong et al., 2002) e do valor de referência proposto pela CETESB (2001). Os grupos 1; 3 e 5 apresentaram teores < 40 mg kg<sup>-1</sup> e os grupos 8; 9 e 10 apresentaram os teores < 62 mg kg<sup>-1</sup> semelhantes ao valor proposto como referência para solos da Catalonia (Martinez-Llado et al., 2008) (Quadro 6.6). O grupo 2 apresentou os teores > 200 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5).

### 6.3.11. Chumbo.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Pb de aproximadamente 12 %, entre 1,2 a 14,5 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.14).

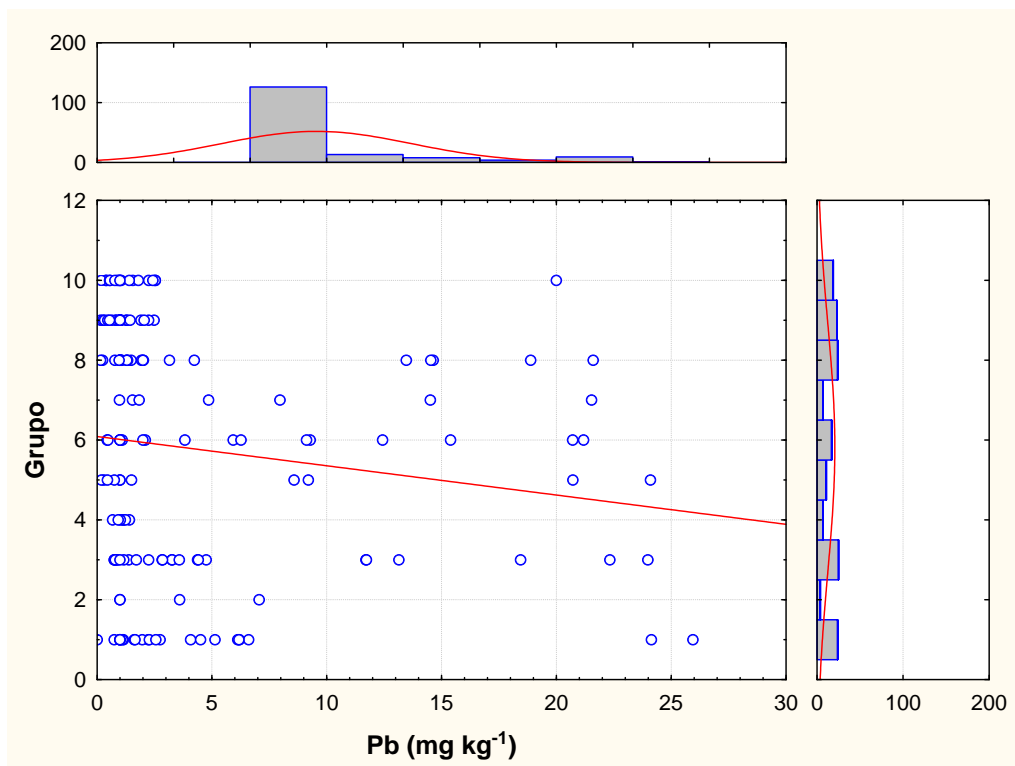
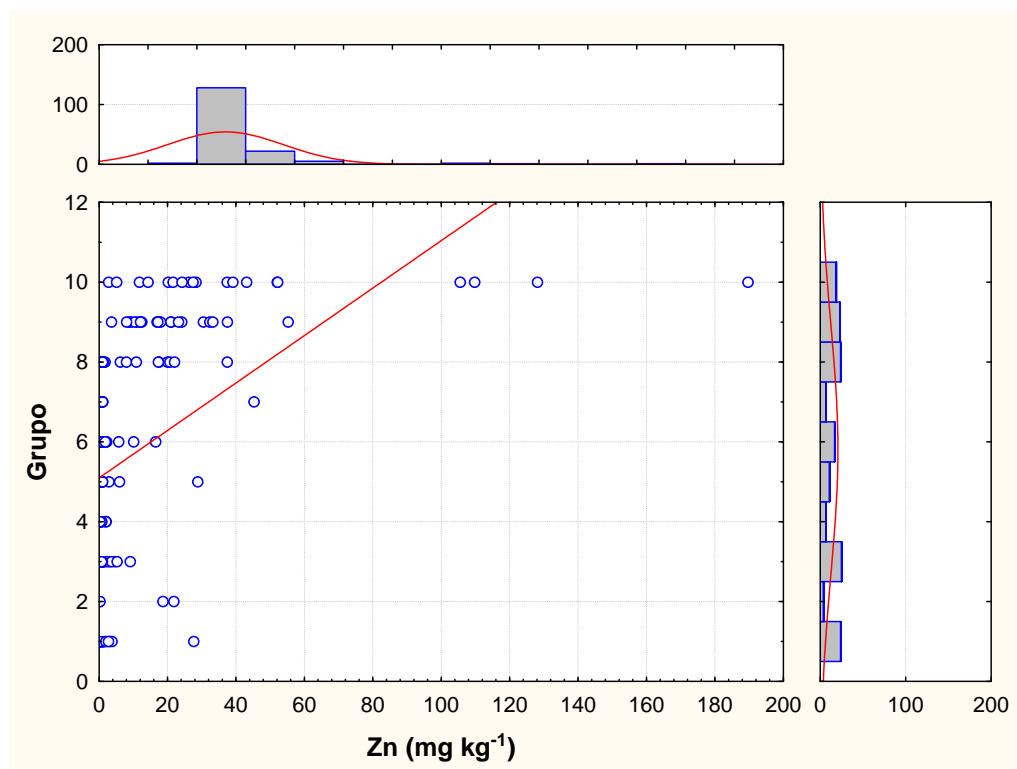


Figura 6.14. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de chumbo.

Os grupos 4; 9 e 10 apresentaram teores < 2,3 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 1; 2; 3 e 8 apresentaram teores < 5,7 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 5 e 6 apresentaram teores < 9,3 mg kg<sup>-1</sup> e o grupo 7 apresentou um teor > 14,0 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Os valores de chumbo de todos os grupos ficaram próximos das concentrações dos solos dos países europeus (Bak et al., 1997) e abaixo do valor de referência da CETESB (2001) (Quadro 6.6).

### 6.3.12. Zinco.

Os grupos formados tiveram uma variação dos teores de Zn de aproximadamente 52 %, entre 1,0 a 52,2 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 6.15).



**Figura 6.15. Plano de dispersão com histogramas dos grupos em contraste com os teores de zinco.**

Os grupos 1; 3; 4; 5; 6 e 7 apresentaram teores < 3 mg kg<sup>-1</sup>. O grupo 8 apresentou um teor aproximado de 14 mg kg<sup>-1</sup>. Os grupos 2 e 9 apresentaram teores < 24,5 mg kg<sup>-1</sup> e o grupo 10 apresentou o teor > 16 mg kg<sup>-1</sup> (Quadro 6.5). Os valores de zinco de todos os grupos ficaram próximos das concentrações dos solos dos países europeus (Bak et al., 1997), abaixo do valor de referência da CETESB (2001) e do percentil 75 dos solos dos EUA (Holmgren et al., 1993) (Quadro 6.6).

No quadro 6.7 são apresentados os limites máximos de metais pesados aceitos para cada um dos 10 grupos. Estes limites foram calculados com base no percentil 95 como proposto por Martinez-Lladó et al. (2008).

**Quadro 6.7. Limite máximo<sup>1</sup> de metal pesado proposto pelo modelo, para cada um dos grupos, para a inserção de uma nova amostra de solo dentro de um grupo específico**

<b>Grupo</b>	<b>As</b>	<b>Ba</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>1</b>	117,30	343,87	1,18	23,82	81,32	55,69	29,21	24,14	3,76
<b>2</b>	88,07	32,32	3,25	67,16	1.468,76	69,00	312,36	7,05	21,89
<b>3</b>	144,54	752,06	1,17	51,34	160,49	8,85	74,55	22,33	5,24
<b>4</b>	20,15	54,34	1,00	4,10	67,14	1,07	7,56	1,41	2,03
<b>5</b>	103,47	391,18	0,77	27,49	285,74	50,77	56,59	24,10	28,88
<b>6</b>	85,46	375,12	1,00	28,14	150,46	60,69	44,43	21,19	16,51
<b>7</b>	10,07	313,15	1,00	49,51	60,79	122,15	64,37	21,53	45,28
<b>8</b>	34,83	416,62	1,31	28,61	441,54	69,21	86,99	18,89	22,04
<b>9</b>	18,23	330,13	1,41	31,34	262,33	111,08	69,24	2,24	37,52
<b>10</b>	42,57	453,90	1,24	41,25	245,96	219,32	96,90	20,00	189,69
<b>Grupo<sup>2</sup></b>	97,50	416,62	1,31	31,56	250,50	93,64	79,47	20,72	43,15

<sup>1</sup>Teor considerado normal para os solos pertencentes a cada grupo e que correspondem ao valor percentil 95 (95%) da distribuição de frequência dos dados amostrais, em cada grupo. <sup>2</sup>Percentil 95 (95%) médio entre os grupos. Os teores estão apresentados em (mg kg<sup>-1</sup>).

### 6.3.13. Matriz de classificação.

No quadro 6.8 apresenta-se a matriz de classificação obtida pela análise discriminante. Segundo Ferreira (2008b) a análise discriminante difere da análise de agrupamento, pois o primeiro caso o número de grupos é conhecido e o objetivo é classificar uma nova observação a um desses grupos. Na análise de agrupamentos não se conhece o número de grupos ou sua estrutura e o propósito é identificar objetos que sejam similares o bastante para serem agrupados. Observa-se que em média 91,30 % das amostras foram agrupadas em conjuntos distintos entre si em função dos teores de argila, P-Rem, Al, Fe e Mn. Embora a percentagem de acertos não tenha sido ideal, considerou que a formação dos grupos possui consistência para validar os valores obtidos para a concentração normal dos metais pesados em cada grupo.

**Quadro 6.8. Matriz de classificação, com as linhas representando a classificação estatística observada e as colunas representando as classes previstas**

Grupos	% Acerto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	79,17	19	0	1	0	0	0	0	4	0	0
2	100,00	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	96,00	1	0	24	0	0	0	0	0	0	0
4	85,71	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0
5	90,91	0	0	0	0	10	1	0	0	0	0
6	94,12	0	0	1	0	0	16	0	0	0	0
7	71,43	1	0	0	0	0	1	5	0	0	0
8	87,50	3	0	0	0	0	0	0	21	0	0
9	100,00	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0
10	100,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
<b>total</b>	<b>91,30</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>19</b>

Segundo Ferreira (2008b), além de avaliar a discriminação de  $n$  objetos às suas populações ou aos agrupamentos de origem, a função discriminante permite a alocação de um novo objeto a uma das populações existentes, considerando uma função objetivo do vetor de observações desse objeto. O objetivo é determinar a qual dos grupos ou populações, cujas densidades de probabilidades são conhecidas, irá pertencer um novo objeto ou um novo conjunto de objetos. Neste sentido, pela análise se produziu as funções de classificação para alocar novos casos nos grupos já estabelecidos (Quadros 6.5 e 6.7). Os novos casos são classificados naquele grupo em que a função de classificação resultar o maior valor (Fadigas et al., 2006).

**Quadro 6.7. Funções de Classificação obtidas pela análise discriminante para alocação das amostras nos grupos previamente formados<sup>1</sup>**

YG1	=	61,11.P-Rem - 132,85.ARG + 1.647,14.Al + 575,47.Fe - 42,07.Mn - 5.149,08
YG2	=	58,58.P-Rem - 131,63.ARG + 1.611,47.Al + 606,67.Fe - 41,63.Mn - 5.130,97
YG3	=	60,91.P-Rem - 129,37.ARG + 1.594,00.Al + 573,32.Fe - 40,76.Mn - 4.897,76
YG4	=	63,73.P-Rem - 124,77.ARG + 1.457,00.Al + 508,03.Fe - 42,23.Mn - 4.024,92
YG5	=	62,00.P-Rem - 129,40.ARG + 1.528,30.Al + 549,07.Fe - 38,86.Mn - 4.498,74
YG6	=	63,46.P-Rem - 132,53.ARG + 1.600,37.Al + 536,35.Fe - 40,59.Mn - 4.763,23
YG7	=	64,16.P-Rem - 132,47.ARG + 1.670,01.Al + 541,99.Fe - 43,78.Mn - 5.113,85
YG8	=	59,24.P-Rem - 133,47.ARG + 1.673,30.Al + 593,35.Fe - 42,93.Mn - 5.353,63
YG9	=	56,28.P-Rem - 139,83.ARG + 1.771,52.Al + 605,48.Fe - 44,40.Mn - 5.886,86
YG10	=	58,01.P-Rem - 139,94.ARG + 1.732,89.Al + 600,32.Fe - 43,61.Mn - 5.668,18

<sup>1</sup>Coeficientes das funções são para valores das variáveis log<sub>10</sub>.

#### **6.4. Conclusões.**

1. As variáveis: conteúdo de argila, fósforo remanescente, Al, Fe e Mn foram as que apresentaram melhor correlação com os teores de metais pesados para os solos estudados.
2. O uso da análise de agrupamento mostrou ser uma ferramenta útil no estudo das relações entre os atributos do solo e o teor de metais pesados.
3. Os intervalos de concentração de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn podem ser considerados como teores que os solos de cada grupo têm em condições naturais.
4. Foi possível elaborar uma ferramenta de monitoramento da qualidade dos solos do Estado de Minas Gerais frente à contaminação antrópica com metais pesados.

#### **Agradecimento**

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## **6.5. Referências bibliográficas.**

- ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1990.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. R. Bras. Ci. Solo, 16: 271-276, 1992.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: Efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. R. Bras. Ci. Solo, 17: 299-304, 1993.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. R. Bras. Ci. Solo, 21: 9-16, 1997.
- BAK, J.; JENSEN, J.; LARSEN, M.M.; PRITZL, G.; SCOTT-FORDSMAND, J. A heavy metal monitoring-programme in Denmark. Sci. Total Environ., 207: 179-186, 1997.
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após a aplicação de biossólido. I – Fracionamento. R. Bras. Ci. Solo, 28: 543-555, 2004.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. DOROTHY C.P.CASARINI et al., São Paulo: CETESB, 2001. 73p. (Série Relatórios Ambientais).
- CHEN, T.B.; WONG, J.W.C.; ZHOU, H.Y.; WONG, M.H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. Environ. Pollut., 96: 61-68, 1997.
- CRAVO, M.S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. R. Bras. Ci. Solo, 22: 547-553, 1998.
- FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MANZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. Rev. Bras. Eng. Agri. Amb., 10: n.3, 699–705, 2006.
- FERREIRA, D.F. Análise de agrupamento. In: Ferreira, D.F. Estatística multivariada – 1. Ed. – Lavras: Ed. UFLA, 2008a. p. 341-394.
- FERREIRA, D.F. Análise discriminante. In: Ferreira, D.F. Estatística multivariada – 1. Ed. – Lavras: Ed. UFLA, 2008b. p. 571-624.

- HOLMGREN, C.G.S.; MEYER, M.W.; CHANEY, R.L.; DANIELS, R.B. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.*, 22: 335-348, 1993.
- KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. The anthroposphere. In: Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. Trace elements in soils and plants – 3<sup>a</sup> ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000. pg 3-26.
- LOPÉZ-MOSQUERA, M.E.; BARROS, R.; SAINZ, M.J.; CARRAL, E.; SEOANE, S. Metal concentrations in agricultural and forestry soils in northwest Spain: implications for disposal of organic wastes on acid soils. *Soil Use Manag.*, 21: 298-305, 2005.
- LU, Y.; GONG, Z.; ZHANG, G.; BURGHARDT, W. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Nanjing, China. *Geoderma*, 115: 101-111-2003.
- MARTINEZ-LLADÓ, X.; VILÀ, M.; MARTÍ, V.; ROVIRA, M.; DOMÈNECH, J.A.; PABLO, J. Trace element distribution in topsoils in Catalonia: Background and reference values and relationship with regional geology. *Environ. Eng. Sci.*, 25: 863-878, 2008.
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background – can we calculate it? *Environ. Geo.*, 39: 990-1000, 2000.
- MICÓ, C.; PERIS, M.; RECATALÁ, L.; SÁNCHEZ, J. Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region. *Sci. Total Environ.*, 378: 13-17, 2007b.
- MICÓ, C.; RECATALÁ, L.; PERIS, M.; SÁNCHEZ, J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65: 863-872, 2006a.
- NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28: 385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.F.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico e em plantas de cana-de-açúcar adubadas com composto de lixo urbano. *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 737-746, 2002.
- OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MARQUES, V.S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 29: 109-116, 2005.

- PICHEL, J.; SAWYER, H.T.; CZARNOWSKA, K. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland. *Environ. Poll.*, 89: 169-174, 1997.
- RAMALHO, J.F.G.P.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C. Acumulo de metais pesados em alguns solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. *R. Bras. Ci Solo*, 23: 971-979, 1999.
- RAWLINS, B.G.; LISTER, T.R.; MACKENZIE, A.C. Trace-metal pollution of soils in northern England. *Environ. Geo.*, 42: 612-620, 2002.
- RITTER, C.J.; RINEFIED, S.M. Natural background and pollution levels of some heavy metals in soils from the area of Dayton, Ohio. *Environ Geol.*, 5: 73-78, 1983.
- SU, Y.; YANG, R. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of heihe River Basin, North-west China. *J. Geoch. Explo.*, 98: 57-64, 2008.
- TOBIÁS, F.J.; BECH, J.; SÁNCHEZ ALGARRA, P. Establishment of the background levels of some trace elements in soils of NE Spain with probability plots. *Sci. Total Environ.*, 206: 255-265, 1997a.
- TOBIÁS, F.J.; BECH, J.; SÁNCHEZ ALGARRA, P. Statistical approach to discriminate background and anthropogenic input of trace elements in soils of Catalonia, Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 100: 63-78, 1997b.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2007.
- WONG, S.C.; LI, X.D.; ZHANG, G.; QI, S.H.; MIN, Y.S. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environ. Pollu.*, 119: 33-44, 2002.

## CONCLUSÃO GERAL

Os solos do Estado de Minas Gerais são muito heterogêneos. Neste contexto foi possível avaliar suas principais classes de solos em razão de seus principais atributos diante desta grande variabilidade. Com o auxílio de programas computacionais evidenciou esta heterogeneidade criando para os solos mineiros informações de referência quanto a sua qualidade frente ao uso ao impacto antropogênico. Longe de considerar este trabalho finalizado, este apenas representa uma ínfima amostra da diversidade de interpretações existente e do esforço de trabalho necessário para, cada vez mais, buscar o desenvolvimento sustentável no uso dos recursos naturais deste Estado.

## **Anexos**

**Quadro 2. 3. Resultados analíticos obtidos pelo método da água régia**

N <sup>o</sup>	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>											
1	12.473,80	8,62	48,35	5,30	328,02	82,04	62,75	31.199,32	< L.D.	18,62	169,29	69,54
2	40.407,43	8,91	113,03	5,34	442,61	54,98	20,36	41.345,39	< L.D.	30,30	173,04	100,51
3	88.874,98	< L.D. <sup>2</sup>	18,38	0,12	345,24	13,87	< L.D.	34.699,11	111,35	7,15	4,53	< L.D.
4	153.336,72	< L.D.	15,65	0,16	515,56	23,18	< L.D.	51.106,93	68,38	11,09	< L.D.	< L.D.
5	46.028,48	9,33	88,00	5,07	343,74	36,08	< L.D.	33.261,20	< L.D.	17,48	187,04	80,64
6	67.254,10	9,21	72,12	5,23	459,66	48,36	< L.D.	42.825,38	< L.D.	20,11	184,36	79,51
7	47.885,72	20,80	40,86	< L.D.	225,11	12,34	< L.D.	22.934,62	25,32	3,74	3,31	< L.D.
8	44.356,60	3,85	39,22	0,13	209,09	11,23	< L.D.	21.323,13	32,44	3,11	< L.D.	< L.D.
9	51.042,07	23,42	68,28	0,55	730,74	36,42	25,14	70.468,59	366,37	20,54	11,92	< L.D.
10	52.588,59	19,42	72,65	0,61	762,18	39,15	16,66	73.275,12	348,15	25,17	11,10	< L.D.
11	28.596,16	18,97	101,94	5,20	478,55	57,98	< L.D.	44.289,16	< L.D.	25,72	182,31	75,58
12	23.433,01	16,79	150,40	5,28	508,30	61,86	< L.D.	46.971,89	< L.D.	50,64	186,94	77,07
13	89.702,93	11,93	73,52	0,14	272,48	8,97	< L.D.	27.868,81	194,02	5,90	31,92	< L.D.
14	94.208,94	< L.D.	22,00	0,11	302,41	6,66	< L.D.	30.462,07	37,29	6,81	< L.D.	< L.D.
15	56.200,02	15,07	105,47	5,01	524,87	76,59	< L.D.	48.271,19	< L.D.	28,92	165,01	65,20
16	66.435,83	16,17	116,55	5,09	589,94	86,08	< L.D.	53.711,23	< L.D.	28,00	163,34	65,38
17	24.271,21	13,30	67,09	4,35	101,66	15,87	< L.D.	10.020,28	< L.D.	11,10	170,85	44,63
18	37.388,99	11,89	71,68	4,35	102,52	12,37	< L.D.	9.959,39	< L.D.	11,25	166,97	53,62
19	106.208,82	15,54	63,50	4,96	636,04	180,55	< L.D.	57.540,76	< L.D.	31,03	175,24	70,55
20	127.561,25	16,07	83,67	5,18	748,06	192,43	< L.D.	66.445,29	< L.D.	35,42	178,04	58,00
21	301.224,71	16,44	39,41	5,28	815,08	178,92	< L.D.	71.981,23	< L.D.	20,80	156,33	52,44
22	307.107,09	20,46	45,32	5,19	828,57	183,37	< L.D.	73.058,80	< L.D.	20,93	155,41	72,08
23	24.706,39	20,76	162,26	4,95	476,19	57,30	< L.D.	44.264,76	< L.D.	85,40	182,11	149,59
24	26.545,06	17,00	158,66	4,86	374,74	44,65	< L.D.	36.475,92	< L.D.	76,41	171,53	210,83

<b>25</b>	25.876,61	11,73	129,42	4,49	193,22	28,82	< L.D.	18.821,50	< L.D.	19,72	173,32	119,38
<b>26</b>	56.561,43	11,14	120,52	4,88	428,92	70,50	< L.D.	40.006,06	< L.D.	25,26	167,92	113,44
<b>27</b>	24.842,68	13,27	335,20	4,73	315,38	63,18	< L.D.	28.206,07	< L.D.	41,96	170,78	133,18
<b>28</b>	32.580,06	13,75	327,92	4,73	338,84	67,73	< L.D.	32.600,45	< L.D.	50,83	172,74	162,62
<b>29</b>	63.279,70	< L.D.	83,10	0,19	402,79	33,16	< L.D.	40.904,29	41,21	8,01	< L.D.	< L.D.
<b>30</b>	21.390,66	< L.D.	14,76	0,01	90,41	14,76	< L.D.	9.883,65	187,07	3,96	< L.D.	< L.D.
<b>31</b>	12.686,07	10,30	21,16	4,31	78,78	22,50	< L.D.	7.758,92	< L.D.	14,76	164,14	63,33
<b>32</b>	19.821,42	10,13	24,12	4,38	104,02	26,53	< L.D.	10.117,47	< L.D.	15,36	165,87	63,17
<b>33</b>	139.877,71	8,61	5,04	0,03	411,44	38,30	< L.D.	41.496,53	37,34	8,37	< L.D.	< L.D.
<b>34</b>	158.806,10	< L.D.	4,05	0,04	435,70	42,90	< L.D.	43.936,66	42,36	9,69	< L.D.	< L.D.
<b>35</b>	126.426,15	22,90	83,48	1,21	1.429,83	170,18	< L.D.	130.843,89	235,89	22,44	6,76	< L.D.
<b>36</b>	157.495,07	8,33	117,29	1,33	1.385,26	115,46	< L.D.	128.232,35	183,21	25,91	1,38	< L.D.
<b>37</b>	21.634,20	10,57	36,59	4,33	99,44	31,30	< L.D.	11.365,23	< L.D.	18,39	170,64	64,49
<b>38</b>	24.998,16	10,31	29,74	4,39	128,90	35,01	< L.D.	12.436,38	< L.D.	18,43	170,72	54,32
<b>39</b>	23.078,22	4,23	106,01	0,26	112,20	12,96	< L.D.	11.940,68	449,71	4,06	< L.D.	< L.D.
<b>40</b>	15.444,88	23,07	43,77	0,00	196,36	25,85	< L.D.	20.046,22	133,51	8,41	< L.D.	< L.D.
<b>41</b>	23.321,55	7,60	27,59	4,65	275,09	97,87	< L.D.	26.877,07	< L.D.	18,68	162,34	43,49
<b>42</b>	34.517,62	4,59	19,24	4,94	446,69	140,04	< L.D.	41.226,71	< L.D.	21,55	161,29	42,52
<b>43</b>	68.331,05	< L.D.	16,49	0,00	151,22	1,05	15,76	15.238,64	22,27	0,87	< L.D.	< L.D.
<b>44</b>	102.516,94	< L.D.	16,13	0,07	185,72	1,71	< L.D.	19.093,61	11,10	0,75	7,44	< L.D.
<b>45</b>	113.085,08	< L.D.	33,25	0,26	422,72	44,91	< L.D.	42.628,30	36,37	7,85	< L.D.	< L.D.
<b>46</b>	128.414,73	8,81	41,26	0,12	508,53	53,50	< L.D.	50.034,08	48,20	8,52	< L.D.	< L.D.
<b>47</b>	22.814,48	10,89	15,84	4,26	73,37	15,67	< L.D.	7.762,08	< L.D.	10,82	161,09	34,48
<b>48</b>	36.082,49	10,75	14,98	4,35	104,14	14,34	< L.D.	11.164,16	< L.D.	10,90	160,24	33,96
<b>49</b>	58.711,18	9,27	31,68	4,64	323,53	26,45	< L.D.	31.545,16	< L.D.	16,40	168,78	43,62
<b>50</b>	70.186,83	10,38	24,61	4,47	247,38	23,86	< L.D.	24.195,76	< L.D.	15,71	169,40	40,57
<b>51</b>	217.863,83	13,58	0,83	1,01	1.237,35	86,13	< L.D.	114.682,71	90,53	7,12	< L.D.	< L.D.

52	240.717,97	1,61	1,05	1,10	1.302,46	89,39	< L.D.	119.278,89	121,07	9,20	< L.D.	< L.D.
53	94.325,67	< L.D.	11,32	2,42	1.989,20	2.704,26	24,38	172.288,37	956,59	424,10	< L.D.	< L.D.
54	100.620,22	< L.D.	1,42	2,32	1.999,18	3.041,67	20,33	173.491,17	686,69	463,34	< L.D.	< L.D.
55	46.545,70	< L.D.	79,88	0,13	301,53	35,50	0,49	30.116,38	603,98	15,31	< L.D.	< L.D.
56	70.015,49	4,59	84,42	0,16	403,44	29,95	5,91	40.495,48	569,16	17,06	< L.D.	< L.D.
57	44.777,63	3,80	45,01	0,01	266,85	27,30	< L.D.	27.078,87	355,29	9,65	< L.D.	< L.D.
58	64.776,08	< L.D.	55,00	0,23	361,37	26,46	< L.D.	36.162,72	289,16	10,62	0,52	< L.D.
59	7.533,95	< L.D.	4,27	< L.D.	40,54	2,26	< L.D.	4.114,68	0,00	0,72	< L.D.	< L.D.
60	145.570,20	< L.D.	23,34	1,02	1.035,46	39,04	< L.D.	97.101,88	131,11	15,43	< L.D.	< L.D.
61	150.732,92	< L.D.	70,16	1,04	1.049,31	89,35	14,65	99.143,16	134,15	24,35	< L.D.	< L.D.
62	167.573,83	< L.D.	77,02	0,92	1.136,56	88,50	5,96	106.351,62	104,27	25,15	4,23	< L.D.
63	178.078,53	< L.D.	107,84	2,94	2.590,42	22,63	187,97	209.771,81	1.192,50	32,50	< L.D.	155,33
64	179.810,03	< L.D.	53,10	3,26	2.597,02	21,87	186,93	211.360,98	1.062,66	33,28	< L.D.	154,40
65	147.026,72	2,64	26,43	2,95	2.384,71	141,98	133,12	198.665,33	1.116,63	60,33	< L.D.	93,26
66	159.106,01	< L.D.	24,50	3,15	2.548,11	169,75	142,09	208.964,96	1.141,58	64,86	< L.D.	102,37
67	83.655,06	7,71	7,61	0,61	897,77	112,53	4,94	86.193,13	262,13	8,72	< L.D.	< L.D.
68	93.622,48	< L.D.	5,41	0,88	983,36	100,25	6,21	92.525,43	244,20	9,84	< L.D.	< L.D.
69	63.728,37	< L.D.	119,45	0,80	834,52	68,52	4,51	81.072,24	502,41	34,11	< L.D.	25,12
70	51.020,29	24,88	281,22	0,28	480,58	32,14	6,81	47.103,14	1.531,57	19,51	71,33	< L.D.
71	16.705,60	< L.D.	2,00	0,35	36,27	8,35	< L.D.	3.787,21	1.325,09	1,63	30,55	< L.D.

**<sup>1</sup>AMOSTRA:**

1 - PVAd2A PASSOS;  
2 - PVAd2Bt PASSOS;  
3 - PVAdA S.S.DA ESTRELA;  
4 - PVAdBt S.S.DA ESTRELA;  
5 - PVAe2A PORTO DO MENDES;  
6 - PVAe2Bt PORTO DE MENDES;  
7 - CXbd4A VARGINHA;  
8 - CXbd4Bi VARGINHA;

24 - PVAd23 ce23\_Francisco Sá/Montes Claros/MG\_HBt;  
25 - CXbd16 ct45\_Mamonas-Espinosa/MG\_HA;  
26 - CXbd6 ce4\_Montes Claros-Bocaiúva/MG\_HA;  
27 - CXbe8 ca32\_Lontra/MG\_HA;  
28 - CXbe8 ca32\_Lontra/MG\_Hbi;  
29 - LVAd12 ct12\_Nova Porteirinha saída de Janaúba/MG\_HBw;  
30 - LVAd3 ct12\_Matias Cardoso-Jaíba/MG\_HA;

47 - LVAd1 sp34\_Próximo a Topázio\_HA;  
48 - LVAd1 sp34\_Próximo a Topázio\_HBw;  
49 - LVAd1 sc45\_Guanhães\_HA;  
50 - LVAd1 sc45\_Guanhães\_HBw;  
51 - LVd2 ce12\_Itamarandiba\_HA;  
52 - LVd2 ce12\_Itamarandiba\_HBw;  
53 - LVd8 ce4\_Serro\_HA;  
54 - LVd8 ce4\_Serro\_HBw;  
55 - LVe3 ct34\_Saída de Coronel Murta\_HA;

9 - CXbd12A BAMBUÍ;  
10 - CXBD12Bi BAMBUÍ;  
11 - CXbe2A DORESÓPOLIS;  
12 - CXBE2Bi DORESÓPOLIS;  
13 - CXbd2A LAGOA DA PRATA;  
14 - CXbd2Bi LAGOA DA PRATA;  
15 - Cambissolo\_HA;  
16 - Cambissolo\_HBi;  
17 -Cambissolo\_Abadia dos  
Dourados/Monte Carmelo\_HA;  
18 -Cambissolo\_Abadia dos  
Dourados/Monte Carmelo\_HBi;  
19 - LV\_BR 354\_HA;  
20 - LV\_BR 354\_HBw;  
21 - LVA\_Capão/Capelinha\_HA;  
22 - LVA\_Capão/Capelinha\_HBw;  
23 - PVAd23 ce23\_Francisco  
Sá/Montes Claros/MG\_HA;

31 - LVAd1 ct12\_Itacarambi/MG\_HA;  
32 - LVAd1 ct12\_Itacarambi/MG\_HBw;  
33 - LVAd1 ce12\_Trevo da BR251 próx. A  
Barroão/MG\_HA;  
34 - LVAd1 ce12\_Trevo da BR251 próx. A  
Barroão/MG\_HBw;  
35 - LVd4 ce12\_Bocaiúva/MG\_HA;  
36 - LVd4 ce12\_Bocaiúva/MG\_HBw;  
37 - LVe ca12\_Januária/MG\_HA;  
38 - LVe ca12\_Januária/MG\_HBw;  
39 - RUb2 ca,cp1\_Januária/MG\_HA1;  
40 - RUe2 ca,cp1\_Manga/MG\_HA;  
41 - PVAe3 sc4\_Tarumirim\_HA;  
42 - PVAe3 sc4\_Tarumirim\_HBt;  
43 - CXbd16 sc34\_Próximo a Porto dos Volantes\_HA;  
44 - CXbd16 sc34\_Próximo a Porto dos Volantes\_HBi;  
45 - LAd ce12\_Entre Berilo e Chapada do Norte\_HA;  
46 - LAd ce12\_Entre Berilo e Chapada do Norte\_HBw;

56 - LVe3 ct34\_Saída de Coronel Murta\_HBw;  
57 - LVe3 ce34\_Entre Araçuaí e Virgem da Lapa\_HA;  
58 - LVe3 ce34\_Entre Araçuaí e Virgem da Lapa\_HBw;  
59 - RQo3 cp12\_Diamantina\_HA;  
60 - PVAd2 sp34\_Ubá\_HBt;  
61 - LVAd26 sp45\_Araponga\_HA;  
62 - LVAd26 sp45\_Araponga\_HBw;  
63 - LVdf1 ce12\_Uberaba\_HA;  
64 - LVdf1 ce12\_Uberaba\_HBw;  
65 - LVdf1 ce12\_Frutal\_HA;  
66 - LVdf1 ce12\_Frutal\_HBw;  
67 - LVd1 ce12\_Conceição das Alagoas-Frutal\_HA;  
68 - LVd1 ce12\_Conceição das Alagoas-Frutal\_HBw;  
69 - RLd1 cc56\_João Pinheiro\_HA;  
70 - RLe2 ca34\_João Pinheiro\_HA;  
71 - RQo1 ce12\_Entre Pirapora e o trevo da  
BR040/BR365\_HA;  
<sup>2</sup>L.D.: Limite de detecção.

**Quadro 2. 4. Resultados analíticos obtidos pelo método EPA 3051a**

Nº <sup>1</sup>	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
.....mg kg <sup>-1</sup> .....												
1	14.216,69	< L.D. <sup>2</sup>	51,92	0,50	10,36	66,64	< L.D.	30.524,24	154,31	5,74	< L.D.	< L.D.
2	43.063,65	< L.D.	164,74	0,60	12,66	45,56	< L.D.	45.258,92	240,97	24,58	< L.D.	< L.D.
3	63.392,30	10,07	57,01	0,18	3,61	15,93	< L.D.	22.265,63	82,56	8,14	< L.D.	< L.D.
4	71.811,57	13,13	41,31	0,28	2,42	27,28	< L.D.	32.165,36	34,41	12,31	< L.D.	< L.D.
5	68.126,45	60,49	192,03	0,63	6,23	29,36	< L.D.	35.620,85	166,31	8,43	< L.D.	< L.D.
6	65.239,12	< L.D.	175,51	0,83	5,20	43,16	< L.D.	47.711,07	103,32	10,79	< L.D.	< L.D.
7	47.221,41	< L.D.	161,67	< L.D.	352,13	16,73	< L.D.	13.585,06	72,59	3,94	9,28	< L.D.
8	54.553,21	< L.D.	195,68	0,21	328,45	12,74	< L.D.	12.679,96	57,69	3,73	9,12	< L.D.
9	61.472,21	< L.D.	304,22	0,88	1.146,67	57,92	7,96	44.035,94	670,73	29,21	25,95	< L.D.
10	56.885,73	4,48	299,12	0,74	1.232,22	63,11	8,85	47.020,04	670,73	29,41	24,14	< L.D.
11	64.846,89	10,28	361,42	1,13	1.430,83	77,81	9,01	54.345,73	528,02	23,85	18,89	< L.D.
12	42.938,56	< L.D.	268,51	1,17	1.489,71	90,41	8,85	57.220,71	434,13	15,79	11,73	< L.D.
13	78.634,92	< L.D.	171,37	< L.D.	453,09	10,98	< L.D.	17.577,46	290,45	5,79	14,51	< L.D.
14	82.877,29	< L.D.	72,40	0,24	468,13	7,73	< L.D.	18.375,76	87,71	9,32	1,83	< L.D.
15	87.880,73	1,23	347,25	1,05	1.619,85	117,87	15,42	62.837,36	173,82	24,17	< L.D.	< L.D.
16	103.533,63	1,87	371,95	1,12	1.746,21	109,28	12,63	67.543,01	164,50	21,87	< L.D.	< L.D.
17	40.219,60	2,21	171,43	< L.D.	339,66	16,66	< L.D.	13.395,46	143,81	< L.D.	12,43	< L.D.
18	51.517,41	< L.D.	176,13	< L.D.	311,49	4,96	< L.D.	11.956,57	72,41	0,67	< L.D.	< L.D.
19	229.489,39	7,11	105,62	1,60	1.279,38	206,14	197,82	138.967,32	188,82	25,01	39,32	19,66
20	239.000,18	30,39	106,29	0,59	1.525,57	198,67	57,33	143.099,18	201,46	19,30	16,45	26,44
21	297.552,99	60,53	40,64	0,36	1.604,29	144,49	53,23	154.730,48	192,28	9,49	< L.D.	23,46
22	305.381,60	24,02	35,14	1,41	1.643,53	166,82	84,63	157.622,76	190,87	11,14	4,92	14,30
23	39.067,63	7,37	325,37	1,08	47,22	66,45	< L.D.	55.107,14	523,91	74,55	< L.D.	< L.D.
24	44.016,09	97,71	317,70	0,58	51,34	64,22	< L.D.	43.766,46	575,62	80,37	< L.D.	67,90
25	29.587,89	< L.D.	248,38	0,25	559,51	23,14	< L.D.	21.158,77	225,81	10,08	9,20	< L.D.

<b>26</b>	66.564,77	< L.D.	263,40	1,18	1.282,79	77,85	< L.D.	48.385,73	105,31	16,18	6,60	<L.D.
<b>27</b>	36.293,14	< L.D.	752,06	1,71	969,02	79,32	< L.D.	37.510,25	960,10	33,99	13,14	38,32
<b>28</b>	45.184,01	< L.D.	632,02	1,01	1.101,54	82,65	2,02	42.473,07	871,41	43,01	18,44	42,43
<b>29</b>	61.836,57	19,61	108,58	0,43	367,33	28,39	2,86	36.693,61	57,28	10,05	10,64	17,35
<b>30</b>	15.989,32	23,47	11,18	0,27	72,24	10,37	7,44	7.172,45	156,41	8,14	15,96	9,71
<b>31</b>	29.297,46	32,49	18,18	0,35	152,12	15,51	4,44	14.952,33	85,49	3,26	5,61	14,51
<b>32</b>	28.306,26	< L.D.	14,34	0,34	174,57	17,07	< L.D.	17.159,59	60,33	2,55	10,25	27,33
<b>33</b>	119.355,39	32,09	6,41	0,18	392,06	34,51	8,82	39.261,39	56,32	2,91	14,88	22,53
<b>34</b>	150.794,48	24,89	5,75	0,35	425,77	39,52	< L.D.	41.577,62	61,20	8,34	7,16	21,45
<b>35</b>	145.990,22	32,55	148,02	0,94	1.426,33	139,24	6,23	137.332,17	335,26	20,28	26,97	112,28
<b>36</b>	115.006,60	19,53	94,32	1,20	1.392,02	91,18	6,45	134.066,53	207,47	19,57	13,34	56,29
<b>37</b>	44.608,31	< L.D.	20,48	0,26	186,66	23,54	8,30	18.478,99	262,42	8,91	15,17	21,26
<b>38</b>	49.537,05	15,57	23,66	0,03	210,07	21,47	4,99	20.201,87	197,95	7,44	18,17	15,33
<b>39</b>	23.987,03	22,57	97,99	0,59	104,71	12,38	42,09	10.384,44	446,92	2,71	3,80	9,86
<b>40</b>	15.963,13	< L.D.	41,44	0,07	183,38	22,58	5,28	17.770,26	130,95	6,63	3,76	25,17
<b>41</b>	39.543,52	< L.D.	37,25	0,49	4,41	104,13	< L.D.	32.875,02	485,44	11,94	< L.D.	< L.D.
<b>42</b>	51.969,78	4,30	21,65	0,92	5,28	160,49	< L.D.	53.810,29	163,24	13,74	< L.D.	< L.D.
<b>43</b>	41.843,78	< L.D.	28,82	0,07	224,43	4,43	< L.D.	8.983,30	45,61	< L.D.	15,39	< L.D.
<b>44</b>	70.944,17	< L.D.	35,42	0,18	325,30	3,83	< L.D.	12.602,45	17,84	< L.D.	21,53	< L.D.
<b>45</b>	66.350,56	< L.D.	35,61	0,18	391,48	34,02	8,26	38.672,33	51,57	5,01	22,17	19,51
<b>46</b>	148.410,24	10,65	71,62	0,62	472,70	52,08	6,21	45.425,59	63,33	10,13	10,03	24,42
<b>47</b>	46.036,18	8,97	7,70	0,38	148,91	8,15	< L.D.	14.579,41	155,38	2,02	7,39	13,02
<b>48</b>	89.728,53	18,00	5,84	0,24	191,34	5,62	< L.D.	18.412,73	155,72	0,62	3,62	22,61
<b>49</b>	144.474,91	54,27	31,42	0,84	684,26	19,46	165,25	64.973,83	415,98	8,24	22,06	32,11
<b>50</b>	127.491,36	26,27	22,65	0,59	432,69	13,39	1,05	42.656,44	84,32	2,90	12,29	16,35
<b>51</b>	224.040,72	39,36	3,47	0,83	1.269,09	84,20	2,48	122.342,56	138,93	4,95	3,50	21,65
<b>52</b>	240.441,51	30,14	2,08	1,01	1.307,80	83,41	< L.D.	127.519,34	143,97	4,49	0,87	20,04

<b>53</b>	96.048,72	27,30	12,28	3,00	2.229,97	2.554,69	35,66	211.022,70	936,28	392,79	15,20	45,48
<b>54</b>	100.565,29	12,36	3,03	1,95	2.370,33	3.019,07	43,20	224.049,17	723,17	417,97	9,13	31,05
<b>55</b>	51.672,66	18,03	104,10	0,51	310,45	27,43	12,00	30.318,41	615,31	14,18	12,07	50,21
<b>56</b>	80.305,19	30,20	126,71	0,44	433,97	29,32	13,38	39.680,32	612,44	13,24	7,61	51,52
<b>57</b>	48.514,29	32,19	66,98	0,67	255,14	26,50	5,25	25.384,74	340,86	6,15	17,09	28,43
<b>58</b>	75.196,32	46,23	92,42	0,31	371,49	30,19	10,30	36.475,72	289,57	7,22	15,80	32,41
<b>59</b>	7.515,53	<L.D.	4,16	0,38	35,47	1,76	<L.D.	3.521,10	7,31	3,33	7,35	2,30
<b>60</b>	69.334,06	16,85	53,61	0,91	4,12	44,34	<L.D.	62.855,20	116,04	11,42	<L.D.	<L.D.
<b>61</b>	156.274,47	43,70	75,76	1,23	1.051,13	81,78	20,01	101.656,48	151,93	23,04	16,18	39,56
<b>62</b>	179.556,28	27,66	88,79	0,65	1.177,95	90,50	19,34	113.771,56	115,19	24,56	16,51	36,17
<b>63</b>	167.312,34	44,86	100,49	2,42	2.772,42	21,62	188,34	260.238,40	1.181,51	26,64	6,81	196,51
<b>64</b>	181.182,98	39,19	54,22	3,32	3.011,78	20,97	211,23	278.991,79	1.099,56	29,43	17,02	198,09
<b>65</b>	169.967,17	6,92	31,89	2,64	2.833,77	146,00	148,34	265.656,55	1.247,43	65,40	<L.D.	162,32
<b>66</b>	171.146,36	33,22	78,21	2,93	2.974,68	151,02	220,33	278.483,88	1.359,04	65,09	<L.D.	163,76
<b>67</b>	85.169,14	7,05	10,25	0,77	942,94	82,16	19,14	93.216,19	282,43	9,33	2,82	20,66
<b>68</b>	94.082,67	15,27	9,03	1,35	1.010,21	86,60	28,63	97.636,93	267,32	10,14	4,62	19,69
<b>69</b>	75.777,28	23,57	144,11	0,56	875,49	68,85	12,23	83.078,70	732,13	31,27	21,16	75,67
<b>70</b>	75.399,09	<L.D.	257,81	0,37	489,25	41,39	13,22	49.825,99	1.258,90	17,37	63,29	40,83
<b>71</b>	18.288,66	<L.D.	2,08	0,20	38,91	7,99	<L.D.	3.845,96	15,23	1,05	0,88	16,16

**Quadro 2. 4. Resultados analíticos obtidos pelo método EPA 3052**

Nº1	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
.....mg kg <sup>-1</sup> .....												
1	34.760,31	< L.D. <sup>2</sup>	86,79	0,49	655,61	64,17	15,05	64.096,43	328,56	12,24	9,73	60,60
2	73.258,65	1,25	342,57	0,49	1.449,45	65,47	20,34	54.726,60	417,28	33,59	4,51	< L.D.
3	47.420,23	20,02	81,64	0,33	359,33	21,55	11,06	35.052,34	110,81	15,28	47,65	37,20
4	73.871,53	< L.D.	161,44	0,23	1.067,51	38,38	6,85	43.537,19	181,00	22,78	36,22	< L.D.
5	44.232,29	< L.D.	78,07	0,34	617,49	32,32	17,27	59.450,56	186,64	13,21	43,39	42,45
6	80.152,38	< L.D.	290,09	0,17	1.749,31	60,76	12,29	66.596,14	333,21	20,73	23,11	< L.D.
7	48.095,29	8,68	65,52	< L.D.	260,60	19,01	8,45	25.874,87	44,84	13,18	30,52	29,48
8	41.633,03	< L.D.	40,58	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	82.991,30	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
9	40.594,55	23,27	80,22	0,20	861,21	78,46	32,31	80.754,00	369,39	28,46	26,15	73,25
10	46.894,68	12,00	100,25	< L.D.	< L.D.	29,41	< L.D.	41.336,47	35,71	< L.D.	< L.D.	< L.D.
11	70.173,24	3,11	174,42	0,30	1.003,32	93,51	< L.D.	97.023,88	502,18	29,51	32,55	64,57
12	49.129,08	8,44	256,07	< L.D.	< L.D.	57,16	< L.D.	53.979,60	888,08	< L.D.	< L.D.	< L.D.
13	59.637,31	28,15	45,58	< L.D.	297,68	12,61	13,28	29.615,70	148,00	13,79	28,58	19,36
14	45.026,36	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	31.897,13	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
15	52.573,48	36,24	74,39	0,74	1.117,05	107,72	38,46	107.925,60	148,18	25,48	9,34	48,05
16	54.349,06	9,49	< L.D.	< L.D.	< L.D.	96,64	< L.D.	64.567,04	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
17	36.382,52	16,24	173,14	< L.D.	247,21	10,75	4,07	24.532,94	70,09	7,75	26,33	20,03
18	40.456,13	< L.D.	378,59	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	24.211,19	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
19	57.841,28	8,68	5,42	0,50	1.139,58	199,58	36,12	108.689,35	91,92	33,44	< L.D.	3,78
20	53.817,40	< L.D.	4,41	0,73	1.220,15	199,14	35,52	115.668,30	114,77	31,92	< L.D.	6,99
21	69.556,36	22,44	< L.D.	1,22	1.351,31	180,22	18,40	127.550,36	93,02	12,21	< L.D.	3,26
22	69.941,27	< L.D.	< L.D.	0,96	1.395,36	181,20	17,83	131.700,40	91,32	10,88	< L.D.	3,43
23	50.781,35	30,10	135,61	0,37	1.116,94	98,06	31,63	107.878,85	513,58	78,30	30,29	148,83
24	81.689,01	3,50	525,09	0,48	1.374,62	101,81	13,79	52.813,45	973,28	94,41	11,63	106,56
25	32.445,61	16,59	309,29	< L.D.	408,01	25,40	6,67	39.926,46	233,14	9,59	23,29	32,21

<b>26</b>	45.239,33	23,23	56,16	0,36	991,68	119,08	20,26	95.707,99	90,45	21,23	24,42	28,32
<b>27</b>	35.840,06	5,66	329,74	0,38	793,10	97,24	27,22	78.120,89	825,51	39,52	36,38	85,46
<b>28</b>	34.557,23	10,76	679,19	< L.D.	9,55	57,90	< L.D.	28.476,07	615,50	< L.D.	< L.D.	< L.D.
<b>29</b>	28.704,87	< L.D.	60,99	< L.D.	410,01	38,49	7,05	39.653,11	45,23	15,42	17,74	12,17
<b>30</b>	17.730,03	< L.D.	16,11	< L.D.	89,28	14,92	6,10	8.649,28	172,03	32,67	16,02	80,64
<b>31</b>	28.408,30	11,13	22,40	< L.D.	172,12	19,12	8,19	16.622,05	85,30	8,62	18,91	16,64
<b>32</b>	30.580,25	< L.D.	14,29	< L.D.	189,84	20,48	8,28	18.339,28	51,71	7,49	15,27	16,10
<b>33</b>	34.121,85	14,53	< L.D.	< L.D.	380,70	47,46	8,72	36.108,64	21,85	12,14	2,23	17,97
<b>34</b>	45.810,05	48,46	< L.D.	< L.D.	400,29	48,56	7,43	38.755,40	28,36	12,53	< L.D.	19,26
<b>35</b>	40.574,96	< L.D.	52,10	0,50	1.427,58	182,32	20,50	134.449,96	293,63	31,36	32,06	50,83
<b>36</b>	48.291,07	8,42	95,08	0,85	1.296,25	137,19	22,57	134.113,19	193,86	35,82	17,28	46,43
<b>37</b>	33.445,23	5,06	20,51	< L.D.	195,91	24,95	13,31	19.114,43	189,02	10,41	21,69	23,96
<b>38</b>	39.204,90	< L.D.	11,95	< L.D.	286,16	37,33	14,96	27.840,97	164,95	13,75	27,40	26,24
<b>39</b>	8.596,40	17,63	88,14	< L.D.	33,16	7,18	10,42	4.847,48	520,65	4,88	6,10	21,39
<b>40</b>	23.888,32	38,90	183,89	< L.D.	208,77	25,71	9,08	20.544,13	164,77	12,38	11,76	20,39
<b>41</b>	47.273,51	6,90	9,57	0,44	736,85	112,41	18,54	71.489,72	459,21	23,43	4,34	28,47
<b>42</b>	77.167,38	< L.D.	35,63	0,42	1.662,52	175,21	12,88	63.458,44	374,02	24,25	< L.D.	< L.D.
<b>43</b>	41.414,20	17,22	26,58	< L.D.	172,60	2,00	0,27	16.818,59	44,40	4,12	47,58	24,08
<b>44</b>	37.281,31	2,80	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	34.776,61	< L.D.	< L.D.	< L.D.	25,00
<b>45</b>	45.119,24	< L.D.	9,20	< L.D.	476,20	68,46	10,46	46.166,06	52,89	13,05	13,67	13,27
<b>46</b>	40.882,77	< L.D.	7,20	< L.D.	469,27	69,64	7,98	45.733,05	43,20	11,92	16,66	17,44
<b>47</b>	40.033,35	< L.D.	2,67	< L.D.	158,14	13,01	< L.D.	15.159,97	83,03	4,08	8,42	14,95
<b>48</b>	37.015,55	< L.D.	< L.D.	< L.D.	157,43	6,41	1,48	15.212,30	89,60	4,72	14,66	18,48
<b>49</b>	41.301,30	< L.D.	< L.D.	< L.D.	609,83	21,40	8,94	59.441,77	227,14	13,41	22,67	29,84
<b>50</b>	41.919,51	< L.D.	< L.D.	< L.D.	369,59	14,48	7,78	36.675,11	97,68	9,23	25,45	27,17
<b>51</b>	62.694,88	< L.D.	< L.D.	1,12	1.145,20	94,70	4,04	107.151,96	82,62	11,72	< L.D.	18,44
<b>52</b>	50.148,19	10,34	< L.D.	0,44	1.176,00	90,37	2,93	110.986,88	77,36	8,81	< L.D.	28,73
<b>53</b>	61.827,94	< L.D.	12,04	1,23	1.913,58	2.610,67	47,05	178.839,02	955,23	1.071,66	15,21	67,04

<b>54</b>	61.294,44	< L.D.	0,44	0,89	1.875,53	2.803,10	43,97	175.112,92	646,75	1.167,53	10,56	55,59
<b>55</b>	32.094,25	< L.D.	132,31	< L.D.	353,73	41,06	15,13	34.256,99	565,92	24,65	22,30	51,13
<b>56</b>	34.129,88	< L.D.	110,51	< L.D.	432,84	41,34	19,90	41.623,51	483,71	23,54	25,74	56,16
<b>57</b>	32.572,12	< L.D.	66,28	< L.D.	304,40	40,23	11,27	29.485,86	299,02	12,95	23,70	27,68
<b>58</b>	34.550,61	< L.D.	70,81	< L.D.	392,26	39,59	13,96	37.712,96	215,29	15,30	19,53	28,71
<b>59</b>	11.825,97	< L.D.	6,45	< L.D.	39,58	7,63	< L.D.	3.824,74	24,15	6,76	7,10	6,64
<b>60</b>	66.361,13	< L.D.	50,37	0,43	1.818,13	49,38	17,28	67.879,51	370,39	30,52	13,24	< L.D.
<b>61</b>	37.340,29	< L.D.	4,71	0,51	1.029,43	97,96	26,72	98.146,78	100,91	34,36	14,30	39,82
<b>62</b>	44.630,71	< L.D.	4,93	0,77	1.129,41	108,24	33,07	106.868,62	91,99	35,25	31,69	36,31
<b>63</b>	46.266,26	< L.D.	23,94	2,75	2.742,10	26,05	233,00	251.096,21	1.188,33	45,23	< L.D.	199,78
<b>64</b>	44.301,43	< L.D.	8,46	2,49	3.033,57	22,64	239,26	280.238,79	1.119,44	37,28	< L.D.	187,42
<b>65</b>	45.586,14	< L.D.	5,38	2,42	2.846,96	163,51	201,22	259.969,70	1.063,37	79,92	< L.D.	150,64
<b>66</b>	49.430,97	< L.D.	5,61	2,40	2.761,74	143,36	211,80	249.749,58	1.167,70	88,81	< L.D.	159,28
<b>67</b>	32.197,21	< L.D.	0,45	0,63	997,96	98,81	30,12	94.533,26	239,87	15,89	< L.D.	18,45
<b>68</b>	35.247,26	< L.D.	< L.D.	0,63	1.109,13	103,82	31,05	104.783,19	257,07	13,20	< L.D.	18,98
<b>69</b>	23.703,16	< L.D.	99,78	0,60	866,54	85,01	20,10	80.087,41	611,34	34,15	11,32	72,06
<b>70</b>	39.928,33	36,16	264,48	< L.D.	553,25	51,62	25,69	53.621,71	1.259,63	26,67	79,98	50,47
<b>71</b>	14.655,38	30,62	4,09	< L.D.	37,73	10,04	0,46	3.640,27	14,46	3,05	7,18	0,33

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais**

ID <sup>21</sup>	M <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	ADA <sup>4</sup>	AG <sup>5</sup>	AF <sup>6</sup>	SI <sup>7</sup>	ARG <sup>8</sup>	pH(1) <sup>9</sup>	pH(2) <sup>10</sup>	Al <sup>11</sup>	H+Al <sup>12</sup>	SB <sup>13</sup>	t <sup>14</sup>	T <sup>15</sup>	V <sup>16</sup>	m <sup>17</sup>	ISNa <sup>18</sup>	MO <sup>19</sup>	P-rem <sup>20</sup>
1	8	2	1	2	18	31	16	35	4,60	3,93	3,18	5,7	1,30	4,48	7,00	18,6	71,0	0,38	0,90	3,9
2	8	2	1	1	15	58	10	17	6,08	5,34	-	3,0	17,45	17,45	20,45	85,3	-	0,06	2,58	42,7
3	8	2	1	1	17	58	9	16	6,41	3,96	-	2,4	18,41	18,41	20,81	88,5	-	0,18	1,29	36,0
4	8	2	1	1	14	61	9	16	5,38	3,93	0,67	5,6	1,92	2,59	7,52	25,5	25,9	-	2,33	32,5
5	8	6	1	4	20	53	11	16	6,12	5,45	-	3,7	7,88	7,88	11,58	68,0	-	-	3,88	48,0
6	8	6	1	6	18	57	5	20	6,16	5,01	-	1,9	8,53	8,53	10,43	81,8	-	-	1,29	47,1
7	8	2	1	1	27	39	13	21	5,43	4,51	0,10	4,8	6,14	6,24	10,94	56,1	1,6	0,41	4,39	34,1
8	8	2	1	1	14	53	9	24	4,78	3,96	2,12	7,0	0,33	2,45	7,33	4,5	86,5	-	1,68	18,3
9	2	6	4	14	8	14	30	48	5,16	3,98	0,58	6,0	3,58	4,16	9,58	37,4	13,9	0,06	3,10	29,7
10	2	6	4	15	5	11	29	55	5,09	3,81	2,22	5,9	1,64	3,86	7,54	21,8	57,5	-	1,29	16,0
11	5	6	4	23	4	2	51	43	5,80	4,50	-	3,8	4,45	4,45	8,25	53,9	-	0,25	3,36	51,4
13	5	6	4	4	18	59	10	13	6,02	5,18	-	3,2	5,09	5,09	8,29	61,4	-	0,22	2,45	56,3
14	5	6	4	4	17	61	8	14	6,28	5,35	-	2,7	4,81	4,81	7,51	64,0	-	-	2,33	54,9
15	5	6	4	6	18	60	9	13	5,72	4,68	-	2,7	3,37	3,37	6,07	55,5	-	0,21	1,16	52,9
16	5	6	4	5	14	59	10	17	6,15	5,28	-	2,1	3,86	3,86	5,96	64,8	-	-	1,29	55,5
17	5	6	4	17	13	6	53	28	5,58	4,32	0,10	3,0	3,79	3,89	6,79	55,8	2,6	0,07	2,20	50,7
18	5	6	4	12	14	6	51	29	5,38	4,07	0,29	4,6	3,45	3,74	8,05	42,9	7,8	0,07	3,36	40,4
19	5	6	4	18	10	5	45	40	5,08	3,89	2,41	5,4	1,09	3,50	6,49	16,8	68,9	-	1,42	22,4
20	2	6	4	8	9	10	53	28	7,03	6,13	-	2,1	14,01	14,01	16,11	87,0	-	-	6,33	46,7
21	3	3	5	7	7	43	13	37	6,04	4,62	-	3,8	4,13	4,13	7,93	52,1	-	0,17	1,16	32,7
22	2	6	4	18	7	9	43	41	6,80	5,39	-	2,1	11,16	11,16	13,26	84,2	-	-	1,94	44,0
22	3	3	5	7	9	52	14	25	6,04	5,16	-	3,7	6,33	6,33	10,03	63,1	-	0,25	3,10	38,7
23	5	6	7	6	18	26	29	27	6,17	5,42	-	3,8	10,31	10,31	14,11	73,1	-	0,03	6,98	43,7
24	5	6	7	10	16	26	26	32	5,92	4,94	-	2,5	9,81	9,81	12,31	79,7	-	0,12	2,07	40,2
25	7	2	7	3	12	32	16	40	5,53	3,96	-	5,9	3,34	3,34	9,24	36,1	-	-	3,62	30,7

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
26	7	2	7	4	10	31	14	45	4,85	3,92	0,29	5,6	0,63	0,92	6,23	10,1	31,5	-	2,07	15,9
27	11	5	7	6	17	18	10	55	4,30	3,92	1,25	8,0	0,37	1,62	8,37	4,4	77,2	-	3,23	27,4
28	1	2	7	16	28	12	19	41	5,92	5,09	-	3,3	4,33	4,33	7,63	56,7	-	0,12	2,56	26,3
29	1	2	7	28	20	8	18	54	7,25	6,65	-	0,8	3,72	3,72	4,52	82,3	-	0,14	0,77	6,1
30	10	1	7	10	26	16	10	48	5,53	3,96	-	5,9	3,34	3,34	9,24	36,1	-	-	3,62	30,7
31	11	1	7	5	17	17	10	56	4,69	4,07	0,77	5,1	0,67	1,44	5,77	11,6	53,5	-	2,20	20,6
32	3	3	7	6	6	23	28	43	4,35	3,59	0,87	5,4	1,00	1,87	6,40	15,6	46,5	-	1,68	35,5
33	3	3	7	3	6	22	31	41	4,37	3,70	1,06	4,6	0,46	1,52	5,06	9,1	69,7	-	0,90	29,7
34	3	3	7	8	15	19	11	55	5,26	4,29	-	2,4	3,94	3,94	6,34	62,1	-	0,60	0,78	32,8
35	6	2	7	8	37	17	10	36	5,09	4,23	0,29	6,2	1,86	2,15	8,06	23,1	13,5	-	3,58	28,3
36	6	6	7	11	37	14	12	37	4,79	4,01	0,67	4,3	0,50	1,17	4,80	10,4	57,3	-	1,54	28,5
37	4	6	7	8	34	19	18	29	5,80	5,13	-	5,4	7,32	7,32	12,72	57,5	-	0,01	6,14	43,3
38	9	4	7	6	30	35	10	25	5,67	4,82	-	4,5	4,52	4,52	9,02	50,1	-	-	2,58	43,2
39	10	1	7	7	38	19	11	32	5,22	4,45	-	4,8	3,00	3,00	7,80	38,5	-	0,33	3,62	47,0
40	3	3	7	6	29	31	14	26	5,53	4,37	0,1	3,7	2,94	3,04	6,64	44,3	3,3	0,49	1,29	44,3
41	6	6	7	9	37	19	11	33	4,74	3,99	0,58	2,1	0,97	1,55	3,07	31,6	37,4	0,62	3,58	30,4
42	6	2	7	7	32	16	23	29	5,31	4,24	0,19	5,6	2,95	3,14	8,55	34,5	6,1	0,03	4,09	30,9
43	6	2	7	9	33	18	23	26	5,61	4,54	0,10	2,9	2,12	2,22	5,02	42,2	4,5	-	1,02	29,8
44	11	5	7	5	16	15	8	61	4,41	3,94	1,16	6,4	0,16	1,32	6,56	2,4	87,9	-	2,20	21,2
45	6	2	7	1	17	12	10	61	5,11	4,43	0,19	3,5	0,53	0,72	4,03	13,2	26,4	0,72	1,02	12,2
46	9	4	7	14	14	16	5	65	5,82	4,96	-	3,3	4,08	4,08	7,38	55,3	-	-	1,29	24,7
47	11	1	7	1	13	15	10	62	4,60	4,17	0,67	3,8	0,16	0,83	3,96	4,0	80,7	-	1,42	15,0
48	4	6	7	-	-	-	-	-	5,80	5,13	-	5,4	7,32	7,32	12,72	57,5	-	0,01	6,14	43,3
49	10	1	7	20	30	11	9	50	6,27	4,96	-	4,5	6,30	6,30	10,80	58,3	-	0,11	2,84	36,9
50	10	1	7	4	16	6	19	59	6,50	5,62	-	2,7	4,06	4,06	6,76	60,1	-	0,06	0,90	17,5

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
51	10	1	7	12	27	13	9	51	6,02	5,05	-	2,4	5,91	5,91	8,31	71,1	-	0,91	1,81	39,2
52	10	1	7	13	27	13	12	48	5,86	4,97	-	3,2	7,84	7,84	11,04	71,0	-	0,58	1,55	32,6
53	10	1	7	11	22	9	9	60	5,22	4,21	0,58	9,7	0,58	1,16	10,28	5,6	50,0	4,72	6,46	14,4
54	10	1	7	2	10	9	13	68	4,98	4,55	0,10	4,1	0,08	0,18	4,18	1,9	55,6	8,70	1,29	3,0
55	10	1	8	12	34	11	20	35	5,72	4,83	-	4,3	3,75	3,75	8,05	46,6	-	-	2,45	37,2
56	10	1	8	14	24	16	17	43	6,38	5,37	-	2,9	2,46	2,46	5,36	45,9	-	0,28	1,03	26,0
57	6	6	8	22	11	10	27	52	7,77	7,03	-	1,0	10,77	10,77	11,77	91,5	-	0,09	3,97	25,5
58	5	6	8	2	13	64	13	10	5,67	4,96	-	2,2	2,49	2,49	4,69	53,1	-	-	1,79	53,2
59	5	6	8	3	13	63	13	11	4,74	4,41	0,10	1,7	1,24	1,34	2,94	42,2	7,5	-	0,77	49,0
60	6	6	8	10	6	6	22	66	6,27	5,09	-	2,7	3,99	3,99	6,69	59,6	-	-	1,41	9,1
61	7	2	9	2	49	36	7	8	6,46	5,79	-	2,4	2,71	2,71	5,11	53,0	-	-	1,28	45,4
62	7	2	9	9	17	35	15	33	6,14	5,09	-	3,2	3,22	3,22	6,42	50,2	-	0,03	1,54	24,4
63	3	3	7	3	66	16	2	16	6,14	5,28	-	2,2	5,77	5,77	7,97	72,4	-	0,16	2,43	42,4
64	3	3	7	3	69	12	0	19	6,41	5,46	-	1,6	4,04	4,04	5,64	71,6	-	0,76	0,64	28,6
65	3	3	7	2	73	10	4	13	5,40	4,47	-	2,7	3,50	3,50	6,20	56,5	-	0,39	1,79	49,9
66	3	3	7	2	69	14	3	14	5,26	4,23	0,05	2,5	3,78	3,83	6,28	60,2	1,3	0,92	1,15	37,7
67	3	3	7	-	-	-	-	-	6,63	5,73	-	2,5	5,54	5,54	8,04	68,9	-	0,77	2,56	49,3
68	3	3	7	-	-	-	-	-	4,45	3,89	0,39	6,8	2,17	2,56	8,97	24,2	15,2	-	4,61	32,4
69	3	3	7	-	-	-	-	-	6,51	5,15	-	2,5	3,70	3,70	6,20	59,7	-	0,09	1,28	42,9
70	3	3	7	-	-	-	-	-	4,93	4,08	0,29	3,3	1,08	1,37	4,38	24,7	21,2	0,25	0,77	25,9
71	2	6	1	10	6	1	66	27	5,73	4,61	-	5,2	7,42	7,42	12,62	58,8	-	0,11	3,75	39,5
72	2	6	1	12	11	2	60	27	5,90	4,53	-	3,8	7,80	7,80	11,60	67,2	-	-	2,07	33,5
73	2	6	1	12	8	2	63	27	6,04	4,54	-	3,2	7,77	7,77	10,97	70,8	-	-	1,42	34,9
74	4	6	2	20	9	4	22	65	4,90	3,91	2,12	8,4	0,68	2,80	9,08	7,5	75,7	0,12	4,65	15,2
75	4	6	2	1	3	4	40	53	4,98	4,07	2,12	4,6	0,06	2,18	4,66	1,3	97,2	-	1,55	6,4

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
76	6	6	2	19	2	2	52	44	4,86	3,86	1,64	7,2	1,72	3,36	8,92	19,3	48,8	0,03	3,07	26,7
77	6	6	2	19	3	3	52	42	4,81	3,93	2,02	6,7	1,11	3,13	7,81	14,2	64,5	-	2,18	22,1
78	6	6	2	30	2	2	32	64	5,09	4,01	0,87	5,9	1,96	2,83	7,86	24,9	30,7	0,81	3,71	22,6
79	6	6	2	24	2	2	40	56	4,94	4,02	1,73	6,0	0,47	2,2	6,47	7,3	78,6	0,43	2,69	19,3
80	6	6	2	20	3	2	50	45	7,39	6,86	-	2,4	9,05	9,05	11,45	79,0	-	0,35	3,58	30,8
81	6	6	2	21	2	2	54	42	5,37	4,09	1,45	4,1	1,92	3,37	6,02	31,9	43,0	0,15	1,41	26,7
82	5	6	2	13	9	2	52	37	6,21	5,18	-	4,5	14,06	14,06	18,56	75,8	-	0,20	6,20	40,6
83	5	6	2	18	10	2	46	42	5,94	4,12	0,29	5,1	12,05	12,34	17,15	70,3	2,4	0,30	1,81	31,3
84	4	6	4	16	3	5	41	51	4,77	3,83	2,02	8,0	1,38	3,40	9,38	14,7	59,4	-	6,20	18,8
85	4	6	4	16	3	5	44	48	4,93	3,97	2,60	5,2	0,07	2,67	5,27	1,3	97,4	-	2,58	9,9
86	4	6	4	2	2	4	43	51	5,01	4,04	1,83	4,6	0,03	1,86	4,63	0,6	98,4	-	1,03	5,7
87	4	6	4	-	-	-	-	-	4,84	-	2,31	6,5	0,21	2,52	6,71	3,1	91,7	0,14	4,13	8,3
88	4	6	4	1	2	4	43	51	5,23	4,05	2,12	4,5	0,02	2,14	4,52	0,4	99,1	-	0,52	4,8
89	5	6	4	21	4	14	30	52	5,16	3,88	2,99	6,4	0,16	3,15	6,56	2,4	94,9	-	1,81	12,6
90	5	6	4	17	7	22	28	43	4,51	3,78	2,80	6,7	0,17	2,97	6,87	2,5	94,3	-	2,20	17,9
91	10	1	5	7	4	25	52	19	5,97	4,89	-	4,5	7,53	7,53	12,03	62,6	-	0,09	3,88	43,9
92	10	1	5	10	5	22	47	26	5,42	3,69	0,77	4,9	4,53	5,30	9,43	48,0	14,5	1,21	1,81	38,7
93	10	1	7	10	31	27	20	22	5,06	3,82	2,02	4,9	0,67	2,69	5,57	12,0	75,1	0,13	1,94	30,1
94	8	5	7	12	26	17	29	28	5,09	3,85	3,28	5,4	0,06	3,34	5,46	1,1	98,2	-	0,78	16,6
95	8	5	7	2	40	6	51	3	6,01	4,02	2,99	4,0	0,36	3,35	4,36	8,3	89,3	1,01	0,13	34,6
96	6	2	7	1	19	14	47	20	5,77	4,34	-	2,4	0,17	0,17	2,57	6,6	-	-	1,41	25,9
97	3	3	7	13	34	25	15	26	5,41	4,33	0,10	4,8	1,62	1,72	6,42	25,2	5,8	0,91	2,97	39,2
98	3	3	7	19	19	20	17	44	5,13	4,00	0,87	4,6	0,41	1,28	5,01	8,2	68,0	0,20	1,55	27,0
99	3	3	7	13	51	9	14	26	5,60	4,34	-	4,9	2,52	2,52	7,42	34,0	-	-	2,58	42,8
100	3	3	7	20	33	10	16	41	5,20	3,87	0,87	5,4	1,21	2,08	6,61	18,3	41,8	0,13	1,81	29,6

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
101	11	1	7	7	18	30	21	31	4,84	4,09	1,25	7,0	0,16	1,41	7,16	2,2	88,7	-	2,18	18,8
102	11	1	7	8	19	28	22	31	4,77	4,01	1,06	8,9	0,87	1,93	9,77	8,9	54,9	-	4,35	21,3
103	7	2	7	1	30	25	9	36	4,80	4,02	1,16	6,8	0,24	1,40	7,04	3,4	82,9	-	3,88	17,5
104	7	2	7	1	32	25	8	35	4,91	4,29	0,67	4,0	0,03	0,70	4,03	0,7	95,7	-	1,81	12,3
105	2	6	7	24	22	14	10	54	5,09	4,23	0,39	3,8	0,71	1,10	4,51	15,7	35,5	0,08	2,30	24,5
106	2	6	7	1	23	6	22	49	5,53	4,36	0,39	2,4	0,34	0,73	2,74	12,4	53,4	-	0,38	20,7
107	4	1	7	11	7	32	28	33	5,31	4,08	0,48	7,3	5,11	5,59	12,41	41,2	8,6	0,05	3,49	22,2
108	4	1	7	18	3	21	27	49	5,18	3,92	3,18	8,1	4,53	7,71	12,63	35,9	41,2	-	2,07	8,2
109	1	2	7	9	12	2	56	30	4,94	3,85	0,67	5,1	1,34	2,01	6,44	20,8	33,3	-	3,71	40,7
110	1	2	7	8	10	17	51	22	5,26	4,23	0,10	3,5	1,99	2,09	5,49	36,2	4,8	0,04	2,56	44,3
111	7	2	7	4	20	33	27	20	5,55	4,44	0,10	4,9	2,91	3,01	7,81	37,3	3,3	-	3,45	41,4
112	7	2	7	4	17	33	28	22	5,13	3,96	0,67	5,4	1,47	2,14	6,87	21,4	31,3	-	2,69	29,3
113	5	6	8	6	24	36	19	21	6,14	5,03	-	3,5	5,66	5,66	9,16	61,8	-	0,05	3,36	48,5
114	5	6	8	4	21	33	24	22	6,16	5,17	-	4,1	7,12	7,12	11,22	63,5	-	0,10	4,78	45,5
115	6	2	8	18	23	11	29	37	5,30	4,30	0,19	5,1	2,73	2,92	7,83	34,9	6,5	-	3,58	32,7
116	3	3	8	10	41	23	10	26	5,44	4,46	0,10	4,9	1,00	1,10	5,90	16,9	9,1	-	3,49	31,0
117	3	3	8	16	26	18	18	38	4,79	4,06	0,87	4,1	0,07	0,94	4,17	1,7	92,6	-	1,68	29,1
118	8	5	1	8	24	27	17	32	5,91	4,17	-	4,5	5,52	5,52	10,02	55,1	-	-	4,39	38,1
119	8	5	1	12	17	21	26	36	5,60	4,17	0,48	2,4	1,91	2,39	4,31	44,3	20,1	-	0,52	25,2
120	3	3	7	10	4	38	33	25	5,37	4,56	0,10	6,0	6,40	6,50	12,4	51,6	1,5	0,11	3,36	44,4
121	3	3	7	10	4	35	32	29	5,75	4,62	-	4,3	5,80	5,80	10,1	57,4	-	0,19	1,55	39,1
122	7	2	7	24	12	4	34	50	4,88	3,94	2,22	8,0	0,65	2,87	8,65	7,5	77,4	-	3,97	24,0
123	7	2	7	17	12	5	47	36	4,88	4,05	1,93	5,6	0,20	2,13	5,80	3,4	90,6	-	1,41	29,3
124	8	5	1	10	5	5	10	80	5,06	4,34	0,19	7,6	0,10	0,29	7,70	1,3	65,5	-	4,39	11,6
125	8	5	1	12	5	5	9	81	5,01	4,33	-	6,8	0,07	0,07	6,87	1,0	-	-	4,39	11,7

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
126	8	5	1	13	4	4	10	82	5,21	5,04	-	4,0	0,01	0,01	4,01	0,2	-	-	2,33	5,8
127	8	6	1	5	14	64	6	16	5,13	4,15	0,39	2,9	0,31	0,70	3,21	9,7	55,7	-	1,16	40,5
128	8	6	1	6	12	50	10	28	5,18	4,28	0,58	2,4	0,03	0,61	2,43	1,2	95,1	-	0,65	26,0
129	8	5	2	6	42	15	5	38	5,54	4,18	0,58	7,2	0,08	0,66	7,28	1,1	87,9	-	2,71	20,4
130	8	5	2	6	32	18	5	45	5,11	4,69	-	4,0	0,01	0,01	4,01	0,2	-	-	1,42	11,5
131	2	6	2	18	1	2	34	63	4,83	3,98	1,16	7,0	0,20	1,36	7,20	2,8	85,3	-	3,88	16,8
132	2	6	2	3	1	2	35	62	5,07	4,36	0,19	4,1	0,04	0,23	4,14	1,0	82,6	-	1,55	7,6
133	8	5	2	15	2	4	16	78	5,03	4,09	0,87	8,1	0,27	1,14	8,37	3,2	76,3	-	5,04	9,5
134	8	5	2	1	2	3	21	74	5,13	5,06	-	3,2	0,05	0,05	3,25	1,5	-	-	2,07	2
135	8	5	2	16	2	4	14	80	4,61	4,01	1,16	11,8	1,17	2,33	12,97	9,0	49,8	-	7,36	15,8
136	8	5	2	1	2	5	21	72	4,95	4,90	-	3,7	0,09	0,09	3,79	2,4	-	-	2,58	3,3
137	2	6	2	15	3	5	30	62	6,15	5,36	-	5,4	9,58	9,58	14,98	64,0	-	-	7,36	22,1
138	2	6	2	1	2	5	25	68	5,35	4,92	-	4,0	0,53	0,53	4,53	11,7	-	0,66	1,55	2,3
139	4	6	4	26	1	0	29	70	4,77	3,87	2,51	8,1	0,24	2,75	8,34	2,9	91,3	-	3,62	11,8
140	4	6	4	23	6	5	18	71	4,73	3,90	2,12	9,2	0,55	2,67	9,75	5,6	79,4	-	4,26	13,9
141	4	6	4	16	5	4	17	74	4,90	4,06	1,64	6,2	0,07	1,71	6,27	1,1	95,9	-	1,94	5,5
142	8	6	6	4	8	7	18	67	4,50	4,16	0,10	17,3	0,15	0,25	17,45	0,9	40,0	-	11,88	6,5
143	8	6	6	10	5	6	9	80	4,87	4,27	0,77	10,5	0,04	0,81	10,54	0,4	95,1	-	5,30	5
144	8	6	6	2	11	3	22	64	4,65	3,85	0,67	18,0	6,14	6,81	24,14	25,4	9,8	0,05	54,25	51,6
145	8	6	6	7	8	5	23	64	4,19	3,96	1,83	19,6	0,62	2,45	20,22	3,1	74,7	-	17,44	11,5
146	8	6	6	7	4	3	13	80	4,29	4,04	1,73	19,2	0,20	1,93	19,4	1,0	89,6	-	11,24	10,5
147	8	6	6	11	3	4	5	88	4,60	4,44	0,48	9,4	0,03	0,51	9,43	0,3	94,1	-	5,04	5,2
148	6	2	6	21	10	14	22	54	6,04	5,05	-	8,6	27,88	27,88	36,48	76,4	-	0,07	8,06	29,2
149	6	2	6	1	7	10	15	68	6,13	4,53	0,10	4,6	0,58	0,68	5,18	11,2	14,7	4,03	1,41	3,7
150	6	2	6	16	22	20	13	45	5,58	4,01	0,96	7,8	0,41	1,37	8,21	5,0	70,1	-	4,09	21,7

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
151	6	2	6	1	19	15	14	52	5,76	5,10	-	1,9	0,08	0,08	1,98	4,0	-	-	1,02	4,9
152	2	6	7	14	6	3	5	86	4,83	3,89	2,02	14,3	0,50	2,52	14,80	3,4	80,2	-	6,78	18,4
153	2	6	7	1	4	1	22	73	5,05	4,21	0,96	4,8	0,22	1,18	5,02	4,4	81,4	-	1,66	14,4
154	1	6	7	16	7	3	25	65	5,38	5,30	-	5,4	4,84	4,84	10,24	47,3	-	0,11	5,63	9,7
155	1	6	7	13	6	3	15	76	5,46	5,20	-	5,2	0,33	0,33	5,53	6,0	-	-	3,07	1,3
156	10	1	7	16	28	14	11	47	5,02	4,25	0,10	6,0	3,16	3,26	9,16	34,5	3,1	-	3,49	36,8
157	10	1	7	17	14	10	11	65	5,10	4,24	0,19	4,9	1,34	1,53	6,24	21,5	12,4	-	1,81	22,8
158	7	2	7	27	21	12	9	58	4,59	4,29	0,19	5,1	0,86	1,05	5,96	14,4	18,1	-	2,43	25,7
159	7	2	7	24	24	1	8	67	5,85	4,07	0,77	6,0	0,14	0,91	6,14	2,3	84,6	0,57	2,69	19,4
160	7	2	7	14	23	10	8	59	4,67	3,82	1,35	10,8	0,96	2,31	11,76	8,2	58,4	-	4,48	29,8
161	7	2	7	12	15	8	8	69	4,33	4,26	0,58	5,2	0,12	0,70	5,32	2,3	82,9	-	1,79	15,6
162	7	2	7	22	17	11	12	60	4,53	3,81	1,25	11,3	0,62	1,87	11,92	5,2	66,8	0,05	5,63	31,9
163	7	2	7	29	12	9	12	67	4,89	4,24	0,48	5,2	0,11	0,59	5,31	2,1	81,4	-	2,05	15,3
164	1	2	7	16	4	4	31	61	5,72	4,44	0,10	5,1	0,57	0,67	5,67	10,1	14,9	-	4,09	10,2
165	1	2	7	32	4	3	30	63	4,95	5,02	-	1,7	0,14	0,14	1,84	7,6	-	-	1,54	3,0
166	2	6	8	8	11	6	7	76	5,05	4,30	0,48	8,9	1,33	1,81	10,23	13,0	26,5	-	6,20	14,7
167	2	6	8	9	9	5	8	78	5,29	4,77	-	4,9	0,02	0,02	4,92	0,4	-	-	2,58	5,5
168	2	6	8	20	2	2	27	69	4,81	3,86	2,31	9,7	0,61	2,92	10,31	5,9	79,1	-	4,39	13,3
169	2	6	8	20	2	2	29	67	4,87	3,98	2,22	6,2	0,08	2,30	6,28	1,3	96,5	-	2,07	7,4
170	4	6	8	21	1	1	15	83	4,78	3,96	2,31	7,0	0,06	2,37	7,06	0,8	97,5	-	2,58	6,2
171	4	6	8	25	1	2	28	69	5,47	4,46	0,10	6,4	2,17	2,27	8,57	25,3	4,4	-	4,26	26,3
172	4	6	8	22	1	1	14	84	4,89	3,90	2,22	10,5	1,00	3,22	11,5	8,7	68,9	-	6,07	12,9
173	4	6	8	19	1	1	19	79	5,12	3,94	1,25	6,2	1,34	2,59	7,54	17,8	48,3	-	1,81	12,0
174	8	5	8	13	4	5	14	77	5,09	4,22	0,58	8,3	0,20	0,78	8,50	2,4	74,4	-	5,17	11,3
175	8	5	8	10	2	5	14	79	5,23	4,81	-	4,8	0,04	0,04	4,84	0,8	-	-	2,71	4,7

**Quadro 3. 1. Resultados analíticos de rotina de solos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

ID	M	B	L	ADA	AG	AF	SI	ARG	pH(1)	pH(2)	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P-Rem
176	4	6	8	14	9	7	7	77	4,52	4,03	1,25	6,8	0,14	1,39	6,94	2,0	89,9	-	3,36	13,6
177	4	6	8	14	11	6	5	78	4,73	4,17	0,77	5,2	0,07	0,84	5,27	1,3	91,7	-	1,94	8,7
178	4	6	8	5	1	1	24	74	4,98	4,06	1,73	5,7	0,06	1,79	5,76	1,0	96,6	-	1,81	4,7
179	8	5	9	11	4	6	26	64	6,94	6,36	-	2,1	8,15	8,15	10,25	79,5	-	-	5,81	19,6
180	8	5	9	4	15	12	24	49	6,45	6,27	-	3,3	14,03	14,03	17,33	81,0	-	0,09	17,12	38,8
181	8	5	9	12	2	2	3	93	5,31	4,84	-	4,6	0,88	0,88	5,48	16,1	-	-	2,33	9,9
182	7	2	9	7	4	43	24	29	5,14	4,04	0,58	6,4	1,16	1,74	7,56	15,3	33,3	-	3,97	32,9
183	7	2	9	5	3	36	27	34	4,37	4,46	0,10	2,7	0,08	0,18	2,78	2,9	55,6	-	0,90	16,6
184	7	2	7	21	1	3	20	76	5,49	4,85	-	5,9	3,02	3,02	8,92	33,9	-	0,17	4,86	9,6
185	7	2	7	1	1	2	19	78	5,31	4,79	-	4,6	0,34	0,34	4,94	6,9	-	-	2,94	2,7
186	8	2	3	4	33	29	8	30	4,57	3,98	0,67	7,6	1,14	1,81	8,74	13	37	-	3,88	34,1
187	8	2	3	7	30	30	7	33	4,72	4,02	0,67	5,4	0,05	0,72	5,45	0,9	93,1	-	1,81	24,4
188	8	2	3	14	2	12	23	63	4,85	3,98	1,06	10,0	1,11	2,17	11,11	10,0	48,8	-	5,43	16,7
189	8	2	3	1	2	11	27	60	5,22	4,50	0,10	4,3	0,15	0,25	4,45	3,4	40,0	-	2,07	7,8
190	8	2	3	10	5	18	27	50	5,92	5,29	-	5,7	9,94	9,94	15,64	63,6	-	-	5,94	19,8
191	8	2	3	12	4	16	26	54	5,77	4,99	-	5,9	3,45	3,45	9,35	36,9	-	0,11	3,62	10,1

<sup>1</sup>Mesoregião: 1: Campo das Vertentes; 2: Central Mineira; 3: Jequitinhonha; 4: Metropolitana de Belo Horizonte; 5: Norte de Minas; 6: Oeste de Minas; 7: Sul/Sudoeste de Minas; 8: Triângulo Mineiro / Alto Paranaíba; 9: Vale do Mucuri; 10: Vale do Rio Doce; 11: Zona da Mata.

<sup>2</sup>Bacia hidrográfica. 1: Rio Doce; 2: Rio Grande; 3: Rio Jequitinhonha; 4: Rio Mucuri; 5: Rio Paraíba do Sul; 6: Rio São Francisco

<sup>3</sup>Litologia. 1: Arenitos; 2: Argilitos/Siltitos; 3: Basaltos; 4: Calcários; 5: Formações Ferríferas; 6: Máficas e Ultramáficas; 7: Metamórficas / Ígneas; 8: Sedimentos Inconsolidados de Argila 9: Xisto.

<sup>4</sup>ADA: Argila dispersa em água (%); <sup>5</sup>AG: Areia Grossa (dag kg<sup>-1</sup>); <sup>6</sup>AF: Areia Fina (dag kg<sup>-1</sup>); <sup>7</sup>Si: Silte (dag kg<sup>-1</sup>); <sup>8</sup>ARG: Argila (dag kg<sup>-1</sup>); <sup>9</sup>pH(1): pH H<sub>2</sub>O. <sup>10</sup>pH(2): pH KCl. <sup>11</sup>Al: Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) - Extrator KCl - 1 mol L<sup>-1</sup>. <sup>12</sup>H + Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0. <sup>13</sup>SB: Soma de bases trocáveis (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). <sup>14</sup>t: CTC (t) - Capacidade de troca catiônica efetiva. <sup>15</sup>T: CTC (T) - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0. <sup>16</sup>V: Índice de saturação de bases (%). <sup>17</sup>m: Índice de saturação de alumínio (%). <sup>18</sup>ISNa: Índice de saturação de sódio (%). <sup>19</sup>MO: Matéria orgânica do solo (C. org. x 1,724) - Walkley-Black (dag kg<sup>-1</sup>). <sup>20</sup>P-Rem: Fósforo remanescente.

## <sup>21</sup>CLASSE DE SOLO E LOCALIZAÇÃO

1. PVAd1 ca34\_Uberaba\_HBt
2. PVAe7 sc,ce12,23\_Horonópolis\_HA
3. PVAe7 sc,ce12,23\_Horonópolis\_HBt
4. PVAd17 sc,ce2,3\_Comendador Gomes\_HA
5. PVAd\_Comendador Gomes\_HA
6. PVAd\_Comendador Gomes\_HA
7. PVAd1 ca34\_Uberaba\_HA
8. PVAd17 sc,ce2,3\_Comendador Gomes\_HBt
9. PVAd22 sc34\_Santo Hipólito\_HA
10. PVAd22 sc34\_Santo Hipólito\_HBt
11. PVAe23 ce23\_Francisco Sá/Montes Claros\_HBt
12. PVAe22 sc34\_Entrada para Curimataí\_HBt
13. PVAe19 ca23\_Montalvânia\_HA
14. PVAe19 ca23\_Montalvânia\_HA
15. PVAe19 ca23\_Montalvânia\_HBt
16. PVAe19 ca23\_Montalvânia\_HBt
17. PVAe23 ce23\_Francisco Sá/Montes Claros\_HA
18. PVAd3 ce23\_Montes Claros saída para Francisco Sá\_HA
19. PVAd3 ce23\_Montes Claros saída para Francisco Sá\_HBt
20. PVAe22 sc34\_Entrada para Curimataí\_HA
21. PVAe7 sc4\_Chegando a Araçuaí\_HBt
22. PVAe7 sc4\_Chegando a Araçuaí\_HA
23. PVAe12 ct4\_Riacho dos Machados\_HA
24. PVAe12 ct4\_Riacho dos Machados\_HBt
25. PVAd2 sp,cp45\_Entrada para Caxambú\_HA
26. PVAd2 sp,cp45\_Entrada para Caxambú\_HBt
27. PVAd2 sp34\_Ubá\_HA
28. PVAe2 Porto do Mendes\_HA
29. PVAe2 Porto do Mendes\_HBt
30. PVAd3 sc4\_Tarumirim\_HBt
31. PVAd3 sp45\_Entrada Ponte Nova-Oratórios\_HA
32. PVAd7 sc4\_Chegando a Araçuaí\_HA
33. PVAd7 sc4\_Chegando a Araçuaí\_HBt
96. CXbd10 Piumhi\_HA
97. CXbd16 ce,sc4\_Entre Capelinha e Itamarandiba\_HA
98. CXbd16 ce,sc4\_Entre Capelinha e Itamarandiba\_HBi
99. CXbd16 sc34\_Próximo a Porto dos Volantes\_HA
100. CXbd16 sc34\_Próximo a Porto dos Volantes\_HBi
101. CXbd20 Barbacena/Barros\_HA
102. CXbd20 Barbacena/Barros\_HBi
103. CXbd23 cp564\_Juiz de Fora-Caxambú\_HA
104. CXbd23 cp564\_Juiz de Fora-Caxambú\_HBi
105. CXbd2 Lagoa da Prata\_HA
106. CXbd2 Lagoa da Prata\_HBi
107. CXbd3 ce34\_Próximo a São Gonçalo do Rio Preto\_HA
108. CXbd3 ce34\_Próximo a São Gonçalo do Rio Preto\_HBi
109. CXbd4 Varginha\_HA
110. CXbd4 Varginha\_HBi
111. CXbd5 Careaçú\_HA
112. CXBD5 Careaçú\_HBi
113. CXbd16 ct45\_Mamonas-Espinosa\_HA
114. CXbd16 ct45\_Mamonas-Espinosa\_HBi
115. CX Pimenta\_HBi
116. CXbd16 ce,sc4\_Saída de Capelinha para Itamarandiba\_HA
117. CXbd16 ce,sc4\_Saída de Capelinha para Itamarandiba\_HBi
118. Cambissolo Háplico\_Uberlândia\_HA
119. Cambissolo Háplico\_Uberlândia\_HB
120. CXbe4 ct4\_Próximo a Salinas\_HA
121. CXbe4 ct4\_Próximo a Salinas\_HBi
122. CXbe4 Vargem Bonita\_HA
123. CXbe4 Vargem Bonita\_HBi
124. LV\_Romaria/Udia\_HA
125. LV\_Romaria/Udia\_HA
126. LV\_Romaria/Udia\_HBw
127. LV\_HA
128. LV\_HBw
129. LV\_Guimarânia\_HA

34. PVAe7 sc4\_Entre Itaobim e Araçuaí\_HBt
35. PVAd S.S.Da Estrela\_HA
36. PVAd\_ Araújos\_HBt
37. PVAe\_HA
38. PVAe12 sp45\_Entre Itambacuri e Franciscópolis\_HA
39. PVAd3 sc4\_Tarumirim\_HA
40. PVAd7 sc4\_Entre Itaobim e Araçuaí\_HA
41. PVAd\_Araújo\_HA
42. PVAd Lavras\_HA
43. PVAd Lavras\_HBt
44. PVAd2 sp34\_Ubá\_HBt
45. PVAd S.S.DA ESTRELA\_HA
46. PVAe12 sp45\_Entre Itambacuri e Franciscópolis\_HBt
47. PVAd3 sp45\_Entrada Ponte Nova-Oratórios\_HBt
48. PVAe\_HBt
49. PVAe3 sc4\_Galilcia\_HA
50. PVAe3 sc4\_Galilcia\_HBt
51. PVAe3 sc4\_Próximo a Cuité Velho\_HA
52. PVAe3 sc4\_Próximo a Cuité Velho\_HBt
53. PVAd3 sc4\_Governador Valadares-Pico do Ibituruna\_HA
54. PVAd3 sc4\_Governador Valadares-Pico do Ibituruna\_HBt
55. PVAd3 sp45\_Açucena\_HBt
56. PVAd3 sp45\_Açucena\_HA
57. PVAe3 Arcos\_HA
58. PVAe23 ca34\_Depois do Rio das Velhas\_HA
59. PVAd23 ca34\_Depois do Rio das Velhas\_HBt
60. PVAe3 Arcos\_HBt
61. PVAe2 Passos\_HA
62. PVAe2 Passos\_HBt
63. PVAe Almenara – Bandeiras\_HA
64. PVAe Almenara – Bandeiras\_HBt
65. PVAe Almenara\_HA
66. PVAe Almenara\_HBt
67. PVAe Almenara - Pedra Grande\_HA
130. LV\_Guimarânia\_HBw
131. LV\_Ibitira\_HA
132. LV\_Ibitira\_HBw
133. LV\_Patos/Patrocineo\_HA
134. LV\_Patos/Patrocineo\_HBw
135. LV\_Posto Polícia Federal\_HA
136. LV\_Posto Polícia Federal\_HBw
137. LVef típico\_Uberlândia\_HA
138. LVef típico\_Uberlândia\_HBw
139. LVA\_Flona/Paraopeba\_HAp
140. LVA\_HAp
141. LVA\_HAp
142. LV\_Arapuá\_HA
143. LV\_Arapuá\_HBw
144. LV\_BR 354\_H0
145. LVA\_Tiros\_H0
146. LVA\_Tiros\_HA
147. LVA\_Tiros\_HBw
148. LVAd4 Bom Sucesso\_HA
149. LVAd4 Bom Sucesso\_HBw
150. LVd2 Bom Sucesso\_HA
151. LVd2 Bom Sucesso\_HBw
152. LAdh1 Lagoa da Prata\_HA
153. LAdh1 Lagoa da Prata\_HBw
154. LVA17 Prados\_HA
155. LVA17 Prados\_HBw
156. LVAd1 sc45\_laphim\_HA
157. LVAd1 sc45\_laphim\_HBw
158. LVAd4 Machado\_HA
159. LVAd4 Machado\_HBw
160. LVd6 Botelhos\_HA
161. LVd6 Botelhos\_HBw
162. LVd9 Paraguaçu\_HA
163. LVd9 Paraguaçu\_HBw

68. PVAd Pedra Azul\_HA  
69. PVAe Almenara - Pedra Grande\_HBt  
70. PVAd Pedra Azul\_HBt  
71. Cambissolo\_HA  
72. Cambissolo\_HA  
73. Cambissolo\_HBi  
74. Cambissolo\_HA  
75. Cambissolo\_HBi  
76. CXbd12 Bambuí\_HA  
77. CXbd12 Bambuí\_HBi  
78. CXbd19 Iguatama\_HA  
79. CXbd19 Iguatama\_HBi  
80. CXbe2 Doresópolis\_HA  
81. CXBe2 Doresópolis\_HBi  
82. CXbe8 ca32\_Lontra/MG\_HA  
83. CXbe8 ca32\_Lontra/MG\_HBi  
84. Cambissolo\_HA  
85. Cambissolo\_HBA  
86. Cambissolo\_HBC  
87. Cambissolo\_HBi  
88. Cambissolo\_HC  
89. CXbd6 ce4\_Montes Claros-Bocaiúva\_HA  
90. CXbd6 ce4\_Montes Claros-Bocaiúva\_HBi  
91. CXbd16 ce,sc4\_Próximo a Minas Novas\_HA  
92. CXbd16 ce,sc4\_Próximo a Minas Novas\_HBi  
93. Cambissolo\_Abadia dos Dourados/Monte Carmelo\_HA  
94. Cambissolo\_Abadia dos Dourados/Monte Carmelo\_HBi  
95. Cambissolo\_Abadia dos Dourados/Monte Carmelo\_HC  
164. LVd Prados\_HA  
165. LVd Prados\_HBw  
166. LAw típico\_Uberaba\_HA  
167. LAw típico\_Uberaba\_HBw  
168. LV\_Abaeté/Paineiras\_HA  
169. LV\_Abaeté/Paineiras\_HBw  
170. LV\_Flona/Paraopeba\_HA  
171. LV\_Flona/Paraopeba\_HA  
172. LV\_Flona/Paraopeba\_HBw  
173. LV\_Flona/Paraopeba\_HBw  
174. LV\_Guimarães/Cruzeiro da Fortaleza\_HA  
175. LV\_Guimarães/Cruzeiro da Fortaleza\_HBw  
176. LV\_Papagaios\_HA  
177. LV\_Papagaios\_HBw  
178. LVA\_Flona/Paraopeba\_HBw  
179. LV\_Patrocínio/Coromandel\_HA  
180. LV\_Patrocínio/Coromandel\_HAp  
181. LV\_Patrocínio/Coromandel\_HBw  
182. LVd12 Alpinópolis\_HA  
183. LVd12 Alpinópolis\_HBw  
184. LVd3 Piumhi\_HA  
185. LVd3 Piumhi\_HBw  
186. LVd1 ce12 Conceição das Alagoas\_HA  
187. LVd1 ce12 Conceição das Alagoas\_HA  
188. LVdf ce12 Fruta\_HA  
189. LVdf ce12 Fruta\_HBw  
190. LVdf1 ce12 Uberaba\_HA  
191. LVdf1 ce12 Uberaba\_HBw

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	1	38,80	41,29	< L.D. <sup>2</sup>	73,00	< L.D.	8,04	160,42	3,08	135,32	21,63	0,80	1,40
2	1	20,02	43,26	< L.D.	240,48	0,55	22,16	285,74	1,10	622,41	55,10	0,29	0,47
3	1	21,84	42,05	14,97	391,18	0,77	21,76	281,06	1,30	640,70	56,59	0,18	0,37
4	1	19,40	14,42	20,15	54,34	0,28	4,10	67,14	0,92	80,15	7,56	0,67	0,26
5	1	16,61	25,09	16,06	65,80	0,22	9,59	136,33	< L.D.	220,09	20,66	< L.D.	< L.D.
6	1	21,99	25,50	22,35	76,09	0,31	10,89	140,74	< L.D.	206,97	25,07	< L.D.	< L.D.
7	1	20,84	27,01	< L.D.	83,35	0,38	7,12	118,20	1,44	156,32	18,02	0,89	2,21
8	1	30,36	20,85	26,65	87,34	0,15	4,66	92,39	1,09	114,88	12,94	0,75	0,39
9	4	34,80	40,41	45,55	122,43	0,32	7,41	60,10	1,53	264,15	37,76	4,75	0,43
10	4	71,85	37,00	37,99	128,94	0,70	7,37	56,11	1,03	384,22	26,36	4,07	0,37
11	4	44,01	43,76	97,71	317,70	0,58	51,34	64,22	2,79	575,62	80,37	1,38	9,13
12	4	47,07	38,18	144,54	418,94	0,63	8,22	55,83	1,47	416,99	25,61	1,71	0,70
13	4	12,92	7,49	< L.D.	36,31	< L.D.	2,28	22,61	0,76	49,71	3,59	1,15	2,03
14	4	12,52	7,95	8,10	34,36	0,24	1,59	17,05	0,90	50,77	4,22	1,12	2,00
15	4	16,19	7,90	< L.D.	36,50	< L.D.	2,28	17,29	0,99	41,51	5,58	1,41	0,57
16	4	18,92	10,40	11,25	42,86	< L.D.	2,05	22,08	1,07	49,19	4,15	1,23	0,71
17	4	39,06	55,10	7,37	325,37	1,08	47,22	66,45	2,01	523,91	74,55	1,16	4,48
18	4	32,49	42,93	50,58	137,11	0,70	4,60	64,44	1,24	64,91	13,80	3,25	0,94
19	4	47,14	36,11	62,92	178,50	0,43	5,96	69,54	1,05	27,75	19,20	3,27	0,44
20	4	29,81	27,81	103,47	320,03	0,33	7,87	55,57	1,42	612,50	17,08	1,50	2,85
21	5	50,97	43,94	< L.D.	345,46	0,66	24,27	63,10	1,91	779,98	34,84	0,87	0,42
22	4	38,57	32,41	93,80	307,08	0,21	20,32	48,83	1,70	748,94	27,43	0,95	1,40
23	5	39,55	27,27	49,31	159,30	0,20	18,20	41,42	1,29	487,73	22,55	2,10	2,24
24	7	49,36	33,53	< L.D.	168,10	0,37	20,66	53,62	1,12	459,99	29,93	0,86	0,48
25	7	81,37	41,49	30,07	87,59	0,71	8,63	105,53	2,37	287,28	36,96	3,15	1,27

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
26	7	64,69	50,55	< L.D.	50,46	1,03	10,51	118,34	1,82	137,99	41,89	2,83	0,26
27	7	78,57	58,49	< L.D.	59,39	0,74	4,26	47,45	1,05	118,24	15,25	1,93	0,63
28	7	68,12	35,62	60,49	192,03	0,63	6,23	29,36	< L.D.	166,31	8,43	5,13	< L.D.
29	7	80,15	47,71	< L.D.	175,51	0,83	5,20	43,16	< L.D.	103,32	10,79	0,75	< L.D.
30	7	51,96	53,81	4,30	21,65	0,92	5,28	160,49	1,50	163,24	13,74	0,74	0,22
31	7	78,29	69,99	< L.D.	52,31	1,28	19,92	220,86	1,81	573,55	86,99	1,28	0,29
32	7	40,96	31,22	26,43	79,92	0,41	4,92	39,73	2,84	141,21	12,72	4,38	0,23
33	7	52,03	34,15	29,28	95,56	0,31	7,52	46,93	2,02	180,08	11,70	2,74	0,11
34	7	78,88	40,58	< L.D.	265,51	0,60	15,10	57,10	0,23	150,50	24,43	1,14	0,29
35	7	63,39	22,26	10,07	57,01	0,18	3,61	15,93	< L.D.	82,56	8,14	7,96	< L.D.
36	7	62,37	14,54	4,16	23,87	< L.D.	1,09	9,53	< L.D.	< L.D.	8,07	4,85	< L.D.
37	7	41,41	29,21	85,46	270,15	0,45	5,42	11,67	< L.D.	377,08	3,63	5,92	5,70
38	7	36,89	18,23	27,50	94,01	0,14	3,13	16,23	0,35	180,97	5,10	1,99	0,67
39	7	39,54	32,87	< L.D.	37,25	0,49	4,41	104,13	2,77	485,44	11,94	0,91	1,48
40	7	35,62	22,82	55,40	180,49	0,17	13,16	34,23	0,34	228,44	12,88	1,09	0,60
41	7	60,92	11,64	< L.D.	28,94	< L.D.	1,10	4,69	< L.D.	< L.D.	< L.D.	1,54	< L.D.
42	7	42,89	33,06	97,50	319,45	0,51	9,33	3,14	< L.D.	246,19	4,64	2,85	< L.D.
43	7	62,30	42,29	< L.D.	331,02	0,69	10,99	3,52	< L.D.	202,97	2,52	0,74	< L.D.
44	7	69,33	62,85	16,85	53,61	0,91	4,12	44,34	0,64	116,04	11,42	1,07	0,24
45	7	42,86	32,16	13,13	41,31	0,28	2,42	27,28	< L.D.	34,41	12,31	3,58	< L.D.
46	7	71,81	45,97	< L.D.	70,66	0,69	4,52	44,14	0,18	46,90	6,41	1,10	0,15
47	7	65,53	72,97	10,04	37,55	1,31	13,01	220,56	1,32	252,87	91,76	1,05	0,16
48	7	69,17	49,55	71,22	182,63	0,82	5,31	13,91	< L.D.	165,64	9,44	1,00	< L.D.
49	7	68,99	37,42	66,47	193,04	0,54	9,89	26,75	1,21	231,06	4,17	4,50	0,37
50	7	74,03	57,89	36,82	120,52	1,08	6,32	36,39	0,20	117,72	5,03	0,77	0,26

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
51	7	47,52	35,27	117,30	343,87	0,50	17,67	17,39	0,38	624,63	7,94	1,62	1,47
52	7	74,00	34,23	120,74	362,47	0,45	14,77	16,52	0,57	608,61	11,20	2,24	3,12
53	7	58,55	54,73	99,95	295,30	1,03	3,40	9,92	0,26	69,28	2,31	2,23	0,59
54	7	91,68	65,28	17,34	400,72	0,73	2,96	9,73	0,21	87,80	0,49	1,49	0,31
55	8	57,44	37,14	37,70	123,67	0,54	9,54	13,11	0,84	502,93	6,41	6,20	1,36
56	8	68,05	47,69	41,80	134,81	0,62	8,03	12,04	1,76	709,10	5,96	6,13	3,05
57	8	69,53	43,04	323,16	742,40	0,75	8,92	71,93	< L.D.	364,85	25,26	< L.D.	< L.D.
58	8	11,30	11,53	< L.D.	37,91	< L.D.	1,76	22,55	0,57	< L.D.	3,06	1,01	0,74
59	8	12,21	11,15	7,53	35,95	< L.D.	2,11	22,39	0,46	< L.D.	0,90	0,92	0,26
60	8	81,26	51,21	229,55	847,16	0,67	10,26	80,35	< L.D.	238,36	31,87	0,79	< L.D.
61	9	14,21	30,52	< L.D.	51,92	0,50	10,36	66,64	0,36	154,31	5,74	0,35	0,65
62	9	43,06	45,25	< L.D.	164,74	0,60	12,66	45,56	< L.D.	240,97	24,58	< L.D.	< L.D.
63	7	36,57	25,87	< L.D.	254,42	0,34	13,13	49,66	1,80	785,49	24,73	2,00	3,73
64	7	60,44	46,09	3,12	207,96	0,70	13,26	84,57	0,98	156,59	33,19	1,02	1,02
65	7	28,58	8,62	7,02	192,20	0,13	3,44	15,58	0,23	59,76	6,00	5,33	2,23
66	7	63,33	22,19	< L.D.	313,67	0,38	3,80	33,64	0,14	< L.D.	9,46	4,09	0,09
67	7	28,66	14,13	7,00	130,47	0,06	5,61	23,67	0,68	252,54	8,24	4,07	5,85
68	7	69,25	17,28	5,87	104,93	< L.D.	1,98	6,05	0,26	< L.D.	< L.D.	6,86	0,41
69	7	63,92	23,19	6,21	105,16	0,30	6,23	38,71	0,39	47,33	14,96	4,32	0,68
70	7	38,25	18,53	5,25	112,07	0,09	5,46	5,39	0,04	< L.D.	8,01	3,67	< L.D.
71	1	87,88	62,83	< L.D.	278,11	0,55	13,31	56,88	< L.D.	521,85	21,63	11,70	0,44
72	1	44,65	46,65	2,17	225,14	0,61	32,01	48,04	< L.D.	1.084,37	20,87	23,99	0,42
73	1	103,53	67,54	1,08	236,69	0,85	28,12	54,26	< L.D.	854,74	19,32	22,33	0,16
74	2	74,61	43,43	1,23	347,25	1,05	7,70	117,87	15,42	173,82	24,17	< L.D.	< L.D.
75	2	81,51	47,71	1,87	371,95	1,12	6,83	109,28	12,63	164,50	21,87	< L.D.	< L.D.

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
76	2	61,47	44,03	< L.D.	304,22	0,88	15,74	57,92	7,96	670,73	29,21	25,95	0,10
77	2	56,88	47,02	4,48	299,12	0,74	23,34	63,11	8,85	670,73	29,41	24,14	< L.D.
78	2	75,59	61,70	2,03	507,96	1,42	9,45	82,56	33,15	391,69	23,43	14,54	< L.D.
79	2	69,09	60,12	1,54	357,62	1,24	18,35	81,05	39,72	689,88	20,87	13,47	< L.D.
80	2	64,84	54,34	10,28	361,42	1,13	12,99	77,81	9,01	528,02	23,85	18,89	< L.D.
81	2	42,93	57,22	< L.D.	268,51	1,17	117,16	90,41	8,85	434,13	15,79	11,73	< L.D.
82	2	36,29	37,51	< L.D.	752,06	1,71	14,41	79,32	< L.D.	960,10	33,99	13,14	< L.D.
83	2	45,18	42,47	< L.D.	632,02	1,01	17,77	82,65	2,02	871,41	43,01	18,44	0,79
84	4	42,67	35,65	< L.D.	240,84	0,57	7,70	73,99	< L.D.	140,65	21,11	1,96	< L.D.
85	4	81,33	45,27	< L.D.	276,44	0,88	3,31	71,81	< L.D.	134,79	24,56	4,23	< L.D.
86	4	74,96	49,28	< L.D.	255,48	0,70	4,26	72,37	< L.D.	148,80	23,09	< L.D.	< L.D.
87	4	45,82	44,27	< L.D.	261,25	0,84	4,38	75,48	< L.D.	124,82	24,36	< L.D.	< L.D.
88		73,57	47,60	< L.D.	261,21	0,73	6,48	67,94	< L.D.	154,09	21,79	< L.D.	< L.D.
89	4	66,56	48,38	< L.D.	263,40	1,18	6,48	77,85	< L.D.	105,31	16,18	6,60	< L.D.
90	4	52,93	42,42	< L.D.	220,42	0,57	6,48	67,98	< L.D.	93,78	13,60	2,27	< L.D.
91	5	31,84	32,81	< L.D.	213,74	0,72	20,66	42,31	< L.D.	548,23	28,92	6,60	1,78
92	5	34,81	39,04	< L.D.	228,55	0,72	18,32	53,47	< L.D.	414,42	34,26	5,66	0,91
93	7	36,35	9,59	2,21	171,43	< L.D.	3,38	16,66	< L.D.	143,81	< L.D.	12,43	0,38
94	7	40,21	13,39	< L.D.	176,13	< L.D.	2,95	4,96	< L.D.	72,41	0,67	< L.D.	0,32
95	7	51,51	11,95	< L.D.	375,12	< L.D.	2,61	4,42	< L.D.	112,17	< L.D.	21,19	0,16
96	7	32,53	134,92	88,07	32,32	3,25	67,16	1.468,76	108,90	1.286,58	312,36	7,05	< L.D.
97	7	27,51	18,25	< L.D.	107,77	0,39	3,83	48,08	< L.D.	164,75	4,55	20,72	0,74
98	7	51,37	16,99	< L.D.	137,36	0,25	3,14	12,76	< L.D.	57,43	3,97	20,71	0,22
99	7	41,84	8,98	< L.D.	28,82	0,07	0,09	4,43	< L.D.	45,61	< L.D.	15,39	1,21
100	7	70,94	12,60	< L.D.	35,42	0,18	0,55	3,83	< L.D.	17,84	< L.D.	21,53	0,25

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
101	7	53,00	38,96	< L.D.	165,52	0,52	18,28	151,74	3,00	498,02	24,49	2,56	< L.D.
102	7	53,23	39,70	< L.D.	158,55	0,88	21,44	46,11	4,17	712,19	28,38	6,17	2,77
103	7	55,45	33,18	< L.D.	45,72	0,47	1,81	50,40	< L.D.	62,86	2,76	< L.D.	0,36
104	7	58,14	32,25	< L.D.	62,17	0,29	2,32	48,57	< L.D.	51,30	2,96	< L.D.	0,16
105	7	78,63	17,57	< L.D.	171,37	< L.D.	4,01	10,98	< L.D.	290,45	5,79	14,51	< L.D.
106		82,87	18,37	< L.D.	72,40	0,24	2,37	7,73	< L.D.	87,71	9,32	1,83	< L.D.
107	7	34,13	60,19	< L.D.	114,26	1,15	48,83	165,41	6,62	1.087,58	66,69	4,41	0,47
108	7	51,05	71,58	< L.D.	30,77	1,57	20,87	181,86	18,11	340,86	89,57	3,59	0,20
109	7	47,22	13,58	< L.D.	161,67	< L.D.	3,74	16,73	< L.D.	72,59	3,94	9,28	0,99
110	7	54,55	12,67	< L.D.	195,68	0,21	3,55	12,74	< L.D.	57,69	3,73	9,12	0,63
111	7	35,38	16,40	< L.D.	201,90	0,20	5,57	4,61	< L.D.	313,24	0,31	< L.D.	< L.D.
112	7	42,64	19,18	< L.D.	286,72	0,29	6,35	4,45	< L.D.	368,40	5,09	3,82	< L.D.
113	8	29,58	21,15	< L.D.	248,38	0,25	8,02	23,14	< L.D.	225,81	10,08	9,20	0,81
114	8	30,46	22,86	< L.D.	360,30	0,36	10,61	26,30	< L.D.	336,43	13,78	8,57	< L.D.
115	8	57,81	57,13	34,83	353,20	1,20	28,61	93,14	2,55	573,07	42,05	21,60	< L.D.
116	8	35,76	28,97	< L.D.	140,09	0,08	11,91	25,14	< L.D.	385,02	3,00	24,10	0,33
117	8	47,86	17,06	< L.D.	132,32	0,19	1,38	9,85	< L.D.	60,30	3,39	6,27	0,17
118	1	45,13	20,82	< L.D.	482,41	0,44	10,72	16,35	< L.D.	475,99	9,88	5,44	0,76
119	1	62,21	37,74	< L.D.	332,43	0,57	7,63	18,99	< L.D.	186,28	11,54	1,99	0,16
120	7	29,98	21,81	< L.D.	324,50	0,13	11,42	48,46	< L.D.	509,41	24,39	3,70	1,44
121	7	37,72	25,54	< L.D.	352,33	< L.D.	12,07	54,87	< L.D.	402,56	27,47	3,98	0,33
122	7	69,10	62,86	10,23	392,94	1,26	52,95	74,07	12,42	1.133,02	40,53	15,53	< L.D.
123	7	56,04	59,01	15,43	303,24	1,30	13,63	60,22	7,40	471,27	27,50	6,16	< L.D.
124	1	157,23	74,85	11,64	124,04	0,06	25,88	223,60	58,69	292,35	40,98	0,82	11,12
125	1	167,87	77,78	12,21	133,12	0,10	25,59	260,39	60,62	297,36	46,49	0,83	12,10

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
126	1	170,66	76,16	12,34	125,21	0,24	25,92	229,09	61,16	297,14	44,33	0,65	12,50
127	1	23,42	20,90	< L.D.	121,62	0,10	27,49	136,86	50,77	181,46	37,12	0,45	< L.D.
128	1	41,62	27,99	< L.D.	171,36	0,06	28,14	150,46	55,01	209,38	44,43	0,44	0,91
129	2	68,96	61,93	4,91	416,62	0,04	29,87	441,54	69,21	342,11	79,47	0,24	6,18
130	2	67,55	65,31	2,46	241,48	0,17	27,89	486,27	63,99	302,27	70,40	0,15	< L.D.
131	2	83,78	59,81	6,64	59,68	0,04	24,99	117,32	60,65	222,42	34,46	2,02	10,91
132	2	111,43	61,08	6,91	95,21	0,37	25,54	111,09	62,83	213,46	36,71	1,04	189,69
133	2	149,45	77,25	12,24	149,42	0,05	24,95	167,42	84,42	361,53	46,75	2,48	17,18
134	2	158,40	75,36	5,18	182,37	0,08	25,10	173,22	90,63	334,00	47,54	1,27	30,49
135	2	145,96	75,43	15,21	139,91	0,03	27,24	210,17	89,27	323,22	52,88	2,24	24,14
136	2	148,83	83,64	14,02	148,25	0,04	27,37	240,32	93,64	327,28	55,35	1,07	21,08
137	2	114,39	85,44	< L.D.	85,77	0,06	9,09	189,69	211,29	1.444,56	94,39	0,52	109,77
138	2	119,44	83,58	< L.D.	58,60	0,13	11,50	187,45	219,32	1.174,79	96,90	0,26	105,57
139	4	106,60	67,06	5,14	324,16	0,07	31,05	135,48	67,48	244,21	62,16	2,24	20,23
140	4	111,78	70,35	40,47	432,00	0,07	26,61	145,36	61,79	201,92	56,31	1,55	37,42
141	4	110,11	72,12	42,57	404,43	0,03	26,48	135,45	60,27	206,66	53,48	0,87	26,21
142	6	123,48	82,57	13,61	349,01	0,12	28,29	245,96	80,95	390,70	71,72	0,18	39,09
143	6	140,14	81,29	17,72	405,56	0,03	28,47	262,33	91,65	398,19	86,20	0,15	55,30
144	6	46,44	26,41	3,86	134,70	0,13	23,61	103,72	60,69	266,50	35,20	0,48	10,10
145	6	132,31	74,94	18,23	236,77	0,07	25,87	195,35	63,07	337,34	42,59	0,25	9,30
146	6	144,14	77,55	17,47	183,58	0,11	25,74	197,65	59,51	273,49	41,77	0,32	8,75
147	6	164,92	78,21	21,57	84,29	0,09	25,57	197,26	58,46	274,62	43,98	0,46	10,44
148	6	88,30	79,74	0,31	313,15	0,08	49,51	60,79	122,15	1.362,53	64,37	0,98	45,28
149	6	103,03	81,98	3,02	153,31	0,06	41,25	69,31	146,13	661,82	69,09	0,55	52,10
150	6	43,86	37,85	< L.D.	26,17	0,95	24,10	81,39	59,13	148,05	29,70	0,75	5,24

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro (g kg<sup>-1</sup>) e metais pesados (mg kg<sup>-1</sup>) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (continuação...)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
151	6	52,66	41,74	< L.D.	23,28	2,25	23,82	81,32	59,62	154,29	29,17	0,61	1,93
152	7	129,51	67,85	11,20	58,19	0,13	25,88	138,25	69,54	421,54	41,78	0,80	52,18
153	7	104,33	74,97	13,81	453,90	0,07	27,98	135,30	83,38	355,45	56,88	3,20	43,15
154	7	164,74	78,76	16,66	41,62	0,06	26,27	167,06	58,06	304,59	35,28	1,79	20,96
155	7	178,29	79,24	13,83	18,38	0,42	25,66	176,88	53,50	286,27	31,64	0,68	17,45
156	7	61,15	45,27	< L.D.	49,03	0,12	5,49	68,24	< L.D.	190,68	11,67	1,65	< L.D.
157	7	60,09	65,31	11,85	44,77	0,35	4,47	89,14	< L.D.	88,81	18,30	1,33	< L.D.
158	7	97,04	42,12	0,86	74,70	0,09	25,25	72,20	53,56	254,63	32,56	0,56	11,80
159	7	99,60	40,93	1,45	71,41	0,30	26,19	73,31	55,98	224,10	33,70	0,95	14,30
160	7	96,43	48,10	3,29	363,43	0,10	29,03	64,16	48,51	255,05	48,02	0,70	28,30
161	7	78,13	51,45	4,69	395,00	0,06	28,39	69,44	56,41	194,72	40,81	0,43	20,69
162	7	53,31	72,09	< L.D.	31,88	0,71	26,21	187,61	68,15	208,13	37,40	1,55	21,89
163	7	50,45	76,58	< L.D.	28,66	1,60	25,89	189,49	69,00	223,84	35,66	0,40	18,68
164	7	136,71	80,77	12,36	106,04	0,59	26,27	162,52	65,36	440,72	33,34	1,05	23,26
165	7	146,99	80,55	7,45	52,38	2,01	25,66	168,91	65,11	448,02	30,66	0,22	17,96
166	8	156,98	58,84	13,40	16,22	0,36	24,40	122,00	57,59	190,33	37,43	0,64	16,93
167	8	164,38	59,26	13,19	11,49	1,41	24,90	129,57	56,81	182,97	38,17	0,35	12,11
168	8	107,70	63,22	12,52	259,95	0,69	25,92	122,54	65,00	217,26	41,74	2,43	21,62
169	8	119,92	65,84	9,62	278,11	1,24	24,70	132,07	69,21	245,02	43,59	1,80	27,51
170	8	139,17	75,87	10,04	169,60	0,42	31,56	133,41	72,53	254,70	69,24	1,30	32,32
171	8	80,24	58,08	6,56	85,31	0,06	28,30	106,84	69,06	345,77	49,16	1,99	17,33
172	8	137,55	76,22	8,14	169,04	0,42	31,34	180,09	72,04	281,32	66,70	1,91	33,22
173	8	75,47	63,63	5,49	55,47	0,12	26,67	98,29	63,99	219,87	42,50	1,30	22,04
174	8	151,68	74,25	9,49	208,20	0,35	26,49	247,99	117,20	475,36	45,62	2,05	17,19
175	8	148,58	76,50	7,50	267,64	0,09	25,80	249,34	111,08	456,19	43,21	1,44	8,06

**Quadro 3. 2. Resultados analíticos dos teores de alumínio e ferro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais (*continuação...*)**

N <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
176	8	77,79	72,70	5,17	53,34	0,30	24,90	101,02	69,72	283,29	32,79	0,96	37,46
177	8	124,52	78,12	10,14	167,23	0,10	26,37	112,47	83,38	331,40	45,86	0,77	5,15
178	8	117,28	66,64	3,87	340,27	0,06	31,41	128,11	69,37	239,43	61,59	1,40	24,27
179	9	131,42	76,82	12,89	330,13	0,71	24,61	275,47	98,23	334,50	51,60	0,65	37,52
180	9	119,20	68,96	17,32	360,23	1,60	25,13	233,24	126,50	337,32	52,22	0,85	128,17
181	9	131,37	73,24	11,69	110,24	0,59	24,97	250,50	53,78	280,93	36,21	0,58	3,60
182	9	53,20	26,72	< L.D.	344,58	0,40	24,53	56,47	55,84	140,88	27,58	1,25	1,81
183	9	54,03	29,63	< L.D.	227,94	0,30	24,40	53,29	55,69	144,83	27,76	0,80	2,75
184	7	175,18	77,39	13,00	130,64	0,30	27,03	147,45	98,98	419,98	39,41	2,09	14,38
185	7	187,51	78,60	13,85	109,66	0,30	27,21	158,10	96,79	403,66	38,77	1,20	13,63
186	3	85,16	93,21	7,05	10,25	0,77	942,94	82,16	19,14	282,43	9,33	2,82	20,66
187	3	94,08	97,63	15,27	9,03	1,35	1.010,21	86,60	28,63	267,32	10,14	4,62	19,69
188	3	169,96	265,65	6,92	31,89	2,64	2.833,77	146,00	148,34	1.247,43	65,40	< L.D.	162,32
189	3	171,14	278,48	33,22	78,21	2,93	2.974,68	151,02	220,33	1.359,04	65,09	< L.D.	163,76
190	3	167,31	260,23	44,86	100,49	2,42	2.772,42	21,62	188,34	1.181,51	26,64	6,81	196,51
191	3	181,18	278,99	39,19	54,22	3,32	3.011,78	20,97	211,23	1.099,56	29,43	17,02	198,09